



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

EFFECTOS DE LA LICUEFACCIÓN EN PUENTES FUNDADOS EN PILOTES

CARLA BEATRIZ SERRANO WALTON

Tesis para optar al grado de

Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:

CHRISTIAN ALFONSO LEDEZMA ARAYA

Santiago de Chile, Diciembre, 2014

© 2014, Carla Beatriz Serrano Walton



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

EFFECTOS DE LA LICUEFACCIÓN EN PUENTES FUNDADOS EN PILOTES

CARLA BEATRIZ SERRANO WALTON

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

CHRISTIAN ALFONSO LEDEZMA ARAYA

CARLOS OVALLE

GONZALO MONTALVA

HÉCTOR JORQUERA

Para completar las exigencias del grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Diciembre, 2014.

A mi hija, quien desde su inocencia ha comprendido mis ausencias de Tesis. A mi esposo, por su empeño y apoyo incondicional. A mi madre, mi hermano y mi tía, quienes me han apoyado desde siempre y sin condiciones, en mi formación académica y personal. Y a mi familia política quienes amorosamente cuidaron a mi hija en mis ausencias de Tesis.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las oportunidades que me ha dado.

A la Dirección de investigación y Postgrado, por entender mi particular situación geopolítica.

A mi profesor supervisor, por su paciencia con esta atipada alumna de postgrado, por enseñarme además de geotécnica, la forma políticamente correcta de hacer las cosas y por todas las oportunidades que me brinda.

Al Prof. J. Bray, de la Universidad de Berkeley, por la oportunidad de colaborar en parte de su trabajo de investigación (Liquefaction-Induced SFSI Damage due to the 2010 Chile Earthquake).

A Geohidra Consultores, C.A. en especial al Vicepresidente de la División de Geociencias (Ing. José G. Parra R.), por entender que necesitaba crecer académicamente y por permitirme tomar el tiempo que necesite para culminar este trabajo.

Y a mis compañeros de trabajo quienes se esforzaron por respetar y preservar, cada uno de mis permisos de Tesis.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvii
1. Introduccion.....	1
2. Estado del arte.....	4
2.1 Normas Técnicas.....	4
2.1.1 Manual de Carreteras, Volumen No. 3. Chile (2002).....	4
2.1.2 Norma para puentes de carreteras. AASHTO (1996).	7
2.1.3 Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias. España (2005).	8
2.1.4 Normas técnicas para instalaciones portuarias. Japón (2002).	12
2.1.5 Recomendaciones prácticas para la planificación, diseño y construcción, de plataformas de trabajo costa afuera fijas. API (2007).	23
2.1.6 Especificaciones de diseño para puentes, LRFD. AASHTO (2007). . 24	
2.1.7 Guía de diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras. Chile (2013).	27
2.1.8 Conclusiones del estado del Arte de las Normas Técnicas.....	31
2.2 Artículos técnicos y científicos	33
2.2.1 Finn y Fujita-Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues (2002).	33

2.2.2	Singh, Brandenberg, Boulanger & Kutter-Behavior of Pile Foundations in Liquefied and Laterally Spreading Ground (2002).	34
2.2.3	Boulanger et al.-Pile foundation in liquefied and laterally spreading ground (2003).	36
2.2.4	Tamura-Seismic design of highway bridge foundations for liquefaction-induced ground flow (2004).	44
2.2.5	Knappett y Madabhushi-Seismic Bearing capacity of piles in liquefiable soils (2009).	45
2.2.6	Rahmani y Pak-A parametric study on seismic performance of piles embedded in two-layered liquefiable ground (2011).	48
3.	Observaciones Post-terremoto del Maule	50
3.1	Puente Juan Pablo II	50
3.2	Puente Llacolén	57
4.	Potencial de licuefacción	61
4.1	Exploración geotécnica de los puentes afectados por el terremoto del 27 F.	61
4.1.1	Puente Juan Pablo II	61
4.1.2	Puente Llacolén	70
4.2	Evaluación del potencial de licuefacción.	75
4.2.1	Método simplificado (Youd et al., 2001)	75
4.2.2	Método probabilístico (Cetin et al., 2004)	82
4.2.3	Evaluación del potencial de licuefacción de los suelos de grano fino (ML, CL, CL-ML).	92
4.2.4	Sensibilidad de los parámetros que intervienen en el potencial de licuefacción	96
4.2.5	Consideraciones generales para la evaluación del potencial de licuefacción.	104
4.2.6	Resultados de la evaluación del potencial de licuefacción y comparación con los daños observados en el terremoto 2010.	107
5.	Evaluación de los efectos de licuefacción y Comparación con los daños observados en el terremoto del Maule de 2010	122

5.1	Desplazamiento lateral	123
5.1.1	Youd et al. (2002)	123
5.1.2	Kramer, S., Franke, K., Huan, Y. y Baska, D. (2007)	126
5.1.3	Idriss y Boulanger (2008)	128
5.1.4	Comparación de los modelos de estimación de desplazamiento lateral.	130
5.2	Asentamiento.....	130
5.2.1	Modelo de Tokimatsu y Seed (1987).....	131
5.2.2	Modelo de Ishihara y Yoshimine (1992).	133
5.2.3	Modelo de Shamoto Y., Zhang, J. y Tokimatsu, K. (1998).....	135
5.2.4	Modelo de Wu y Seed (2004)	138
5.2.5	Comparación de los modelos de estimación de Asentamientos. .	140
5.3	Resultados de la estimación de los efectos de licuefacción	141
5.3.1	Puente Juan Pablo II	141
5.3.2	Puente Llacolén.....	151
6.	Conclusiones, Recomendaciones y trabajos futuros.....	159
	BIBLIOGRAFIA.....	165
	ANEXOS.....	171
	Anexo A: TERMINOLOGIA Tecnica.....	172
	A.1. Ensayos de penetración estándar o ensayo SPT.	173
	A.2. Fricción negativa.....	178
	A.3. Curvas p-y.....	179
	Anexo B: Sondeos geotécnicos disponibles del Puente Juan Pablo II.....	180
	B.1. Perforaciones en Juan Pablo II, realizadas por INGEXA (2010).....	181
	B.2. Ensayos de caracterización correspondiente a las perforaciones en Juan Pablo II, realizadas por INGEXA (2010).....	198
	B.3. Sondeos en Juan Pablo II, realizadas por IDIEM (2012).	277
	B.3.1 Sondaje 3 (Z3-B1).	278
	B.3.2 CPT6 (Z3-C5), CPT7 (Z3-C6) y CPT8 (Z3-C4).	286
	B.4. Perfil Litológico Juan Pablo II.	291

Anexo C: Sondeos geotécnicos disponibles del Puente Llacolen	296
C.1 Perforaciones en Llacolén, realizadas en 1993 y 1996.	297
C.1.1. Estimación del N_{SPT} , medido en campo, en función de las recomendaciones de Díaz y Rodríguez (2007), para los sondeos realizados en el Puente Llacolén entre 1993 y 1996.....	300
C.2 Sondeos en Llacolén, realizados por IDIEM (2012).....	305
C.2.1 Sondaje 4 (Z4-B1)	306
C.2.2 CPT9 (Z4-C3) y CPT10 (Z4-C1)	315
 Anexo D: Mediciones de la energía del SPT, realizadas durante el estudio del IDIEM (2012).....	 319
 Anexo E: Perfiles de Licuefaccion.....	 320
E.1 Puente Juan Pablo II.	321
E.1.1 Susceptibilidad de licuefacción de los suelos finos	322
E.1.2 Perfil de Licuefacción	334
E.2 Puente Llacolén.	351
E.2.1 Perfil de Licuefacción Puente Llacolén. Contenido de Finos <5% 353	
E.2.2 Perfil de Licuefacción Puente Llacolén. Contenido de Finos >35%. 363	
 Anexo F: WSliq.....	 373
Anexo F.1: Consideraciones Generales para el cálculo de los asentamientos y el desplazamiento lateral, con WSliq, en Juan Pablo II	374
Anexo F.2: Consideraciones Generales para el cálculo de los asentamientos y el desplazamiento lateral, con WSliq, en Llacolén.	378

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2- 1: Valores del parámetro CRR.....	10
Tabla 2- 2: Potencial de licuefacción y acciones consecuentes.	18
Tabla 2- 3: Clasificación del tipo del suelo para el Caso 2.....	20
Tabla 2-4: Efecto del tipo de pilote en la respuesta a la licuefacción.	38
Tabla 2-5: Factor de reducción (D_E), de los parámetros geotécnicos para suelos licuados .	42
Tabla 2-6: Contribución del cabezal del pilote a la capacidad de carga	47
Tabla 4- 1: Puente Juan Pablo II, estudio geotécnico realizado por INGEXA 2010.....	64
Tabla 4- 2: Puente Juan Pablo II, estudio geotécnico realizado por IDIEM 2012.....	67
Tabla 4- 3: Puente Llacolén, estudio geotécnico de 1993 y 1996.....	72
Tabla 4- 4: Puente Llacolén, estudio geotécnico realizado por IDIEM 2012.....	74
Tabla 4- 5: Factores de corrección por la energía del martillo utilizados para el análisis según Youd.	79
Tabla 4- 6: Factores de corrección por la energía del martillo utilizados para el análisis según Cetin.....	88
Tabla 4- 7: Criterios de licuefacción para suelos finos según Bray y Sancio (2006)	93
Tabla 4- 8: Pesos unitarios totales (γ_t), utilizados para el análisis del potencial de licuefacción.	105
Tabla 4- 9. Comparación de la proporción del fuste que licua, por tramo, entre los perfiles de $FC < 5\%$ y $FC > 35\%$	119

Tabla 5- 1. Desplazamiento lateral en ausencia de estructuras. Juan Pablo II.....	141
Tabla 5- 2. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Juan Pablo II.....	144
Cont. Tabla 5- 2. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Juan Pablo II.....	145
Tabla 5- 3. Desplazamiento lateral, en ausencia de estructuras. Llacolén.....	152
Tabla 5- 4. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Llacolén. FC<5%	154
Tabla 5- 5. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Llacolén. FC>35%	155
Tabla A.F.1- 1. Valores de D_{50} para suelos de grano fino	375
Tabla A.F.1- 2. Valores de D_{50} para suelos de grano grueso	376

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1- 1: Mecanismos de falla de pilotes fundados en terrenos licuables.....	2
Figura 2- 1: Esquema de terraplén sobre arena suelta.....	6
Figura 2- 2: Rango de potencialidad de licuefacción para $U_c \geq 3.5$	14
Figura 2- 3: Rango de potencialidad de licuefacción para $U_c < 3.5$	15
Figura 2- 4: Tipo de suelo en función del N_{SPT} equivalente y la aceleración equivalente...	17
Figura 2- 5: Corrección del N_{SPT} equivalente por el contenido de finos.	19
Figura 2-6: Resistencia a la licuefacción. (CRR: <i>Cyclic Resistance Ratio</i>).....	29
Figura 2-7: Comparación esquemática, del método de equilibrio límite y el método BNWF.	36
Figura 2-8: Cargas productos del desplazamiento lateral, de la Asociación Japonesa de carreteras.	43
Figura 2-9: Idealización de las fuerzas del desplazamiento lateral, por efecto de licuefacción, para el diseño sísmico de fundaciones de puentes.....	45
Figura 2-10: Reducción de la capacidad de carga de punta, con el incremento del exceso de presión de poros.	47
Figura 3- 1: Puentes sobre el rio Bio-Bio.	51

Figura 3-2: Elevación frontal de las Cepas y el estribo Norte, del puente Juan Pablo II.....	52
Figura 3-3: Asentamiento pots-sísmico puente Juan Pablo II.....	54
Figura 3-4: Desplazamiento lateral del estribo Norte del puente Juan Pablo II.....	55
Figura 3-5: Eyección de arena en las cercanías de la aproximación del estribo norte.....	56
Figura 3- 6: Longitudes de los pilotes del puente Llacolén, con la ubicación aproximada de las perforaciones.....	57
Figura 3-7: Vista en planta de los daños en los accesos al estribo norte de Llacolén.....	58
Figura 3-8: Estribo Norte del puente Llacolén, después del terremoto, antes y después de colocar el puente mecano.	59
Figura 3-9: Grietas de flexión en las columnas de soporte del tablero que se cayó en el terremoto (Eje 45 del puente).....	60
Figura 4- 1: Ubicación de las perforaciones en el eje del puente Juan Pablo II.	63
Figura 4- 2: Localización de los sondeos realizados por el IDIEM (2012) en el Puente Juan Pablo II.....	66
Figura 4-3: Perforaciones en el Puente Llacolén, ejecutados en 1993 (Puntos amarillos) y 1996 (Puntos rojos).	71
Figura 4- 4: Localización de los sondeos realizados por el IDIEM (2012) en el Puente Llacolén.....	73
Figura 4- 5: Relación entre diferentes magnitudes y la magnitud de momento (M_w).	82
Figura 4- 6: Factor de correlación de magnitud (DWF_M).	84

Figura 4- 7: Valores de recomendados de C_{RC}	86
Figura 4- 8: Rangos del índice de plasticidad y de w_c/LL para las diversas categorías de susceptibilidad según Bray y Sancio (2006).	94
Figura 4- 9: Variación del comportamiento de los suelos de grano fino con el índice de plasticidad, del comportamiento tipo arenoso al comportamiento tipo arcilloso.....	95
Figura 4- 10: Coeficiente de reducción vs. profundidad.....	98
Figura 4- 11: Efecto del Contenido de Finos (FC) en el $(N1)_{60}$, según Youd et al. (2001) y en el $N_{1,60}$ según Cetin et al. (2004).	101
Figura 4- 12: Efecto del contenido de finos (FC) en el $CRR_{7,5}$ según Youd et al. (2001) y según Cetin et al. (2004).	103
Figura 4- 13: Proporción de finos, susceptible de licuar y que licuan para un sismo de $a_{max}=0.4g$	109
Figura 4- 14: Proporción del fuste que licua, según Youd et al., 2001 (%FL_FS) y Cetin et al., 2004 (%FL_PL).	110
Figura 4- 15: Área de influencia bajo la punta del pilote que licua, según Youd et al., 2001 (%APL_FS) y Cetin et al., 2004 (%APL_PL).	111
Figura 4- 16: Proporción del fuste que licua, según Youd et al., 2001 (%FL_FS (FC<5%)) y Cetin et al., 2004 (%FL_PL (FC<5%)), para un contenido de finos menor al 5%.....	116
Figura 4- 17: Área de influencia bajo la punta del pilote que licua, según Youd et al., 2001 (%APL_FS (FC<5%)) y Cetin et al., 2004 (%APL_PL (FC<5%)), para un contenido de finos menor al 5%.	117

Figura 4- 18: Proporción del fuste que licua, según Youd et al., 2001 (%FL_FS (FC>35%)) y Cetin et al., 2004 (%FL_PL (FC>35%)), para un contenido de finos mayor al 35%.....	120
Figura 5- 1: Geometría del Talud.....	124
Figura 5- 2: Rangos de $D_{50,15}$ vs F_{15} , para los cuales es aplicable Youd et al. 2002	126
Figura 5- 3: Deformación volumétrica en función del $(N_1)_{60}$ y el CSR, según Tokimatsu and Seed (1987)	132
Figura 5- 4: Deformación volumétrica en función de la D_r , el N_1 o el qc_1 y el FS_L , según Ishihara y Yoshimine (1992).....	134
Figura 5- 5: Deformación volumétrica residual máxima en función del N_a y el CSR, para arenas limpias, según Shamoto et al. (1998).....	136
Figura 5- 6: Deformación volumétrica residual máxima, para arenas con 10% y 20% de contenido de finos, según Shamoto et al. (1998)	138
Figura 5- 7: Deformación volumétrica en función del $(N_1)_{60,cs}$ y el CSR, según Wu and Seed (2006).	139
Figura 5- 8: Asentamientos estimados con WS_{liq} versus asentamientos medidos post-terremoto del 27 Febrero 2010. Tramo Sur, Juan Pablo II.....	146
Figura 5- 9: Asentamientos estimados con WS_{liq} versus asentamientos medidos post-terremoto del 27 Febrero 2010. Tramo Central, Juan Pablo II.	147
Figura 5- 10: Asentamientos estimados con WS_{liq} versus asentamientos medidos post-terremoto del 27 Febrero 2010. Tramo Norte, Juan Pablo II.	148
Figura 5- 11: Asentamientos estimados con WS_{liq} . Llacolén. Contenido de finos <5%. .	156

Figura 5- 12: Asentamientos estimados con WSliq. Llacolén. Contenido de finos >35%. 157	157
Figura A.1- 1: Dimensiones del muestreador.	174
Figura A.1- 2: Penetración del muestreador durante la ejecución del ensayo SPT.	175
Figura A.2- 1: Fricción negativa	178
Figura A.3-1: Pilote sometido a carga lateral	179
Figura B.3.1- 1: Vista de la diferencia de cotas, entre las exploraciones realizadas por IDIEM (2012) e INGEXA (2010).....	285
Figura C.1.1-1: Perfil N_{SPT} medido en campo del Puente Llacolén.....	304

RESUMEN

La licuefacción es la drástica disminución de la resistencia al corte y la rigidez de arenas y gravas finas, sueltas y saturadas, causada por un incremento excesivo de las presiones de poros inducidas por cargas cíclicas. Los pilotes en suelos potencialmente licuables pueden sufrir una pérdida sustancial de resistencia y rigidez, tanto axial como lateralmente, y un aumento importante en los momentos flectores, producto del incremento de los desplazamientos laterales y fricción negativa.

Para este trabajo se seleccionaron dos puentes fundados en pilotes donde se observaron daños importantes por licuefacción durante el Terremoto del Maule (2010): Juan Pablo II y Llacolén. El propósito fue evaluar si era posible anticipar, mediante el uso de procedimientos actuales y la información geotécnica disponible, la ocurrencia de licuefacción en las fundaciones, el efecto de tal fenómeno en los pilotes, y comparar estos efectos con los daños efectivamente observados en el terremoto.

La revisión bibliográfica mostró que el estado del arte actual del diseño de pilotes en suelos potencialmente licuables, no tiene una tendencia clara en torno a las recomendaciones para el diseño de pilotes en estos suelos.

La evaluación del potencial de licuefacción evidenció que sí era posible anticipar la ocurrencia de ésta en ambos puentes, de acuerdo al estado del arte actual. También, los análisis mostraron que pilotes de mayor longitud podrían haber evitado los daños observados en estos puentes; sin embargo, para el momento del diseño de los pilotes, el conocimiento sobre este tipo de fenómenos era bastante limitado.

Es posible diseñar fundaciones de comportamiento satisfactorio ante licuefacción, y el despremiar el aporte de los estratos potencialmente licuables, nos permite obtener una estimación conservadora de la longitud de empotramiento de los pilotes.

Palabras Claves: licuefacción, pilotes, puentes, fundaciones en suelos licuables.

ABSTRACT

Liquefaction is the drastic loss of shear strength and stiffness of loose and saturated sands and fine gravels, caused by an excessive increase in pore pressure induced by cyclic loading. Piles crossing liquefiable layers may experience a substantial loss of resistance and stiffness, both vertically and laterally, and an important increase in the internal forces, induced by larger lateral displacements and negative friction.

For this investigation, two pile-supported bridges, in which important liquefaction-induced damages were observed after the Maule earthquake (2010), were selected: Juan Pablo II y Llacolén. The purpose was to assess if liquefaction occurrence could be predicted using current procedures and available geotechnical information, and also to evaluate the effects of this phenomenon using published procedures, and to compare these results against the actual damage observed after the earthquake.

The literature review showed that the state-of-the-art for the design of piles in potentially liquefiable soils does not have clear and unique recommendations for the design in these soils.

The evaluation of the liquefaction potential showed that it was possible to anticipate its occurrence in both bridges. Also, the analysis revealed that longer piles could have prevented the damage observed in these bridges. However, one must consider that by the time the piles were designed, knowledge of this phenomenon was quite limited.

The design of satisfactory-performance foundations on liquefiable soils is possible, and neglecting the contribution of potentially liquefiable layers gives conservative estimates of the piles embedment length.

Keywords: liquefaction, piles, bridges, foundations in liquefiable soils.

1. INTRODUCCION

Se entiende por licuefacción, a la drástica disminución de resistencia al corte y rigidez de las arenas y gravas finas, sueltas y saturadas, producto de un incremento excesivo de las presiones de poros, como consecuencia del reacomodo de las partículas inducido por cargas cíclicas. De forma similar, los suelos de grano fino pueden mostrar una pérdida de resistencia de forma significativa, producto del incremento de la presión de poros, pero su tendencia a dilatar los llevan a la condición de movilidad cíclica con deformación limitada (Bray & Sancio, 2006). Para efectos prácticos del diseño de pilotes en suelos potencialmente licuables (arenas y suelos de grano fino), el pilote sufre una pérdida sustancial de resistencia y rigidez, tanto axial como lateralmente. Además, axialmente se puede presentar el efecto de fricción negativa (*downdrag*) y lateralmente, producto del incremento de los desplazamientos laterales, se puede presentar un aumento importante en los momentos actuantes sobre el pilote. (Ver Figura 1-1).

Una de las causas importantes de los daños observados en estructuras de puentes después de un terremoto es la licuefacción (Boulanger et al., 2003). Por ello, a partir de fines de los años ´60 se ha desarrollado una amplia investigación para entender este fenómeno, especialmente en cómo anticipar su ocurrencia (Seed et al., 2001). Una vez que se sabe que un terreno de fundación es potencialmente licuable, se debe evaluar el efecto de tal fenómeno, por ejemplo, en el diseño de fundaciones.

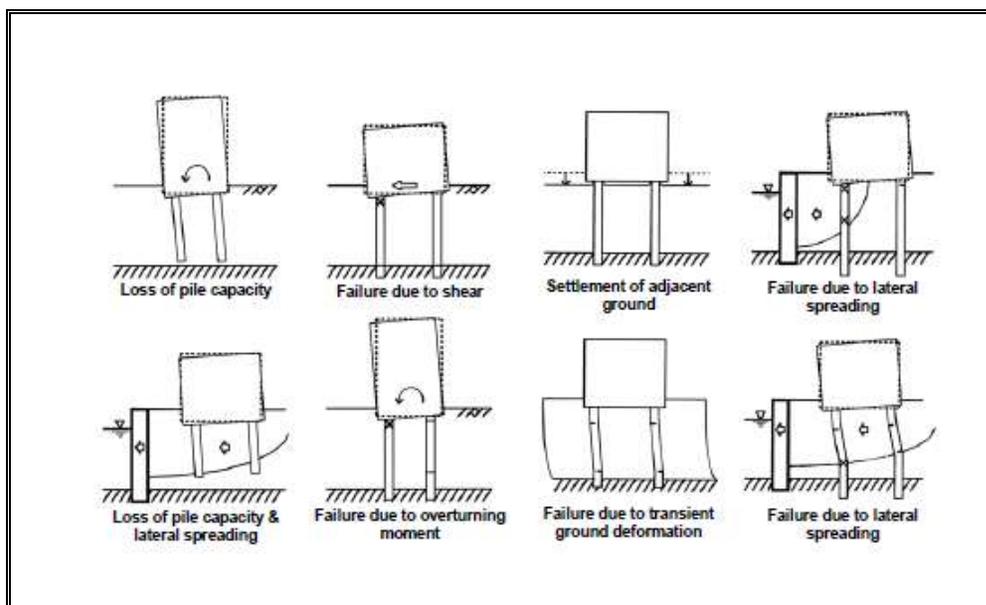


Figura 1- 1: Mecanismos de falla de pilotes fundados en terrenos licuables.

Fuente:

Figure 1-1: Schematics of pile damage mechanisms in liquefied ground. Boulanger et al. (2003).

Este trabajo de investigación se inicia con una revisión bibliográfica de las principales normas y códigos de diseño, así como también de los artículos técnicos y científicos respectivos, con el objeto de establecer cuál es el estado del arte en el diseño de pilotes en suelos potencialmente licuables.

La licuefacción inducida por el terremoto del Maule (2010) y las deformaciones del terreno asociadas a este fenómeno, causaron daños de diversas características a las carreteras y puentes que formaban parte del sistema de vialidad chileno al momento del terremoto (Arduino, 2010). En esta investigación se seleccionarán puentes en los cuales se observaron daños producto de licuefacción y se evaluará: (i) si era posible anticipar la

ocurrencia de licuefacción del terreno de fundación con la información geotécnica disponible y (ii) el efecto de la licuefacción en los pilotes.

Es de particular interés identificar zonas donde si bien ocurrió o se esperaba la ocurrencia de licuefacción, no se presentaron daños mayores asociados a este fenómeno ni en los pilotes, ni en el puente.

1.1 Hipótesis

- Es posible anticipar la ocurrencia de licuefacción.
- Es posible evaluar correctamente si los daños observados fueron producto de la licuefacción.
- Es posible diseñar y construir sistemas de fundación con comportamiento satisfactorio frente a licuefacción.
- Los estratos potencialmente licuables aportan cierta resistencia al conjunto suelo-estructura.

1.2 Objetivos

- Evaluar la capacidad de métodos actuales de anticipar la ocurrencia de licuefacción.
- Evaluación de los efectos de licuefacción.
- Comparación del potencial de licuefacción y sus efectos con los daños observados en el terremoto 2010.

2. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se presenta una revisión bibliográfica de la normativa existente y de los artículos técnicos y científicos, con el objeto de:

- a) Identificar los principales códigos relacionados con el efecto de la licuefacción en el diseño de pilotes.
- b) Conocer:
 - i) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?
 - ii) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?
 - iii) ¿Existen recomendaciones para reducir la capacidad de los pilotes o la rigidez del suelo, en función del riesgo de licuefacción? (fuste, punta y lateral)
- c) Evaluar la práctica Chilena para el diseño de pilotes en suelos licuables.

2.1 Normas Técnicas.

2.1.1 Manual de Carreteras, Volumen No. 3. Chile (2002)

El Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad, del Ministerio de Obras Públicas de Chile, es un documento normativo para los proyectos viales, el cual debe ser utilizado tanto por los proyectistas como por constructores y por cualquier entidad que desarrolle trabajos para la Dirección de Vialidad.

a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

En la sección 3.602.406(2), el Manual de Carreteras (MOP-DV, 2002) propone analizar el problema de licuación, a partir del índice de penetración normal (ver Anexo A.1), con el mismo enfoque que utiliza para estimar el asentamiento sísmico de un terraplén fundado sobre una arena suelta.

El enfoque propuesto en el Manual se resume a continuación:

- El índice de penetración medido (N), debe ser corregido cuando la medición se haya hecho bajo el nivel freático (N_w), en arenas muy finas o limosas con $D_{10}^1 < 0.074$ mm, según alguna de las siguientes expresiones:

$$N_w = 0.6 * N \quad (1)$$

$$N_w = 15 + 0.5 * (N - 15) \quad (2)$$

$$[N] = [N_w] = \text{golpes/pie}$$

- La penetración crítica (N_{cr}), para una aceleración $a=0.2g$, se estima con las siguientes expresiones:

$$N_{cr} = 10.4 + 1.22 * z \quad (3)$$

para $h_a=0$

$$N_{cr} = 4.5 + 1.24 * z \quad (4)$$

para $z < h_a$

$$[z]=m; [h_a]=m \text{ y } [N_{cr}]=\text{golpes/pie}$$

Siendo h_a , la profundidad del nivel freático, medida desde la cota del terreno (Ver Figura 2-1).

¹ D_{10} : Diámetro de la partícula de suelo para el cual el 10 % del porcentaje en peso del material total, es de diámetro inferior.

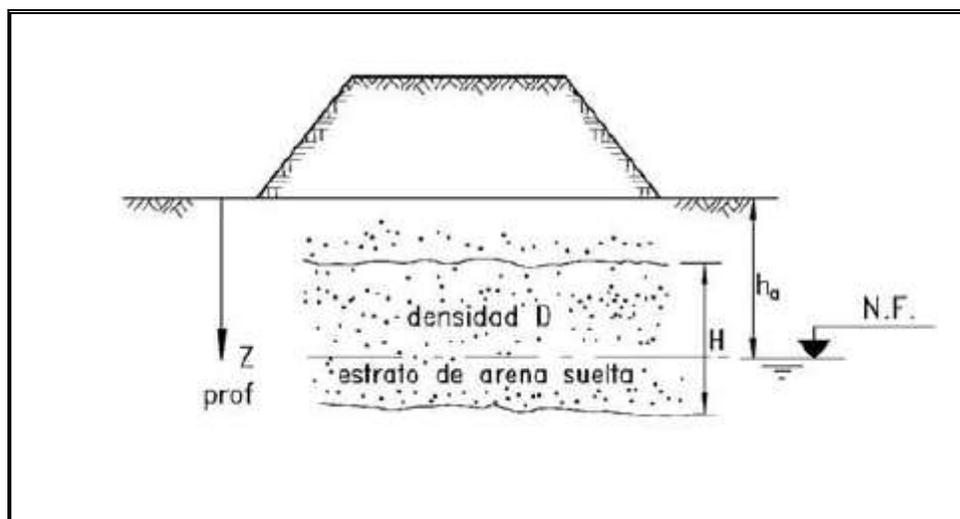


Figura 2- 1: Esquema de terraplén sobre arena suelta.

Fuente:

Figura 3.602.406 A-b: Terraplén sobre arena suelta. MOP-DV (2002).

- Una vez obtenidos los valores de N_w y N_{cr} :
 - “Si $N_w > N_{cr}$, en todo punto bajo el suelo de fundación, se podrá descartar el peligro de licuación...” (MOP-DV, 2002).
 - “Si $N_w < N_{cr}$, en alguna zona bajo el suelo, será necesario un estudio espacial que considere el valor de h_a , la graduación de la arena, su plasticidad y otros factores.” (MOP-DV, 2002).

Es importante notar que la definición de suelo susceptible de licuarse está limitada para eventos sísmicos con una aceleración de 0.2g, y no permite evaluar el potencial de licuefacción para otras aceleraciones sísmicas.

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

En la sección 3.1003 (Disposiciones y Recomendaciones de diseño), el Manual de Carreteras (MOP-DV, 2002), indica que: “Los puentes en Chile se diseñarán ciñéndose a las disposiciones de la norma AASHTO “Standard Specifications for Highway Bridges” 16th edition, 1996 y sus modificaciones posteriores...”. El alcance de esta sección (3.1003) y la siguiente (3.1004), se limita a puentes y viaducto, con tramos con luces libres no mayores de 70 m (estructuras menores y medianas).

La recomendación para el diseño de las fundaciones en suelos licuables es no incluir el espesor de “suelo susceptible de licuarse durante un evento sísmico”, dentro del espesor de suelo competente.

2.1.2 Norma para puentes de carreteras. AASHTO (1996).

a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

No especifica cómo se puede evaluar el riesgo de licuefacción.

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

En el Apartado 4.2.3 (*Rock and Other Problem Conditions*), AAHSTO (1996) clasifica la licuefacción como una condición que requiere consideraciones especiales durante el diseño.

En el Apartado 4.5.6.8 (*Dynamic/Seismic Design*), AAHSTO (1996) refiere al Capítulo I-A (*Seismic Design*). En el Apartado 7.4.2 (B) (*Foundation Design*), del

Capítulo I-A, AAHSTO (1996) indica que comentarios generales sobre el diseño de la cimentación en ambientes susceptibles a la licuefacción se proporcionan en el comentario de la Norma. Sin embargo al revisar el Comentario no se encontró recomendación alguna para el diseño de pilotes en suelos susceptibles de licuefacción.

2.1.3 Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias. España (2005).

Con el objeto de normalizar técnicamente todos los aspectos que afectan a la seguridad y la operatividad de las infraestructuras portuarias, en 1987, el entonces Ministerio de Obras públicas y Urbanismo de España a través de la Dirección General de puerto y costas, creo el programa ROM: Recomendaciones de obras marítimas. Hoy en día el programa ROM, constituye un “...marco permanente de normalización técnica en el ámbito de la ingeniería marítimo-portuaria...”. (Ministerio de Fomento, 2005).

Específicamente, la “ROM 0.5-05. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias” reúne los criterios necesarios para la realización de los trabajos de investigación geotécnica, necesarios para cada una de las estructuras más habituales de la infraestructura portuaria.

Dada la relativa similitud de las condiciones geotécnicas de la infraestructura portuaria y los puentes, se evaluaron las recomendaciones de este documento.

a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

Para evaluar el riesgo de licuefacción, la “ROM 0.5-05” (Ministerio de Fomento, 2005), indica que debe realizarse un reconocimiento geotécnico detallado que permita determinar los siguientes parámetros, de forma precisa:

- “Densidad seca, humedad y peso específico de las partículas del suelo”.
- “Granulometría y, si hubiese componente arcillosa, plasticidad de la fracción fina del suelo”.
- “Índice N del ensayo SPT². Alternativamente se pueden realizar ensayos de penetración continua CPTU. En todo caso los ensayos SPT no deben omitirse.” (Ministerio de Fomento, 2005).

Si el reconocimiento geotécnico lograra disponer de ensayos geofísicos (*cross-hole* o similar) que permitan conocer la velocidad de propagación de ondas de corte (v_s), a cada profundidad, la calidad del estudio mejorará.

Con base en los resultados del reconocimiento geotécnico se debe determinar $(N_1)_{60}$, que es el valor medido del índice N del SPT, después de corregirlo por el efecto de: la sobrecarga y de la energía del ensayo. Para cada valor del $(N_1)_{60}$, se obtiene la resistencia a la licuefacción o parámetro CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), de forma empírica, con base en los datos reportados en la Tabla 2-1, los cuales están expresados en función del contenido de finos. (La información resumida en

² SPT, es la abreviación en inglés de “*Standard Penetration Test*” que se traduce como ensayo de penetración estándar, término con el cual en ingeniería comúnmente se refieren al método descrito por la norma ASTM D1586-99: *Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils*. (Ver Anexo A.1)

la Tabla 1.1 esta reportada de forma gráfica en la Figura 3.10.7 del “ROM 0.5-05” (Ministerio de Fomento, 2005))

Los valores de CRR son únicamente para terremotos de magnitud $M_w = 7,5$. Para terremotos de distinta magnitud, se deben multiplicar los valores de CRR por los factores reportados en la Tabla 3.10.3 (Factor corrector del parámetro CRR en función de la magnitud del sismo) del “ROM 0.5-05” (Ministerio de Fomento, 2005).

Tabla 2- 1: Valores del parámetro CRR.

$(\bar{N})_{60}$	Porcentaje de finos		
	$\leq 5\%$	15%	30%
5	0,06	0,10	0,13
10	0,11	0,16	0,18
15	0,16	0,23	0,26
20	0,22	0,29	0,40
25	0,29	>0,4	>0,5
30	>0,4		

Nota: $(\bar{N})_{60} = (N_1)_{60} = [\text{golpes} / \text{ft}]$

Fuente:
Tabla 3.10.2 Valores del parámetro CRR. Ministerio de Fomento (2005).

La “ROM 0.5-05”, no toma en cuenta suelos cuyo contenido de finos (FC) sea superior al 30%, para el cálculo del CRR.

Para validar si existe o no riesgo de licuefacción, este valor de la resistencia adimensional, CRR, obtenido en función del $(N_1)_{60}$, el porcentaje de finos y la

magnitud del terremoto, se debe comparar con la Solicitación Sísmica o parámetro CSR (Cyclic Stress ratio o tensión de corte cíclica), el cual se obtiene para cada profundidad a la cual se midió el índice N del SPT en función de la ecuación (5):

$$CSR = 0.65 * \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * \left(\frac{a_{max}}{g} \right) * rd \quad (5)$$

donde:

σ_{vo} : Tensión vertical total, antes del terremoto.

σ'_{vo} : Tensión vertical efectiva, antes del terremoto

a_{max} : Valor de cálculo de la aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno; de acuerdo a lo previsto en la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02).

g: aceleración de gravedad.

rd: factor de reducción, que depende de la profundidad (z). es siempre menor que la unidad y mide la reducción de la a_{max} con la profundidad; de forma aproximada se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$rd = 1 - 0.001 * z^2 < 1 \quad (6)$$

z: profundidad del punto cuya licuefacción se investiga [m]

De la comparación de la resistencia CRR y la sollicitación CSR, se obtiene el coeficiente de seguridad frente a licuefacción, F:

$$F = \frac{CRR}{CSR} \quad (7)$$

Si este coeficiente es cercano a uno ($0,9 < F < 1,1$), el riesgo de licuefacción es alto.

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

De forma general, cuando se considera la acción sísmica, “ROM 0.5-05” (Ministerio de Fomento, 2005) indica que los parámetros de resistencia y de deformación del suelos que se deben utilizar para los cálculos deben ser los correspondientes al caso no-drenado para los suelos situados bajo el nivel freático, y además se debe considerar la degradación de los parámetros de resistencia del suelo, debido a la actuación de cargas dinámicas. Sin embargo, no plantea cómo se puede estimar esta degradación de los parámetros.

Adicionalmente, “ROM 0.5-05” (Ministerio de Fomento, 2005) indica que: “Cuando el coeficiente de seguridad a la licuefacción no sea aceptable ha de procederse a cambiar la tipología de la solución o, en casos muy específicos, a proceder a un tratamiento o sustitución del terreno, o a la colocación de drenes para facilitar la disipación de las presiones intersticiales generadas”.

2.1.4 Normas técnicas para instalaciones portuarias. Japón (2002).³

El hoy Ministerio del Transporte de Japón, como responsable del desarrollo y la operación Portuaria de Japón (una isla con grandes extensiones de costas y que a través de su historia ha dependido de la actividad comercial de los puertos como sustento económico) desarrolló estas normas técnicas para el diseño, construcción y mantenimiento de los puertos y las instalaciones portuarias.

³ Technical standards and commentaries for port and harbor facilities in Japan

a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

La evaluación del Potencial de Licuefacción debe realizarse si el suelo de fundación está compuesto por arenas sueltas saturadas. Esta evaluación puede realizarse a través de dos tipos de métodos:

i) Método que contempla el uso de la granulometría de las arenas y el resultado del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}).

i.1. Evaluación de la granulometría de las arenas: para evaluar el potencial de licuefacción en función de la granulometría de las arenas se debe obtener el coeficiente de uniformidad (U_c),

$$U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (8)$$

donde:

D60: Diámetro correspondiente al 60 % pasante.

D10: Diámetro correspondiente al 10 % pasante.

Con el coeficiente de uniformidad se selecciona la gráfica de Rango de potencialidad de licuefacción (Ver Figuras 2-2 y 2-3) correspondiente. Si la curva granulométrica, del suelo en estudio, cae dentro del rango “posibilidad de licuefacción”, es necesario una evaluación más detallada del potencial de licuefacción, como se describe a continuación en la sección i.2.

De forma general, suelos granulares con una alta proporción de finos, deben evaluarse a través de ensayos triaxiales cíclicos. Suelos granulares

con una alta proporción de gravas, se definen como no licuables cuando el coeficiente de permeabilidad (k) es mayor a 3cm/s. Aunque sobre el suelo potencialmente licuable se encuentre una capa de suelo de baja permeabilidad (arcilla o limo), el suelo debe tratarse o tomar las previsiones de diseño correspondientes, por ser potencialmente licuable.

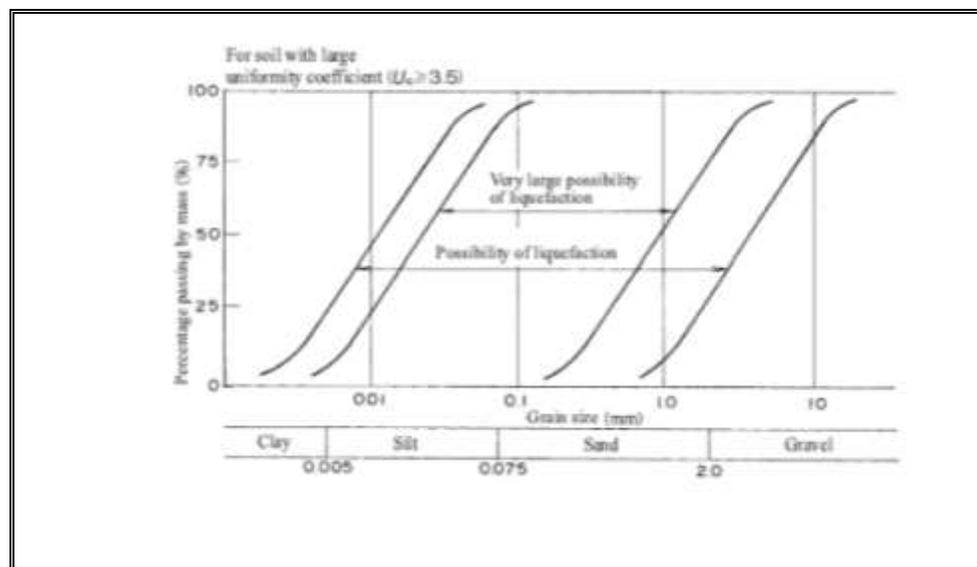


Figura 2- 2: Rango de potencialidad de licuefacción para $U_c \geq 3.5$.

Fuente:
Figure T.13.2.1(a): Range of Possible Liquefaction ($U_c \geq 3.5$). Goda, Y (2002).

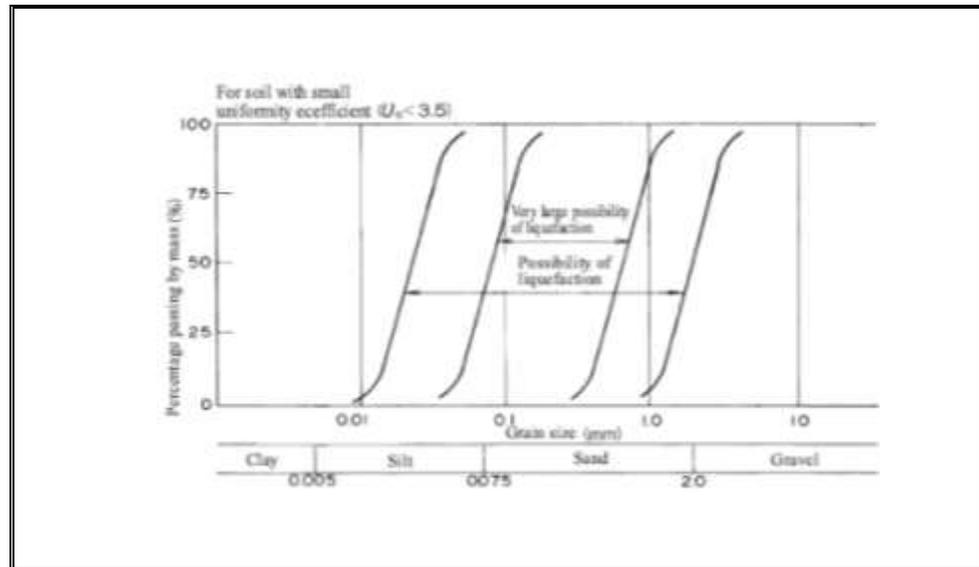


Figura 2- 3: Rango de potencialidad de licuefacción para $U_c < 3.5$.

Fuente:

Figure T-13.2.1(b): Range of Possible Liquefaction ($U_c < 3.5$). Goda, Y (2002).

i.2. Evaluación del potencial de licuefacción con el N_{SPT} equivalente y la aceleración equivalente. Suelos granulares cuyas curvas granulométricas clasifiquen como potencialmente licuables, según lo descrito en la sección anterior (i.1), debe evaluarse como se describe a continuación:

- ✓ Estimar el valor del N_{SPT} (Anexo A.1) equivalente ($(N)_{65}$):

$$(N)_{65} = \left(\frac{N - (0.019 * (\sigma'_v - 65))}{(0.0041 * (\sigma'_v - 65)) + 1} \right) \quad (9)$$

donde:

$(N)_{65}$: valor del N_{SPT} equivalente. Valor de N corregido para un esfuerzo efectivo de 65 kN/m². [golpes/pie]

N: valor del N_{SPT} . [golpes/pie]

σ'_v : esfuerzo efectivo del suelo [kN/m²]

- ✓ Estimar la aceleración equivalente:

$$\alpha_{eq} = 0.7 * \left(\frac{\tau_{max}}{\sigma'_v} \right) * g \quad (10)$$

donde:

α_{eq} : Aceleración equivalente [Gal o cm/s²]

τ_{max} : Máximo esfuerzo de corte [kN/m²]. Éste se determina a partir de un análisis de respuesta sísmica.

σ'_v : Esfuerzo efectivo [kN/m²]. Este debe ser calculado en base a la elevación del terreno para el momento del sismo.

g: aceleración de gravedad [980 cm/s²]

- ✓ Una vez obtenidos los valores del N_{SPT} equivalente ($(N)_{65}$) y la aceleración equivalente (α_{eq}), debe obtenerse el tipo de suelo, en

función de la Figura 2-4. La descripción del tipo de suelo, se presenta en la Tabla 2-2, junto con las acciones consecuentes producto del potencial de licuefacción establecido, para cada tipo de suelo.

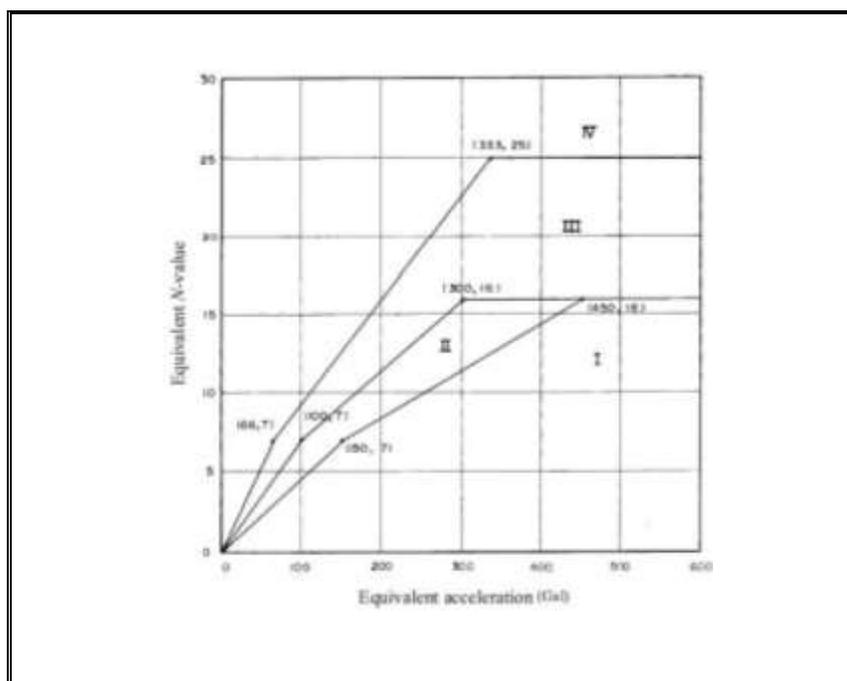


Figura 2- 4: Tipo de suelo en función del N_{SPT} equivalente y la aceleración equivalente.

Fuente:

Figure T-13.2.2: Classification of Soil Layer with Equivalent N -Value and Equivalent Acceleration. Goda, Y. (2002).

Tabla 2- 2: Potencial de licuefacción y acciones consecuentes.

Table T- 13.2.1 Predictions and Judgments of Liquefaction for Soil Layer According to Ranges I to IV

Range shown in Fig. T- 13.2.1	Prediction of liquefaction	Judgment of liquefaction
I	Possibility of liquefaction occurrence is very high	Liquefaction will occur
II	Possibility of liquefaction occurrence is high	Either to judge that liquefaction will occur or to conduct further evaluation based on cyclic triaxial tests.
III	Possibility of liquefaction is low	Either to judge that liquefaction will not occur or to conduct further evaluation based on cyclic triaxial tests. For a very important structure, either to judge that liquefaction will occur or to conduct further evaluation based upon cyclic triaxial tests.
IV	Possibility of liquefaction is very low	Liquefaction will not occur

Fuente:

Table 13.2.1. Predictions and judgments of liquefaction for soil Layer According to Ranges I to IV. Goda ,Y. (2002). La Figura T-13.2.2 del Goda (2002) en este texto corresponde a la Figura 2-4.

i.3. Corrección del valor del N_{SPT} y evaluación del potencial de licuefacción de suelos con un alto contenido de finos. Cuando el contenido de finos (granos de $75\mu\text{m}$ o menos) es del orden del 5% o mayor, el valor del N_{SPT} equivalente, debe ser corregido antes de utilizar la Figura 2-4. La corrección del N_{SPT} puede subdividirse en tres casos:

- ✓ Caso 1. Índice de plasticidad menor a 10 o no puede ser determinado. O cuando el contenido de finos (granos de $75\mu\text{m}$ o menos) es menor al 15%.

$$(N)_{65}^* = \left(\frac{(N)_{65}}{C_N} \right) \quad (11)$$

donde:

N_{65}^* : valor del N_{SPT} equivalente, después de la corrección por el contenido de finos. [golpes/pie]

$(N)_{65}$: valor del N_{SPT} equivalente. Valor de N corregido para un esfuerzo efectivo del 65 kN/m^2 . (Ver la ecuación (9))

C_N : Corrección del N_{SPT} equivalente por el contenido de finos. (Ver Figura 2-5)

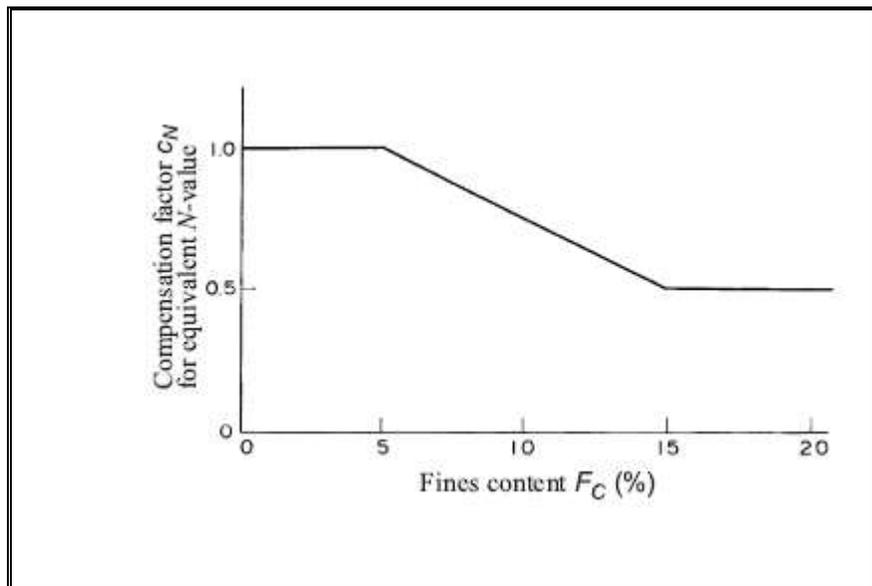


Figura 2- 5: Corrección del N_{SPT} equivalente por el contenido de finos.

Fuente:

Figure T-13.2.3: Compensation Factor of Equivalent N-Value Corresponding to Fine Contents. Goda, Y. (2002).

- ✓ Caso 2. Índice de Plasticidad mayor a 10 y menor a 20. Y el contenido de finos (granos de 75µm o menos) mayor o igual al 15%. El valor de N equivalente es producto de una combinación dos valores de N:

$$(N)_{65}^{**} = \left(\frac{(N)_{65}}{0.5} \right) \quad (12)$$

$$N + \Delta N \quad (13)$$

donde:

N: valor del N_{SPT} [golpes/pie]

$$\Delta N = 8 + 0.4 * (Ip - 10) \quad (14)$$

donde:

Ip: Índice de Plasticidad [%].

Una vez obtenidos los valores de $(N)_{65}^{**}$ y de $N + \Delta N$, se obtiene el tipo de suelo, en función de los establecido en la Tabla 2-3.

Tabla 2- 3: Clasificación del tipo del suelo para el Caso 2.

$N + \Delta N^{(a)}$	$(N)_{65}^{**} = (N)_{65} / 0.5^{(a)}$	Tipo de suelo ^(b)
Rango I	N/A	I
Rango II	N/A	II
Rango III o IV	I, II o III	III
Rango III o IV	IV	IV

(a) Para obtener el rango entrar con el valor de N en la Figura 2-4.

(b) Ver descripción del Tipo de suelo en la Tabla 2-2

- ✓ Caso 3. Índice de Plasticidad mayor o igual a 20. Y el contenido de finos (granos de $75\mu\text{m}$ o menos) mayor o igual al 15%.

El valor de N-equivalente (después de la corrección) se obtiene de la ecuaciones (13) y (14) de $N+\Delta N$. El tipo de suelo o rango debe ser determinado con este valor de N-equivalente (después de la corrección) y la aceleración equivalente, de acuerdo a lo establecido en la Figura 2-4 y la Tabla 2-2.

- ii) Método que contempla el uso de los ensayos triaxiales cíclicos.

Cuando la evaluación del potencial de licuefacción con el método basado en la granulometría y los valores del N_{SPT} es difícil, debe hacerse una evaluación del potencial de licuefacción con los resultados de un análisis de la respuesta sísmica y ensayos triaxiales cíclicos realizados sobre muestras “inalteradas”.

Se entiende como “difícil” cuando el suelo tiene un alta proporción de finos, o cuando parte de la curva granulométrica queda fuera del área delimitada en las Figuras 2-2 y 2-3, o en los casos indicados en la Tabla 2-2, o cuando no se disponen de ensayos de caracterización.

Esta norma si bien propone realizar ensayos sobre muestras “inalteradas”, no hace recomendación sobre los métodos para la toma de muestras de suelos arenosos de forma “inalterada”.

Es sabido que la toma de muestras “inalteradas” en suelos arenosos es prácticamente imposible. Al hincar un muestreador de pared delgada en un

estrato arenoso, dependerá de la consistencia de la arena poder sacar la muestra fuera de la perforación sin perderla, producto de la gravedad y la presión hidrostática. En las arenas potencialmente licuables, de densidad suelta a media, que se encuentran bajo el nivel freático, es muy difícil lograr llevar a la superficie una muestra de arena “inalterada” sin perderla por la gravedad y el peso de la columna de agua.

Si bien existe la opción de pre-congelar el suelo, para obtener muestras de arenas sueltas imperturbadas (Tani y Yasunaka, 1988), aun hoy en día es una opción cara y compleja, por la logística que requiere. Y en suelos limosos, dadas sus condiciones de permeabilidad, es posible que no se logren muestras completamente imperturbadas, producto de la expansión del hielo entre las partículas (Cetin et al., 2004).

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

De forma general, para terrenos potencialmente licuables, esta norma sugiere reducir el peso de las estructuras o mejorar el terreno de fundación y presenta de forma detallada los métodos de mejoramiento de suelos y los controles que se deben tener para su aplicación.

Específicamente para pilotes en torno a materiales licuables:

- i. Por capacidad de carga axial: recomienda utilizar un factor de seguridad para la resistencia a la fricción superior al factor de seguridad para la

resistencia de punta; por considerar que la resistencia a la fricción es la más afectada por la licuefacción.

- ii. Capacidad de carga a tracción: No es muy clara en este caso, solo indica que debe tenerse en cuenta el riesgo de licuefacción, pero no especifica cómo.

2.1.5 Recomendaciones prácticas para la planificación, diseño y construcción, de plataformas de trabajo costa afuera fijas. API (2007).⁴

Este documento del *American Petroleum Institute* (API), compila las recomendaciones de la práctica para el diseño y construcción de plataformas costa afuera (off-shore). Asume que los pilotes serán de acero tubulares, de punta abierta, de diámetro uniforme y serán instalados hincados (*American Petroleum Institute*, 2007, C.6.4.3 a)

- a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

El efecto de las cargas de tipo cíclico, es una función de los efectos combinados de las magnitudes, ciclos y la tasa de aplicación de las cargas a los pilotes, las características estructurales del pilote, el tipo de suelo y del factor de seguridad utilizado en el diseño de los pilotes. De estos elementos uno de los más importantes es el tipo de suelo, pues es capaz de amplificar o mitigar, localmente el efecto de la carga sísmica.

⁴ *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing fixed Offshore Platforms-Working Stress Design. API Recommended practice 2A-WSD (API RP 2A-WSD).*

Esta norma no define un método para evaluar el potencial de licuefacción del terreno de fundación. Solo describe que para el análisis del efecto de las cargas cíclicas, es necesaria una buena caracterización del suelo a través de: ensayos in-situ, ensayos de laboratorio en muestras de suelo representativas y pruebas de carga en pilotes prototipos.

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

Para arenas muy sueltas a sueltas ($D_r = 0$ a 35%), arenas limosas sueltas ($D_r = 15$ -35%) y limos medianamente denso a densos ($D_r = 35$ a 85%), el *American Petroleum Institute* (2007) recomienda usar métodos basados en ensayos CPT para el cálculo de la capacidad de carga de los pilotes.

Para cargas laterales, el *American Petroleum Institute* (2007), utiliza curvas p-y (resistencia lateral-desplazamiento) que han sido desarrolladas experimentalmente de pruebas de cargas en campo. El método API reconoce la degradación de la resistencia lateral por cargas cíclicas (ver sección 6.8.7 de la Norma API RP2A), pero esta degradación no refleja el efecto del incremento de las presiones de poros.

2.1.6 Especificaciones de diseño para puentes, LRFD. AASHTO (2007).⁵

Esta norma tiene por objeto, establecer los requisitos mínimos para el diseño, evaluación y rehabilitación de puentes carreteros, para garantizar la seguridad pública.

⁵ LRFD Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Establece que los puentes tiene una luz mayor a 6.1 m

a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

La norma presenta una revisión de la metodología de Seed (1979)⁶, en la cual se presentan dos propuestas para evaluar el potencial de licuefacción cíclico, en depósitos de arena saturados, sujetos terremotos:

- ✓ El método empírico, basado en observaciones de campo en depósitos de arenas en terremotos previos, comparados con sitios donde no se ha producido licuefacción, y en la densidad relativa obtenida a través del N_{SPT} (Anexo A.1).
- ✓ El método analítico, basado en la determinación en el laboratorio de resistencia a la licuefacción con muestras “imperturbadas” y el uso de análisis de respuestas dinámicas del sitio para determinar la magnitud del terremoto que producirá estos esfuerzos de corte.

Ambos métodos:

- Requieren del nivel de aceleración del terreno in situ, como un prerrequisito para la evaluación del potencial de licuefacción. Éste comúnmente se establece de relaciones entre la magnitud del terremoto, la distancia al epicentro y la aceleración *peak* o máxima.
- Evalúan la demanda sísmica del suelo, expresada en términos de CSR (*cyclic stress ratio*), con la ecuación (15) de Seed and Idriss (1971)⁷. Solo

⁶ Seed, H. B. (1979). Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground during Earthquakes. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 105 (2), 201-255.

difieren en la forma de evaluar la capacidad del suelo de resistir la licuación, CRR. (*cyclic resistance ratio*).

$$CSR = \left[\frac{(th)_{av}}{\sigma'_{o}} \right] = 0.65 * rd * \left(\frac{a_{max}}{g} \right) * \left(\frac{\sigma_{o}}{\sigma'_{o}} \right) \quad (15)$$

donde:

a_{max} : aceleración máxima efectiva del suelo en la superficie del terreno.

σ_{o} : esfuerzo vertical total, en el estrato de arena

σ'_{o} : Tensión vertical efectiva, antes del terremoto

rd : factor de reducción del esfuerzo, el cual varía de 1 a nivel de la superficie del terreno, hasta 0,9 a una profundidad de 9 m.

El Método empírico presentado por esta norma es un breve resumen del procedimiento simplificado presentado por Seed et al. (1975).

El Método analítico está basado en la comparación de la resistencia de campo establecida a través de ensayos cíclicos de laboratorio en muestras imperturbadas y los esfuerzos de corte inducidos por el sismo. Este método requiere considerablemente del juicio del ingeniero, dados todos los factores que deben tenerse en cuenta para aplicar este método: simulación correcta de los esfuerzos cíclicos, la perturbación de las muestras (es casi imposible obtener muestras imperturbadas), los efectos de envejecimiento, la historia de esfuerzos cíclicos de campo y la magnitud de los esfuerzos laterales in-situ.

⁷ Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 97(9), 1249-1273.

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

- En la filosofía de diseño de “Riesgos calculado”, para puentes en aéreas susceptibles de licuefacción, en puentes donde es menos importante la función de comunicación inmediatamente después del terremoto, no se justifica económicamente que el diseño del puente soporte grandes terremotos sin daños significativos producto de la licuefacción. Sin embargo es posible optimizar el diseño de forma tal que el costo de reparación de los potenciales daños del terremoto no exceda el costo de las medidas de remediación y las construcciones adicionales necesarias por las pérdidas por daños.
- Evitar las profundidades de arenas medias a sueltas, donde el riesgo de licuefacción es alto, cuando es posible.
- Para el cálculo de la resistencia lateral sugiere que se podría asumir soporte cero, en la zona por sobre el estrato potencialmente licuable y la capacidad de carga axial (axial *buckling*) tendrá que ir en esta misma dirección.
- No entrega recomendaciones concretas para la capacidad de carga axial.

2.1.7 Guía de diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras. Chile (2013).

Es el estándar Chileno más reciente para el diseño de proyectos marítimos-portuarios, tanto públicos como privados. Sin embargo es sólo una guía de diseño y no tiene carácter normativo. Para el desarrollo de la sección “2.7 Geotecnia” del

Capítulo 2 (Criterios de diseño generales) del Volumen 2 (Diseño (Parte I)), MOP-DOP (2013), tomo como base la recomendación de Obras Marítimas españolas (ROM), que se evaluó en la sección 2.1.3 de este trabajo.

a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

Esta guía indica que es necesario un reconocimiento geotécnico detallado para evaluar el fenómeno de licuefacción, a través del cual se puedan determinar los siguientes parámetros, de forma precisa:

- “Peso unitario, es aceptable su estimación.
- Granulometría y, si hubiese componente arcillosa, plasticidad de la fracción fina del suelo.
- Índice N del ensayo SPT (Anexo A.1). Alternativamente se pueden realizar ensayos de penetración continua CPTU. En todo caso los ensayos SPT no deben omitirse.” (MOP-DOP, 2013)

A partir del reconocimiento geotécnico detallado, la guía recomienda determinar la resistencia a la licuefacción en función del N_{60} (N_{60} : valor medio de N SPT después de corregirlo por el efecto de la sobrecarga y la energía del ensayo), calculando:

- La resistencia a la licuefacción o parámetro CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), a partir de la Figura 2-6, en función del contenido de finos. Como la Figura 3-2 está diseñada para terremotos de Magnitud M_w 7,5; cuando la magnitud del terremoto sea diferente debe multiplicarse el CRR por los factores de corrección propuestos

en la Tabla 2.7.9-2 de la guía (factor de corrección del parámetro CRR en función de la magnitud del sismo).

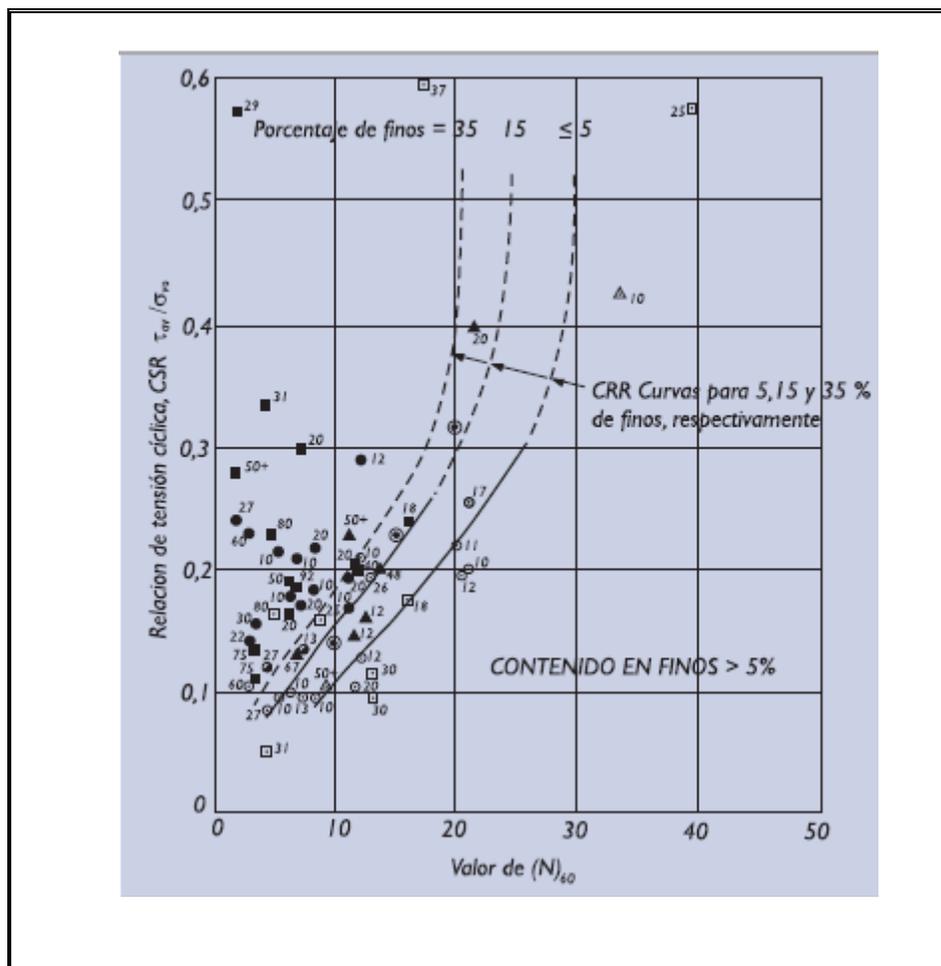


Figura 2-6: Resistencia a la licuefacción. (CRR: *Cyclic Resistance Ratio*).

Fuente:
Figura 2.7.9-1: Resistencia a la licuefacción. MOP-DOP (2013).

- La Solicitación Sísmica, CSR: Cyclic Stress ratio o Tensión de corte cíclica se estima como:

$$CSR = 0.65 * \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * a_{max} * rd \quad (16)$$

donde

σ_{vo} : Tensión vertical total, antes del terremoto

σ'_{vo} : Tensión vertical efectiva, antes del terremoto

a_{max} : Valor de cálculo de la aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno; de acuerdo a la Norma NCh433.Of96-Mod. 2009 y el Decreto Supremo No. 61 (2011).

rd: factor de reducción

$$rd = 1 - 0.0167 * z < 1 \quad (17)$$

z: profundidad del punto cuya licuefacción se investiga [m]

- Una vez obtenidos los valores de CRR y CSR, se deben comparar a través del coeficiente de seguridad frente a licuefacción, F :

$$F = \frac{CRR}{CSR} \quad (18)$$

El riesgo de licuefacción es alto, cuando F es cercano a uno ($0,9 < F < 1,1$).

Finalmente, es importante mencionar que MOP-DOP (2013) plantea que existen casos en Chile en los cuales la metodología en función N_{60} , predice $F < 1$ y al realizar triaxiales cíclicos, con muestras “no perturbadas”, éstas no licuan.

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

MOP-DOP (2013) en la guía indica que se le debe dar especial atención a pilotes fundados en suelos potencialmente licuables; sin embargo, sólo propone como

recomendación para suelos potencialmente licuables, lo siguiente: “cuando el coeficiente de seguridad a la licuefacción no sea aceptable ha de procederse a cambiar la tipología de la solución o, en casos muy específicos, a proceder a un tratamiento o sustitución del terreno, o la colocación de drenes para facilitar la disipación de las presiones intersticiales generadas”. No presenta recomendaciones para el diseño de los pilotes en suelos licuables.

2.1.8 Conclusiones del estado del Arte de las Normas Técnicas

Todas las normas coinciden en la recomendación de evaluar el potencial de licuefacción del terreno de fundación.

a) ¿Cómo definen si hay riesgo de licuefacción?

La mayoría de los métodos propuestos están basado en el ensayo N_{SPT} (Anexo A.1), de hecho la “ROM 0.5-05” (Ministerio de Fomento, 2005) indica que: “los resultados de otros posibles ensayos deben traducirse a valores equivalentes del SPT mediante correlaciones locales contrastadas”. El método Japonés (Goda, 2002) y la ASSHTO LRFD (2007) contemplan la utilización de ensayos triaxiales dinámicos, en muestras imperturbadas, aunque no hace mención a los métodos de muestreo “imperturbado” en materiales granulares.

El nivel de detalle del método para evaluar si existe riesgo de licuefacción, es muy amplio, va desde no proponer ningún método y solo mencionar que debe evaluarse, pasa por: (i) métodos que únicamente utilizan como variable el N_{SPT} sin correcciones, (ii) métodos que consideran la granulometría de las arenas y la

magnitud del sismo., hasta llegar a métodos que recomiendan la utilización de ensayos dinámicos.

En algunos casos se pueden considerar algunos de los métodos “limitados”; por ejemplo, a aceleraciones específicas o a magnitudes de sismo (M_w) específicas, como el Manual de Carreteras que solo evalúa el riesgo de licuación para aceleraciones de 0.2g.

b) ¿Cuáles son las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables?

Las recomendaciones para el cálculo de la capacidad de carga axial y carga lateral, en suelos potencialmente licuables, son muy generales, pasan por:

- ✓ No presentar recomendaciones concretas para el cálculo de la capacidad de carga axial de pilotes, en suelos potencialmente licuables.
- ✓ Proceder a cambiar la tipología de la solución o realizar mejoramiento del suelo.
- ✓ No incluir el espesor de suelo licuable dentro del espesor de suelo competente o asumir soporte cero, en la zona del estrato potencialmente licuable.

Hasta llegar a recomendar utilizar parámetros de resistencia y de deformación del suelo, correspondientes a comportamiento no-drenado para suelos situados bajo el nivel freático, considerando además la degradación de los parámetros resistentes del suelo debido a la actuación de cargas dinámicas, durante la acción sísmica. Aunque no especifica cómo degradar los parámetros.

2.2 Artículos técnicos y científicos

2.2.1 Finn y Fujita-Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues (2002).

Finn y Fujita (2002) evaluaron dos tipos de casos históricos:

- ✓ La respuesta de un pilote a un fuerte movimiento acompañado por el desarrollo de altas presiones de poros o licuefacción.
- ✓ La respuesta a las presiones y desplazamientos causados por el desplazamiento lateral (lateral spreading) del suelo licuado.

A través de la evaluación de los distintos casos históricos, Finn y Fujita (2002) mostraron que:

- i. El daño en los pilotes, producto del incremento sustancial de los momentos ocasionados por los desplazamientos originados por la pérdida de la resistencia y la rigidez del suelo, como consecuencia de la licuefacción, se concentra en dos áreas críticas:
 - ✓ En la conexión del cabezal al pilote, cuando ésta es de tipo giro restringido (*fixed*).
 - ✓ En el límite entre las capas licuadas y el suelo no licuado.
- ii. Cuando los pilotes están diseñados adecuadamente, pueden resistir el efecto de la pérdida de la resistencia y la rigidez del suelo, producto de la licuefacción. Este diseño adecuado está basado en:

- ✓ Estimaciones confiables de las cargas ambientales, es decir, de las cargas (esfuerzos de corte y momentos) producto de las presiones y desplazamientos ocasionados por el desplazamientos lateral que genera la licuefacción de los estratos de fundación.
- ✓ Evaluaciones realistas de la restricción de giro de la cabeza del pilote.
- ✓ Un buena evaluación de la respuesta del sistema pilote-suelo y estructura, a la acción sísmica capaz de producir la licuefacción del suelo.

2.2.2 Singh, Brandenberg, Boulanger & Kutter-Behavior of Pile Foundations in Liquefied and Laterally Spreading Ground (2002).

Singh et al. (2002) señalan, en forma general, que evaluar el comportamiento de un pilote en suelo licuable requiere la consideración de: las cargas inerciales y cinemáticas impuestas a las pilas y a sus conexiones cabezal-pilote, las deformaciones transitorias y permanentes de la cimentación, la influencia de la cimentación en la respuesta dinámica de la superestructura, y los criterios de desempeño para la cimentación. Este estudio consistió en la obtención de datos experimentales mediante modelización dinámica centrífuga para comprender mejor los mecanismos de interacción y para evaluar los métodos simplificados de análisis de la práctica del diseño.

Los procedimientos simplificados para el cálculo de la carga producto del desplazamiento lateral (*lateral spreading*), que se presentan en este artículo son:

- i. Método de equilibrio limite: éste aplica cargas laterales contra la pila, que son independientes de los desplazamientos del campo libre (*free-field*), lo

cual es razonable cuando los desplazamientos del campo libre (*free-field*) son lo suficientemente grandes para que la presión lateral alcance sus valores límites.

- ii. Método no-lineal de la viga de fundación Winkler (*beam on nonlinear Winkler foundation (BNWF) methods*): en este método los desplazamientos del campo libre (*free-field*), por ejemplo deformaciones dinámicas o permanentes, se estiman por separado, para luego ser un dato de entrada del modelo BNWF.

Ambos métodos son comparados de forma esquemática en la Figura 2-7, y los dos tienen como limitante el poco conocimiento que se tiene del verdadero comportamiento de las curvas p-y (Anexo A.3) de un suelo licuado y del estrato supra-yacente durante la licuefacción. Las curvas p-y para arenas licuadas son sólo una aproximación que alimenta a ambos métodos, lo cual implica una incertidumbre considerable.

Es recomendación de los autores considerar en primer lugar la densidad relativa y las condiciones de carga cíclica en la estimación de la curva p-y del suelo licuado; pues hay casos donde el estrato supra-yacente no licuable, puede dominar las cargas laterales impuestas sobre el pilote, haciendo la respuesta calculada insensible a las propiedades asumidas para el estrato licuable. Sin embargo, también hay casos donde la curva p-y del estrato licuado puede ser lo suficientemente importante como para justificar mayor nivel de atención.

Aunque este estudio se refiere a carga laterales, menciona que debe considerarse el efecto de la fricción negativa (Anexo A.2), producto del asentamiento del estrato no licuable suprayacente al licuable, pues los autores observaron cargas de fricción negativa significativas en los grupos de pilotes ensayados en la centrífuga.

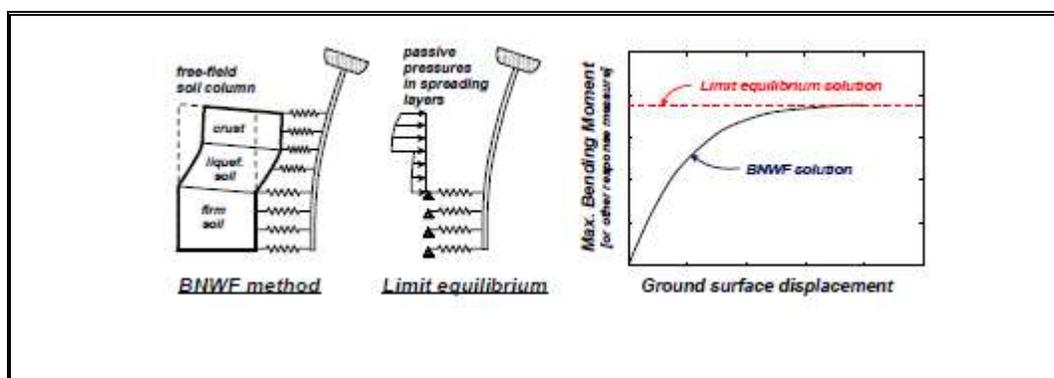


Figura 2-7: Comparación esquemática, del método de equilibrio límite y el método BNWF.

Fuente:

Figure 2: Schematic comparison of limit equilibrium and BNWF methods. Singh, P., et al. (2002)

2.2.3 Boulanger et al.-Pile foundation in liquefied and laterally spreading ground (2003).

Del análisis de 19 casos históricos y de 19 ensayos en modelos a escala, de pilotes en suelos licuados y con desplazamiento lateral, Boulanger, Kutter, Brandenburg, Singh, & Chang (2003) determinaron las siguientes lecciones:

- a) Lecciones generales

- i. Los daños en los pilotes producto de un terremoto han sido mayores en áreas licuables y particularmente asociados a desplazamiento lateral.
- ii. La ocurrencia de licuefacción comúnmente causa grandes deformaciones del terreno (lateral y vertical), tanto transitorias como permanentes, las que imponen cargas cinemáticas en el pilote de fundación.
- iii. Varios casos muestran que los daños usualmente se encuentran en el tope y en la base del estrato licuable,
- iv. El tipo de pilote puede tener algún tipo de efecto en la respuesta a la licuefacción, tal y como se resume en la Tabla 2-4.

De la Tabla 2-4 se concluye que:

- ✓ Ningún tipo de pilote es inmune a daño.
- ✓ Puede diseñarse una fundación con distintos tipos de pilotes para obtener una respuesta adecuada durante la licuefacción del terreno.

Tabla 2-4: Efecto del tipo de pilote en la respuesta a la licuefacción.

Tipo de Pilote	Respuesta del pilote a la licuefacción
i. Concreto armado	<p>Los daños observados generalmente han sido mayores en pilotes viejos, donde el refuerzo de acero es poco, en comparación con los requeridos por las normas modernas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pretensados Los diseñados de acuerdo las normas recientes, tiene una respuesta relativamente mejor. - Excavados y vaciados en sitio, de gran diámetro >1 m. Generalmente tienen una mejor respuesta. Pero aun así existen números casos de daño.
ii. Acero	<p>Los pilotes de acero dan una mejor respuesta debido a su buena ductilidad, pero a pesar de ello existen casos con fluencia (<i>yielding</i>) y deformaciones dramáticas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pilotes de diámetro grande ($D > 1$ m): No han presentado daños, ni siquiera en las áreas donde se ha presentado <i>lateral spreading</i>. - Pilotes de diámetro pequeño ($D = 0.70$ m): Algunas veces han presentado daños.

b) Comportamiento esfuerzo deformación (curvas p-y) de pilotes en suelos licuados.

i. Las primeras mediciones del comportamiento dinámico de las curvas p-y en arenas licuables fueron presentadas por Wilson et al. (1998, 2000). Sus

resultados muestran curvas p-y cuyo comportamiento es consistente con la respuesta esfuerzo deformación de las arenas licuadas.

La relación p-y de una arena suelta ($Dr=40\%$) presenta menor rigidez y menor resistencia que la de una arena media a densa ($Dr=55\%$). Además, la respuesta p-y pierde rigidez durante el incremento brusco de la presión de poros, el incremento de las deformaciones, y en la medida que el número de ciclos de carga se incrementan.

ii. El comportamiento de la curva p-y de arenas licuadas depende de los mismos factores que afectan el comportamiento de las cargas cíclicas y dinámicas de arenas saturadas, además de los siguientes factores adicionales:

- ✓ Densidad relativa.
- ✓ Historia de deformaciones o desplazamientos previos.
- ✓ Relación entre el exceso de la presión de poros lejos y cerca del nivel del terreno.
- ✓ Magnitud de los esfuerzos cíclicos y número de ciclos de carga impuestos en campo libre.
- ✓ La magnitud y el número de ciclos de carga entre la pila y el suelo.
- ✓ Drenaje parcial y por lo tanto, velocidad de carga.
- ✓ Características del suelo.
- ✓ Método de instalación del pilote

Adicionalmente, la flexibilidad del pilote y la conexión al cabezal, afectan las cargas laterales impuestas por el suelo licuado.

c) Análisis simplificado y métodos de diseño (*Simplified Analysis & Design Methods*)

El análisis simplificado del efecto del desplazamiento lateral del terreno en los pilotes se realiza a través del método pseudo-estático: Viga de Fundación lineal Winkler (*Beam on Nonlinear Winkler Foundation: BNWF*).

Este enfoque de equilibrio límite se basa en la aplicación de presiones laterales para modelar el desplazamiento lateral del suelo, asumiendo la distribución de presiones del suelo resistente y luego calcular las fuerzas de corte y la distribución de momentos sobre el pilote, a fin de diseñarlo para que resista el desplazamiento lateral.

Este análisis simplificado (BNWF), tiene 2 alternativas:

- i. Movimiento libre del suelo: impone los desplazamientos del suelo (y_{soil}) al pilote, como dato de entrada, con él las resultantes: reacción lateral del suelo (p) que depende de los desplazamientos relativos entre el suelo que se mueve libremente (y_{soil}) y el pilote (y_{pile}).
- ii. Las presiones se aplican solo en el espesor que se desplaza lateralmente (sin curvas $p-y$) y luego se utilizan curvas $p-y$ para modelar la respuesta del suelo subyacente. En esta alternativa las presiones laterales aplicada son independientes de los desplazamientos del suelo, pues se asume que la deformación del suelo es lo suficiente grande como para generar que las presiones laterales alcancen sus valores límites.

Una forma de aproximar los efectos de licuefacción en el comportamiento de la curva p-y, para efectos de diseño, es aplicar un factor de corrección a “p” o multiplicador (mp), a la curva p-y de resistencia drenada. Uno de los estudios evaluados por Boulanger et al. (2003), el de Dobry et al. (1995), mostró que los momentos de flexión de sus experimentos, pueden ser razonablemente bien estimados con la curva p-y original drenada, multiplicada por un p-multiplicador que decrece más o menos lineal con la relación de excesos de presión de poros (ru) y alcanza un valor mínimo de 0.1 cuando $ru=1$.

Otro de los documentos evaluados por Boulanger et al. (2003), el de la Asociación Japonesa de carreteras (JRA 2002), establece que para puentes de autopistas, las cargas inerciales y las cinemáticas (por desplazamiento lateral) pueden ser analizadas por separado pues no considera que ambas actúen al mismo tiempo. Las curvas p-y y la resistencia a la fricción (carga axial), para cuando ocurra licuefacción, estarán multiplicadas por el “factor de reducción (D_E)” presentado en la Tabla 2-5. Este factor de reducción (D_E) es equivalente al p-multiplicador, excepto que éste es también usado para estimar la resistencia a la fricción (axial).

D_E se toma como dependiente del nivel del sismo (a través del factor de seguridad contra la licuefacción, FL), la densidad relativa del suelo (a través de relación de resistencia al corte dinámica, R), y la profundidad desde la superficie del terreno.

Tabla 2-5: Factor de reducción (D_E), de los parámetros geotécnicos para suelos licuados

Range of F_L	Depth from Present Ground Surface x (m)	Dynamic shear strength ratio R			
		$R \leq 0.3$		$0.3 < R$	
		Verification for Seismic Motion Level 1	Verification for Seismic Motion Level 2	Verification for Seismic Motion Level 1	Verification for Seismic Motion Level 2
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/6	0	1/3	1/6
	$10 < x \leq 20$	2/3	1/3	2/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1/3	1	2/3
	$10 < x \leq 20$	1	2/3	1	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	1	2/3	1	1
	$10 < x \leq 20$	1	1	1	1

Nota:
 Level 1: corresponden a terremotos con una alta probabilidad de ocurrencia durante la vida útil de un puente.
 Level 2: corresponden a terremotos con una baja probabilidad de ocurrencia durante la vida útil de un puente.

Fuente:
 Table 2-4 Reduction Factor (DE) for Geotechnical Parameters for Liquefied Soil in Analysis of Inertial Loading Condition (JRA 2002). Boulanger et al. (2003).

Para las cargas cinemáticas ocasionadas por el desplazamiento lateral, el documento de la Asociación Japonesa de carreteras (JRA 2002), citado por Boulanger et al. (2003), recomienda imponer una presión lateral del estrato licuable y del estrato suprayacente (Figura 2-8).

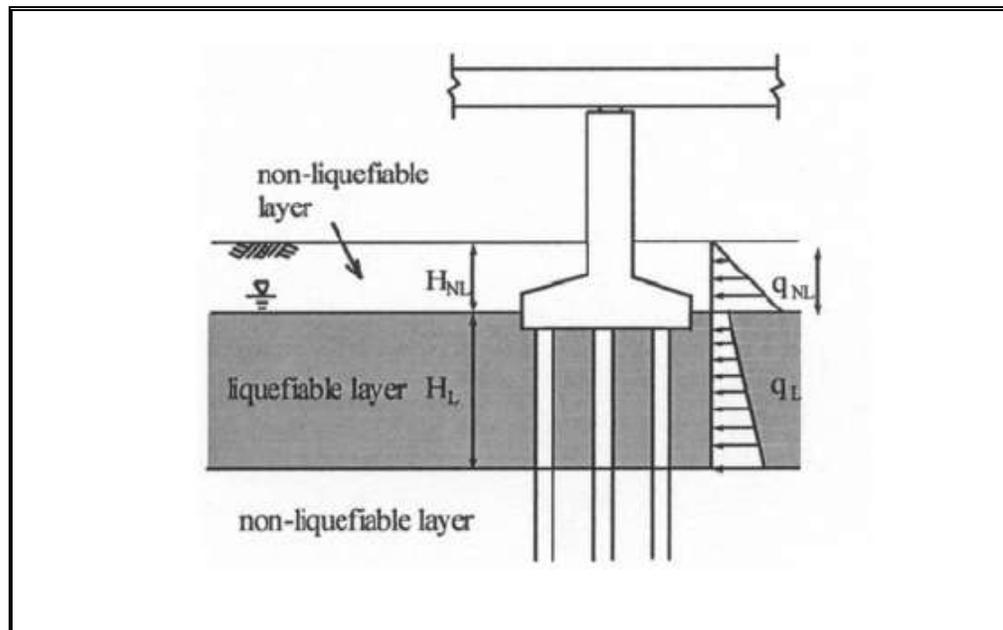


Figura 2-8: Cargas productos del desplazamiento lateral, de la Asociación Japonesa de carreteras.

Fuente:
Figure 2-17: Representation of Lateral Spreading Loads by JRA (2002). Boulanger et al. (2003).

Los estratos no licuables, suprayacentes, se consideran que imponen un empuje pasivo, sujeto a un factor de reducción, por estar a más de 50 m de la línea de costa y en sitios de bajo índice de licuefacción. Los estratos licuables se consideran que imponen un empuje lateral del 30% del esfuerzo de sobrecarga, también sujeto a un factor de reducción por estar a más de 50 m de la línea de costa. A menos de 50 m de la línea de costa, el empuje que ejerce el estrato licuable (P), se puede aproximar como:

$$P = 0.3 * \sigma_v * b \quad (19)$$

donde:

σ_v : Esfuerzo de sobrecarga

b: diámetro del pilote.

El empuje lateral, tanto del estrato licuable como el del no licuable, se reduce por un factor de 0.5 para distancias entre 50 y 100 m de la línea de costa y no lo considera a distancias superiores a los 100 m. Esta metodología está basada en parte en el análisis de los casos históricos del comportamiento de los pilotes durante el terremoto de Kobe 1995.

2.2.4 Tamura-Seismic design of highway bridge foundations for liquefaction-induced ground flow (2004).

Tamura (2004) propone estimar las fuerzas producto del desplazamiento lateral (*ground flow*), generado por efecto de la licuefacción, como la suma del empuje pasivo del estrato no-licuable y 30% de presión de sobrecarga del estrato licuable.

Para el diseño sísmico de fundaciones en suelos potencialmente licuables, Tamura (2004) recomienda modelar el efecto de la licuefacción como una fuerza estática que actúa sobre la estructura según se muestra en la Figura 2-9.

La seguridad del diseño sísmico se establece limitando los desplazamientos en el tope de la fundación (causados por el desplazamiento lateral, generado por la licuefacción) por debajo de los desplazamientos permisibles, los cuales se estiman como 2 veces el desplazamiento de fluencia de la fundación.

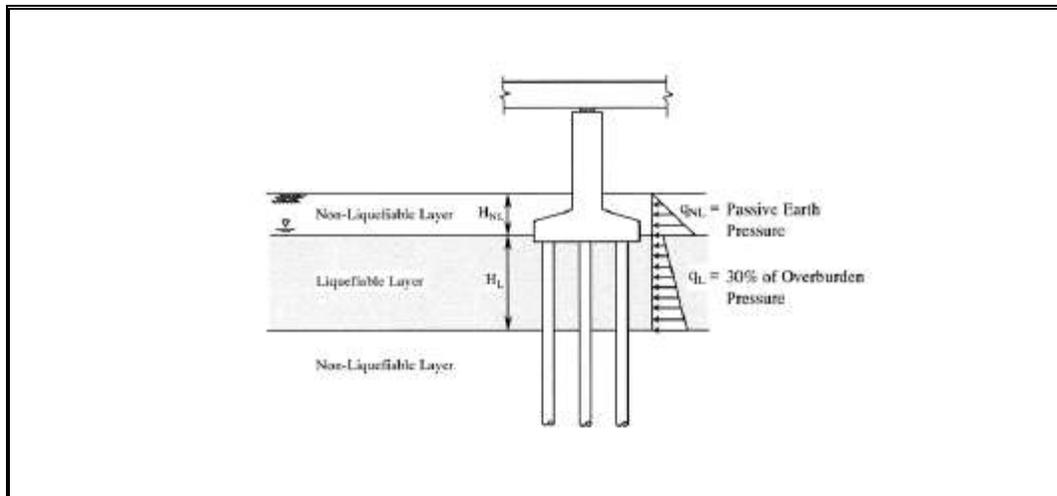


Figura 2-9: Idealización de las fuerzas del desplazamiento lateral, por efecto de licuefacción, para el diseño sísmico de fundaciones de puentes.

Fuente:

Fig. 4 Idealization of ground flow force for seismic design of bridge foundation. Tamura (2004).

2.2.5 Knappett y Madabhushi-Seismic Bearing capacity of piles in liquefiable soils (2009).

Knappett y Madabhushi (2009) evaluaron la capacidad de carga de pilotes fundados en una arena licuable, suprayacente a una arena densa, a través de ensayos dinámicos de centrifuga y pilotes instrumentados. Los pilotes de esta investigación son de punta, pues la mayor parte de la carga estática a la que está sometido el pilote es soportada por la punta, siendo esta una configuración común

para pilotes en suelos susceptibles de licuar. Esta evaluación les permitió obtener lo siguiente:

- ✓ La resistencia de fuste no se reduce a cero con la licuefacción, como se ha asumido en estudios analíticos previos.
- ✓ La resistencia de punta disminuye producto de la licuefacción después del sismo, como se muestra en la Figura 2-10, donde: $Q_{bE,ult}$: capacidad de carga de la base licuada; $Q_{b0,ult}$: capacidad de carga de la base estática, antes del sismo; Δu : exceso de presión de poros y σ'_{vo} : esfuerzo efectivo vertical inicial.
- ✓ Los pilotes no recuperan la distribución inicial de resistencia de punta y fuste, después de la licuefacción. Este cambio en la distribución de la carga del pilote está influenciado por la contribución del cabezal del pilote a la capacidad de carga. (Ver Tabla 2-6).

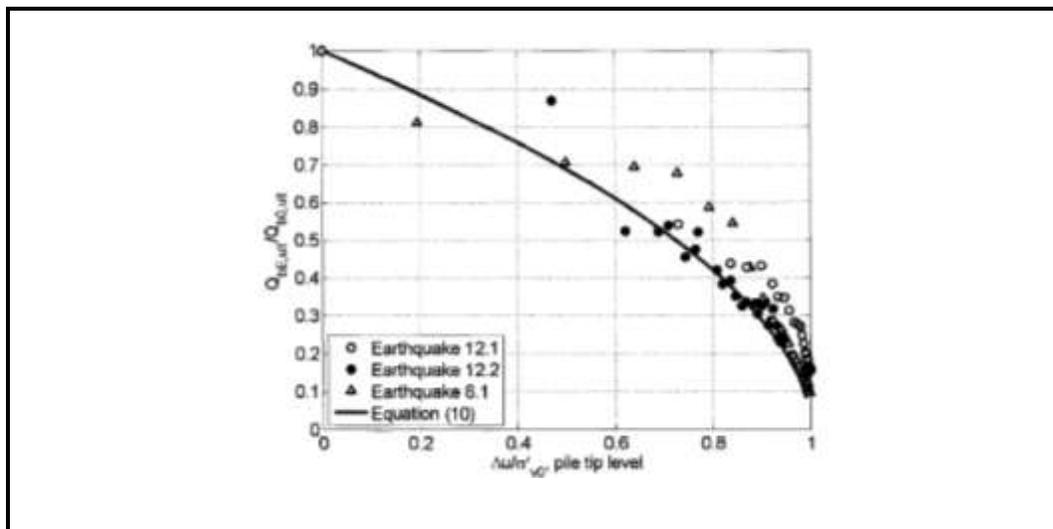


Figura 2-10: Reducción de la capacidad de carga de punta, con el incremento del exceso de presión de poros.

Nota:

La **Equation (10)**, citada en esta figura, es la siguiente:

$$\frac{Q_{bE,ult}}{Q_{b0,ult}} = \left[1 - \left(\frac{\Delta u}{\sigma'_{vo}} \right)^{\left(\frac{3 - \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)} \right)} \right]$$

donde:

$Q_{bE,ult}$: capacidad de carga licuada de la base o punta del pilote (después del sismo)

$Q_{b0,ult}$: capacidad de carga última de la base o punta del pilote (antes del sismo)

$(\Delta u/\sigma'_{vo})$: puede ser determinado para un sismo de diseño y un perfil de suelo en específico, utilizando un programa de respuesta numérica in situ.

ϕ : ángulo de fricción del suelo.

Fuente:

Fig. 12 Reduction in base capacity with increased excess pore pressure. Knappett and Madabhushi (2009).

Tabla 2-6: Contribución del cabezal del pilote a la capacidad de carga

Cabezal no contribuye	Se transfiere carga del fuste a la punta
Cabezal si contribuye	Se transfiere carga de la punta al fuste.

Esta investigación concluye obteniendo una solución analítica (ecuación 20), que permite determinar para el diseño, el factor de seguridad estático (SSF: *static safety factor*) adecuado y con él, la capacidad de carga adecuada para pilotes fundados en suelos no cohesivos licuables, para evitar la falla durante la licuefacción.

$$SSF = \left(\frac{\alpha}{\alpha_{ult}} \right) * \left(\frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\Delta u}{\sigma'_{vo}} \right) \right]^{\left(\frac{3 - \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)} \right)}} \right) \quad (20)$$

donde:

SSF: factor de seguridad estático.

α : proporción de la capacidad de carga total del pilotes (P), antes del sismo y en condición estática, que corresponde a la capacidad de carga de punta.

α_{ult} : proporción de la capacidad de carga ultima del pilotes (P), que es soportada por la punta del pilote.

$(\Delta u/\sigma'_{vo})$: puede ser determinado para un sismo de diseño y un perfil de suelo en específico, utilizando un programa de respuesta numérica in situ.

ϕ : ángulo de fricción del suelo.

2.2.6 Rahmani y Pak-A parametric study on seismic performance of piles embedded in two-layered liquefiable ground (2011).

Rahmani y Pak (2011) compararon la respuesta sísmica del modelo numérico de un pilote fundado en un suelo licuable con los resultados de un ensayo de centrifuga, y encontraron una buena correlación entre los resultados del ensayo y

los datos obtenidos del modelo numérico. A través del modelo numérico verificado, realizaron un estudio paramétrico variando: la longitud del pilote, el espesor y la densidad relativa del estrato licuable y la frecuencia del sismo.

El estudio paramétrico se llevo a cabo sólo para un pilote fundado en dos estratos de suelo, siendo el estrato más superficial el estrato licuable y el suprayacente no licuable.

De forma general, el estudio paramétrico mostró que:

- ✓ El espesor del estrato licuable y la frecuencia del sismo, son los parámetros más críticos, pues afectan la respuesta del pilote en suelos licuables.
- ✓ Un incremento del orden del 10% en la densidad relativa, se traduce en una disminución del máximo desplazamiento lateral y del máximo momento a flexión, de aproximadamente entre el 20% y el 30%.
- ✓ La longitud del pilote y el espesor del estrato licuable tiene poca influencia en el máximo desplazamiento lateral, durante el sismo.
- ✓ Cuando la excitación de entrada culmina, hay una diferencia considerable entre los valores máximos de desplazamiento lateral para diferentes longitudes de pilote.
- ✓ La longitud del pilote no tiene efecto alguno en el máximo momento a flexión.

3. OBSERVACIONES POST-TERREMOTO DEL MAULE

El 27 de Febrero de 2010, a las 3:34 am (hora local), se produjo un terremoto de magnitud de momento (Mw) 8.8, cuyo epicentro se localizó a una profundidad de alrededor de 30 km por debajo del fondo marino y a unos 80 km al norte de Concepción (Barrientos, 2010). Este sismo tuvo su origen en el desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa de Sudamericana, en un área del orden de 450 km x 130 km (Barrientos, 2010), paralela a la costa pacífica.

El sismo principal tuvo una duración de 90 s y se produjeron más de trescientas réplicas, la mayoría por encima de magnitud 5 Richter y más de 20 igual o superior a 6 Richter. Mediciones de aceleración en San Pedro de la Paz (Colegio Concepción, VIII Región, Bio-Bio) muestran valores en el orden de 0,402g (Ver Sección 4.2.5). La aceleración máxima registrada (sin corregir) alcanzó 0,928g N-S en la estación de Angol (IX Región) (Boroschek, Soto y León, 2010).

Como consecuencia de este terremoto, en la ciudad de Concepción de la VIII Región de Chile (segunda ciudad más grande del país), se observaron significativos daños producto de la licuefacción y el desplazamiento lateral, del suelo. Entre ellos, son objeto de esta tesis, los observados en los puentes Juan Pablo II y Llacolén.

3.1 Puente Juan Pablo II

El Puente Juan Pablo II, con una longitud de 2,3 km, es el puente de tránsito vehicular más largo de Chile, cruza el río Bio-Bio, conectando la ciudad de Concepción y San Pedro de la Paz. (Figura 3-1). Fue construido en 1974,

conformado por 2 estribos y 69 cepas (separadas 33 m entre sí), y sus apoyos o vanos son de 21,8 m de ancho. Los pilotes de este puente son de hormigón armado (excavados y vaciados en sitio), se apoyan entre los 14 y 16 m de profundidad (Verdugo y Peters, 2010) y su diámetro es de 2,5 m en las cepas y 1,5 m en los estribos (Figura 3.2).



Figura 3- 1: Puentes sobre el rio Bio-Bio.

Fuente:

Figura 1.1: Ubicación puentes sobre el Río BioBio en la ciudad de Concepción. Verdugo y Peters (2010).

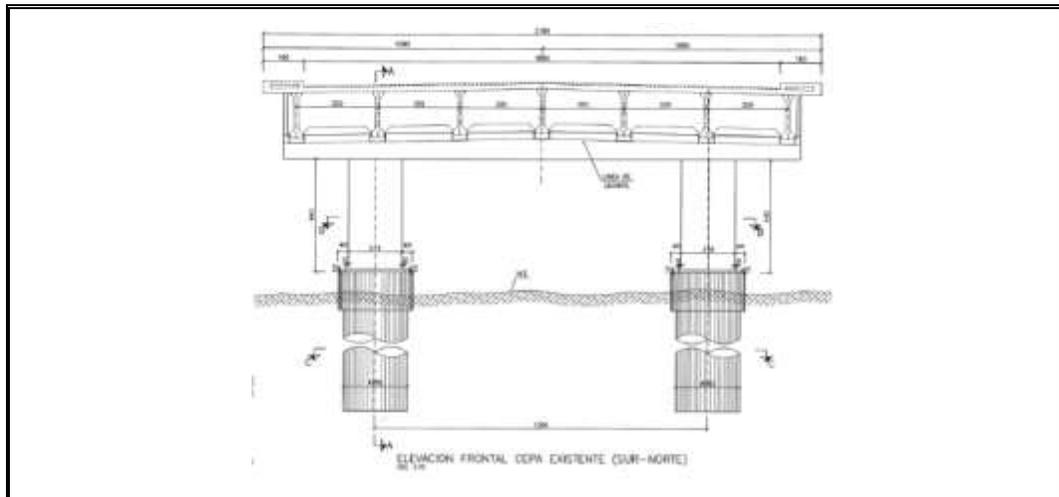


Figura 3-2a: Elevación frontal de las Cepas.

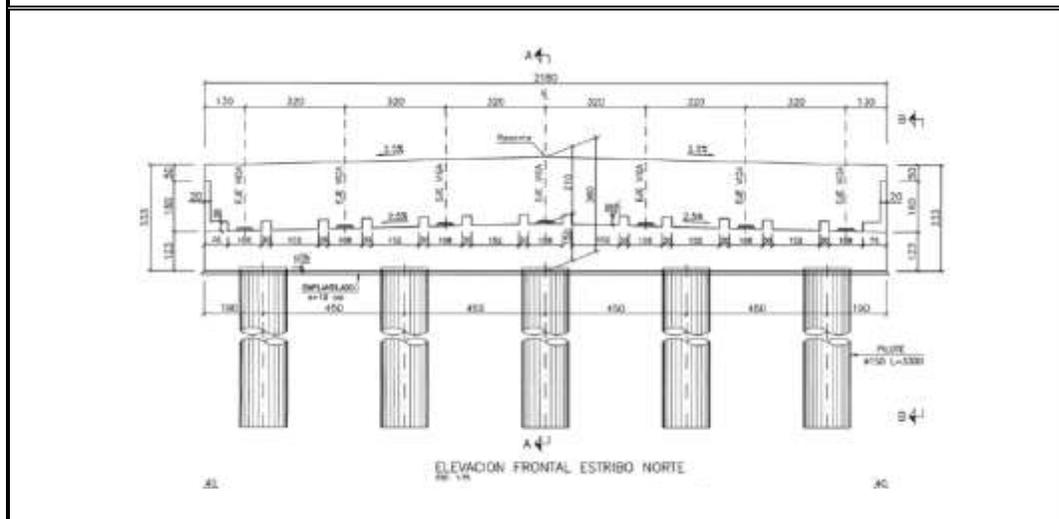


Figura 3-2b: Elevación frontal del estrigo Norte

Figura 3-2: Elevación frontal de las Cepas y el estrigo Norte, del puente Juan Pablo II.

Fuente:

Figura 3-2a: Figure 2. Elevation view of a pier at Juan Pablo II Bridge (Dimension in cm). Ledezma (2012).

Figura 3-2b: Figure 3. Elevation view of north abutment at Juan Pablo II Bridge. Ledezma (2012)

Producto del terremoto del 27 de Febrero de 2010, en este puente se observaron:

- ✓ Asentamientos significativos de 1.8 a 0.9 m en algunas de las cepas. De la Figura 3-3 se puede concluir que:
 - Los asentamientos fueron mayores en el estribo Norte del lado de Concepción (donde simultáneamente se produjo desplazamiento lateral). Este diferencial de asentamientos ocasionó una rotación del tablero del puente en torno al eje longitudinal del mismo.
 - En 15 de las 70 Cepas se produjeron asentamientos superiores a los 50 cm. Y en el eje longitudinal izquierdo (aguas arriba) se desarrollaron mayores asentamientos que en el eje longitudinal derecho (aguas abajo).
- ✓ Hubo evidencias de licuefacción y desplazamiento lateral en el estribo Norte del lado de Concepción (Figura 3-4), que ocasionaron la falla estructural que se puede observar en la Figura 3-4b; la severidad de estos daños causó el cierre del tránsito en el puente.
- ✓ En los alrededores del puente, se observaron eyecciones de arena fina con diámetros entre 1 y 10 metros, en ambos lados de las aproximaciones a los terraplenes (Norte y Sur) y cerca de la estructura (Figura 3-5).
- ✓ En el estribo Sur el nivel de daño fue mucho menor que en el extremo Norte, lo cual se presume es debido a una combinación diferente de suelos y a taludes de aproximación (al estribo Sur) con menores pendientes.

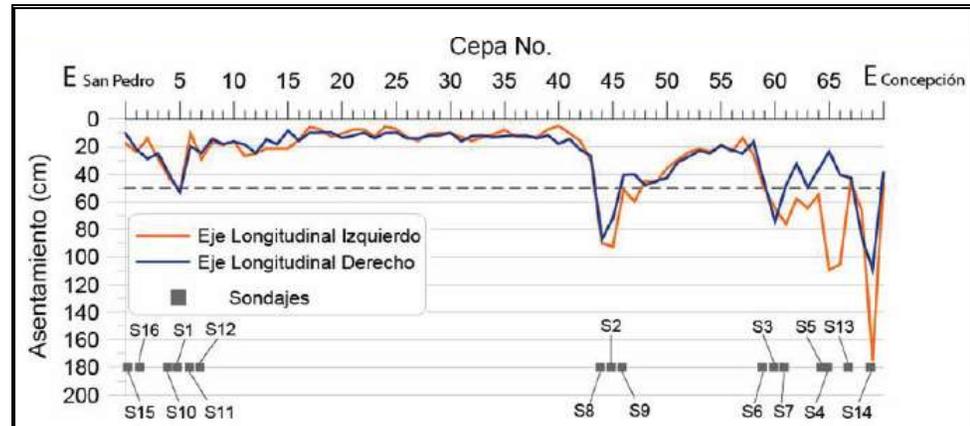


Figura 3-3a

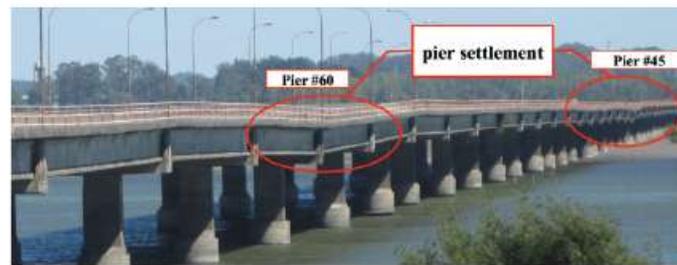


Figura 3-3b

Figura 3-3: Asentamiento post-sísmico puente Juan Pablo II.

Fuente:

Figura 3-3a: Figura 4.4: Asentamiento post-sísmico puente Juan Pablo II. Verdugo y Peters (2010)

Figura 3-3b: Fig. 8. Liquefaction-induced vertical settlement along the Juan Pablo II Bridge. Ledezma (2013).

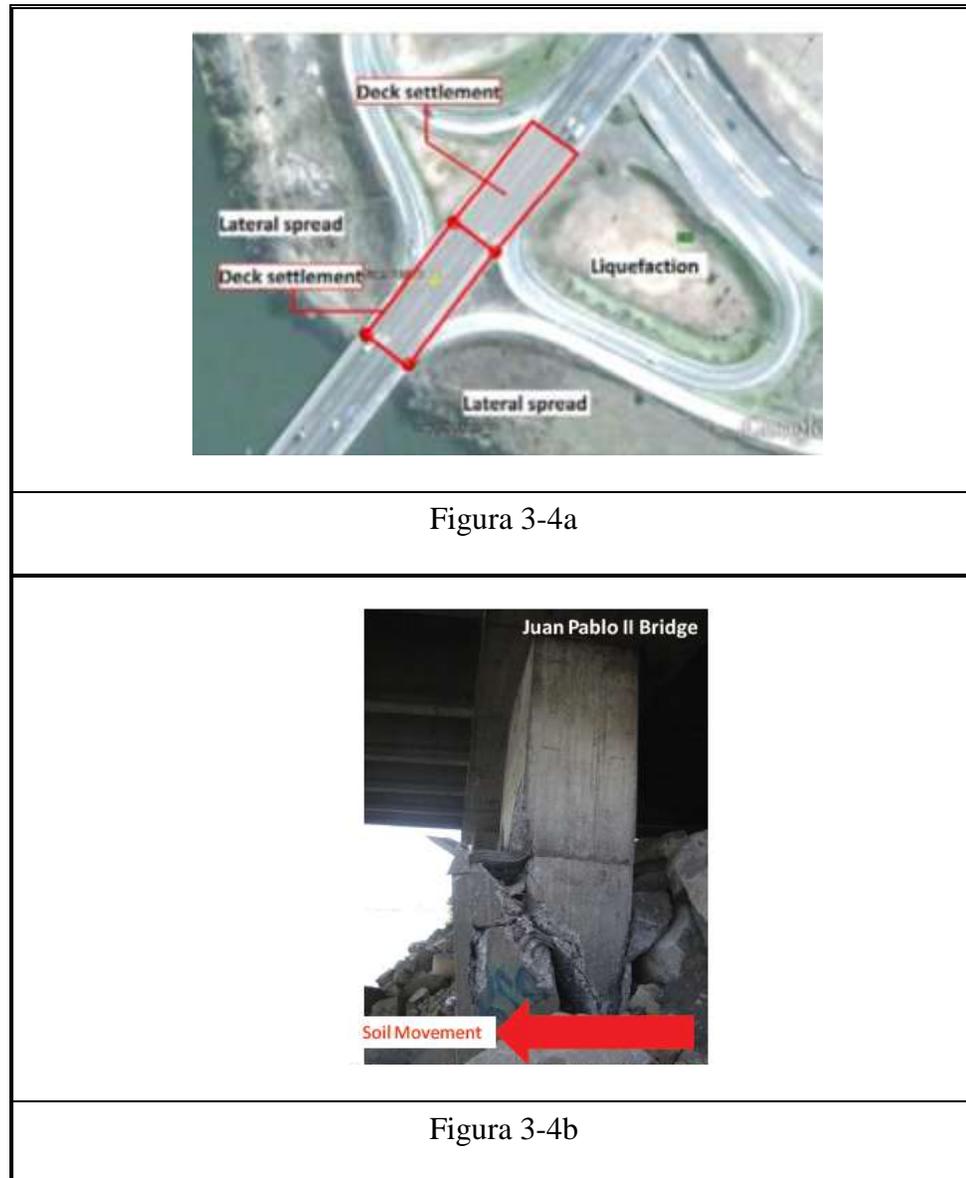


Figura 3-4: Desplazamiento lateral del estribo Norte del puente Juan Pablo II.

Fuente:

Figura 3-4a: Figure 9.9.a. Google Earth view of northeast Approach with schematics of observed damage. Arduino, P., et al. (2010). Figura 3-4b: Fig. 9. Failed pier at the north end of the Juan Pablo II Bridge. Ledezma (2013).



Figura 3-5: Eyección de arena en las cercanías de la aproximación del estribo norte.

Fuente:

Figure 9.12.a: Sand ejected near northeast approach. Arduino, P., et al. (2010).

3.2 Puente Llacolén

Construido en el año 2000, el puente Llacolén es el segundo más largo de Chile; cruza el río Bio-Bio conectando la ciudad de Concepción y San Pedro de la Paz, con una longitud de 2,16 km (Figura 3-1). Está conformado por 45 apoyos o vanos de 21,8 m de ancho que están separados 39,6 m entre sí. Los pilotes de este puente son de 1,5 m de diámetro, de hormigón armado (excavados y vaciados en sitio) y se apoyan entre los 13 y 22 m de profundidad (promedio 16.2 m), los pilotes más largos se encuentran hacia Concepción (Figura 3-6).

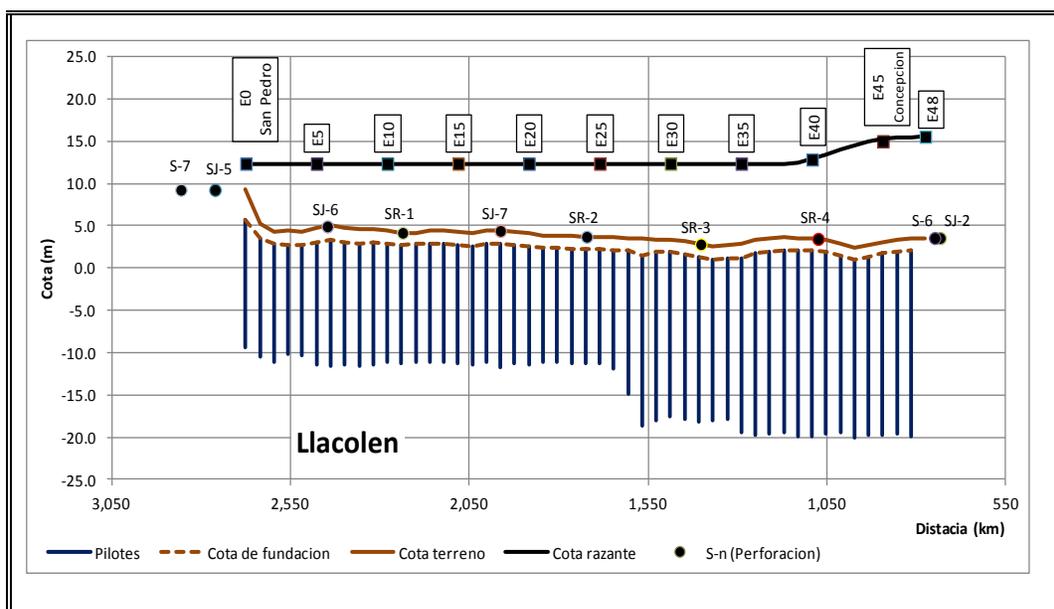


Figura 3- 6: Longitudes de los pilotes del puente Llacolén, con la ubicación aproximada de las perforaciones.

Fuente:
Elaboración propia

Producto del terremoto del 27 de Febrero de 2010, este puente presentó daños en el acceso Norte, como consecuencia del desplazamiento lateral inducido por la licuefacción (Figura 3-7) el tablero de acceso cayó de sus apoyos, lo que ocasionó el cierre temporal del puente, hasta que fue temporalmente subsanado el acceso al puente, con subestructuras tipo Mecano (Figura 3-8).



Figura 3-7: Vista en planta de los daños en los accesos al estribo norte de Llacolén.

Fuente:
Figure 9.4. Plan view of the North approach to the damaged Llacolén bridge in Concepción. Arduino, P., et al. (2010).

	
<p>Figura 3-8a: Vista desde Concepcion hacia San Pedro.</p>	
	
<p>Figura 3-8b: Vista hacia el Sur, con el Puente Mecano ya instalado.</p>	<p>Figura 3-8c: Vista hacia Norte, con el Puente Mecano ya instalado.</p>

Figura 3-8: Estribo Norte del puente Llacolén, después del terremoto, antes y después de colocar el puente mecano.

Fuente:

Figura 3.8a:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:2010_Chile_earthquake_-_Puente_Llacol%C3%A9n,_Concepci%C3%B3n.jpg

Figura 3.8b: Figure 9.5. Deck unseating at Llacolén bridge in Concepción. Arduino, P., et al. (2010).

Se observaron grietas de flexión en las columnas de soporte, del lado del río, cerca de la superficie del suelo. Este agrietamiento por flexión fue más severo en las columnas que soportaban al tablero que cayó, pues todas las columnas que soportaban el tablero presentaron grietas de tracción en la junta de construcción (Figura 3.9).

En las rampas de salida de puente, se observaron asentamiento del orden de 0.20 a 0.30 m. Las fundaciones emplazadas en el lecho del río, prácticamente no presentaron daños.



Figura 3-9: Grietas de flexión en las columnas de soporte del tablero que se cayó en el terremoto (Eje 45 del puente).

Fuente:

Figure 9.6. Flexural cracking of the column supports was observed at ground level and extending to the construction joint. Arduino, P., et al. (2010).

4. POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN

Para la evaluación del potencial de licuefacción de estos puentes, se realizó una recopilación de la información geotécnica disponible, gracias a la colaboración de Ministerios de Obra Pública de Chile. Adicionalmente se cuentan con datos de la exploración geotécnica que hiciera la Universidad de California, Berkeley en el 2012, en los estribos Norte de los puentes. Con base en esta información geotécnica disponible, se realizó la evaluación del potencial de licuefacción de los puentes en estudio.

4.1 Exploración geotécnica de los puentes afectados por el terremoto del 27 F.

En esta sección se resume toda la información geotécnica recolectada de los puentes en estudio (Juan Pablo II y Llacolén).

4.1.1 Puente Juan Pablo II

Los datos geotécnicos disponibles del puente Juan Pablo II provienen de:

- El estudio geotécnico que hizo INGEXA, para el Ministerio de Obras Públicas, con el objeto de caracterizar el suelo de fundación para los trabajos de rehabilitación del puente post-terremoto (INGEXA, 2010). Esta exploración geotécnica conformada únicamente por perforaciones con toma de muestras y ensayo de penetración estándar, SPT (*Standard Penetration Test*), se realizó en 2 etapas: etapa I: Perforaciones S-3, S-4, S-14 y S-2, en las cepas de mayor de asentamiento (Figura 4-1) y etapa II; las

restantes 12 perforaciones. En la Tabla 4-1, se se enumeran los sondeos de este estudio cuyos detalles se presentan en el Anexo B.1 y A.2.

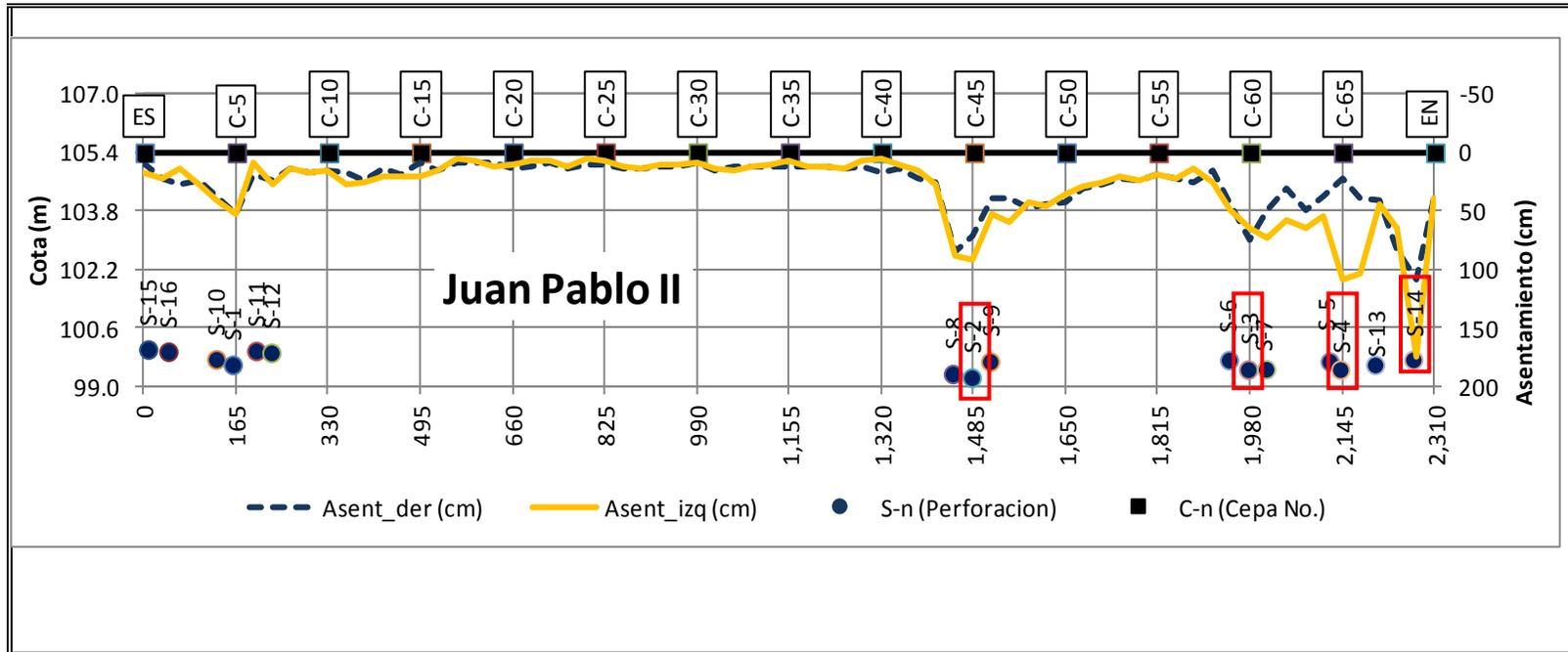


Figura 4- 1: Ubicación de las perforaciones en el eje del puente Juan Pablo II.

Fuente:
Elaboración propia

Tabla 4- 1: Puente Juan Pablo II, estudio geotécnico realizado por INGEXA 2010.

No.	Perforación ⁸	Fecha de sondeo		Long. (m)	Cota (m ⁹)	Coordenadas UTM		Ensayos ¹⁰
						Norte	Este	
1	Sondaje 1/Cepa 5	30/04/2010	06/05/2010	41.00	99.60	ND	ND	D
2	Sondaje 2/Cepa 45	20/04/2010	30/04/2010	40.00	99.25	ND	ND	D
3	Sondaje 3/Cepa 60	06/04/2010	19/04/2010	41.00	99.47	ND	ND	D
4	Sondaje 4/Cepa 65	06/04/2010	19/04/2010	41.00	99.47	ND	ND	D
5	Sondaje 5/Cepa 64	03/05/2010	08/05/2010	41.00	99.69	ND	ND	D
6	Sondaje 6/Cepa 59	09/05/2010	14/05/2010	41.00	99.73	ND	ND	D
7	Sondaje 7/Cepa 61	10/05/2010	17/05/2010	41.00	99.48	ND	ND	D
8	Sondaje 8/Cepa 44	15/05/2010	19/05/2010	40.00	99.35	ND	ND	D
9	Sondaje 9/Cepa 46	17/05/2010	21/05/2010	41.00	99.69	ND	ND	D
10	Sondaje 10/Cepa 4	17/05/2010	21/05/2010	40.00	99.75	ND	ND	D
11	Sondaje 11/Cepa 6	29/05/2010	01/06/2010	40.00	99.98	ND	ND	D
12	Sondaje 12/Cepa 7	17/05/2010	21/05/2010	41.00	99.93	ND	ND	D
13	Sondaje 13/Cepa 67	06/04/2010	19/04/2010	40.05	99.60	ND	ND	ND
14	Sondaje 14/Cepa 69	06/04/2010	19/04/2010	40.00	99.74	ND	ND	ND
15	Sondaje 15/Estribo Sur	31/04/2010	ND	40.00	100.02	ND	ND	ND
16	Sondaje 16/Cepa 1	27/05/2010	31/05/2010	40.00	99.96	ND	ND	D

⁸ Ver Anexo A⁹ Metros con relación a un nivel de referencia, de cota 90 m. No fue posible encontrar la cota en msnm, de este nivel de referencia.¹⁰ Ensayos de caracterización (granulometrías, contenido de humedad e índices de plasticidad): Anexo A.2. D: Disponible y ND: No disponible

- Y el estudio geotécnico que realizó el IDIEM en el 2012, para la Universidad de California, Berkeley (Universidad de Chile. FCFM-IDIEM, 2012), en el estribo norte del puente (Figura 4-2). Este estudio está conformado por una perforación con toma de muestras y ensayo de penetración estándar, SPT y tres sondeos con ensayo de penetración de cono, CPT (*Cone Penetration Test*). En la Tabla 4-2, se enumeran los sondeos de este estudio cuyos detalles se presentan en el Anexo B.3.

Adicionalmente en este estudio se realizaron mediciones de la energía durante la ejecución del ensayo de penetración estándar (SPT) en el sondaje Z3-B1 (Anexo D).

No se tuvo acceso a los datos de la exploración geotécnica ejecutada previo a la construcción del puente en 1974



Figura 4- 2: Localización de los sondeos realizados por el IDIEM (2012) en el Puente Juan Pablo II.

Fuente:

Figura 3: Puente Juan Pablo II. Universidad de Chile. FCFM-IDIEM (2012).

Tabla 4- 2: Puente Juan Pablo II, estudio geotécnico realizado por IDIEM 2012.

No.	Sondeo ¹¹	Fecha de sondeo	Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	Long. (m)	Cota snm ¹² (m)	Coordenadas UTM ¹³		Ensayos ¹⁴
							Norte	Este	
1	Sondaje 3 (Z3-B1)	07/04/12 12/04/12	0,00	7,45	7,45	7,99	5.923.799,0	670.942,0	D/P
2	CPT6 (Z3-C5)	Abril/12	1,10 ¹⁵	11,91	10,81	4,87	5.923.855,0	670.944,0	NA
3	CPT7 (Z3-C6)	Abril/12	0,95 ¹⁵	2,59	1,64	4,58	5.923.879,0	670.970,0	NA
4	CPT8 (Z3-C4)	Abril/12	7,00 ¹⁶	16,81	9,81	7,99	5.923.799,0	670.942,0	NA

¹¹ Ver Anexo A.3.1 y A.3.2.

¹² Cotas snm: Cota sobre el nivel del mar, referidas a red de nivelación geométrica respecto a vértice SHOA HUAS. Cota NMM: 4,221m. Medida a los 0,00 m de profundidad en cada punto de sondeo.

¹³ Sistema de referencia WGS 84 (Zona/Huso 18).

¹⁴ Ensayos de caracterización (granulometrías, contenido de humedad e índices de plasticidad): Anexo A.3.1. D/P: Disponible de forma parcial. D: Disponible, ND: No disponible, NA: No aplica.

¹⁵ Se pre-excavo de forma manual (Calicata), para alcanzar el nivel de inicio del ensayo CPT.

¹⁶ El ensayo CPT, se ejecuto en el mismo punto del Sondaje 3 (Z3-B1), por debajo de la profundidad perforada para la ejecución del ensayo SPT.

Con base en la información geotécnica recolectada, a continuación se presenta la descripción litológica de puente Juan Pablo II (Anexo B.4):

Tramo Norte (Pilas C-50 a EN)

Intercalaciones de arenas limpias (SP, SW, SP/SW y SP-SW) y limosas (SP-SM, SM, SW-SM), con limos (ML) y arcillas limosas (CL-ML).

Estribo norte: Sondaje 3 (Z3-B1)

En este sondaje, el IDIEM (2012) encontró arenas limosas (SM) sueltas, por debajo de 5 metros de un material de relleno heterogéneo (gravas, bolones, escombros y material fino). Subyacente a las arenas limosas (SM), se encontró otra arena que no fue caracterizada, medianamente densa.

No fue posible correlacionar los sondajes realizados por el IDIEM (2012) con los realizados por INGEXA (2010), debido a que no se disponía de las coordenadas ni de las cotas referenciadas al nivel medio del mar de los sondajes de INGEXA (2010).

En campo, se pudo observar que el desnivel entre estas exploraciones geotécnicas es de al menos de 7 metros hasta el espejo de agua (ver Figura B.3.1-1, Anexo B.3.1).

Perforaciones S-5, 4, 13 y 14

Con predominancia de arenas limpias hacia el Norte (S-13 y S-14) y tres estratos de acilla-limosa (CL-ML), compacta a muy compacta.

En estas 4 perforaciones hay lentes donde puntualmente cae el valor del N_{SPT} , con relación a los valores de los estratos superiores e inferiores

Perforaciones S-6, 3 y 7

Con predominancia de limos hacia el norte (S-3 y S-7) y particularmente:

- ✓ Tres de los cuatro estratos de arcilla-limosas (CL-ML), detectados en este tramo, tienen una consistencia blanda a compacta, con un registro de N_{SPT} más bajo que el resto de la perforación.
- ✓ Algunos de los estratos limosos son medianamente densos, con algunos puntos sueltos a muy sueltos, cuando los estratos superiores e inferiores tienden a ser de mayor densidad.
- ✓ Al final de S-6, se detectó un estrato de arcilla de baja plasticidad (CL), de consistencia dura.

Tramo Central (Pilas C-25 a C-50), perforaciones S-8, 2 y 9

Intercalaciones de arenas limosas (SP-SM, SM y SW-SM), con limos (ML) y arcillas de baja plasticidad (CL).

Particularmente en S-8 y S2, se detectó un estrato de arcilla de baja plasticidad (CL), dura. Y en S-9 a nivel de superficie hay un estrato de arena limpia inicialmente suelta.

Desaparecen las arcillas limosas (CL-ML).

Tramo Sur (Pilas ES a C-25), perforaciones S-15,16, 10, 1, 11 y 12

Intercalaciones de arenas limpias (SP, SW, SP/SW y SP-SW) y limosas (SP-SM, SM, SW-SM), con limos (ML), sustancialmente más densas que el resto del puente. Con dos lentes de arcilla de baja plasticidad, arenosa, compacta a dura. En este tramo a pesar de ser sustancialmente más denso que el resto puente, hay lentes

donde puntualmente cae el valor del N_{SPT} , con relación a los valores de los estratos superiores e inferiores.

4.1.2 Puente Llacolén

Los datos geotécnicos disponibles del puente Llacolén provienen de:

- Dos campañas de exploración, previas a la construcción del puente, citadas por Verdugo y Peters (2010), las cuales se resumen en la Figura 4-3 y Tabla 4-3 y se presentan en el Anexo C.1:
 - La primera campaña, de 4 perforaciones, fue realizada en el año 1993, en el marco de un proyecto de cooperación internacional por la agencia Japonesa, JICA.
 - La segunda campaña, de 6 perforaciones, se realizó en el año 1996, a cargo del consorcio consultor *Systra-Sofretu-Sofrerail/Cade-Idepe*.

De estas campañas, previas a la construcción del puente, solo se dispone de los datos del ensayo SPT, normalizados (N_1 -SPT) de acuerdo a Verdugo y Peters (2010) y la ubicación de los sondeos de la Figura 4-3. Para el uso de estos datos se estimaron los valores de N_{SPT} medido en campo de acuerdo a las recomendaciones de Díaz y Rodríguez (2007), el detalle de estos cálculos se muestra en el Anexo C.1.1.

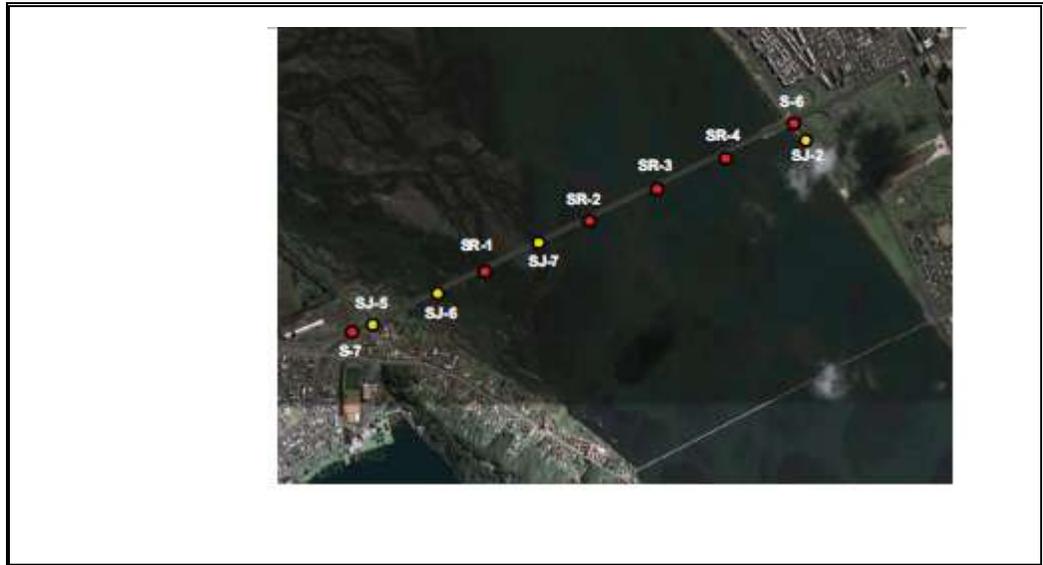


Figura 4-3: Perforaciones en el Puente Llacolén, ejecutados en 1993 (Puntos amarillos) y 1996 (Puntos rojos).

Fuente:
Figura 3.2: Sondajes exploratorios Puente Llacolén. Verdugo y Peters (2010).

Tabla 4- 3: Puente Llacolén, estudio geotécnico de 1993 y 1996.

No.	Perforación ¹⁷	Fecha de sondeo	Long. (m)	Cota (msnm)	Coordenadas UTM		Ensayos ¹⁸
					Norte	Este	
1	SJ-2	1993	27,83	ND	ND	ND	ND
2	SJ-5		17,46	ND	ND	ND	ND
3	SJ-6		30,23	ND	ND	ND	ND
4	SJ-7		30,23	ND	ND	ND	ND
5	S-6	1996	23,89	ND	ND	ND	ND
6	S-7		14,82	ND	ND	ND	ND
7	SR-1		30,36	ND	ND	ND	ND
8	SR-2		29,19	ND	ND	ND	ND
9	SR-3		29,27	ND	ND	ND	ND
10	SR-4		31,18	ND	ND	ND	ND

- Y del estudio geotécnico que realizó el IDIEM en el 2012, para la Universidad de California, Berkeley (Universidad de Chile. FCFM-IDIEM, 2012), en el estribo norte del puente (Figura 4-4). Este estudio está conformado por una perforación con toma de muestras y ensayo de penetración estándar, SPT y dos sondeos con ensayo de penetración de cono, CPT (*Cone Penetration Test*). En la Tabla 4-4, se enumeran los sondeos de este estudio cuyos detalles se presentan en el Anexo C.2.

¹⁷ Ver Anexo C

¹⁸ Ensayos de caracterización (granulometrías, contenido de humedad e índices de plasticidad): Anexo C. D: Disponible y ND: No disponible

Adicionalmente en este estudio se realizaron mediciones de la energía durante la ejecución del ensayo de penetración estándar (SPT), en el sondaje Z4-B1 (Anexo D).



Figura 4- 4: Localización de los sondeos realizados por el IDIEM (2012) en el Puente Llacolén.

Fuente:
Figura 4: Puente Llacolén. Universidad de Chile. FCFM-IDIEM (2012).

Tabla 4- 4: Puente Llacolén, estudio geotécnico realizado por IDIEM 2012.

No.	Sondeo ¹⁹	Fecha de sondeo	Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	Long. (m)	Cota snm ²⁰ (m)	Coordenadas UTM ²¹		Ensayos ²²
							Norte	Este	
1	Sondaje 4 (Z4-B1)	12/04/12 al 13/04/12	0,00	7,45	7,45	8,46	5.922.218,0	672.282,0	D/P
2	CPT9 (Z4-C3)	Abril/12	0,83 ²³	1,20	0,38	7,00	5.922.248,0	672.330,0	NA
3	CPT10 (Z4-C1)	Abril/12	0,47 ²³	3,63	3.16	8,73	5.922.216,0	672.285,0	NA

¹⁹ Ver Anexo C

²⁰ Cotas snm: Cota sobre el nivel del mar, referidas a red de nivelación geométrica respecto a vértice SHOA HUAS. Cota NMM: 4,221m. Medida a los 0,00 m de profundidad en cada punto de sondeo.

²¹ Sistema de referencia WGS 84 (Zona/Huso 18)

²² Ensayos de caracterización (granulometrías, contenido de humedad e índices de plasticidad): Anexo C. D/P: Disponible de forma parcial. D: Disponible, ND: No disponible, NA: No aplica

²³ Se pre-excavo de forma manual (Calicata), para alcanzar el nivel de inicio del ensayo CPT.

Del puente Llacolén, no fue posible realizar una descripción litológica, pues sólo se dispone de la caracterización de las muestras en la única perforación que realizó el IDIEM en el 2012, en el estribo norte del puente. Sin embargo, en el perfil de N_{SPT} medido en campo que se presenta en el Anexo C.1.1 (Figura C.1.1-1), se puede observar claramente definidos tres estratos en función de la densidad de los materiales, estimada a partir del N_{SPT} . El más superficial está constituido por materiales cuya densidad varía de suelta a medianamente densa ($N_{SPT} < 30$ golpes/pie), subyacente se encuentra un estrato denso ($30 < N_{SPT} < 50$ golpes/pie) y finalmente hay un material muy denso, cuyo valores de N_{SPT} exceden los 50 golpes/pie. Particularmente, en las perforaciones del tramo norte (SR-3, SR-4, S-6 y SJ-2), se encuentra un bolsón de arena suelta a medianamente densa ($N_{SPT} < 30$ golpes/pie), entre el estrato denso y el muy denso.

4.2 Evaluación del potencial de licuefacción.

Para evaluar si los daños observados en los puentes (descritos en la Sección 3) fueron producto del efecto de la licuefacción, es necesario evaluar previamente si de la exploración geotécnica se puede concluir que los suelos eran potencialmente licuables.

4.2.1 Método simplificado (Youd et al., 2001)

En 1996 T. L. Youd e I. M. Idriss, con el auspicio del Centro Nacional de Investigación en Ingeniería Sísmica (NCEER, por sus siglas en inglés, National Center for Earthquake Engineering Research), convocaron a un taller a 20

expertos, con el objeto de actualizar el procedimiento simplificado publicado por Seed e Idriss en 1971, y actualizado en 1979 (Seed), 1982 (Seed e Idriss) y 1985(Seed et al.); con base en la experiencia y las investigaciones de los últimos 10 años.

Los resultados de este taller se resumen en este artículo de Youd et al. (2001); en el cual:

- i. La demanda sísmica del suelo (CSR: *Cyclic Stress Ratio*) se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$CSR = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0.65 * \left(\frac{a_{max}}{g} \right) * \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * rd \quad (21)$$

donde :

a_{max} : la aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno; generada por el sismo.

g : aceleración de gravedad.

σ_{vo} : esfuerzo vertical total.

σ'_{vo} : esfuerzo vertical efectivo.

rd : Coeficiente de reducción, que depende de la profundidad (z), para el cual los participantes del taller recomendaron las ecuaciones 22a y 22b.

En las cuales “ z ” es la profundidad por debajo de la superficie, en metros.

$$rd = 1.0 - 0.00765 * z \quad \text{para} \quad z \leq 9.15m \quad (22a)$$

$$rd = 1.174 - 0.0267 * z \quad \text{para} \quad 9.15m < z \leq 23m \quad (22b)$$

Para efectos prácticos de las rutinas de programación, Youd et al. (2001) proponen utilizar la ecuación (22c), la cual reporta resultados casi idénticos a los que se obtienen con las ecuaciones (22a) y (22b). En esta

tesis los cálculos se realizaron con la ecuación (22c).

$$rd = \frac{(1 - 0,4113 * z^{0,5} + 0,04052 * z + 0,001753 * z^{1,5})}{(1 - 0,4177 * z^{0,5} + 0,05729 * z - 0,006205 * z^{1,5} + 0,001210 * z^2)} \quad (22c)$$

- ii. De acuerdo al estado actual de la práctica en el 2001, se estaban utilizando ensayos in situ para evaluar el potencial de licuefacción, a fin de evitar los inconvenientes asociados al muestreo y los ensayos de laboratorio, por ello la resistencia a la licuefacción, expresada en términos de CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) puede obtenerse a través de la siguiente expresión, en función del $(N_1)_{60}$:

Para $(N_1)_{60_cs} < 30$ golpes/pie:

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60_cs}} + \frac{(N_1)_{60_cs}}{135} + \left[\frac{50}{10 \cdot (N_1)_{60_cs} + 45} \right]^2 - \frac{1}{200} \quad (23)$$

donde:

$CRR_{7,5}$: resistencia a la licuefacción de suelos granulares limpios (es decir, contenido de finos inferior al 5%), válida solo para sismos de magnitud 7,5.

(Para efectos gráficos de esta Tesis, a los valores de $(N_1)_{60_cs} > 30$ golpes/pie, se le asignó al $CRR_{7,5}$ un valor de uno ($CRR_{7,5}=1$), con el único propósito de poder evidenciar en las gráficas las zonas donde los suelos son lo suficientemente densos como para no licuar).

$(N_1)_{60_cs}$: corresponde al valor de $(N_1)_{60}$, corregido por el efecto de un contenido de finos superior al 5%.

$(N_1)_{60}$: número de golpes medidos en el ensayo SPT, normalizado para una presión de sobrecarga de 100 kPa y corregido por el efecto de: la

energía del martillo (al 60% de energía), el diámetro de la perforación, la longitud de las barras y el uso de liner dentro en el muestreador.

$$(N_1)_{60_{cs}} = \alpha + \beta * (N_1)_{60} \quad (24)$$

donde:

$$\alpha=0 \quad FC \leq 5\% \quad (25a)$$

$$\alpha = \exp \left[1,76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] \quad 5\% < FC < 35\% \quad (25b)$$

$$\alpha=5, 0 \quad FC \geq 35\% \quad (25c)$$

siendo FC: el contenido de finos.[FC]=%

$$\beta=1,0 \quad FC \leq 5\% \quad (26a)$$

$$\beta = \left[0,99 - \left(\frac{FC^{1,5}}{1.000} \right) \right] \quad 5\% < FC < 35\% \quad (26b)$$

$$\beta=1,2 \quad FC \geq 35\% \quad (26c)$$

$$(N_1)_{60} = Nm * C_{NY} * C_{EY} * C_{BY} * C_{RY} * C_{SY} \quad (27)$$

donde:

Nm: Valor del ensayo SPT medido en campo.

C_{NY}: factor de normalizacion, para una presión de sobrecarga de 100 kPa (1 atm), según Youd et al. (2001)²⁴.

²⁴ A toda las variables descritas por Youd et al. (2001) que tienen la misma denominación que las variables descritas por Cetin et al. (2004), se les agregó el subíndice “Y”, para poder diferenciarlas.

$$C_{NY} = \frac{2,2}{\left(1,2 + \frac{\sigma'_{vo}}{100}\right)} < 1,7 \quad (28)$$

σ'_{vo} : esfuerzo vertical efectivo, a la profundidad donde se midió el Nm, en el momento de ejecución del ensayo SPT.

$[\sigma'_{vo}] = \text{kPa}$

$\sigma'_{vo} < 300 \text{ kPa}$. Para presiones mayores a 300 kPa en valor de C_N debe estimarse por otros métodos, pues el procedimiento simplificado ha sido verificado hasta profundidades en las cuales $\sigma'_{vo} < 300 \text{ kPa}$.

C_{EY} : factor de corrección por la energía del martillo (según Youd et al. (2001)).

$$C_{EY} = \frac{ER}{60} \quad (29)$$

ER: Energía transferida por el martillo.

Tabla 4- 5: Factores de corrección por la energía del martillo utilizados para el análisis según Youd.

Año de exploración/Puente	Juan Pablo II	Llacolén
1993, 1996	No aplica	Martillo tipo Dona Nota (a) $C_{EY}=0.75$
2010 (INGEXA)	Martillo de seguridad. Nota (b) $C_{EY} = 0.95$	No Aplica
2012 (FCFM-IDIEM)	Martillo manual de tipo seguro. Nota (c) $C_E = 0,896$	Martillo manual de tipo seguro. Nota (c) $C_E = 1,071$

Nota (a): No se dispone información del tipo de martillo utilizado en las exploraciones geotécnicas de 1993 y 1996 realizadas para el Puente Llacolén. Se conoce que los martillo tipo de seguridad son de data reciente en Chile, por lo cual se asumió que los ensayos SPT realizados previo al 2010, se realizaron con martillo tipo Dona. Youd et al. (2001) en su Tabla 2, recomienda valores de $C_{EY}=0.5-1.0$, para este tipo de martillos.

Nota (b): Youd et al. (2001) en su Tabla 2, recomienda valores de $C_{EY}=0,7-1,2$, para este tipo de martillos.

Nota (c): Para las exploraciones realizadas por la Universidad de Chile, FCFM-IDIEM (2012), se dispone de mediciones de la energía del ensayo SPT, los valores de C_E , se calcularon con las valores de ER que se reportan en el Anexo D, como ETR (%).

C_{BY} : factor de corrección por el diámetro de la perforación (según Youd et al. (2001)).

Para los análisis se asumió que los equipos disponibles en Chile, perforan un diámetro de 65-115 mm. Youd et al. (2001) en su Tabla 2, recomienda valores de $C_{BY}=1.0$, para este diámetro de perforacion.

C_{RY} : factor de correccion por la longitud de las barras (según Youd et al. (2001)).

Youd et al. (2001) consideran que este efecto de la longitud de la barra esta implícitamente incorporado en el procedimiento empírico del ensayo SPT.

C_{SY} : factor de corrección por el uso o no, de liner en el muestreador(según Youd et al. (2001)).

Según Verdugo y Peters (2010): "...es común que el liner que podría ser dispuesto al interior de la cuchara para un mejor

manejo de las muestras, en la práctica no se utilice...”. Por lo cual, en este estudio se aplica el factor de corrección para el muestreo sin liner. Youd et al. (2001) en su Tabla 2, recomienda valores de $C_{SY} = 1.1-1.3$, para este método de muestreo. ($C_{SY}=1,20$).

- iii. Y una vez obtenida la demanda sísmica del suelo (CSR) y su resistencia a la licuefacción ($CRR_{7,5}$), el factor de seguridad que define si existe potencial de licuefacción o no; se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$FS = \left(\frac{CRR_{7,5}}{CSR} \right) * MSF \quad (30)$$

donde:

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \quad (31)$$

donde:

M_w : Magnitud de momento del sismo. Como las magnitudes de los sismos es calculada por distintas escalas y la magnitud recomendada por Youd et al. (2001), para el analisis del potencial de licuefaccion es la magnitud de momento, en su figura No. 16 (Figura 4-5) proponen la conversion de la magnitud del sismo desde otras escalas a Magnitud de momento.

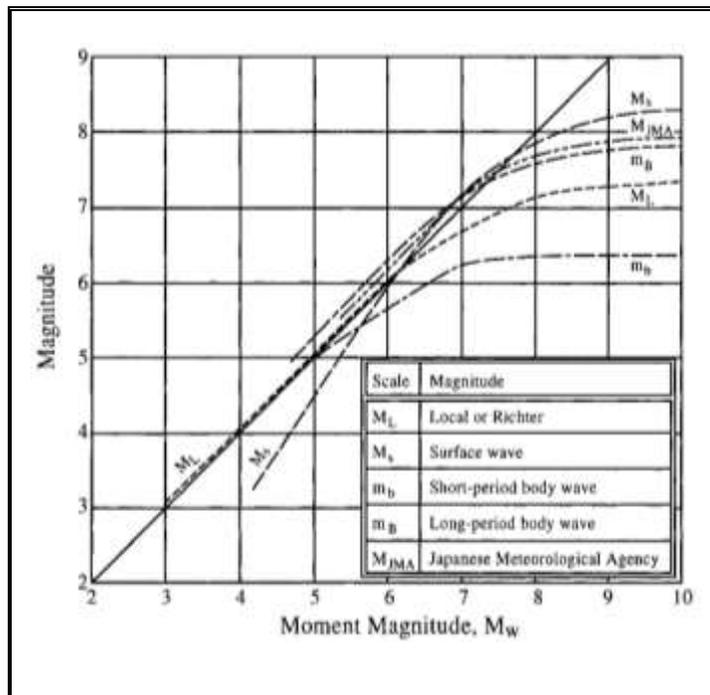


Figura 4- 5: Relación entre diferentes magnitudes y la magnitud de momento (M_w).

Fuente:

Fig. 16. Relationship between Moment M_w and Other Magnitude Scales. Youd et al. (2001)

4.2.2 Método probabilístico (Cetin et al., 2004)

Cetin et al. (2004) presentaron nuevas correlaciones para la evaluación del potencial de licuefacción, con base en los resultados del ensayo SPT. Estas nuevas correlaciones, plantean una reducción de la incertidumbre con respecto a las correlaciones previas, gracias al uso de herramientas probabilísticas de alto orden, entre otras cosas. Adicionalmente, resuelven temas que han sido controversiales

como lo son: la relación entre la magnitud y la duración del sismo, el ajuste por el contenido de finos y la corrección por la presión de sobrecarga.

Cetin et al. (2004), proponen las siguientes ecuaciones para la evaluación del potencial de licuefacción:

- i. La demanda sísmica del suelo (CSR: *Cyclic Stress Ratio*) se obtiene a través de:

$$CSR_{eq} = 0.65 * \left(\frac{a_{max}}{g} \right) * \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * rd \quad (32)$$

donde :

CSR_{eq} : “*equivalente uniform CSR*”= CSR uniforme equivalente = 65% del CSR *peak*. Para la magnitud del momento del sismo en análisis, pues “rd” está definido en función de M_w .

a_{max} , g , σ_{vo} y σ'_{vo} : son las misma variables definidas en la ecuación (21).

rd: coeficiente de reducción de esfuerzos. Cetin et al. (2004), definen este factor como una función de:

- ✓ La estratigrafía del sitio: profundidad por debajo de la superficie del terreno (d).
- ✓ Las propiedades del suelo: aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno (a_{max}) y rigidez del suelo, expresada en términos de la velocidad de ondas de corte en los 12 m superiores ($V^*_{s,12m}$)
- ✓ Y las características de la excitación: Magnitud de momento del sismo (M_w).

$$rd = f(d, M_w, a_{max}, V^*_{s,12m})$$

Para el cálculo de la Demanda sísmica (CSR_{eq} : *Cyclic Stress Ratio*), como no se disponen de datos de la rigidez del suelo mediante velocidad de ondas de corte sobre los 12 metros de profundidad ($V_{s,12m}$), en esta

Tesis se utilizó la recomendación del método simplificado de Youd et al. (2001) para el cálculo del coeficiente de reducción de esfuerzos “rd” (ver ecuación (22)).

De ser necesario comparar el valor de CSReq con valores de CSR obtenidos por otros procedimientos, es posible transformar el valor de CSReq para un sismo de magnitud de momento del sismo de 7,5 (CSR*eq); a través de la siguiente expresión:

$$CSR^*_{eq} = CSR_{eq} / DWF_M \quad (33)$$

donde:

CSReq: Ídem ecuación (32)

DWF_M: factor de correlación de magnitud. Este factor se obtiene de la Figura 4-6.

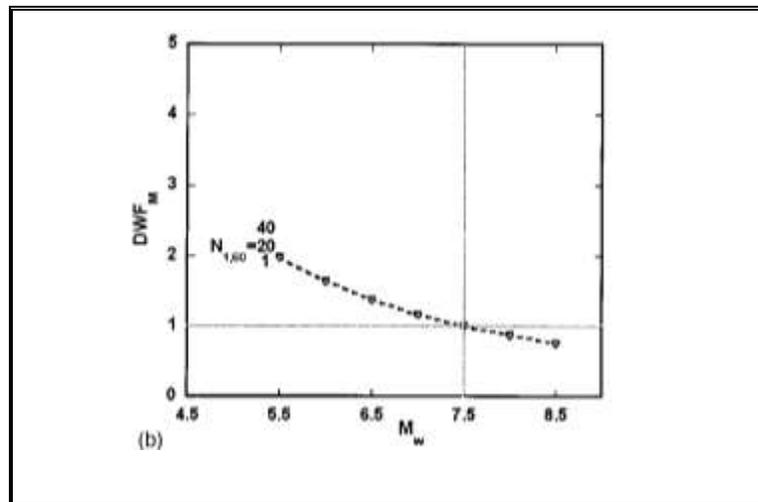


Figura 4- 6: Factor de correlación de magnitud (DWF_M).

Fuente:

Fig. 10b. Recommended magnitude-correlated duration weighting factor as function of $N_{1,60}$. Cetin et al. (2004)

- ii. Los valores de N , del ensayo SPT, deben corregirse por el efecto de la presión de sobrecarga, para obtener N_1 :

$$N_1 = N * C_{NC} \quad (34)$$

$$C_{NC} = \left(\frac{1}{\sigma'_v} \right)^{0,5} \leq 1,6 \quad (35)$$

donde:

C_{NC} : factor de normalización, para una presión de sobrecarga de 1 atm. (según Cetin et al. (2004))²⁵.

σ'_v : esfuerzo vertical efectivo a la profundidad a la cual se midió el N_{SPT} . [σ'_v]= atmosfera.

- iii. El valor de N_1 , debe corregirse por el efecto de la energía del equipo de perforación, y el procedimiento de ensayo, para obtener el valor de N estandarizado ($N_{1,60}$):

$$N_{1,60} = N_1 * C_{RC} * C_{SC} * C_{BC} * C_{EC} \quad (36)$$

donde:

C_{RC} : factor de corrección por la longitud de las barras (según Cetin et al. (2004)).

Cetin et al. (2004) en su figura 7 (Figura 4-7), recomienda los valores de C_{RC} , en función de la longitud total de barras (*rl: rod length*), medida desde el punto de impacto del martillo a la punta del muestreador. Para los casos en los que la distancia entre el punto de impacto del martillo y la punta del muestreador no es registrada,

²⁵ A toda las variables descritas por Cetin et al. (2004), que tienen la misma denominación que las variables descritas por Youd et al. (2001), se les agregó el subíndice “c”, para poder diferenciarlas.

Cetin et al. (2004), proponen asumir que la distancia desde la cota del terreno hasta el punto de impacto del martillo es: 1,2 metros, para los martillos tipo dona y 2,1 metros, para los martillos de seguridad. Siendo entonces:

$$rl = 1,2 + z \quad \text{para martillos tipo dona} \quad (37a)$$

$$rl = 2,1 + z \quad \text{para martillos de seguridad} \quad (37b)$$

(z: es la profundidad por debajo de la superficie, en metros)

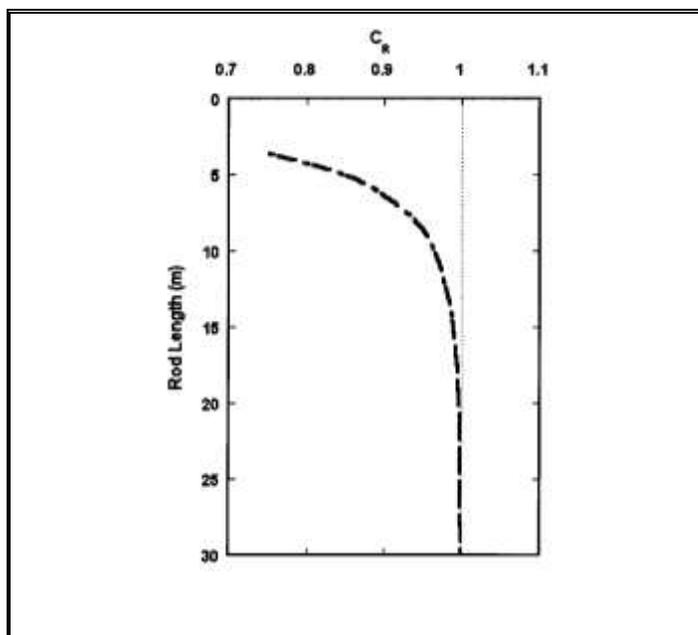


Figura 4- 7: Valores de recomendados de C_{RC} .

Fuente:

Fig. 7. Recommended CR values (rod length from point of hammer impact to tip of sampler). Cetin et al. (2004)

C_{SC} : factor de corrección por el uso o no, de liner en el muestreador (según Cetin et al. (2004)).

$$C_{SC} = 1 + \left(\frac{N_{1,60}}{100} \right) \quad (38)$$

$$1,1 \leq C_{SC} \leq 1,3$$

Tal y como se mencionó en el Método Simplificado de Youd, es común que en la práctica no se utilice el liner dentro de muestreador (Verdugo y Peters (2010)), por lo cual, en esta Tesis se aplica el factor de corrección para el muestreo sin liner. Para esta condición, Cetin et al. (2004) recomienda calcular el C_S de acuerdo a la ecuación (38), iterando.

C_{BC} : factor de corrección por el diámetro de la perforación (según Cetin et al. (2004)).

Se asumió que los equipos disponibles en Chile, perforan un diámetro de 65-115 mm, Cetin et al. (2004) en su Tabla 2, recomienda valores de $C_{BY}=1$.

C_{EC} : factor de corrección por la energía del martillo (según Cetin et al. (2004)). Ver Tabla 4-6

Tabla 4- 6: Factores de corrección por la energía del martillo utilizados para el análisis según Cetin.

Año de exploración/Puente	Juan Pablo II	Llacolén
1993, 1996	No aplica	Martillo tipo Dona Nota (d) $C_{EC}=0.75$
2010 (INGEXA)	Martillo de seguridad. Nota (e) $C_{EC} =0.95$	No Aplica
2012 (FCFM-IDIEM)	Martillo manual de tipo seguro. Nota (f) $C_E =0.896$	Martillo manual de tipo seguro. Nota (f) $C_E =1.071$

Nota (d): No se dispone de información sobre el tipo de martillo utilizado en las exploraciones geotécnicas de 1993 y 1996, realizadas para el Puente Llacolén. Se conoce que los martillo tipo de seguridad son de data reciente en Chile, por lo cual se asumió que los ensayos SPT realizados previo al 2010, se realizaron con martillo tipo Dona. Adicionalmente, se asumió que el dispositivo para levantar y soltar la masa es de tipo: “a: *Normal release*”; mediante soga y malacate, la soga tiene 2 vueltas en el tambor (figura 1, ASTM 1586²⁶) al momento de liberación de la masa, por lo que se genera una importante pérdida de energía.

Cetin et al. (2004) en su Tabla 2, recomienda valores de

²⁶ Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.

$C_{EC}=0.5-1.0$, para este tipo de martillos, con dispositivos para levantar y soltar la masa, tipo a.

Nota (e): Cetin et al. (2004) en su Tabla 2, recomienda valores de $C_{EC}=0,7-1,2$, para este tipo de martillos, con dispositivos para levantar y soltar la masa, tipo a.

Nota (f): Para las exploraciones realizadas por la Universidad de Chile, FCFM-IDIEM (2012), se disponen de mediciones de la energía del ensayo SPT, los valores de C_E , se calcularon con las valores de ER que se reportan en el Anexo D, como ETR (%).

- iv. Ajuste por contenido de finos (FC). Una vez obtenido en la valor de $N_{1,60}$, éste debe ser corregido por el contenido de finos, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$N_{1,60,CS} = N_{1,60} * C_{finos} \quad (39)$$

$$C_{finos} = (1 + 0,004 \cdot FC) + 0,005 \cdot \left(\frac{FC}{N_{1,60}} \right) \quad (40)$$

Para: $5\% \leq FC \leq 35\%$

donde

FC: porcentaje de finos (en peso seco) expresado como un número entero, por ejemplo 12% de finos se expresan como FC=12.

De acuerdo a las recomendaciones de Cetin et al. (2004) si el $FC < 5\%$, la corrección por finos (C_{finos}) se calcula con $FC=0$ y si $FC > 35\%$, C_{finos} se calcula con $FC=35$.

v. La probabilidad de ocurrencia de licuefacción “PL”, está definida por la siguiente expresión:

$$PL = f(N_{1,60}, FC, CSR_{eq}, Mw, \sigma'_v) \quad (41)$$

$$PL = \phi \left(\frac{\left(N_{1,60} * (1 + 0,004 * FC) - 13,32 * \ln(CSR_{eq}) - 29,53 * \ln(Mw) - 3,70 * \ln\left(\frac{\sigma'_v}{Pa}\right) + 0,05 * FC + 16,85 \right)}{2,70} \right)$$

donde:

[PL] = se obtiene en decimales, por ejemplo si PL=0.30 la probabilidad de ocurrencia de licuefacción es del 30%.

ϕ = función de distribución estándar normal acumulativa.

$N_{1,60}$ = $N_{1,60}$ sin la corrección por finos, obtenido de la ecuación (36).

FC: Ídem ecuación (40).

CSR_{eq} : CSR uniforme equivalente, sin ser corregido por la magnitud o la duración del evento, ver ecuación (32).

M_w : Magnitud de momento del sismo.

σ'_v : esfuerzo vertical efectivo. [σ'_v] = Fuerza/área = atm ó kPa ó psf.

Pa: Presión atmosférica (Pa=1 atm \approx 100 kPa \approx 2.000 psf) expresada en las mismas unidades del σ'_v .

- vi. Una vez obtenida la probabilidad de ocurrencia de licuefacción (PL), es posible calcular la resistencia a la licuefacción o parámetro CRR (Cyclic Resistance Ratio), a través de la siguiente expresión:

$$CRR = f(N_{1,60}, FC, Mw, \sigma'_v, PL) \quad (42)$$

$$CRR = \exp \left(\frac{\left(N_{1,60} * (1 + 0,004 * FC) - 29,53 * \ln(Mw) - 3,70 * \ln \left(\frac{\sigma'_v}{Pa} \right) + 0,05 * FC + 16,85 + 2,70 \phi^{-1}(PL) \right)}{13,32} \right)$$

donde:

$N_{1,60}$, FC, Mw, σ'_v , Pa y PL: Ídem ecuación (41).

4.2.3 Evaluación del potencial de licuefacción de los suelos de grano fino (ML, CL, CL-ML).

Tradicionalmente se consideraba que los suelos de grano fino, y los suelos granulares con altos contenidos de finos, no licuaban. Sin embargo, después de encontrarse evidencias de suelos limosos que licuaban en varios sismos, Seed and Idriss (1982) recomendaron el Criterio Chino Modificado; el cual establece que la licuefacción puede ocurrir solo si se presentan las siguientes tres condiciones al mismo tiempo (Youd et al., 2001):

- ✓ Fracción de arcilla (finos menores de 0,005 mm) $\leq 15\%$
- ✓ Límite líquido, $LL \leq 35\%$
- ✓ Contenido de humedad natural, $w \geq 0,9 LL$ (siendo el Límite Líquido (LL) medido con el cono de caída (*Fall cone test*) usado en China y no con la Cuchara de Casagrande, con la cual el LL para un mismo suelo puede ser 4 puntos más bajo).

Sin embargo, Bray y Sancio (2006) determinaron que el Criterio Chino no es confiable para determinar la susceptibilidad de licuefacción en los suelos de grano fino, pues suelos finos que licuaron en los eventos de 1994 (Northridge), 1999 (Kocaeli), y 1999 (Chi-Chi), no coincidieron con la premisa del tamaño de arcilla del Criterio Chino.

Como la licuefacción en suelos finos se manifiesta como movilidad cíclica (el suelo muestra una pérdida de resistencia de forma significativa, producto del incremento de la presión de poros, pero su tendencia a dilatar los llevan a la

condición de movilidad cíclica con deformación limitada), en lugar del porcentaje de arcilla, Bray y Sancio (2006), proponen que el Índice de plasticidad (IP) es el mejor indicador de la susceptibilidad de licuefacción, tal y como se resume en la Tabla 4-7 y en la Figura 4-8:

Tabla 4- 7: Criterios de licuefacción para suelos finos según Bray y Sancio (2006)

Tipo de suelo	Plasticidad	wc/LL	¿Licua?
Limos (ML) y Limos Arcillosos (CL-ML), jóvenes y superficiales	Baja plasticidad IP<12	wc/LL> 0.85	Es susceptible de licuar.
Limos Arcillosos (CL-ML) o arcillas Limosas (CL-ML), jóvenes y superficiales	Plasticidad moderada 12<IP<18	0.80 <wc/LL< 0.85	Moderadamente susceptible. Son más resistentes a la licuefacción, pero sin dejar de ser susceptibles. Se debe establecer su susceptibilidad a través de ensayos de laboratorio.
Suelos finos sensitivos	IP>18	wc/LL< 0.80	A bajas presiones de confinamiento, no es susceptible de licuar. Sin embargo, se debe aplicar el criterio ingenieril

IP: índice de Plasticidad

LL: Limite Líquido

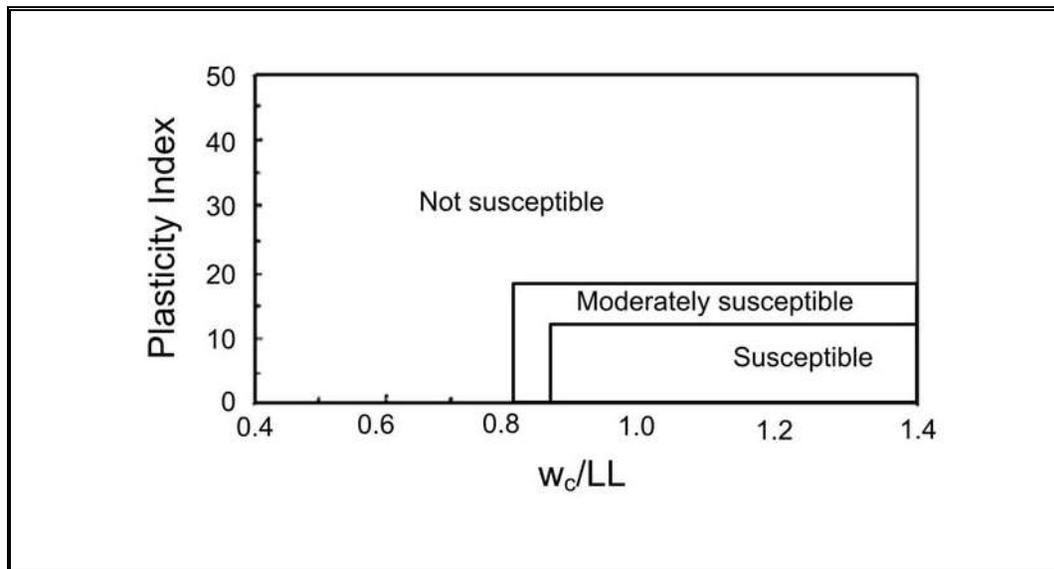


Figura 4- 8: Rangos del índice de plasticidad y de w_c/LL para las diversas categorías de susceptibilidad según Bray y Sancio (2006).

Fuente:

Fig. 4.3. Ranges of w_c/LL and plasticity index for various susceptibility categories. Kramer (2008)

Por su parte Boulanger e Idriss (2006), también recomiendan discontinuar el uso del Criterio Chino, pues no lo consideran adecuado para estimar qué tipo de comportamiento tendrá el suelo. En su lugar proponen que:

- ✓ Los suelos finos que muestran comportamiento de arcilla, pues su $IP > 7$ (CL) o $IP \geq 5$ (CL-ML), no se consideren susceptibles de licuar y su resistencia cíclica (CRR) sea evaluada a través de ensayos en sitio y/o ensayos de laboratorio y correlaciones empíricas, como por ejemplo lo propuesto por Boulanger e Idriss (2004) para evaluar la resistencia al corte no-drenada, monotónica, de estos materiales.

- ✓ Los suelos finos de comportamiento intermedio o de transición (Figura 4-9), cuyo $3 < IP < 6$, la resistencia cíclica (CRR) debe ser evaluada a través de ensayos de laboratorio, los cuales proveerán mejores resultados que las correlaciones de SPT y CPT.
- ✓ Los suelos finos que muestran comportamiento de arena, cuyo $IP < 3$, pueden ser considerados susceptibles de licuar y su resistencia cíclica (CRR) podrá ser estimada a partir de correlaciones de SPT y CPT.

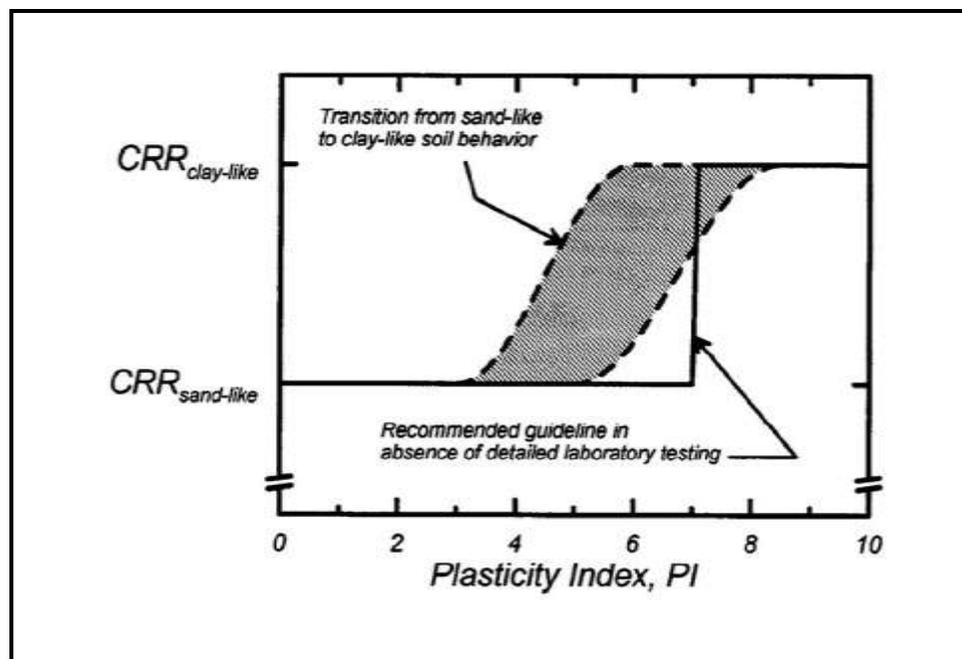


Figura 4- 9: Variación del comportamiento de los suelos de grano fino con el índice de plasticidad, del comportamiento tipo arenoso al comportamiento tipo arcilloso.

Fuente:

Fig. 4.1. Transition from sand-like to clay-like behavior with plasticity index for fine-grained soils. Kramer (2008)

4.2.4 Sensibilidad de los parámetros que intervienen en el potencial de licuefacción

a) Variables de la demanda sísmica del suelo o CSR (Cyclic Stress Ratio):

La demanda sísmica del suelo (CSR, ecuaciones (21) y (32)) está expresada en función de las mismas variables en los dos métodos utilizados en esta tesis:

$$CSR_{eq} = 0.65 * \left(\frac{a_{max}}{g} \right) * \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * rd \quad (32)$$

De estas variables analizaremos el efecto de la aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno (a_{max}) y del coeficiente de reducción (rd), pues la relación del esfuerzo total y el esfuerzo efectivo in situ (σ_{vo}/σ'_{vo}) no varía demasiado, y para ambos puentes oscila en torno a 2,1.

a.i. Aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno (a_{max}):

Una variación en 25% de la a_{max} es capaz de reducir el FS (de Youd et al. 2001) en un 20% e incrementar la PL en un 2%.

a.ii. *Impacto del coeficiente de reducción (rd) en el Factor de seguridad (FS), según Youd et al. (2001):*

Siendo:

$$FS = \left(\frac{CRR_{7,5}}{CSR} \right) * MSF \quad (30)$$

Obtenemos:

$$FS = \left(\frac{CRR_{7,5} * MSF}{0.65 * \left(\frac{a_{max}}{g} \right) * \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right)} \right) * \frac{1}{rd} \quad (43)$$

Como el FS es inverso al rd (43), y el rd disminuye con la profundidad (Figura 4-10); para un valor de $(N1)_{60_cs}$ fijo ($CRR_{7,5}=f[(N1)_{60_cs}]$, ver ecuación (23)) y siendo a_{max} y Mw ($MSF=f[Mw]$, ver ecuación (31)) constantes características del sismo, el FS se incrementa con la profundidad, producto del rd, siendo este capaz de triplicar el valor del FS con la profundidad.

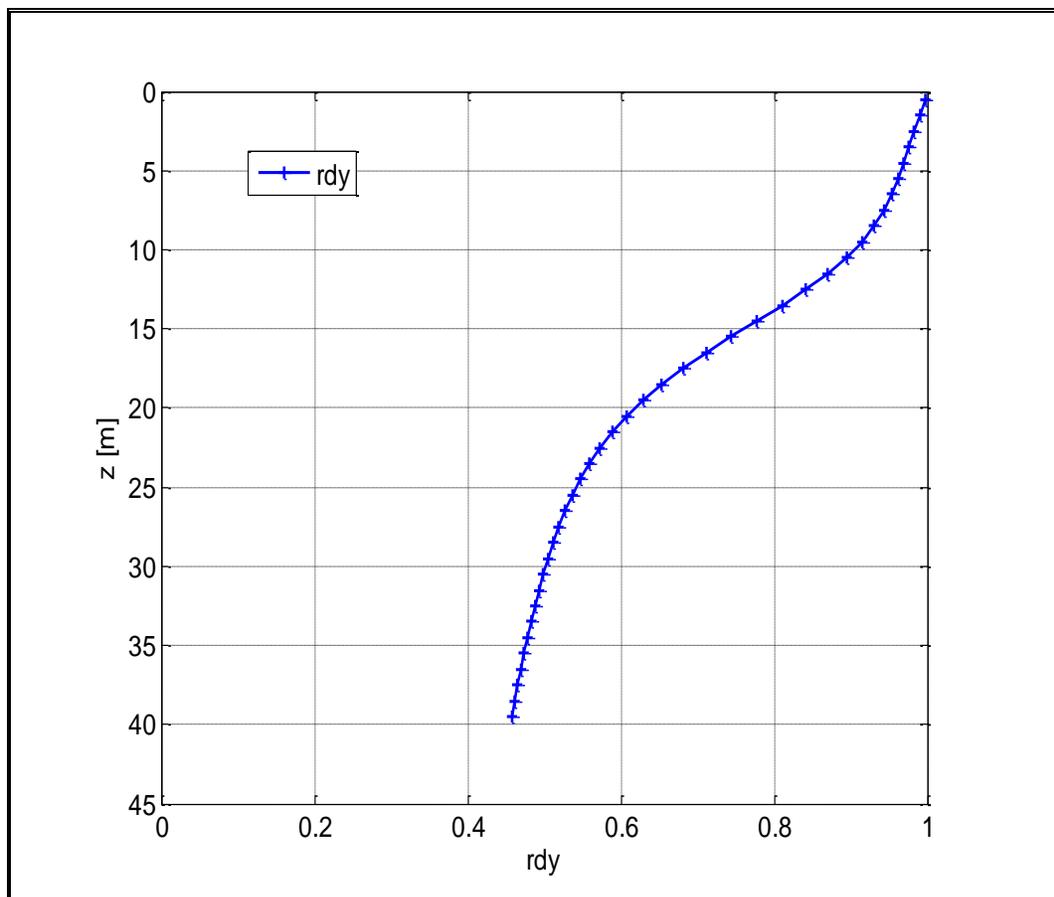


Figura 4- 10: Coeficiente de reducción vs. profundidad.

Fuente:
Elaboración propia, con la ecuación (22c)

a.iii. Impacto del coeficiente de reducción (rd) en la probabilidad de ocurrencia (PL), según Cetin et al. (2004):

Teniendo en cuenta que debido a que no se disponen de los datos de la rigidez del suelo ($V_{s,12m}$), para el cálculo del CSReq de acuerdo al método de Cetin et al. (2004), en esta tesis se utilizó la recomendación del método simplificado de Youd

et al. (2001), para el cálculo del coeficiente de reducción de esfuerzos “rd” (ver ecuación (22)).

Con base en lo anterior, podemos decir que como la PL es directamente proporcional al logaritmo natural del CSReq (ecuación (41)), y éste a su vez es directamente proporcional al rd, que disminuye con la profundidad (Figura 4-10); para valores de $N_{1,60}$, σ_v y FC fijos y siendo a_{max} y Mw constantes características del sismo, la PL disminuye con la profundidad al igual que el rd.

b) Variables de la resistencia a la licuefacción o parámetro CRR (*Cyclic Resistance Ratio*).

Como se mencionó anteriormente, para Youd et al (2001):

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60_{cs}}} + \frac{(N_1)_{60_{cs}}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60_{cs}} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (23)$$

$(N_1)_{60_{cs}} < 30$ golpes/pie

Y para Cetin et al (2004):

$$CRR = f(N_{1,60}, FC, Mw, \sigma_v', PL) \quad \text{Ver ecuación (42)}$$

Para evaluar el efecto del contenido de fino (FC) en la resistencia a la licuefacción, expresada en términos de CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), se evaluó primero el efecto del contenido de finos en el $N_{1,60}$:

- Para Youd et al. (2001), el efecto del contenido de finos en el $(N_1)_{60}$ es sustancialmente más significativo, pues es capaz de hacer variar el $(N_1)_{60}$ (Figura 4-11):

- ✓ Entre -2% y 78%, para FC entre 5% y 34 %.
- ✓ Entre 37% y 120%, para FC > 35 %.

Sin embargo, a medida que se incrementa el valor de $(N_1)_{60}$, el efecto del contenido de finos es menos significativo.

- Para Cetin et al. (2004), el efecto del contenido de finos en el $N_{1,60}$, es menos significativo que para Youd, pues sólo varía (producto del incremento del contenido de finos) entre 16% y 49% (Figura 4-11). Aunque de igual forma, es menor el efecto del contenido de finos a medida que el $N_{1,60}$ se incrementa.

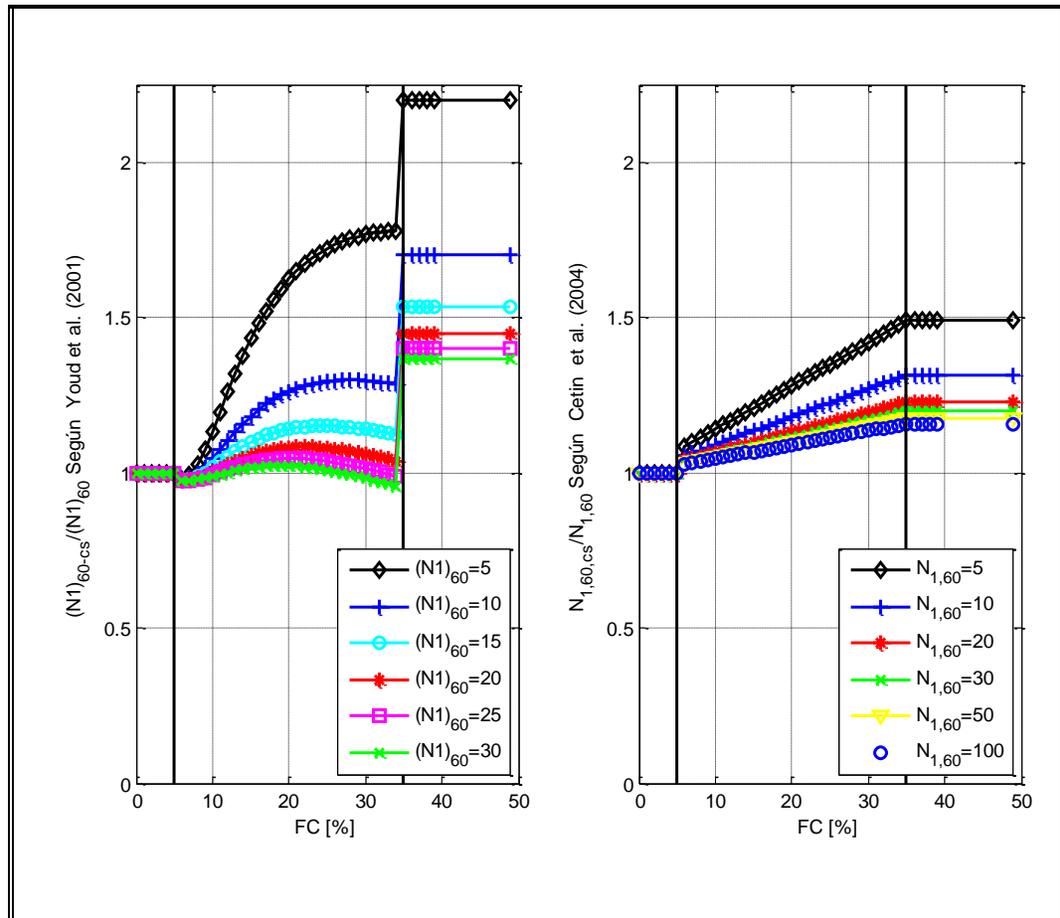


Figura 4- 11: Efecto del Contenido de Finos (FC) en el $(N1)_{60}$, según Youd et al. (2001) y en el $N_{1,60}$ según Cetin et al. (2004).

Fuente:
Elaboración Propia

Con base en el efecto del contenido de finos en el $(N_1)_{60}$ o $N_{1,60}$, se estimó la resistencia a la licuefacción, para un sismo de magnitud 7.5 (CRR7,5), a fin de evaluar el efecto del contenido de finos en ella:

- Para Youd et al. (2001), la variación en el contenido de finos (FC) en el CRR_{7,5} (Figura 4-12):

- ✓ Es capaz de hacer incrementar la resistencia a la licuefacción en la medida que se incrementa el FC, para valores de FC entre 5% y 34 %.

Pero en la medida que el $(N_1)_{60}$ es más alto, el impacto del contenido de finos es menor.

- ✓ Produce un salto, en comparación con la resistencia para FC=34%, mucho más significativo en la medida que el valor del $(N_1)_{60}$ es mayor; pero no hay incremento de la resistencia a la licuefacción con el incremento del contenido de finos, para valores de FC > 35 %:

- Para evaluar el efecto del contenido de finos en el CRR_{7,5}, con la expresión de Cetin et al. (2004), fue necesario fijar las siguientes variables: $N_{1,60}$, Mw, PL y $\sigma'v$. Para el $N_{1,60}$ se seleccionaron 6 valores representativos, el $\sigma'v$ se fijó en la mediana de los valores de Llacolén, la Mw se fijó en 7,5 y la PL en 50%. Con base en estas premisas se encontró que, un incremento del FC:

- ✓ De 0 a 49%, es capaz de hacer incrementar la resistencia a la licuefacción (CRR_{7,5}), entre 29% y 87% para valores de $N_{1,60} < 30$ golpes/pie y entre 88% y 425% para valores de $N_{1,60} > 30$ golpes/pie

(Figura 4-12), sin importar el valor de la PL ocurrencia utilizado para el análisis.

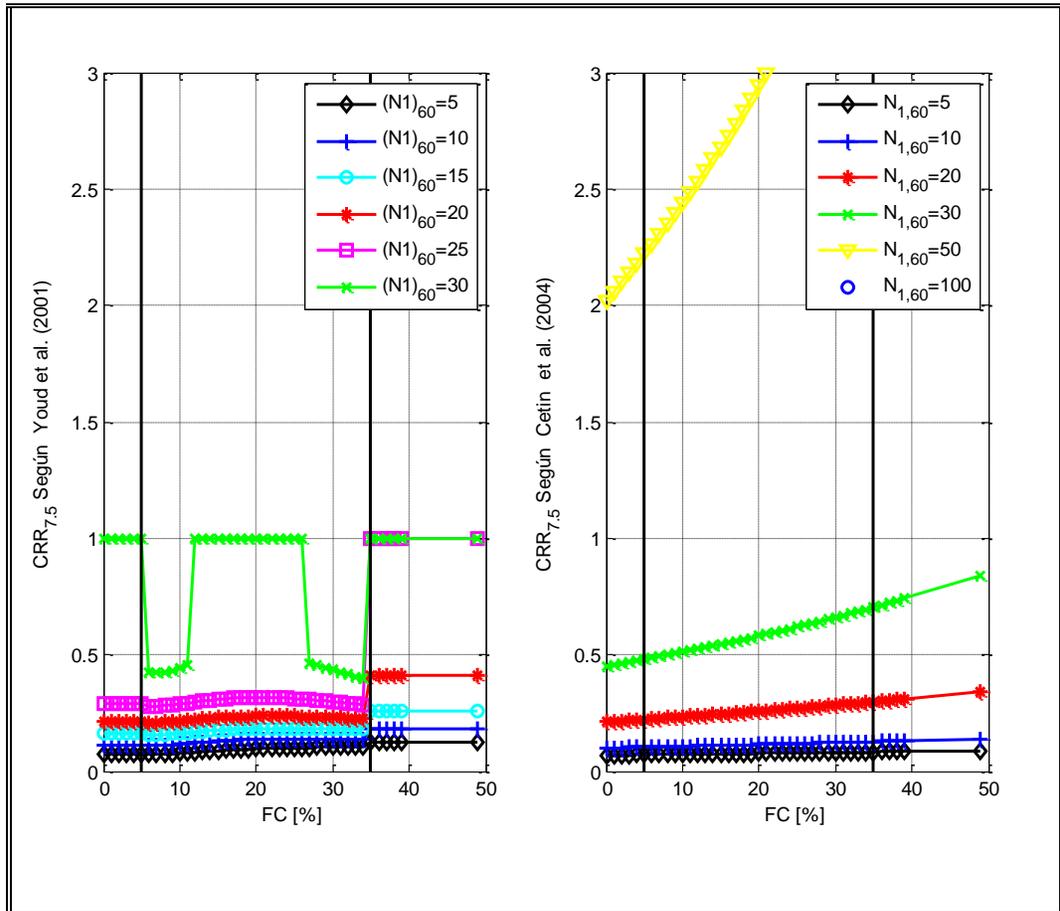


Figura 4- 12: Efecto del contenido de finos (FC) en el CRR_{7.5} según Youd et al. (2001) y según Cetin et al. (2004).

Fuente:
Elaboración Propia

4.2.5 Consideraciones generales para la evaluación del potencial de licuefacción.

- Para la clasificación de los materiales, cuando se disponían de ensayos de caracterización se utilizó la norma ASTM D 2487-00²⁷ (ASTM, 2000), la cual trabajó con el sistema de Clasificación Unificado (USCS) al igual que el Manual de Carreteras (MOP-DV, 2002).
- En el Puente Juan Pablo II, cuando no se disponían de ensayos de caracterización, se usó la caracterización reportada por la empresa que realizó el estudio. En el Anexo B.4 se puede observar los resultados de la caracterización del suelo en el Puente Juan Pablo II.
- En el Puente Llacolén, no se dispone de ensayos de caracterización, por lo cual se asumió que todos los materiales son granulares y se trabajó con dos escenarios: (a) todos los materiales tienen un contenido de finos menor a 5% y (b) todos los materiales tienen un contenido de finos mayor a 35%.
- Se utilizaron valores de pesos unitarios, provenientes de la experiencia local, en función de la consistencia y la densidad del suelo, obtenida de los valores de N_{SPT} (Tabla 4-8). Para los limos se utilizó un único valor de peso unitario total de 17 (kN/m³).

²⁷ Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).

Tabla 4- 8: Pesos unitarios totales (γ_t), utilizados para el análisis del potencial de licuefacción.

Arenas				Arcillas			
N _{SPT}		Densidad	γ_t (kN/m ³)	N _{SPT}		Compacidad	γ_t (kN/m ³)
0	4	Muy suelta	17.75	0	4	Muy Blanda a Blanda	15.71
4	10	Suelta	18.5	4	8	Medianamente compacta	18.07
10	30	Medianamente densa	19.25	9	15	Compacta	20.03
30	50	Densa	20	16	30	Muy Compacta	21.99
>50		Muy densa	20.75	>30		Dura	21.99

- Para los cálculos del potencial de licuefacción, se utilizó la profundidad promedio del estrato (“z” en Youd et al. (2001) y “d” en Cetin et al. (2004)).
- Se realizó la evaluación del potencial de licuefacción en los dos puentes para tres aceleraciones máximas (a_{max}) numéricamente iguales a las tres aceleraciones efectivas máxima del suelo ($A_0 = 0,2g; 0,3g$ y $0,4g$) propuesta por la Norma Chilena NCh433.Of96-Mod. 2009 y el Decreto Supremo No. 61 (2011), para las tres zonas sísmicas de Chile). Pues a pesar de tener orígenes diferentes (a_{max}^{28} y A_0^{29}), para los registros del terremoto del 27 Febrero del

²⁸ Aceleración horizontal máxima del terreno del terreno, generada por un sismo (a_{max}): se obtiene de la máxima aceleración que registra un instrumento en sentido horizontal en un punto específico durante el sismo de estudio.

2010, Ramón Verdugo (Verdugo, Ledezma, y Lemnitzer, 2013) mostro que la aceleración efectiva máxima del suelo. (A_0 de la norma NCh433) y la aceleración horizontal máxima del terreno, generada por el sismo (a_{max}), tienen una diferencia aproximadamente del 15%, por lo cual pueden considerarse numéricamente cercanas.

- Adicionalmente, RENADIC³⁰ (Boroschek, Soto y León, 2010) registró en Concepción³¹, las siguientes aceleraciones máximas:
 - Sin corregir: $a_{max-longitudinal} = 0.402g$ y $a_{max-transversal} = 0.284g$.
 - Y corregidas: $a_{max-longitudinal} = 0.401g$ y $a_{max-transversal} = 0.286g$.

Mientras que la Red Sismológica Nacional (Barrientos, 2010), registró en un Colegio en San Pedro³², las siguientes aceleraciones máximas, sin corregir:

- $a_{max-horizontal_NS} = 0.65g$ y $a_{max-horizontal_EW} = 0.61g$.

Dados los registros de aceleración horizontal máxima del terreno generada por el sismo (a_{max}), al norte y al sur del puente, el valor de 0.4g podría estar subestimando la verdadera a_{max} en el sector de los puentes, debido a: que se espera que los suelos en el área de los puentes sean más sueltos o blandos que en el sector donde está el instrumento RENADIC, y dada la aceleración

²⁹ Aceleración efectiva máxima del suelo (A_0): del espectro de respuesta con un 5% de amortiguamiento, se calcula el promedio de la aceleración espectral en un rango de periodo corto (0.1 a 0.5 seg), al dividir este promedio entre 2,5; se obtiene la A_0 .

³⁰ RENADIC: Red de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

³¹ Este instrumento está ubicado aproximadamente a 2,4 km y 2,75 km, del acceso en Concepción del puente Llacolén y el Puente Juan Pablo II, respectivamente.

³² Este instrumento está ubicado aproximadamente a 1,24 km y 2,1 km, del acceso en San Pedro del puente Llacolén y el Puente Juan Pablo II, respectivamente.

registrada en San Pedro. Los resultados obtenidos en los análisis con $a_{max}=0.4g$, nos da una cota inferior de lo ocurrido, pues no se dispone de suficiente información para estimar cuánto mayor pudo haber sido la aceleración máxima en el área de los puentes.

4.2.6 Resultados de la evaluación del potencial de licuefacción y comparación con los daños observados en el terremoto 2010.

La norma NCh433.Of96-Mod. 2009 y el Decreto Supremo No. 61 (2011) definen como suelos potencialmente licuables los de $N_1 < 20$ golpes/pie, los cuales requieren de un estudio especial.

Con los datos de los puentes Juan Pablo II y Llacolén, presentados en la sección 4.1, los procedimientos descritos en las secciones 4.2.1; 4.2.2, 4.2.3 y las consideraciones de la sección 4.2.5; se realizó la evaluación del potencial de licuefacción en los dos puentes. Los resultados de esta evaluación se presentan de forma gráfica en el Anexo E y se analizan a continuación.

a) Puente Juan Pablo II

Dada la gran cantidad de estratos de grano fino en el Perfil Litológico del puente (Anexo B.4 y Figura 4-13 (%FC)), se evaluó la susceptibilidad de licuefacción de estos materiales finos, de acuerdo a los criterios descritos en la Sección 4.2.3, cuyos resultados se resumen en el Anexo E.1.1. Se consideraron para el análisis, susceptible de licuar:

- ✓ Cuando los dos criterios definen el estrato como susceptible.

- ✓ Cuando uno de los criterios define el estrato como susceptible y el otro no, y a su vez el estrato de material fino tiene un contenido de humedad (w_c) superior al límite líquido (LL), lo cual se traduce en una baja resistencia al corte de acuerdo a Muir (1990).

Particularmente, en los casos cuando los criterios no califican como susceptible o no aplican y el contenido de humedad (w_c) es superior al límite líquido (LL), pero el valor del N_{SPT} medido en campo es alto, se definió el estrato como de “Criterio Ingenieril”, en los cuales la resistencia a la licuefacción (CRR) debería ser evaluada a través de ensayos de laboratorio o ensayos en sitio.

En la Figura 4-13, se presentan de forma gráfica, la proporción de suelos de granos finos presente en cada perforación (%FC), cuántos de esos finos son susceptibles de licuar (%FCS) de acuerdo a lo descrito en los párrafos anteriores, y cuántos de esos finos susceptibles licuan para un sismo de $a_{max}=0.4g$ (%FSL_FS, según Youd et al. (2001) y %FSL_PL, según Cetin et al. (2004)).

En el perfil del licuefacción del puente Juan Pablo II (Anexo E.1.2), se indican todos los estratos de grano fino, así como los estratos de $FS < 1$ y $PL > 80\%$, que licuan.

Una vez definidos cuales son los estratos que licuan (Anexo E.1.2), se evaluó el efecto de la licuefacción en el comportamiento de los pilotes; en las Figuras 4-14 y 4-15 se presenta de forma grafica la proporción del fuste y del área bajo la punta del pilote, que licua.

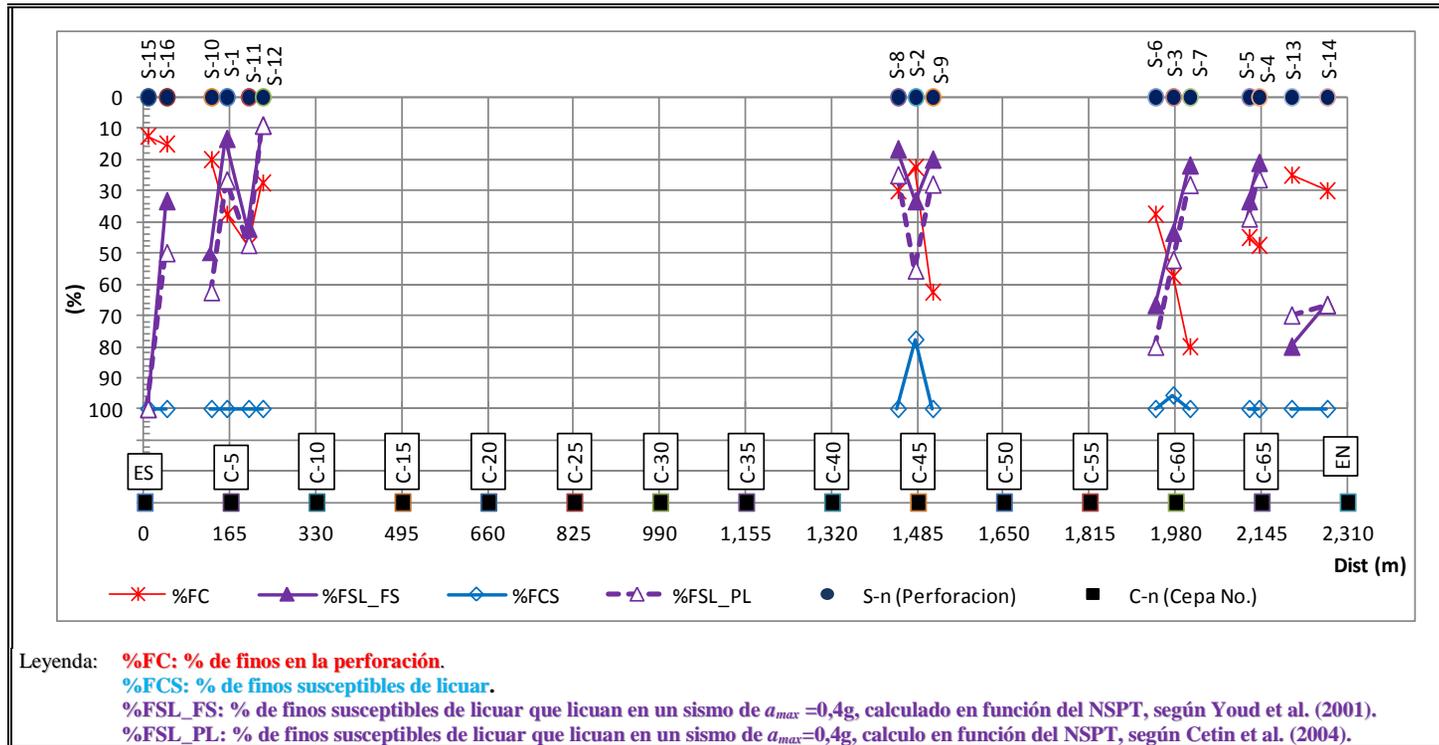


Figura 4- 13: Proporción de finos, susceptible de licuar y que licuan para un sismo de $a_{max}=0.4g$.

Fuente:
Elaboración Propia

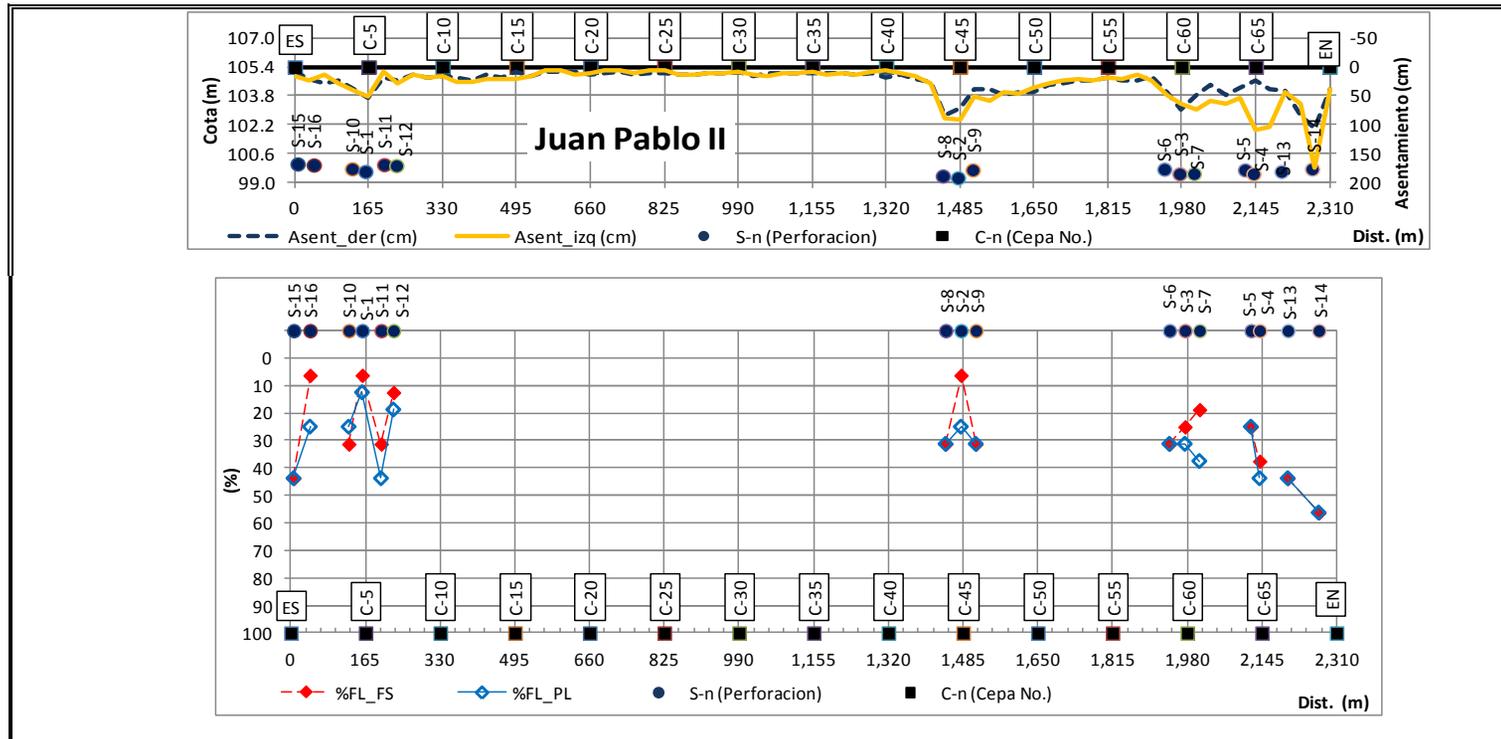


Figura 4- 14: Proporción del fuste que licua, según Youd et al., 2001 (%FL_FS) y Cetin et al., 2004 (%FL_PL).

Fuente:
Elaboración Propia

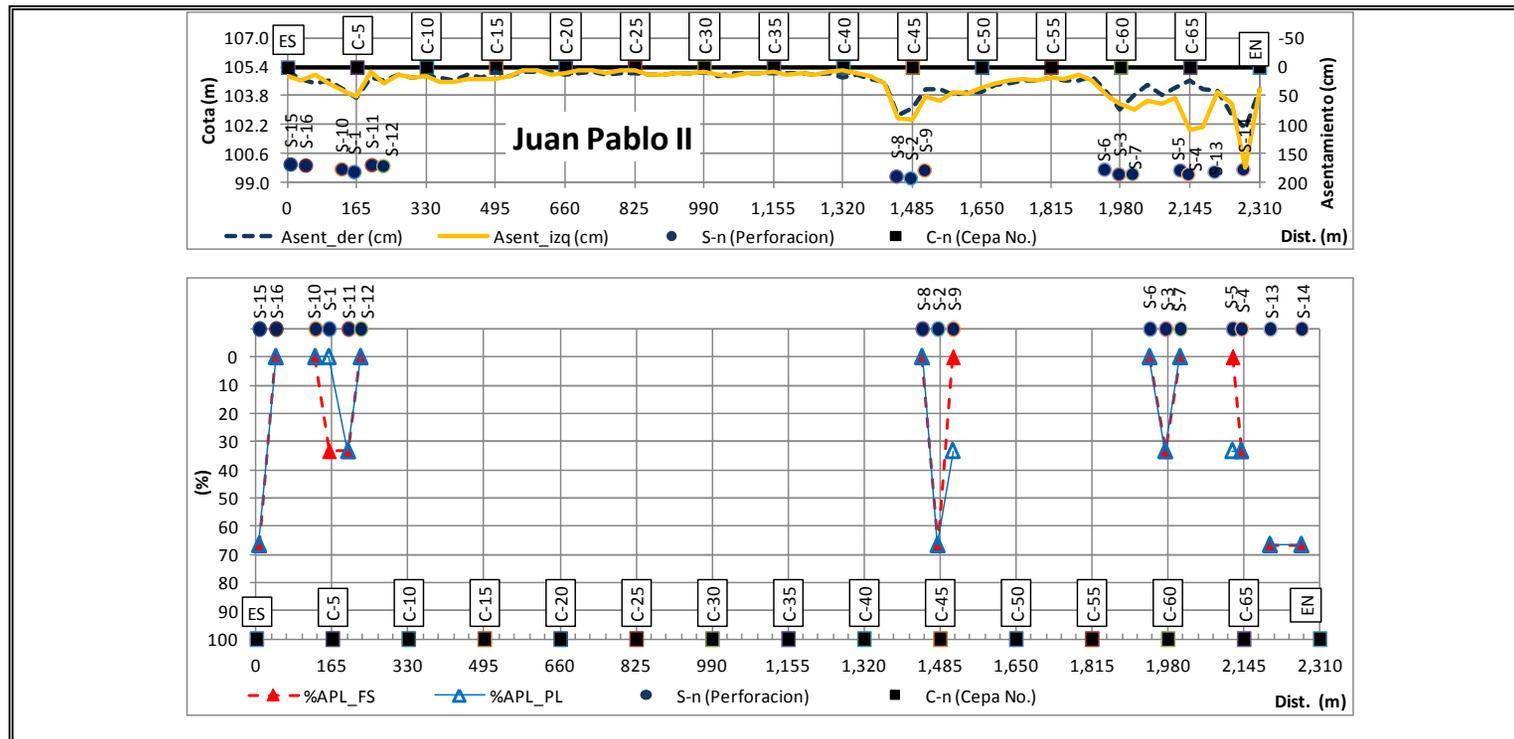


Figura 4- 15: Área de influencia bajo la punta del pilote que licua, según Youd et al., 2001 (%APL_FS) y Cetin et al., 2004 (%APL_PL).

Fuente:
Elaboración Propia

A continuación se hace una breve descripción de los resultados de la evaluación del potencial de licuefacción (consolidados en el Anexo E.1.2 y en las Figuras 4-14 y 4-15) y se comparan con los daños observados en el terremoto 2010.

Tramo Norte (Pilas C-50 a EN)

Perforaciones S-5, 4,13 y 14

Este tramo, constituido de forma predominante por arenas limpias hacia el norte (S-13 y S-14), se obtuvieron importantes espesores de material que licua, para una $a_{max} = 0,4g$. Los porcentajes de material que licuan en torno al fuste (Figura 4-14) y en el área de influencia bajo la punta del pilote ($2D=3m$ en los Estribos y $5m$ en las Cepas, Figura 4-15) explican las deformaciones observadas como consecuencia de un sismo de $a_{max}=0,4g$ en Febrero 2010 y el desplazamiento lateral que se produjo en el estribo Norte. (Figura 3-4).

Perforaciones S-6, 3 y 7

En este tramo hay estratos que presentan espesores aislados de material que licúa (para una $a_{max}= 0,4g$) en torno al área de fuste de los pilotes (Figura 4-14). Particularmente, en S-3 hay un espesor de SM del orden del 33% del área de influencia bajo la punta del pilote que licúa, lo cual, sumado a la pérdida de resistencia en el fuste (Figura 4-14), puede explicar las deformaciones observadas como consecuencia de un sismo de $a_{max}=0,5g$ en Febrero 2010.

Adicionalmente, en las tres perforaciones que conforman este tramo, se evidencia un espesor de 5 a 8 m, en torno a los 30 m de profundidad, que licúa.

Tramo Central (Pilas C-25 a C-50), perforaciones S-8, 2 y 9

En este tramo hay estratos que presentan espesores aislados de material que licúa (para una $a_{max} = 0,4g$) en torno al área de fuste de los pilotes (Figura 4-14).

Particularmente, en S-2 hay un espesor del ML del orden del 67% del área de influencia bajo la punta del pilote (Figura 4-15), que licúa, lo que puede explicar las deformaciones observadas como consecuencia de un sismo de $a_{max}=0,4g$ en Febrero 2010.

En las tres perforaciones que conforman este tramo, se evidencia un espesor de 4 a 6 m, en torno a los 30 m de profundidad que licúa.

Tramo Sur (Pilas ES a C-25)

Perforaciones S-10, 1, 11 y 12

En este tramo hay estratos que presentan espesores aislados de material que licúa (para una $a_{max} = 0,4g$) en torno al área de fuste de los pilotes (Figura 4-14).

En el área de influencia bajo la punta, sólo en S-11 y para Youd et al. (2001) en S-1, hay un espesor del SM del orden del 33%, que licúa.

Esta reducción en el potencial de licuefacción, puede explicar la reducción en la magnitud de las deformaciones observadas como consecuencia del terremoto del 27 Febrero 2010, en comparación con el Tramo Norte. (Figura 4-14 y 4-15).

Particularmente en S-1 la magnitud de las deformaciones observadas no está sustentada por el potencial de licuefacción obtenido por ambos métodos.

Si bien no se evidencia de forma clara el espesor que en torno a los 30 m de profundidad licúa en los dos tramos anteriores en las perforaciones que conforman este tramo se evidencian lentes de 1 a 3 m de espesor, en torno a los 35 m de profundidad, que sí licúan.

Perforaciones S-15 y 16

En S-16 hay estratos que presentan espesores aislados de material que licúa (para una $a_{max}= 0,4$ g) donde la proporción de estratos que licuan en torno al fuste y la punta del pilote no explica la magnitud de las deformaciones observadas en esta zona en el terremoto del 27 Febrero 2010 (Figuras 4-14 y 4-15).

Al igual que en el tramo anterior, en las perforaciones que conforman este tramo, se evidencia espesores de 1 a 4 m, en torno a los 30 m de profundidad, que licuan.

Por otra parte, es importante mencionar que en la evaluación de la susceptibilidad de licuefacción de los materiales de grano fino de este puente, se pudo observar que el contenido de humedad de los que reportaron plasticidad es superior a su límite líquido ($w_c/LL > 1$), lo que se traduce en una resistencia al corte muy baja (Anexo E.1.1), de acuerdo a Muir (1990). Dada la baja resistencia al corte, estos materiales no contribuyen con la capacidad de carga de los pilotes; sin embargo, en 13 de los 15 casos donde se presenta esta baja resistencia al corte, en los sondajes efectuados en 2010 se reportaron valores de NSPT altos ($NSPT > 9$ golpes/pie) para una relación $w_c/LL > 1$, por lo cual sería interesante comparar los valores de

NSPT que estos materiales reportaron en el exploración geotécnica original de los años 70, información no disponible para este trabajo.

b) Puente Llacolén

En el Puente Llacolén, como se mencionó en las consideraciones generales, se asumieron todos los materiales arenosos y se trabajó con dos escenarios, contenido de finos <5% y contenido de finos >35%.

i) Contenido de finos <5%, para todos los materiales

En el perfil del licuefacción del puente Llacolén, para un $FC < 5\%$ (Anexo E.2.1), se marcaron los estratos que licuan ($FS < 1$ o $PL > 80\%$), lo que permitió evaluar el efecto de la licuefacción en el comportamiento de los pilotes. En las Figuras 4-15 y 4-17 se presenta de forma grafica la proporción del fuste y del área bajo la punta del pilote, que licua, para un $FC < 5\%$.

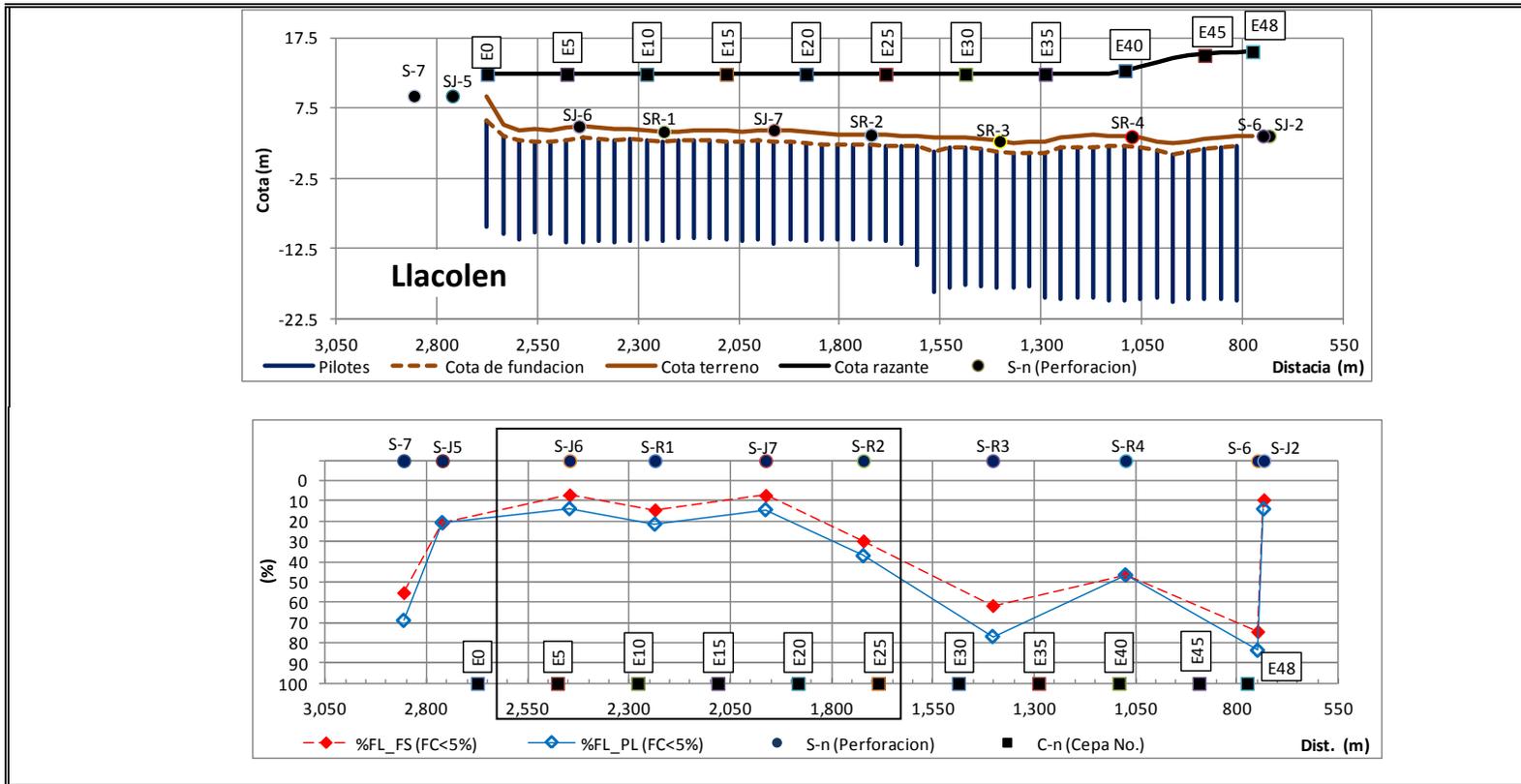


Figura 4- 16: Proporción del fuste que licua, según Youd et al., 2001 (%FL_FS (FC<5%)) y Cetin et al., 2004 (%FL_PL (FC<5%)), para un contenido de finos menor al 5%.

Fuente:
 Elaboración Propia

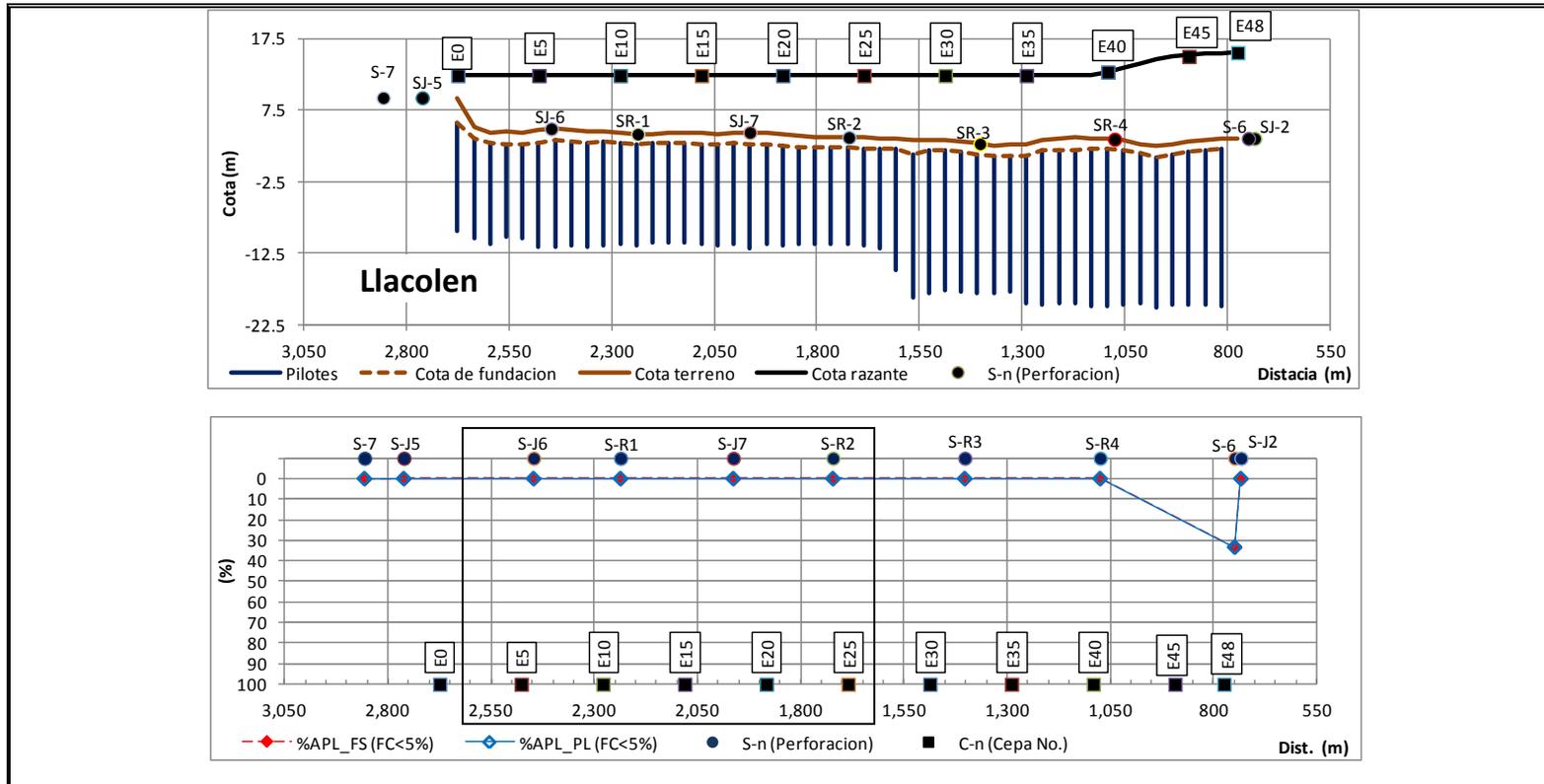


Figura 4- 17: Área de influencia bajo la punta del pilote que licua, según Youd et al., 2001 (%APL_FS (FC<5%)) y Cetin et al., 2004 (%APL_PL (FC<5%)), para un contenido de finos menor al 5%.

Fuente:
 Elaboración Propia

Tramo Norte (Perforaciones SJ-2, S-6, SR-4 y SR-3)

A excepción de la perforación SJ-2, para una $a_{max} = 0,4 g$, en este tramo se presentan espesores importantes que licuan a lo largo del fuste de los pilotes ($L_p=21.5 m$), lo cual puede explicar el desplazamiento lateral que causó los daños que se presentaron en el acceso norte (Sección 3.2), como consecuencia del sismo de Febrero 2010 ($a_{max}=0,4g$). En el área de influencia bajo la punta del pilote y como era de esperarse dado el perfil de NSPT (Figura C.1.1-1, Anexo C.1.1), solo se observa una pérdida de resistencia en S-6 (Figura 4-17).

Tramo Central (Perforaciones SJ-6, SR-1, SJ-7 y SR-2)

En este tramo, el potencial de licuefacción es sustancialmente menor que en el tramo anterior, por ello la proporción del fuste que licua también es menor (Figura 4-16) y no hay licuefacción en el área de influencia bajo la punta de los pilotes (Figura 4-17). En este tramo del puente no se observaron daños como consecuencia del sismo de Febrero 2010.

Tramo Sur (Perforaciones S-7 y SJ-5)

En el estribo sur del puente Llacolén, si bien la proporción del fuste que licua se incrementa con relación al tramo central (Figura 4-16), ésta sigue siendo menor en comparación con el potencial de licuefacción del tramo norte. Al igual que en el tramo central no hay licuefacción en el área de influencia bajo la punta de los pilotes (Figura 4-17), y tampoco se observaron daños como consecuencia del sismo de Febrero 2010.

ii) Contenido de finos >35%, para todos los materiales

En el perfil del licuefacción del puente Llacolén, para un $FC > 35\%$ (Anexo E.2.2), se indican los estratos que licuan ($FS < 1$ o $PL > 80\%$). En él, se puede observar que: el potencial de licuefacción es menor que para $FC < 5\%$ (Tabla 4-9) y que no hay licuefacción en el área de influencia bajo la punta de los pilotes. Al comparar las Figuras 4-18 ($FC > 35\%$) y 4-16 ($FC < 5\%$), se puede observar que la tendencia de la proporción del fuste que licua es similar, solo que en menores proporciones.

Tabla 4- 9. Comparación de la proporción del fuste que licua, por tramo, entre los perfiles de $FC < 5\%$ y $FC > 35\%$.

Tramo	Perfil de $FC < 5\%$	Perfil de $FC > 35\%$
Tramo Norte (Perforaciones SJ-2, S-6, SR-4 y SR-3)	47 a 84% (Excepción SJ-2 con 9.30%)	42 a 75%. (Excepción SJ-2 con 9.30%)
Tramo Central (Perforaciones SJ-6, SR-1, SJ-7 y SR- 2)	7 a 37%	7 a 30%.
Tramo Sur (Perforaciones S-7 y SJ-5):	21 a 69%	14 a 48%.

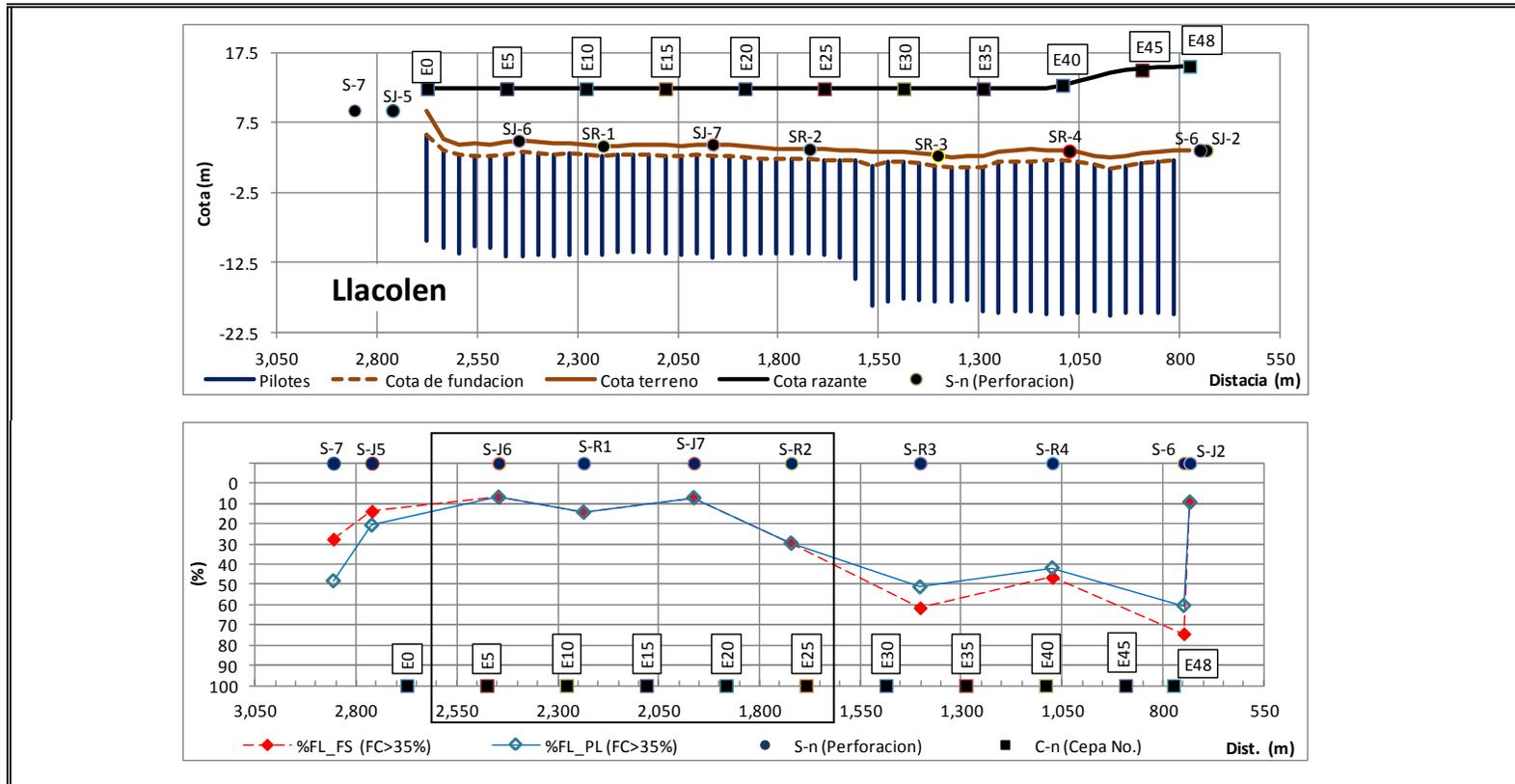


Figura 4- 18: Proporción del fuste que licua, según Youd et al., 2001 (%FL_FS (FC>35%)) y Cetin et al., 2004 (%FL_PL (FC>35%)), para un contenido de finos mayor al 35%.

Fuente:
Elaboración Propia

c) Conclusiones de la evaluación del potencial de licuefacción.

En profundidad Youd et al. (2001) reportan valores de FS menores a 1,0 para valores de N_{SPT} para los cuales según Cetin et al. (2004) la probabilidad de ocurrencia es menor al 80%. Esto es debido a que el método de Youd et al. (2001) solo reporta FS menor a uno para valores de N_{SPT} menores a 30 golpes/pie, y es poco probable que en profundidad se obtengan valores de N_{SPT} menores a 30 golpes/pie.

De la exploración geotécnica de estos dos puentes, construidos en 1974 (Juan Pablo II) y en el 2000 (Llacolén), con los métodos de evaluación de potencial de licuefacción del 2001 (Youd et al.) y del 2004 (Cetin et al.), se puede concluir que los suelos eran potencialmente licuables. En ambos puentes los pilotes resultaron ser de longitud insuficiente dada la distribución en profundidad (en torno al fuste y a la punta) de los espesores de material que licúan. Especialmente en el tramo Norte de Llacolén, fue insuficiente la extensión de la longitud de los pilotes hasta el contacto con el estrato de $N_{spt} > 50$ golpes/pie (Figura C.1.1-1, Anexo C.1.1), los que posiblemente debieron ser empotrados en dicho estrato para lograr un mejor comportamiento sísmico.

5. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LICUEFACCIÓN Y COMPARACIÓN CON LOS DAÑOS OBSERVADOS EN EL TERREMOTO DEL MAULE DE 2010

Para estimar los efectos de la licuefacción se utilizó el software WSliq (Kramer, 2008), desarrollado por un grupo de investigación de la Universidad de Washington para el Departamento de Transporte del Estado de Washington, con el objeto de mejorar los procedimientos de evaluación de riesgos de licuefacción.

Este software, con base en el perfil de NSPT, los parámetros de caracterización del suelo (PU, %FC, D_{50} , IP, w_c , LL) y los parámetros de intensidad del movimiento sísmico (en nuestro caso $PGA=a_{max}=0.4g$, $M_w=8.8$ y $R\approx 100$ km), evalúa:

- ✓ La susceptibilidad de licuefacción (Boulanger e Idriss (2005), y Bray y Sancio (2006)).
- ✓ El potencial de licuefacción (Youd et al. (2001) o NCEER, Idriss y Boulanger (2004), y Cetin et al. (2004)).
- ✓ Y los efectos de la licuefacción: desplazamiento lateral y asentamientos, ambos en ausencia de estructuras, entre otros.

Los métodos para la evaluación de la susceptibilidad y el potencial de licuefacción, implementados por el WSliq, se describieron en el Capítulo 4, por lo cual a continuación se describen los procedimientos utilizados para estimar el desplazamiento lateral y los asentamientos.

5.1 Desplazamiento lateral

Siendo el desplazamiento lateral, la deformación permanente que se produce en un talud fabricado por el hombre o natural, como consecuencia de la licuefacción de una capa más profunda, a continuación se detallan, evalúan y comparan los tres modelos utilizados para la estimación de los desplazamientos.

5.1.1 Youd et al. (2002)

Este procedimiento está basado en la regresión estadísticas de casos históricos donde se han observado y medido desplazamientos laterales. Utiliza como variables la geometría del talud, las propiedades de los materiales y la intensidad del sismo.

Tiene como premisa que solo los estratos de suelos licuables, cuyo $(N_1)_{60}$ es menor a 15 golpes/ft, contribuyen con el desplazamiento lateral.

De la regresión estadística de los casos históricos Youd et al. (2002), obtuvieron la siguiente expresión:

$$\log D_H = b_0 + b_1 M_w + b_2 \log R^* + b_3 R + b_4 \log W + b_5 \log S + b_6 \log T_{15} + b_7 \log(100 - F_{15}) + b_8 \log(D50_{15} + 0.1mm) \quad (44)$$

donde:

D_H : desplazamiento horizontal, en metros.

M_w : magnitud de momento del sismo.

$R^* = R + 10^{(0.89M_w - 5.64)}$. Siendo R^* la distancia R modificada.

R : Distancia horizontal desde el sitio de estudio hasta el punto más cercano de la fuente de energía sísmica, en Km

W : La relación de cara libre (*free-face*), definida por la altura de la cara libre (H) dividida por la distancia (L) desde la base de la cara libre hasta el punto en estudio, expresada en porcentaje. (Figura 5-1)

S : pendiente del talud, expresada en porcentaje. (Figura 5-1)

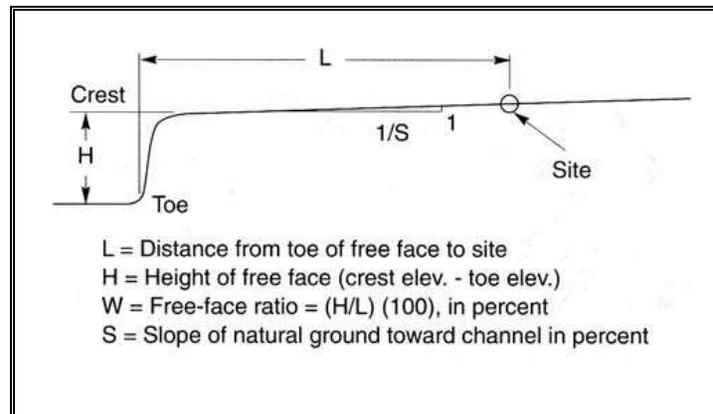


Figura 5- 1: Geometría del Talud

Fuente:

Fig. 6.1. Slope geometry notation. Kramer. (2008)

T_{15} : Sumatoria de los espesores de las capas granulares saturadas con $(N_1)_{60}$ menor a 15 golpes/pie, por encima de los 20 metros de profundidad, expresada en metros.

F_{15} : Promedio del contenido de finos pasantes del tamiz No. 200, de los materiales granulares incluidos en T_{15} , expresado en porcentaje.

$D50_{15}$: El promedio del tamaño medio de los granos ($D50$) de los materiales granulares incluidos en T_{15} , expresado en milímetros.

Coefficientes b_i :

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
GS	16.213	1.532	1.406	0.012	0	0.338	0.54	3.413
FF	16.713	1.532	1.406	0.012	0.592	0	0.54	3.413

GS: Pendiente del Talud o del terreno (*ground-slope*)

FF: Cara libre (*free-face*)

Kramer (2008), plantea que la aplicabilidad de Youd et al. (2002) está limitada a valores de:

- ✓ $1 \leq T_{15} \leq 15$ m
- ✓ $6.0 \leq M \leq 8.0$
- ✓ $1 \leq Z_T \leq 15$ m. (Z_T : Profundidad del tope del estrato más superficial que contribuye con T_{15})
- ✓ $1\% \leq W \leq 20\%$
- ✓ $0.1\% \leq S \leq 6\%$
- ✓ F_{15} Y $D50_{15}$, relacionados según se muestra en la Figura 5-2.

Así como también es susceptible de inexactitud para suelos muy sueltos, medianamente densos y en los casos casos en los cuales los suelos licuables se encuentran a grandes profundidades.

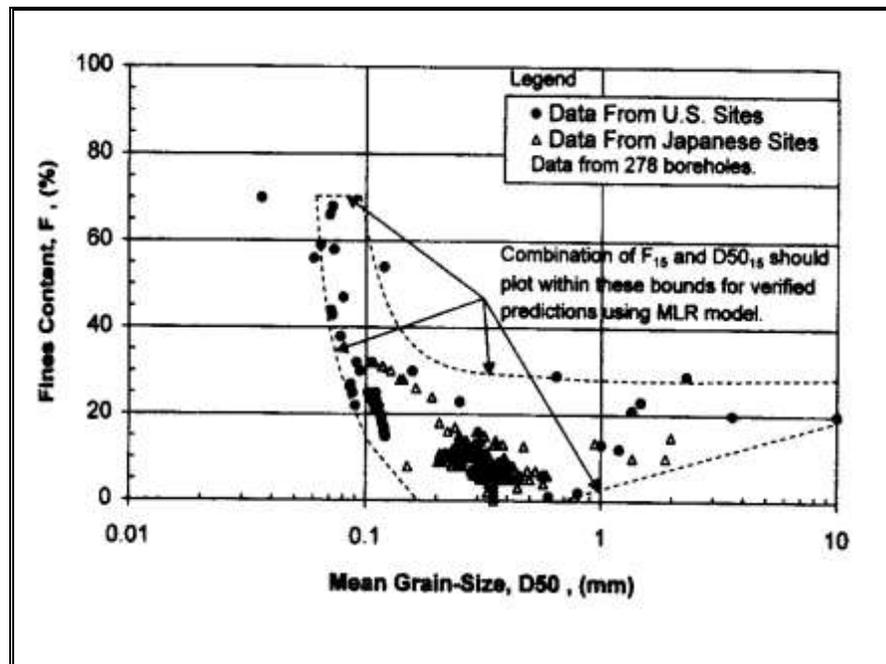


Figura 5- 2: Rangos de $D_{50,15}$ vs F_{15} , para los cuales es aplicable

Youd et al. 2002

Fuente:

Tabla. 6.1. Recommended range of variable values for the Youd et al. (2002) predictive equation.
Kramer. (2008)

5.1.2 Kramer, S., Franke, K., Huan, Y. y Baska, D. (2007)

Kramer et al. (2007), desarrollaron modelo no lineal, que realiza una serie de análisis numéricos, capaz de representar el comportamiento del suelo licuable. Y luego calibraron el modelo con una base de datos de casos históricos, produciendo un modelo que es consistente con la mecánica de suelos básica y con el comportamiento de desplazamiento lateral observado.

Este modelo calcula los desplazamientos laterales medios (\hat{D}_H) usando las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Para: } \sqrt{D_H} \leq 0 & \quad \rightarrow \quad \hat{D}_H = 0 \\ \sqrt{D_H} > 0 & \quad \rightarrow \quad \hat{D}_H = \left(\sqrt{D_H} \right)^2 \end{aligned} \quad (45)$$

siendo:

$$\sqrt{D_H} = \frac{\beta_1 + \beta_2 T_{gs}^* + \beta_3 T_{ff}^* + 1.231M - 1.151 \log R^* - 0.01R + \beta_4 \sqrt{S} + \beta_5 \log W}{1 + 0.0223(\beta_2/T_{gs}^*)^2 + 0.0135(\beta_3/T_{ff}^*)^2} \quad (46)$$

donde:

$$T_{gs}^* = 2.586 \sum_{i=1}^n t_i \exp[-0.05N_i - 0.04z_i] / [1 + (PI_i/5.5)^8] \quad (47)$$

$$T_{ff}^* = 5.474 \sum_{i=1}^n t_i \exp[-0.08N_i - 0.10z_i] / [1 + (PI_i/5.5)^8] \quad (48)$$

t_i : espesor del estrato. $t_i < 1$ m.

$N_i = (N_1)_{60,cs}$; Obtenido de corregir el promedio del $(N_1)_{60}$ de cada estrato licuable, con el promedio del contenido de finos de dicho estrato, de acuerdo a las ecuaciones de Youd et al., 2001 (Ver ecuaciones 25 y 26).

z_i : profundidad en metros.

PI_i : Índice de plasticidad.

M : Magnitud de momento del sismo

$$R^* = R + 10^{(0.89M_w - 5.64)}$$

R: Distancia horizontal desde el sitio de estudio hasta el punto más cercano de la fuente de energía sísmica, en Km.

S: Pendiente del talud, expresada en porcentaje. (Figura 5-1)

W: La relación de cara libre (free-face), definida por la altura de la cara libre (*H*) dividida por la distancia (*L*) desde la base de la cara libre hasta el punto en estudio, expresada en porcentaje. (Figura 5-1)

Coefficientes β_i :

Modelo	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
GS	-7.207	0.067	0	0.544	0
FF	-7.518	0	0.086	0	1.007

GS: Pendiente del Talud o del terreno (*groud-slope*)

FF: Cara libre (*free-face*).

Kramer (2008), platea que la aplicabilidad de Kramer et al. (2007) está limitada a valores de:

- ✓ $0.001 \leq T^* \leq 20$ m
- ✓ $6.0 \leq M_w \leq 8.0$
- ✓ $0 \leq R \leq 100$ km.
- ✓ $W \leq 20\%$
- ✓ $0\% \leq S \leq 6\%$

5.1.3 Idriss y Boulanger (2008)

Idris y Boulanger (2008), estiman los desplazamientos laterales a través de un modelo de deformaciones acumuladas, el cual integra las máximas deformaciones

por corte (γ_{\max}) de los estratos potencialmente licuables, en función de la profundidad (z), como una medida del potencial de desplazamiento máximo, denominada Índice de desplazamiento lateral (LDI).

$$LDI = \int_0^{z_{\max}} \gamma_{\max} \cdot dz \quad (49)$$

siendo:

$$\begin{aligned} \gamma_{\max} &= 0 && \text{si} && FS_{liq} \geq 2 \\ \gamma_{\max} &= \gamma_{lim} && \text{si} && FS_{liq} \leq A \\ \gamma_{\max} &= \min(\gamma_{lim}, B) && \text{si} && A < FS_{liq} < 2 \end{aligned} \quad (50)$$

donde:

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(1.1 - \sqrt{\frac{(N_1)_{60,cs}}{46}} \right)^3 \geq 0 \quad (51)$$

$$A = 0.535 + 0.398 \sqrt{\max(5.6, (N_1)_{60,cs})} - 0.0924 \left[\max(5.6, (N_1)_{60,cs}) \right] \quad (52)$$

$$B = 0.035(1 - A) \left(\frac{2 - FS_{liq}}{FS_{liq} - A} \right) \quad (53)$$

Esta forma de estimar el desplazamiento lateral, a través del LDI (índice de desplazamiento lateral), implícitamente asume que todos los estratos potencialmente licuables alcanzaran su máxima deformación, por lo cual este

desplazamiento lateral debe usarse como una medida del potencial desplazamiento máximo.

5.1.4 Comparación de los modelos de estimación de desplazamiento lateral.

De los tres modelos utilizados, se puede esperar que los desplazamientos del modelo de Kramer et al. (2007) sea un poco más exactos que los desplazamientos obtenidos del modelo de Youd et al (2002), pues este es aplicable para unos rangos limitados de D_{50} vs F_{15} , en comparación con el modelo de Kramer et al. (2007) que no depende del tamaño del grano y donde la contribución al desplazamiento lateral del N_{SPT} de un estrato profundo es menor que la de un estrato más superficial con el mismo valor de N_{SPT} . Y el modelo de Idris y Boulanger (2008), es solo una referencia de la cota superior de los desplazamientos laterales que se pueden esperar.

5.2 Asentamiento

Los asentamientos producto de la licuefacción, capaces de ocasionar daños en los puentes, están asociados: a la disipación del exceso de la presión de poros, para los asentamientos a nivel del terreno, a la pérdida de suelo, debido a las eyecciones de arena y a las deformaciones por corte inducidas por inestabilidad del terreno, como por ejemplo desplazamiento lateral.

Los procedimientos que se detallan a continuación, están basados en observaciones de campo, ensayos de laboratorio y en casos históricos de terremotos donde se han

medido asentamientos. Todos estos métodos son bastantes similares entre sí, pues todos estiman los asentamientos a partir de las deformaciones volumétricas.

5.2.1 Modelo de Tokimatsu y Seed (1987).

De la revisión de ensayos de laboratorio previos, Tokimatsu y Seed (1987), concluyeron que las deformaciones volumétricas están relacionadas con la densidad relativa y la deformación por corte máxima. Con base en: la correlación de la densidad relativa con la resistencia del SPT, la correlación de la deformación por corte máxima con la demanda sísmica del suelo (*CSR: Cyclic Stress Ratio*) y en ensayos cíclicos (triaxiales y corte simple) realizados en arenas limpias, obtuvieron las curvas de la Figura 5-3, que relacionan las deformaciones volumétricas (ϵ_v) con la resistencia del SPT (normalizada y corregida: $(N_1)_{60}$) y la demanda sísmica del suelo (*CSR*), las cuales fueron calibradas con casos históricos.

En la Figura 5-3, las líneas continuas corresponden a las deformaciones volumétricas de suelos licuados y las líneas discontinuas corresponden a los casos donde la presión de poros se incremento, pero la fuerza del sismo no fue lo suficientemente fuerte como para causar licuefacción. En estos casos la deformación volumétrica se desarrolla después que se disipa el incremento de la presión de poros, pero es menor que si se hubiese producido la licuefacción.

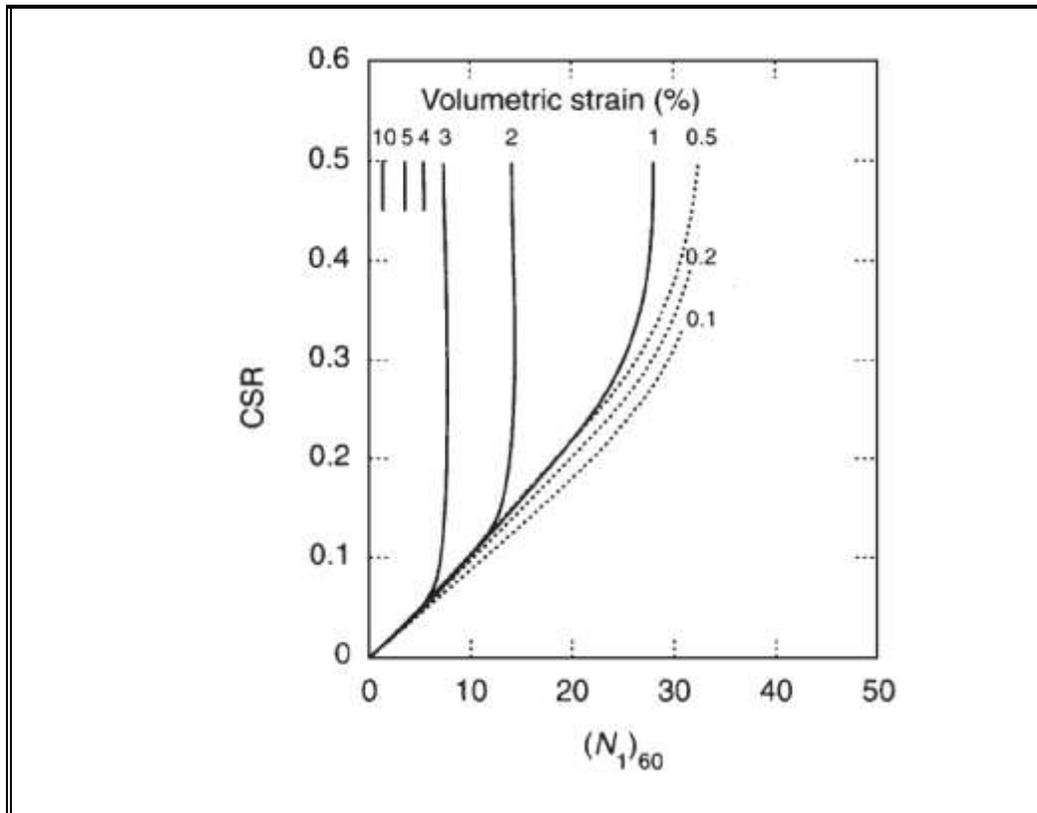


Figura 5- 3: Deformación volumétrica en función del $(N_1)_{60}$ y el CSR, según Tokimatsu and Seed (1987)

Fuente:

Figure 7.1. Variation of volumetric strain with corrected SPT resistance and cyclic stress ratio (after Tokimatsu and Seed, 1987). Kramer. (2008)

Como este modelo está diseñado para:

- ✓ Arenas limpias, además de normalizar y corregir la resistencia SPT, también debe ser corregida por finos $((N_1)_{60,cs})$.

- ✓ Sismos de magnitud 7.5, en caso sismos de mayor magnitud la demanda sísmica (CSR), debe ser corregida dividiéndola entre el factor de magnitud de escala: MSF, de la ecuación (31), sección 4.2.1.

Finalmente para obtener los asentamientos (ΔH), Tokimatsu y Seed (1987), integran las deformaciones volumétricas con la profundidad de cada estrato licuable.

$$\Delta H = \int \varepsilon_v dz \approx \sum_{i=1}^n t_i \varepsilon_{v,i} \quad (54)$$

donde:

n: numero de estratos.

5.2.2 Modelo de Ishihara y Yoshimine (1992).

De la revisión de un volumen importante de ensayos de corte simple, los autores generaron las curvas de la Figura 5-4, para estimar las deformaciones volumétricas (ε_v), resultantes de la disipación del exceso de presión de poros, en función del factor de seguridad de licuefacción (FS_L , ver ecuación (30)) y:

- ✓ Alguno de los indicadores de la densidad del suelo: densidad relativa (D_r), resistencia del SPT Japonés corregida ($N_1 = 0.833(N_1)_{60}$) o la resistencia de punta del CPT, normalizada (q_{c1}).
- ✓ O la máxima deformación por corte a ser inducida por el sismo (γ_{max}).

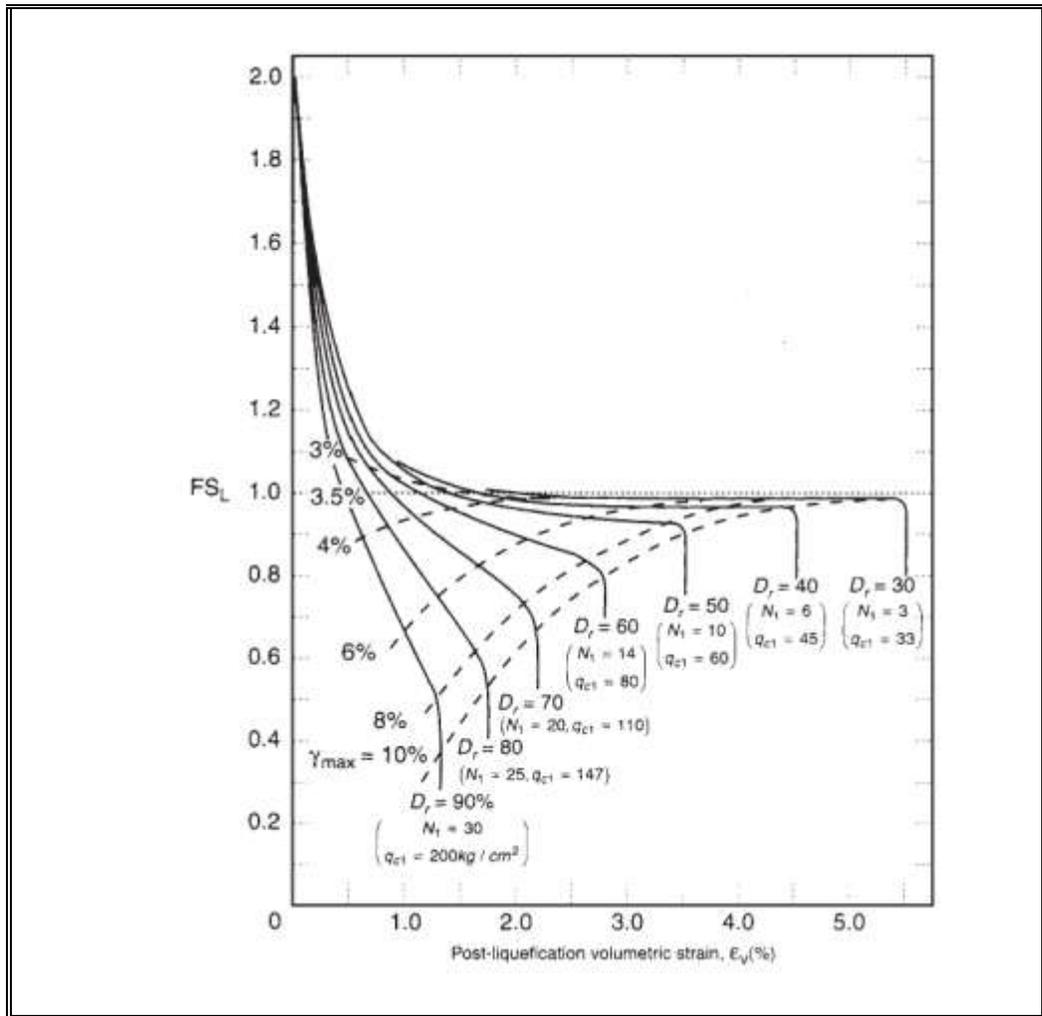


Figura 5- 4: Deformación volumétrica en función de la D_r , el N_1 o el q_{c1} y el FS_L , según Ishihara y Yoshimine (1992)

Fuente:

Fig. 10. Chart for determining volumetric strain as functions of factor of safety. Ishihara y Yoshimine (1992)

Luego que se obtienen las deformaciones volumétricas, lo asentamientos (ΔH) pueden ser calculados de acuerdo a la ecuación (54).

Esta metodología fue calibrada con los asentamientos que ocurrieron en los sitios afectados por la licuefacción, durante el terremoto de Niigata de 1964. Dicha calibración mostro que esta metodología estima asentamientos con un nivel de precisión adecuado para muchos propósitos de ingeniería.

5.2.3 Modelo de Shamoto Y., Zhang, J. y Tokimatsu, K. (1998).

En los resultados de ensayos de corte torsional y los principios básicos de mecánica de suelos, Shamoto et al. (1998), encontraron que las deformaciones volumétricas están relacionadas con las máximas deformaciones por corte. Con base en lo cual desarrollaron las curvas para estimar la deformación volumétrica residual máxima ($(\epsilon_{vr})_{max}$), de arenas limpias, en función de la demanda sísmica del suelo (CSR) y la densidad del suelo, expresada en función de la resistencia del SPT normalizada y corregida por finos (N_a), que se presentan en la Figura 5-5.

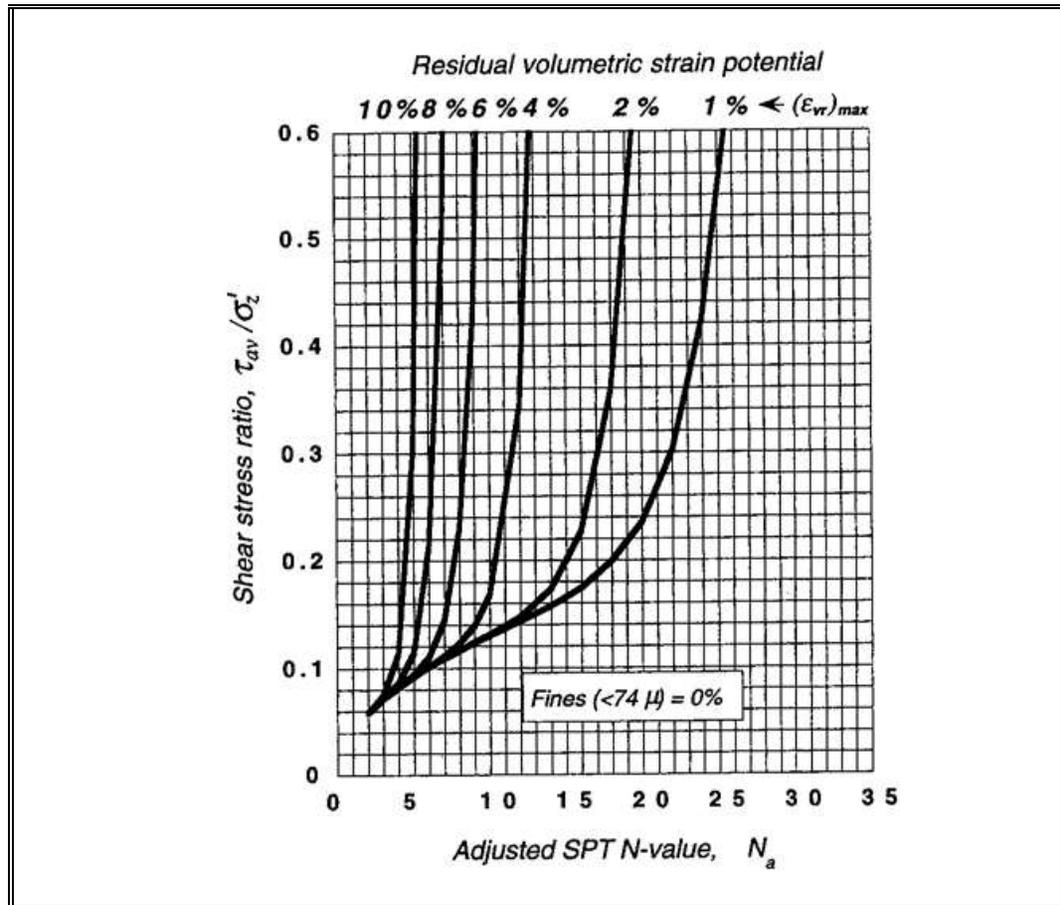


Figura 5- 5: Deformación volumétrica residual máxima en función del N_a y el CSR, para arenas limpias, según Shamoto et al. (1998)

Fuente:

Figure 7.3. Variation of maximum residual volumetric strain with corrected SPT resistance and cyclic stress ratio for clean sands (after Shamoto et al., 1998). Kramer. (2008)

Para obtener la resistencia del SPT normalizada y corregida por finos, según el método Japonés (N_a), se deben utilizar las siguientes expresiones:

$$N_1 = 0.833(N_1)_{60} \quad (55)$$

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \quad (56)$$

$$\begin{aligned} \Delta N_f &= 0 && \text{si} && FC \leq 5 \\ \Delta N_f &= FC - 5 && \text{si} && 5 < FC < 10 \\ \Delta N_f &= 0.1FC + 4 && \text{si} && FC \geq 10 \end{aligned} \quad (57)$$

Este método fue calibrado con los asentamientos observados en la superficie, después del terremoto de Hyogoken-Nanbu en 1995, obteniendo como resultado que para lograr una estimación de asentamientos (Ds), más precisa, es necesario aplicar un factor de calibración de 0.84, a la estimación conservadora que se obtiene de los asentamientos a través de la deformación volumétrica residual máxima ($\varepsilon_{vr, \max}$), lo cual se resume en la siguiente expresión:

$$Ds = 0.84 \int (\varepsilon_{vr})_{\max} dz \approx 0.84 \sum_{i=1}^n t_i (\varepsilon_{vr})_{\max} \quad (58)$$

Shamoto et al. (1998), también desarrollaron curvas para contenidos de finos de 10% y 20%, las cuales se presentan en la Figura 5-6.

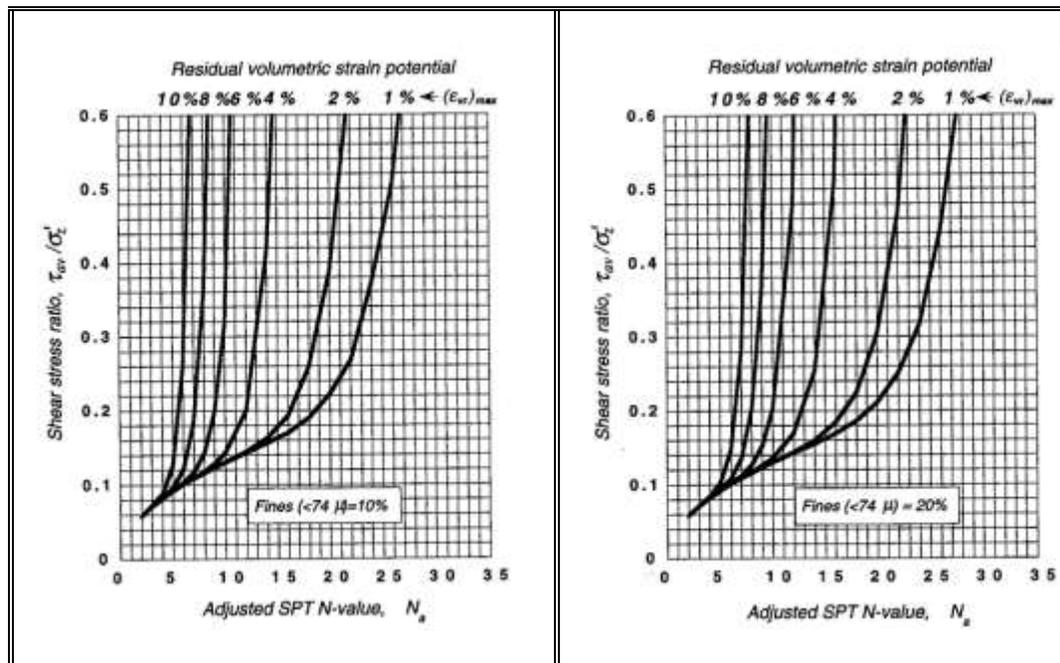


Figura 5- 6: Deformación volumétrica residual máxima, para arenas con 10% y 20% de contenido de finos, según Shamoto et al. (1998)

Fuente:
Figure 7.5 y 7.6. Kramer. (2008)

5.2.4 Modelo de Wu y Seed (2004)

Con base en ensayos de corte directo simple, en arenas limpias, Wu y Seed (2004) desarrollaron las curvas de la Figura 5-7, para obtener la deformación volumétrica (ϵ_v) en función la resistencia SPT (normalizada y corregida por finos: $(N_1)_{60,cs}$) y la demanda sísmica del suelo (CSR), las cuales fueron calibradas con data de casos históricos.

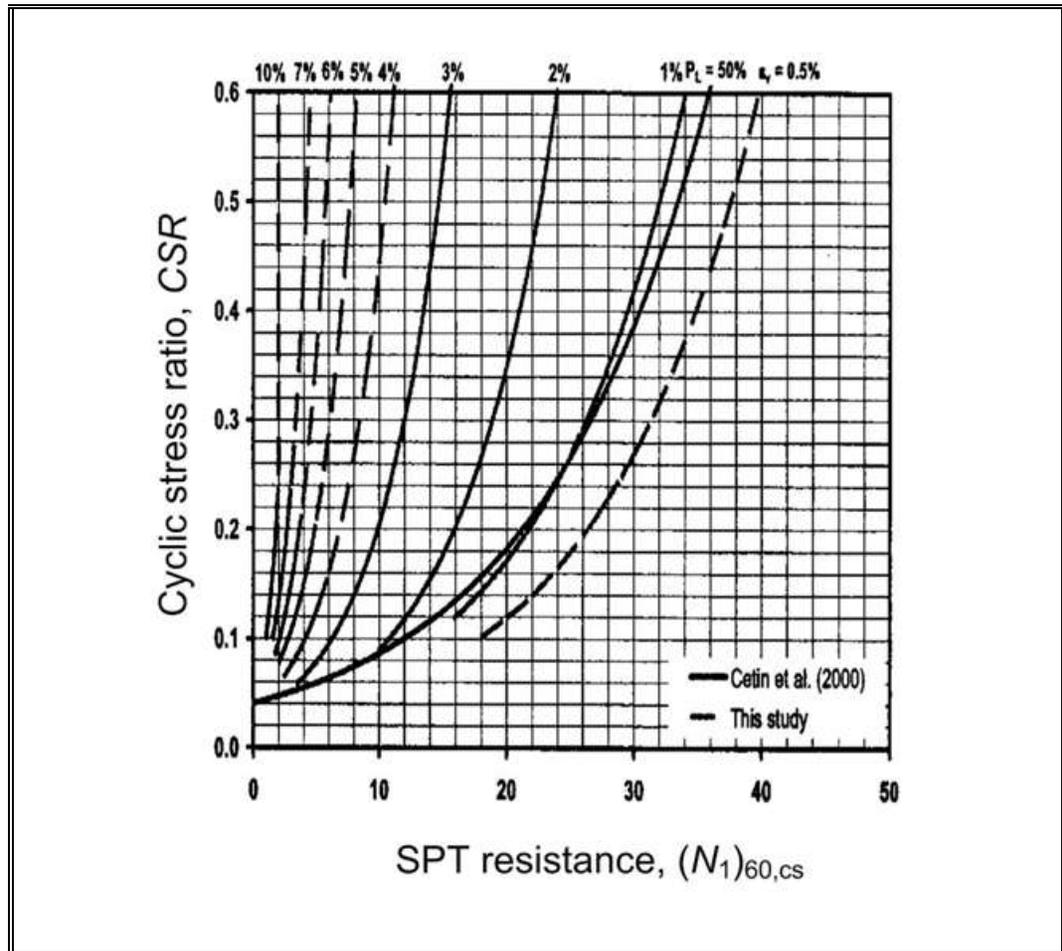


Figura 5- 7: Deformación volumétrica en función del $(N_1)_{60,cs}$ y el CSR, según Wu and Seed (2006).

Fuente:

Figure 7.4: Variation of volumetric strain with corrected SPT resistance and cyclic stress ratio (after Wu and Seed, 2006). Kramer. (2008)

Para corregir por finos la resistencia SPT normalizada $(N_1)_{60}$, se deben usar las ecuaciones (39) y (40) de la sección 4.2.2.

De forma similar a los procedimientos de Tokimatsu and Seed (1987) e Ishihara y Yoshimine (1992), una vez que se tienen las deformaciones volumétricas, los asentamientos (ΔH) pueden ser calculados de acuerdo a la ecuación (54).

5.2.5 Comparación de los modelos de estimación de Asentamientos.

La demanda sísmica del suelo (CSR), para todos los modelos se obtuvo de la ecuación (21) de la sección 4.2.1 (Youd et al., 2001) y se corrigió por el factor de magnitud de escala MSF de la ecuación (31), de la misma sección.

A pesar de la base de ensayos de laboratorio de cada uno de los modelos, debido a que son pocos los casos históricos bien documentados, la incertidumbre de los modelos de estimación de asentamientos producto de la licuefacción, por si solos, es significativa. Adicionalmente, de forma individual para algunos casos históricos, cada modelo presentó una incertidumbre bien sea por exceso o defecto, la cual usando promedio de los cuatro modelos se supera, por ello es recomendable hacer la estimación de los asentamientos con el promedio de los asentamientos obtenidos de cada uno de los modelos.

5.3 Resultados de la estimación de los efectos de licuefacción

Los resultados de la estimación de los efectos de la licuefacción se presentan a continuación para cada puente y se comparan con los daños observados, producto del terremoto del 27 de Febrero de 2010.

5.3.1 Puente Juan Pablo II

En el Anexo F.1, se presentan las consideraciones generales con las cuales se realizó la estimación de los efectos de la licuefacción en Juan Pablo II.

a) Desplazamiento lateral

En la Tabla 5-1, se resumen los resultados de la estimación de los desplazamientos laterales en los estribos del Puente Juan Pablo II.

Tabla 5- 1. Desplazamiento lateral en ausencia de estructuras. Juan Pablo II.

Tramo	Perforación	Pila	Desplazamiento Lateral (cm)			
			B&K	Y	I&B	Ave.
Estribo Sur	S15	0	48.0	0.0	93.0	47.0
Estribo Norte	S14	69	89.0	12.0	236.0	112.3

B&K: Kramer, S.L, Franke, K., Huan, Y. y Baska, D. (2007).
Y: Youd et al. (2002).

I&B: Idriss y Boulanger (2008).
Ave.: Promedio

En la Tabla 5-1, se puede observar que el modelo de Youd et al. (2002), reporta valores de desplazamiento lateral, en ausencia de estructuras, mucho menores a los que reportan los modelos de Baska y Kramer (2007) e Idriss y Boulanger (2008).

Esto era de esperarse pues:

- ✓ Para Youd et al. (2002) solo los estratos de suelos licuables, por encima de los 20 metros de profundidad, cuyo $(N_1)_{60}$ es menor a 15 golpes/ft, contribuyen con el desplazamiento lateral, no incluyendo así todos los espesores licuables en la estimación de los desplazamiento.
- ✓ El modelo de Youd et al. (2002) solo es aplicable para unos rangos limitados de D50, dentro de los cuales no se incluyen los valores de D50 para los suelos de grano fino (Tabla A.F.1-1), los cuales eran datos que no se disponían, por lo cual fue necesario hacer las suposiciones indicadas en el Anexo F.1.
- ✓ Y como se mencionó en la sección 5.1.4, el modelo de Idriss y Boulanger (2008) solo debe usarse como una medida del potencial desplazamiento máximo.

Por lo anteriormente expuesto, el desplazamiento lateral estimado en el estribo Norte (S-14), con el modelos de Baska y Kramer (2007), explica, en cierta medida la severidad de falla estructural que causó el cierre del Puente. Sin embargo, la magnitud de los desplazamientos laterales debe verse teniendo en cuenta que fue necesario hacer varios supuestos, por falta de información, entre ellos la pendiente de los estratos y que el modelo está diseñado para estimar los desplazamientos en ausencia de estructuras.

Por parte, de forma cualitativa, los tres modelos son coherentes con las consecuencias del terremoto del 27 Febrero 2010, pues muestran desplazamientos

laterales mayores en el estribo Norte que en el estribo Sur, siendo el desplazamiento lateral estimado en el estribo Sur (S-15), en promedio, 58% menor al estimado en el estribo Norte, pues los materiales encontrados en la exploración geotécnica del 2010, en este estribo, son sustancialmente más densos que el resto del puente. Esto soporta el hecho que en el estribo Sur el nivel de daño fue mucho menor que en el extremo Norte.

b) Asentamientos

En la Tabla 5-2, se resumen los resultados de la estimación de los asentamientos en cada una de las perforaciones realizadas por INGEXA (2010) en el eje del Puente Juan Pablo II y en las Figuras 5-8, 5-9 y 5-10, se comparan con las mediciones de asentamientos hechas post-terremoto.

Tabla 5- 2. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Juan Pablo II.

Tramo	Perf.	Asentamientos WSliq (cm)					Asentamientos 2010 (ρ)					
		T&S	I&Y	S	W&S	Ave.	Eje izq. ³³		Eje der. ³⁴		Prom. ejes	
							ρ (cm)	Var. (%)	ρ (cm)	Var. (%)	ρ (cm)	Var. (%)
Tramo Sur 1/2 (San Pedro)	S-15	25.0	46.0	54.0	34.0	39.8	16.8	137%	9.6	316%	13.2	201%
	S-16	13.0	29.0	47.0	18.0	26.8	22.6	19%	22.2	21%	22.4	20%
Tramo Sur 2/2 (San Pedro)	S-10	12.0	24.0	34.0	17.0	21.8	40.5	-46%	38.2	-43%	39.4	-45%
	S-01	8.0	16.0	21.0	10.0	13.8	52.4	-74%	53.2	-74%	52.8	-74%
	S-11	24.0	48.0	72.0	34.0	44.5	8.4	429%	19.5	128%	14.0	219%
	S-12	17.0	25.0	43.0	23.0	27.0	27.5	-2%	23.7	14%	25.6	5%
Tramo Central	S-08	24.0	48.0	75.0	34.0	45.3	88.3	-49%	85.3	-47%	86.8	-48%
	S-02	17.0	36.0	57.0	24.0	33.5	91.4	-63%	70.7	-53%	81.1	-59%
	S-09	25.0	32.0	89.0	44.0	47.5	52.0	-9%	39.4	21%	45.7	4%

T&S: Tokimatsu y Seed (1987).

I&Y: Ishihara y Yoshimine (1992).

S: Shamoto et al. (1998).

W&S: Wu y Seed (2004).

Ave.: Promedio.

Var (%): (+) El asentamiento promedio estimado

con WSliq es mayor que el medido el 2010. Var (%): (-) Asentamiento promedio estimado con WSliq es menor que el medido el 2010

³³ Aguas arriba³⁴ Aguas abajo

Cont. Tabla 5- 3. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Juan Pablo II.

Tramo	Perf.	Asentamientos WSliq (cm)					Asentamientos 2010 (ρ)					
		T&S	I&Y	S	W&S	Ave.	Eje izq. ³⁵		Eje der. ³⁶		Prom. ejes	
							ρ (cm)	Var. (%)	ρ (cm)	Var. (%)	ρ (cm)	Var. (%)
Tramo Norte 1/2 (Concepción)	S-06	23.0	49.0	78.0	33.0	45.8	49.7	-8%	45.1	1%	47.4	-4%
	S-03	23.0	47.0	79.0	34.0	45.8	63.9	-28%	74.2	-38%	69.0	-34%
	S-07	24.0	41.0	110.0	60.0	58.8	73.8	-20%	48.6	21%	61.2	-4%
Tramo Norte 2/2 (Concepción)	S-05	25.0	50.0	79.0	36.0	47.5	54.3	-13%	36.7	29%	45.5	4%
	S-04	13.0	29.0	52.0	21.0	28.8	108.2	-73%	22.6	28%	65.4	-56%
	S-13	31.0	58.0	123.0	45.0	64.3	45.1	42%	41.7	54%	43.4	48%
	S-14	31.0	55.0	102.0	44.0	58.0	174.8	-67%	107.8	-46%	141.3	-59%

T&S: Tokimatsu y Seed (1987).

I&Y: Ishihara y Yoshimine (1992).

S: Shamoto et al. (1998).

W&S: Wu y Seed (2004).

Ave.: Promedio.

Var (%): (+) El asentamiento promedio estimado

con WSliq es mayor que el medido el 2010.Var

(%): (-) Asentamiento promedio estimado con

WSliq es menor que el medido el 2010

³⁵ Aguas arriba³⁶ Aguas abajo

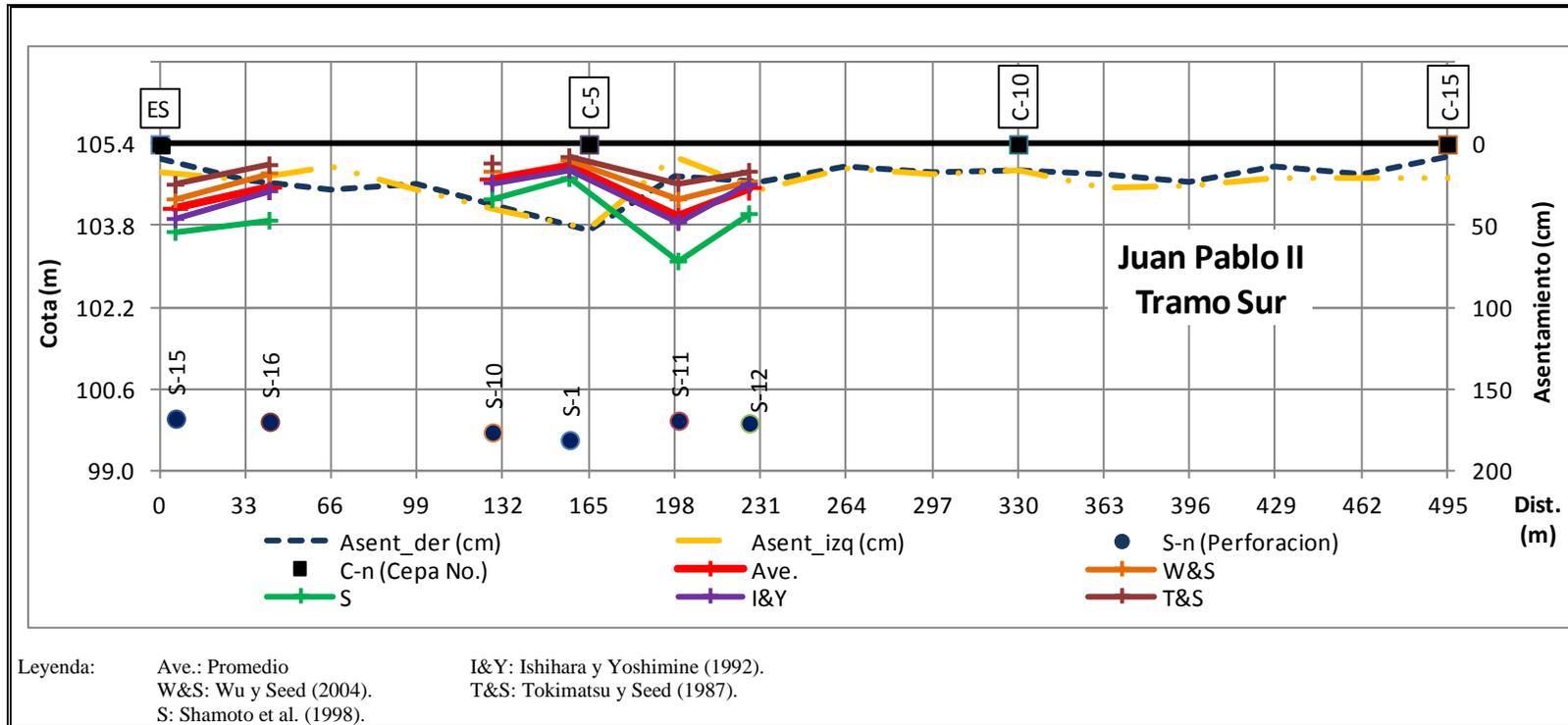


Figura 5- 8: Asentamientos estimados con WSliq versus asentamientos medidos post-terremoto del 27 Febrero 2010. Tramo Sur, Juan Pablo II.

Fuente:
 Elaboración Propia

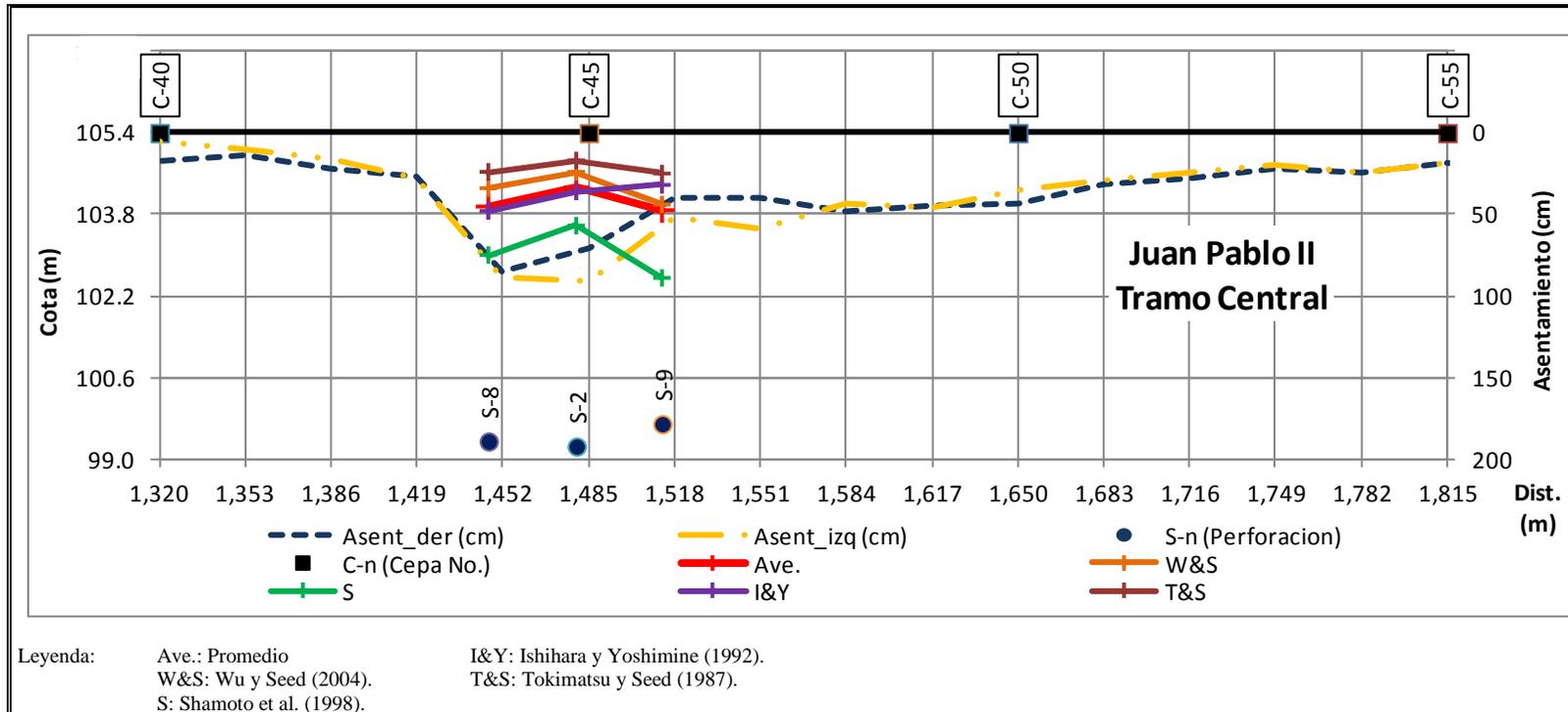


Figura 5- 9: Asentamientos estimados con WSliq versus asentamientos medidos post-terremoto del 27 Febrero 2010. Tramo Central, Juan Pablo II.

Fuente:
Elaboración Propia

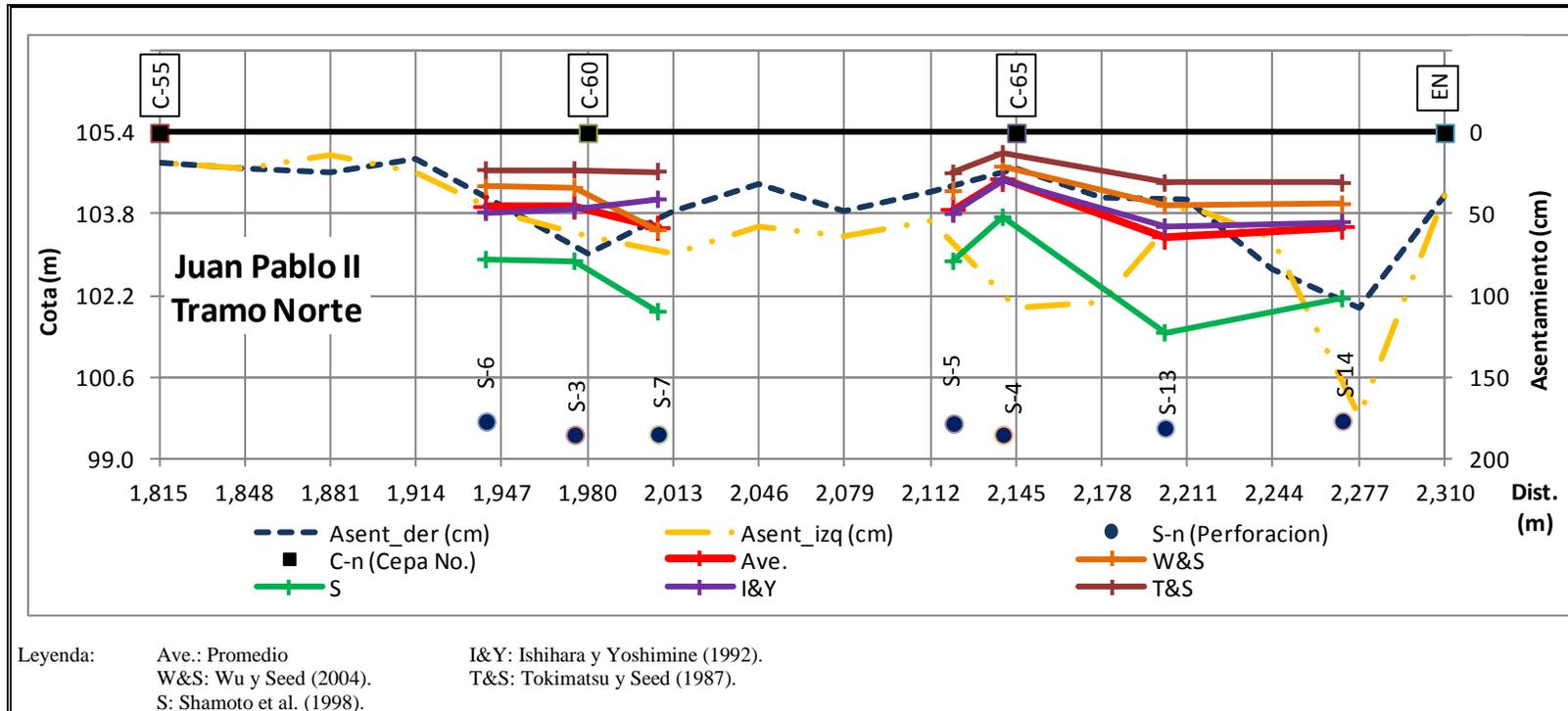


Figura 5- 10: Asentamientos estimados con WSliq versus asentamientos medidos post-terremoto del 27

Febrero 2010. Tramo Norte, Juan Pablo II.

Fuente:
Elaboración Propia

De la Tabla 5-2 y las Figuras 5-8, 5-9 y 5-10, se obtiene que:

- ✓ Solo en el 31,25% de las perforaciones ejecutadas en el 2010 (5 de las 16), los asentamientos estimados con WSliq son similares a los valores medidos en el puente Juan Pablo II después del Terremoto del 2010.
- ✓ Y en el 68,75% de las perforaciones (11 de las 16) la diferencia entre lo estimado y lo medido en campo es superior al 20% (en valor absoluto), de las cuales:
 - En el 43,75% de las perforaciones (7 de las 16) los asentamientos estimados por el WSliq fueron menores a los medidos en campo.
 - Y el 25% de las perforaciones (4 de las 16) los asentamientos estimados por el WSliq fueron mayores a los medidos en campo. Particularmente en S-15 y S-11 (en el 12,5% de las perforaciones), WSliq estimó asentamientos muy superiores a los medidos (variación > 200%), lo cual hace que estos dos valores sean poco confiables, pues no son coherentes con el comportamiento de las estimaciones en el resto del puente.

Estas diferencias entre lo estimado por WSliq y lo medido pueden deberse a que:

- ✓ Las perforaciones con las que se hicieron las estimaciones son posteriores al terremoto, por lo que las condiciones del suelo no son las mismas a la que existían en el instante en el que se produjo el terremoto. Sin embargo hoy en día, no es claro cuál es el comportamiento del suelo post-licuefacción, pues se cree que es posible que mejore (en términos de Dr, un suelo suelto y saturado, se reacomoda producto de la licuefacción y la Dr del suelo mejora) así como se han visto casos

donde la condición del suelo ha empeorado (sitios que licuaron una vez, vuelven a licuar y cuando se tienen capas de suelos licuables o no licuables, el agua al tratar de abrirse paso, al salir del estrato que licua perturba otros estratos de suelo).

Como en el 68,75% de los casos la diferencia entre los asentamientos estimados y los medidos en campo, son por defecto (43,75%) y por exceso (25%), a través de los asentamientos tampoco queda claro el comportamiento del suelo post-licuefacción.

✓ Estos modelos de cálculo están diseñados para la condición de suelo libre o sin estructuras, por lo cual podría esperarse que lo estimado por WSliq fuese la cota superior del comportamiento del suelo producto de la licuefacción, pero esto solo ocurrió en el 25% de las perforaciones.

✓ El efecto de la presencia de los pilotes, no es tan simple como una reducción proporcional de los asentamientos y está relacionada con la proporción del fuste y la punta del pilote, que se ve afectada por los estratos que licuan, pues en la medida que esta proporción es menor, menor es la diferencia entre la estimación hecha con los modelos y las mediciones de campo.

✓ Dada la distribución de los estratos que licuan: a lo largo del fuste y en el área de influencia bajo la punta de los pilotes, en las 7 perforaciones (43,75%) donde los asentamientos estimados por el WSliq fueron menores a los medidos en campo, es posible que se produjera fricción negativa a lo largo del fuste, incrementándose los asentamientos o bien que la licuefacción del área de influencia bajo la punta, incrementara los asentamientos.

c) Conclusiones de la comparación de los efectos con los daños observados en Juan Pablo II.

Si bien los modelos de ambos efectos (desplazamiento lateral y asentamientos) están diseñados para la condición de suelo libre, solo para los desplazamientos laterales es posible anticipar a grandes rasgos el comportamiento observado durante el terremoto del 27/02/2010; pues la estimación de los asentamientos está afectada por: el comportamiento del suelo post-licuefacción (el cual al día de hoy no es claro), la proporción del pilote que está dentro de los estratos licuables y el efecto de la fricción negativa.

5.3.2 Puente Llacolén

En el Anexo F.2, se presentan las consideraciones generales con las cuales se realizó la estimación de los efectos de la licuefacción en el Puente Llacolén.

En este puente, como se menciona en las consideraciones generales, debido a que solo se dispone de los N_{SPT} se asumieron todos los materiales arenosos y se trabajó con dos escenarios: contenido de finos <5% (FC<5%) y contenido de finos >35% (FC>35%).

a) Desplazamiento lateral

En la Tabla 5-3, se resumen los resultados de la estimación de los desplazamientos laterales en los estribos del Puente Llacolén para los dos escenarios (FC<5% y FC>35%).

Tabla 5- 4. Desplazamiento lateral, en ausencia de estructuras. Llacolén.

Escenario	Tramo	Perforación	Desplazamiento Lateral (cm)			
			B&K	Y	I&B	Ave.
FC<5%	Estribo Sur	S-7	52.0	47.0	117.0	72.0
	Estribo Norte	S-6	224.0	127.0	638.0	329.7
		S-J2	18.0	64.0	90.0	57.3
FC>35%	Estribo Sur	S-7	20.0	22.0	39.0	27.0
	Estribo Norte	S-6	103.0	59.0	290.0	150.7
		S-J2	11.0	30.0	32.0	24.3

B&K: Kramer, S.L, Franke, K., Huan, Y.y Baska, D. (2007).
Y: Youd et al. (2002).

I&B: Idris y Boulanger (2008).
Ave.: Promedio

Como se menciona en la sección 5.1.4 el modelo de Idris y Boulanger (2008) reporta la cota superior de los desplazamientos estimados y del modelo de Kramer et al. (2007) se pueden esperar los desplazamientos más ajustados a la realidad, pues no depende del tamaño de grano (D50) como Youd et al (2002), parámetro que fue necesario suponer, pues no se disponían de ensayos de caracterización del suelo.

De forma general, ambos escenarios (FC<5% y FC>35%) muestran resultados coherentes con los daños ocurridos en el acceso Norte, donde se produjeron desplazamientos laterales que ocasionaron que el tablero de acceso cayera de sus apoyos (Figuras 3-7 y 3-8). Específicamente, la perforación S-6 muestra desplazamientos que se podrían asociar a lo ocurrido en el tablero del puente, mientras que en la perforación S-J2 se observa una disminución de los

desplazamientos en la medida que se aleja del eje del puente, lo que fue observado en los daños post-terremoto (Figura 3-7).

Por otra parte, tal y como se observó en el levantamiento de los daños post-terremoto, en el extremo sur los desplazamientos son mucho menores a los estimados en el lado norte.

Como era de esperarse, los desplazamientos laterales del escenario con $FC > 35\%$ (menor potencial de licuefacción) son una fracción (38% al 46%) de los desplazamientos del escenario con $FC < 5\%$ (mayor potencial de licuefacción). Sin embargo, la magnitud de los desplazamientos laterales debe verse teniendo en cuenta que fue necesario hacer varios supuestos, por falta de información, entre ellos el tamaño de los granos (D50) y que los modelos están diseñados para estimar los desplazamientos en ausencia de estructuras.

b) Asentamientos

En las Tablas 5-4 y 5-5 se resumen los resultados de la estimación de los asentamientos en cada una de las perforaciones del Puente Llacolén, para los dos escenarios; y en las Figuras 5-11 y 5-12 se muestran estos resultados de forma esquemática.

En este puente solo se observaron asentamientos del orden de 20 a 30 cm en las rampas de salida Norte, donde el promedio de las estimaciones del WSliq reportó valores superiores, por ser modelos para la condición de campo libre.

Tabla 5- 5. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Llacolén. FC<5%

Tramo	Perforación	Asentamientos WSliq (cm)				
		T&S	I&Y	S	W&S	Ave.
Sur	S-7	15.0	25.0	45.0	24.0	27.3
	S-J5	15.0	17.0	47.0	22.0	25.3
Central	S-J6	12.0	11.0	38.0	17.0	19.5
	S-R1	13.0	15.0	38.0	18.0	21.0
	S-J7	5.0	8.0	18.0	8.0	9.8
	S-R2	15.0	20.0	49.0	23.0	26.8
Norte	S-R3	25.0	40.0	71.0	37.0	43.3
	S-R4	39.0	52.0	133.0	58.0	70.5
	S-6	60.0	69.0	188.0	88.0	101.3
	S-J2	9.0	14.0	29.0	14.0	16.5

T&S: Tokimatsu y Seed (1987).
I&Y: Ishihara y Yoshimine (1992).

S: Shamoto et al. (1998).
W&S: Wu y Seed (2004).

Ave.: Promedio

Tabla 5- 6. Asentamientos, en ausencia de estructuras. Llacolén. FC>35%

Tramo	Perforación.	Asentamientos WSliq (cm)				
		T&S	I&Y	S	W&S	Ave.
Sur	S-7	6.0	14.0	28.0	9.0	14.3
	S-J5	7.0	15.0	44.0	12.0	19.5
Central	S-J6	5.0	11.0	38.0	9.0	15.8
	S-R1	5.0	11.0	32.0	8.0	14.0
	S-J7	3.0	8.0	18.0	6.0	8.8
	S-R2	7.0	15.0	42.0	11.0	18.8
Norte	S-R3	7.0	16.0	36.0	11.0	17.5
	S-R4	20.0	43.0	121.0	31.0	53.8
	S-6	26.0	56.0	169.0	42.0	73.3
	S-J2	4.0	9.0	21.0	6.0	10.0

T&S: Tokimatsu y Seed (1987).

S: Shamoto et al. (1998).

Ave.: Promedio

I&Y: Ishihara y Yoshimine (1992).

W&S: Wu y Seed (2004).

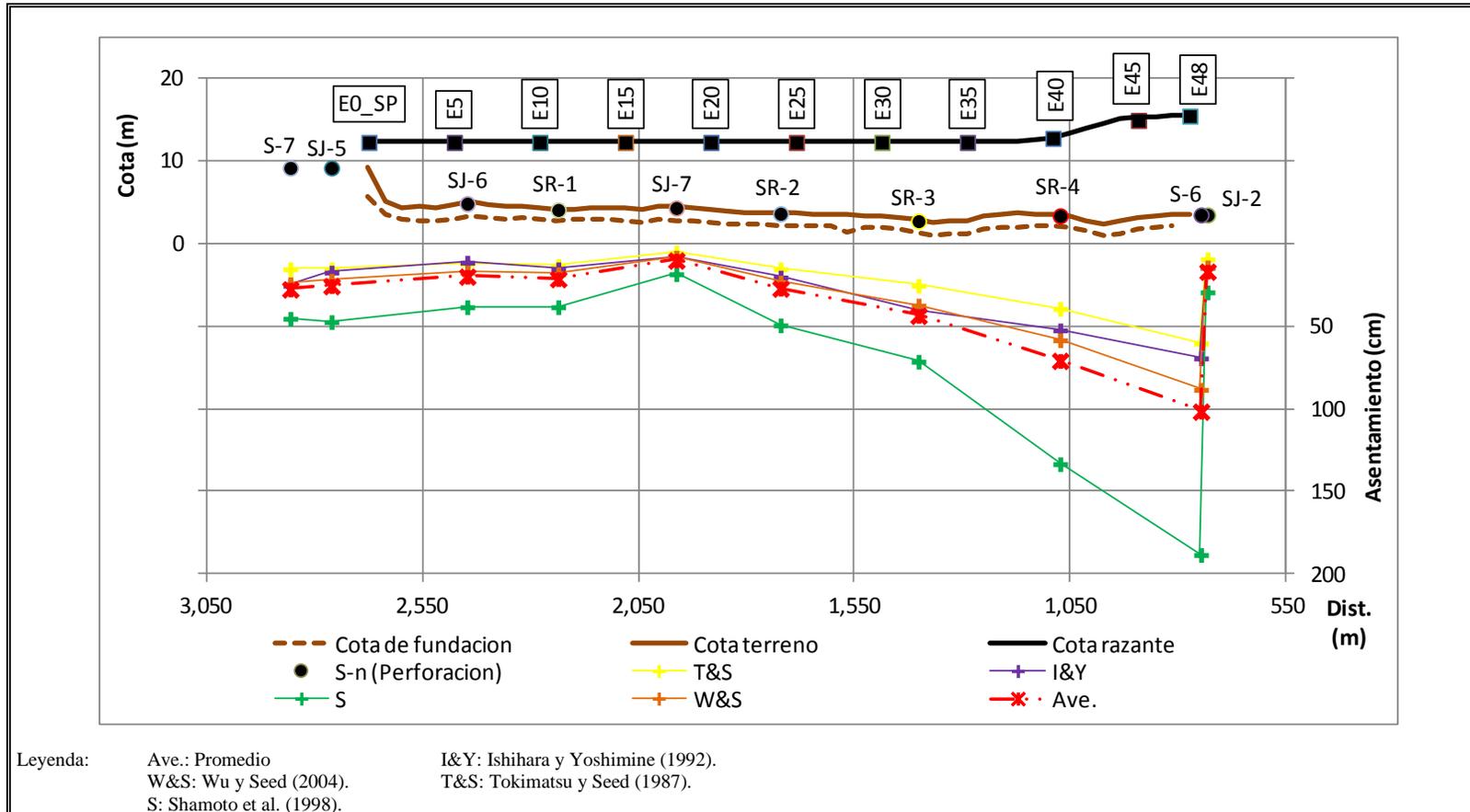


Figura 5- 11: Asentamientos estimados con WSlq. Llacolén. Contenido de finos <5%.

Fuente:
Elaboración Propia

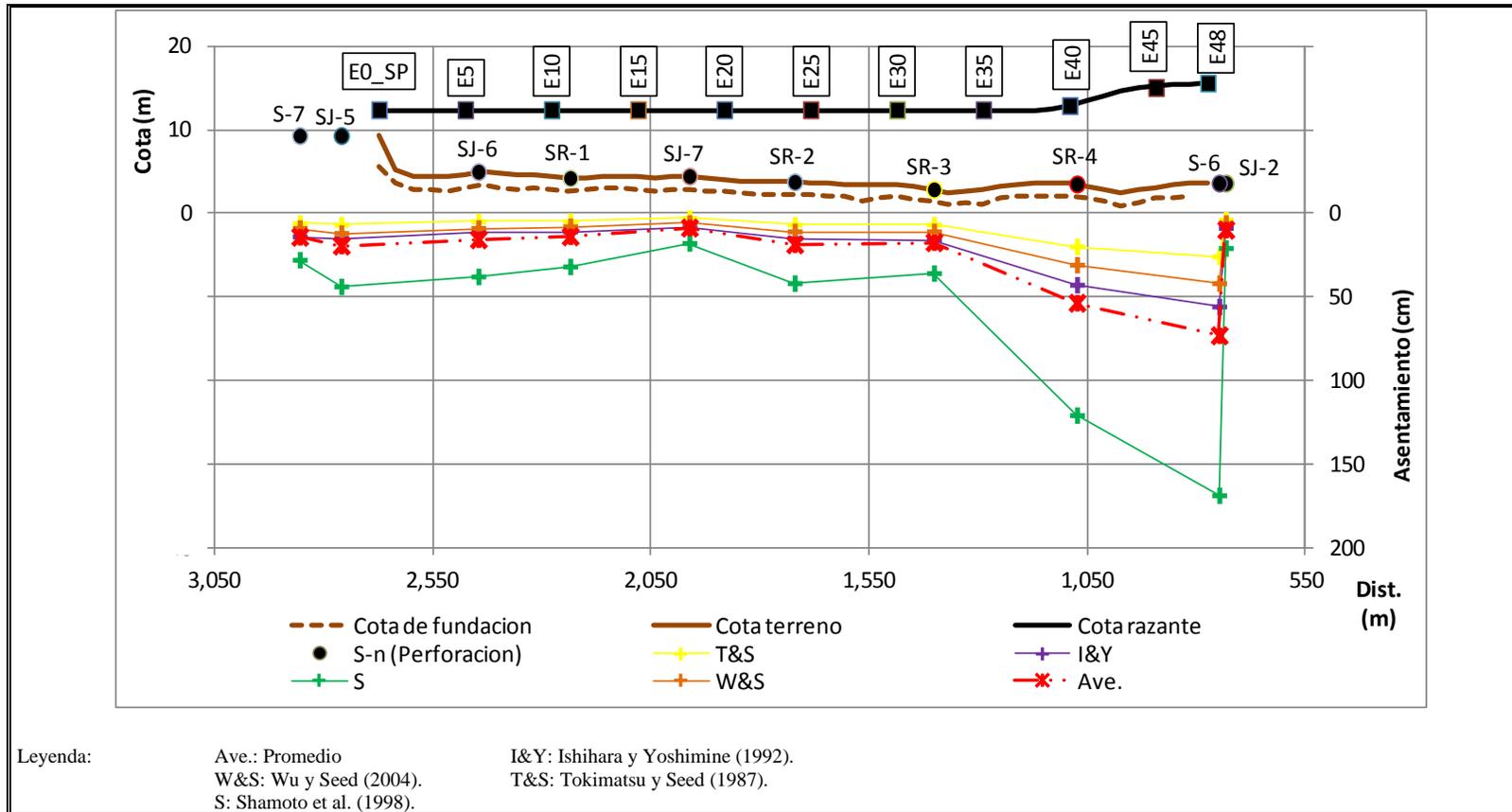


Figura 5- 12: Asentamientos estimados con WSlíq. Llacolén. Contenido de finos >35%.

Fuente:
Elaboración Propia

c) Conclusiones de la comparación de los efectos con los daños observados en el Puente Llacolén.

Los resultados obtenidos son coherentes con los daños observados en el levantamiento post-terremoto: en el extremo Sur los desplazamientos estimados son mucho menores a los del lado Norte, donde la magnitud de los desplazamientos estimados explica de forma cualitativa la caída del tablero de sus apoyos, pues dada la presencia de las estructuras de fundación, los desplazamientos reales, debieron ser menores que los estimados.

Las diferencias entre las estimaciones y los valores medidos- de los asentamientos, muestran que solo de forma cualitativa puede estimarse el comportamiento del puente.

De forma general las diferencias entre las estimaciones y las mediciones esta sustentada en la erraticidad de los datos de entrada, pues fue necesario hacer varios supuestos, por la falta de información, en el hecho de que los modelos están diseñados para la condición de suelo libre, sin estructuras de fundación.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

Sin bien las distintas normas técnicas evaluadas sobre riesgo de licuefacción muestran una tendencia bastante uniforme, orientada a usar como variable el N_{SPT} , con algunos casos particularmente un poco más elaborados, no hay una tendencia clara en torno a las recomendaciones para el diseño de pilotes en suelos licuables. Van desde decir que “debe evaluarse”, pasando por el mejoramiento del suelo o cambio de la solución de fundación, inclusive no considerar el aporte del suelo potencialmente licuable, hasta llegar a la degradación de los parámetros de resistencia debido a las cargas dinámicas, sin especificar claramente cómo.

Dentro de la Normativa Chilena, el Manual de Carreteras (MOP-DV, 2002) limita la definición de suelos susceptibles de licuar, considerando solo eventos sísmicos con una aceleración de 0.2g, mientras que la norma NCh433.Of96 de diseño sísmico de edificios, define tres zonas sísmicas, dos de ellas tienen una aceleración efectiva máxima del suelo (A_0); mayor a 0,2g.

Con relación al diseño de pilotes, el Manual de Carreteras (MOP-DV, 2002) recomienda no considerar el aporte de materiales potencialmente licuables.

De los artículos técnicos y científicos, se pueden extraer las siguientes recomendaciones generales, para el diseño de pilotes en suelos potencialmente licuables:

- ✓ Si bien se proponen diversas metodologías para estimar los asentamientos y el desplazamiento lateral producto de la licuefacción, es indispensable una buena

estimación de las cargas impuestas por el desplazamiento lateral, pues los daños en los pilotes están particularmente asociados al desplazamiento lateral.

- ✓ Existen distintas opciones para estimar las cargas impuestas por el desplazamiento lateral; pero esta estimación debe incluir al estrato no licuable, suprayacente.
- ✓ Debe considerarse el efecto de la fricción negativa (Anexo A.2), producto del asentamiento del estrato no licuable, suprayacente al licuable.
- ✓ Los pilotes de acero ($D > 1\text{m}$) son los que tienen mejor comportamiento, quizás por el efecto del método de instalación de este tipo de pilotes (pilotes hincados), pues un incremento de, por ejemplo del 10% de la densidad relativa, se traduce en una disminución del máximo desplazamiento lateral.

Con la información geotécnica levantada después del Terremoto del 27 de Febrero del 2010, en el Puente Juan Pablo II (construido en 1974), sí era posible anticipar la ocurrencia de licuefacción en este puente de acuerdo al estado del arte actual. Por lo anterior, se puede presumir que con el estudio geotécnico que debió realizarse para el diseño y construcción del puente (antes de 1974), también debió poderse anticipar la ocurrencia de licuefacción y la pérdida de capacidad de carga en la punta y el fuste de los pilotes.

De forma similar, en el Puente Llacolén (construido en el 2000), con la información geotécnica de 1993 y 1996, también era posible anticipar la ocurrencia de licuefacción en este puente y la pérdida de capacidad de carga en el fuste de los pilotes, de acuerdo al estado del arte actual.

Pilotes de mayor longitud podrían haber evitado los daños observados en los puentes; sin embargo, en ambos casos, para el momento del diseño de los puentes el estado del arte respecto al potencial de licuefacción en suelos granulares y suelos finos, y respecto a la sismicidad de la zona, era distinto al actual, por lo cual no se contaba con las herramientas necesarias para anticipar la ocurrencia de licuefacción y sus efectos en los pilotes.

Particularmente, el estado del arte para evaluar el potencial de licuefacción en los materiales de grano fino, para: (i) el año 1974, en Juan Pablo II (hasta Wang (1979) se consideraba que los materiales finos no licuaban) y (ii) el año 2000, en Llácolen (el Criterio Chino era usado ampliamente desde la década de los 80), pudo hacer concluir erróneamente que el potencial de licuefacción era menor, especialmente, en Juan Pablo II, en torno al fuste de los pilotes.

Con relación a la sismicidad de la zona, no es sino hasta 1996, cuando en la Norma NCh433.Of96, se incluye la zonificación sísmica de Chile (Guendelman y Lindenberg, 2011), con sus respectivos valores de aceleración efectiva máxima del suelo (A_0); donde la ciudad de Concepción quedó ubicada en la Zona sísmica 3, correspondiéndolo un valor de $A_0=0.4g$. Para el diseño del Puente Llacolén, ya estaba en vigencia esta versión de la norma (NCh433.Of96), sin embargo para el diseño de Juan Pablo II (antes de 1974), la versión de la Norma vigente era la NCh433.Of72, donde la aceleración basal o pseudo-aceleración (A_0) era de aproximadamente 0.10g (R. Riddell, comunicación personal, Octubre 24, 2014).

Sí es posible diseñar y construir sistemas de fundación con comportamiento satisfactorio frente a la ocurrencia licuefacción dado el estado del arte actual. El no considerar el aporte de los estratos potencialmente licuables proporciona una buena primera aproximación de las dimensiones de la solución de fundación requerida, pues aún existe cierta incertidumbre con relación a cómo cuantificar el aporte de los materiales licuados. Por otra parte, es importante destacar que las mediciones de energía que se hicieron durante el estudio del IDIEM (2012) mostraron que la suposición usada en la práctica Chilena para la corrección del N_{SPT} coincide con los valores medidos en dicho trabajo. Si bien la mayoría de los modelos utilizados en este trabajo de investigación predicen bastante bien el comportamiento de los suelos estudiados, cuando se disponga de suficiente información del comportamiento del suelo, durante un evento sísmico local, se podrá mejorar la regresión estadística de los modelos y verificar la validez de los métodos en los suelos locales. En particular, se requiere identificar sitios con suelos potencialmente licuables, cerca de acelerómetros, para así obtener más puntos que permitan delinear de mejor manera la frontera entre licuefacción y no-licuefacción, además de considerar otras variables como los tipos de terremotos (corticales o de subducción). Para ello deberá establecerse un plan de investigación donde se detallen todos los datos que se deben recabar en un corto plazo, la próxima vez que se produzca un evento local.

Adicionalmente, algunas recomendaciones generales, producto de la experiencia del desarrollo de este trabajo, se enumeran a continuación:

- ✓ Unificar a nivel nacional y/o normar (quizás a través del Manual de Carreteras), la forma de reportar los resultados de las exploraciones geotécnicas, de forma tal que puedan ser correlacionadas o comparadas entre sí (Coordenadas, sistema de coordenadas, elevación o cotas de los puntos de exploración, con sus niveles de referencia, datos de los equipos utilizados, métodos de clasificación del suelo, etc.), de forma tal que se puedan disponer de todos los datos que requieren los modelos para la evaluación de potencial de licuefacción.
- ✓ Definir cuáles son las estructuras de utilidad pública y aquellas cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe, construidas antes de 1996. A la luz del estado del arte actual, reevaluar el potencial de licuefacción y los posibles efectos, a fin de poder tomar acciones de mejora con el objeto de evitar el colapso de estas, producto de un sismo de intensidad excepcionalmente severa, para que puedan mantenerse operativas cumpliendo con su utilidad.
- ✓ De requerirse un estudio geotécnico para una estructura similar en la zona de estudio, este deberá incluir: ensayos SPT con mediciones de energía, ensayos In situ CPT (que permitan incorporar los métodos de evaluación de potencial de licuefacción en función de CPT y comparar los resultados con la evaluación del potencial de licuefacción en función de SPT), una buena caracterización de los materiales encontrados de acuerdo a la norma ASTM que incluya granulometrías e hidrómetros, que caractericen las dimensiones de los granos de cada estrato.

Y finalmente como trabajos futuros, se proponen:

- ✓ Conseguir la exploración original de Juan Pablo II y reevaluar el potencial de licuefacción comparándolo con los resultados obtenidos en esta tesis con la exploración geotécnica del 2010. Y así poder evaluar cual fue el comportamiento del suelo, post-licuefacción al compararlo con la exploración geotécnica post-terremoto del 2010
- ✓ Investigar el efecto de la presencia de pilotes en los asentamientos producto de la licuefacción.
- ✓ Si bien la mayoría de los modelos utilizados en este trabajo de investigación predicen bastante bien el comportamiento de los suelos locales, cuando se disponga de suficiente información del comportamiento del suelo, durante un evento sísmico local, se podrá mejorar la regresión estadística de los modelos y verificar de forma más precisa la validez de los métodos en los suelos locales. Además de incluir en ellos otras variables que permitan distinguir por ejemplo los tipos de terremotos (corticales o de subducción). Para ello deberá establecerse un plan de investigación donde se detallen todos los datos que se deben recabar en un corto plazo, la próxima vez que se produzca un evento local.

BIBLIOGRAFIA

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO (1996) *Standard Specifications for Highway Bridges. 16th Edition.* (No. de publicación ISBN 1-56051-040-4). Estados Unidos.

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO (2007) *LRFD Bridge Design Specifications. 4th Edition.* Estados Unidos: Autor.

American Petroleum Institute. API (2002). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing fixed Offshore Platforms-Working Stress Design. API Recommended practice 2A-WSD. 21st Edition. Errata and supplement 1, December 2002.* (No. de publicación API RP 2A-WSD). Washington, D.C., Estados Unidos: Autor.

American Petroleum Institute. API (2007). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing fixed Offshore Platforms-Working Stress Design. API Recommended practice 2A-WSD. 21st Edition. Errata and supplement 3, October 2007.* (No. de publicación API RP 2A-WSD). Washington, D.C., Estados Unidos: Autor.

American Society for Testing and Materials International, A. I. ASTM (2000). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* (No de publicacion D2487-00). Ciudad, País: Autor.

Arduino, P., Ashford, S., Assimaki, D., Bray, J., Eldridge, T., Frostet, D., et al. (2010). *Reconnaissance of the 2010 Maule, Chile Earthquake (Report No. GEER-022).* Recuperado de National Science Foundation (NSF) - Sponsored Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER) Association Team: http://www.geerassociation.org/GEER_Post%20EQ%20Reports/Maule_Chile_2010/GEER_Report_Chile_2010_FinalV3.pdf.

Barrientos, S (2010). *Informe técnico actualizado 27 Mayo 2010: Terremoto Cauquenes 27 febrero 2010.* Recuperado del Centro Sismológico Nacional: <http://www.sismologia.cl/Informate/Informes>.

Boroschek, R., Soto, P. y León R. (2010). *Registros del Terremoto del Maule Mw=8.8. 27 de Febrero de 2010.* (Informe RENADIC 10/05 Rev. 2). Recuperado de Departamento de Ingeniería civil. Facultad de Ciencias físicas y matemáticas. Universidad de Chile: <http://terremotos.ing.uchile.cl/eventos/2010>.

Boulanger, R. W., Kutter, B. L., Brandenberg, S. J., Singh, P., & Chang, D. (2003). *Pile foundations in liquefied and laterally spreading ground during earthquakes: centrifuge experiments & analyses* (UCD/CGM-03/01). Recuperado de Universidad de Davis, California: <http://nees.ucdavis.edu/publications/ucdcgm0301.pdf>.

Boulanger, R. W., & Idriss, I. M. (2004). *Evaluating the potential for liquefaction or cyclic failure of silts and clays*. (Rep. No. UCD/CGM-04/01). Recuperado de Center for Geotechnical Modeling, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of California, Davis, California: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=18D34BF276C9A745AA00A9457B7F0DAF?doi=10.1.1.132.3827&rep=rep1&type=pdf>.

Boulanger, R. W., e Idriss, I. M. (2005). Evaluating cyclic failure in silts and clays. En TC4 Committee of ICSMGE Japanese Geotechnical Society. (Ed.), *Proceedings, Geotechnical Earthquake Engineering Satellite Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering: Concepts and Research*. (pp. 78-86), Tokyo, Japon.

Boulanger, R. W. & Idriss, I. M. (2006). Liquefaction Susceptibility Criteria for Silts and Clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(11), 1413–1426. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:9(1413).

Bray, J. D., & Sancio, R. B. (2006). Assessment of the Liquefaction Susceptibility of Fine-Grained Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1165–1177. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:9(1165).

Cetin, K. O., Seed, R. B., Kiureghian, A. Der, Tokimatsu, K., Harder Jr., L. F., Kayen, R. E., & Moss, R. E. S. (2004). Standard Penetration Test-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE, 130(12), 1314–1340. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130.

Decreto Supremo No. 61 (2011, 02 Noviembre). Aprueba reglamento que fija el diseño sísmico de edificios y deroga decreto n° 117, de 2010. Biblioteca del congreso Nacional de Chile. Legislacion Chilena. Disponible en: <http://www.leychile.cl/N?i=1034101&f=2011-12-13&p=>.

Díaz, E. G. y Rodríguez-Roa, F. (2007). Ensayos in situ en arenas. *VI Congreso Chileno de Geotecnia*. Santiago, Chile.

Facultad de Ingeniería (84.07 Mecánica de Suelos y Geología), Universidad de Buenos Aires (FIUBA). (ND). *Ensayo SPT*. Recuperado de FIUBA: <http://materias.fi.uba.ar/6408/07a%20Ensayo%20SPT.pdf>.

Finn, W.D.L y Fujita, N (2002). Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9–12), 731-742. [http://dx.doi.org/10.1016/S0267-7261\(02\)00094-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0267-7261(02)00094-5).

Guendelman, T. y Lindenberg, J. (2011). Evolución histórica de la norma sísmica NCH433. IV congreso AICE, I Jornadas de Administración y Gestión de la Ingeniería Estructural. Chile.

Goda, Y., Tabata, T. y Yamamoto, S. (2002). *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan*. Tokyo, Japan: Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI). (Trabajo Original publicado en Japonés en 1999).

Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004). Semi empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes. En *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Vol. I* (pp. 32-56).

Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2008). *Soil liquefaction during earthquakes*, (EERI Monograph 12). Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, 262 pp.

INGEXA (2010). *Proyecto de reforzamiento de fundaciones: puente Juan Pablo II, sobre río BioBío, ciudad de Concepción, VIII Región del BioBío. Bases de diseño, Mecánica de Suelos*.(Archivo: Bases de Diseño Mec. Suelos Reconstrucción Pte. Juan Pablo I.pdf).

Instituto Nacional de Normalización, INN (1996). *Diseño sísmico de edificios*. (No. de publicación: NCh433.Of96-Mod. 2009). Santiago, Chile: Autor.

Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, *Soils and Foundations*. 32(1), 173-188.

Kanappett, J. y Madabhushi, S. (2009). Seismic Bearing capacity of piles in liquefiable soils. *Soil and Foundations Japanese Geotechnical Society*. 49(4), 525–535.

Kramer, S.L, Franke, K., Huan, Y. and Baska, D. (2007). Performance-based evaluation of lateral spreading displacement. En P, Kyriazis. (Ed.), *Proceedings, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*. Thessaloniki, Greece.

Kramer, S.L. (December 2008). *Evaluation of liquefaction Hazards in Washington State*. (No. WA-RD 668.1). Recuperado del Washington State Transportation Center (TRAC) University of Washington: <http://depts.washington.edu/trac/bulkdisk/pdf/668.1.pdf>.

Ledezma, C. (2012) Case study of three pile-supported bridges affected by liquefaction-induced lateral spreading after the M8.8 2010 Maule Chile earthquake. *Second international conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering*. Taormina, Italy.

Ledezma, C. (2013) Lessons from the seismic performance of pile-supported bridges affected by liquefaction during the m8.8 2010 Maule Chile earthquake. *Seventh international conference on Case histories in Geotechnical Engineering and Symposium in Honor of Clyde Baker*. Chicago, EEUU.

Mendoza, M., Ovando, E., Villalobos, F., Rodríguez, M. & Oróstegui, P. (2011). Geotechnical aspects of damages in Concepción-due to the Mw 8.8 Chile earthquake on February 27-2010. *14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering PCSMGE*, Toronto, Canada.

Ministerio de Fomento, Puertos del Estado. Gobierno de España (2005). Recomendaciones para obras marítimas. ROM 0.5-05. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias. (No. de publicación ROM 0.5-05). España: Autor.

Ministerio de Obras Publicas, Dirección de Obras portuarias (MOP-DOP). Gobiernos de Chile (2013). Guía de diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras. Santiago de Chile: ARA WorleyParson.

Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad (MOP-DV). Gobierno de Chile (2002). Manual de Carreteras. Volumen No 3: Instrucciones y criterios de diseño. Santiago, Chile: Autor.

Muir W., D. (1990). *Soil behavior and critical state soil mechanics*. New York: Cambridge University Press.

Rahmani, A. y Pack, A. (2011). A parametric study on seismic performance of piles embedded in two-layered liquefiable ground. *Proceedings Pan-Am CGS Geotechnical Conference*, Toronto, Canada.

Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M. & Riemer, M. F. (2001). Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic site response evaluation. *Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor W.D. Liam Finn*. (pp. 1–45). San Diego, California, EEUU.

Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute Monograph MNO-5, 134 p.
Shamoto, Y., Zhang, J.-M., and Tokimatsu, K. (1998). Methods for evaluating residual post-liquefaction ground settlement and horizontal displacement. *Soils and Foundations*. (Special Issue No. 2), 69-83.

Singh, P., Brandenburg, S. J., Boulanger, R. W. & Kutter, B. K. (2002). Behavior of pile foundations in liquefied and laterally spreading ground. *Proceedings ASCE/AEG/UMKC Geotechnical Conference*, Kansas City, EEUU.

Tamura, K. (2004). Seismic design of highway bridge foundations for liquefaction-induced ground flow. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Special Issue 4(3)*, 359–363.

Tani, S. y Yasunaka, M. (1988). Effect of sampling methods on liquefaction resistance of loose sand. *Proceedings of Ninth World conference on earthquake engineering*, Tokyo-Kyoto, Japón.

Terzaghi, K. y Peck, R (1996). *Soil mechanics in Engineering Practice* (3ª ed.). Estados Unidos: John Wiley & Sons.

Tokimatsu, K. and Seed, H.B. (1987). Evaluation of settlements in sand due to earthquake shaking, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 113(8), 861-878.

Universidad de Chile. Facultad de Ciencias físicas y matemáticas. IDIEM. (2012). *Exploración geotécnica con ensayos CPT y SPT. Concepción, Chile. Revisión B* (Informe N° 740383).

Universidad de Chile. Facultad de Ciencias físicas y matemáticas. IDIEM. (2012). *Informe de ensayo oficial N° 740.383-A, Mecánica de suelos. Exploración geotécnica con ensayos CPT y SPT, OT N° 87-0000026-12-00.* (Informe N° 740.383-A).

Verdugo, R. y Peters, G. (2010). *Estudio de ingeniería “Reposición puente sobre el río Bio Bío, Concepción – San Pedro de la Paz” Informe geotécnico. Fase anteproyecto. Infraestructura puente Mecano, eje Chacabuco. Rev-7.* (Archivo: PuenteMecanoEjeChacabucoRev-7 (ago10).pdf)

Verdugo, R., Ledezma, C. y Lemnitzer A. (22 de Agosto de 2013). *Mecánica de Suelo aplicada al Diseño Sísmico.* [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado de: <http://www.achisina.cl/images/Memorias/Memoria-2013.pdf>.

Villalobos, F., Ovando, E., Mendoza, M. & Oróstegui, P. (2011). Damages observed in the 2010 Concepción earthquake related to soil phenomena. *Fifth International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Santiago, Chile.

Wang, W. S. _1979_. Some findings in soil liquefaction, Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing.

Wu, J. and Seed, R.B. (2004). Estimation of liquefaction-induced ground settlement (case studies). En *Proceedings, Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering* (pp. 1-8). New York, EEUU.

Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(10), 817–833. Disponible en <http://www.ascelibrary.org>.

Youd, T.L., Hansen, C.M., and Bartlett, S.F. (2002). Revised multilinear regression equations for prediction of lateral spread displacement. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 128(12), 1007-1017.

ANEXOS

ANEXO A: TERMINOLOGIA TECNICA.

A.1. Ensayos de penetración estándar o ensayo SPT.

El 80% de la exploración geotécnica realizada en los puentes objeto de esta investigación, está constituida por ensayos de penetración estándar, mejor conocido como SPT (*Standard Penetration Test*), por sus siglas en inglés.

Este ensayo, es la forma más popular, y económica (comparado con el costo del ensayo CPT en alguno países de Sudamérica) de obtener información del subsuelo. Consiste básicamente en contar el número de golpes necesarios para hincar, un muestreador (cuchara partida) de dimensiones estandarizadas (de acuerdo a la ASTM D1586³⁷, ver Figura A.1-1), 30 centímetros en el suelo (Figura A.1-2).

³⁷ Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils. (ASTM, 2000).

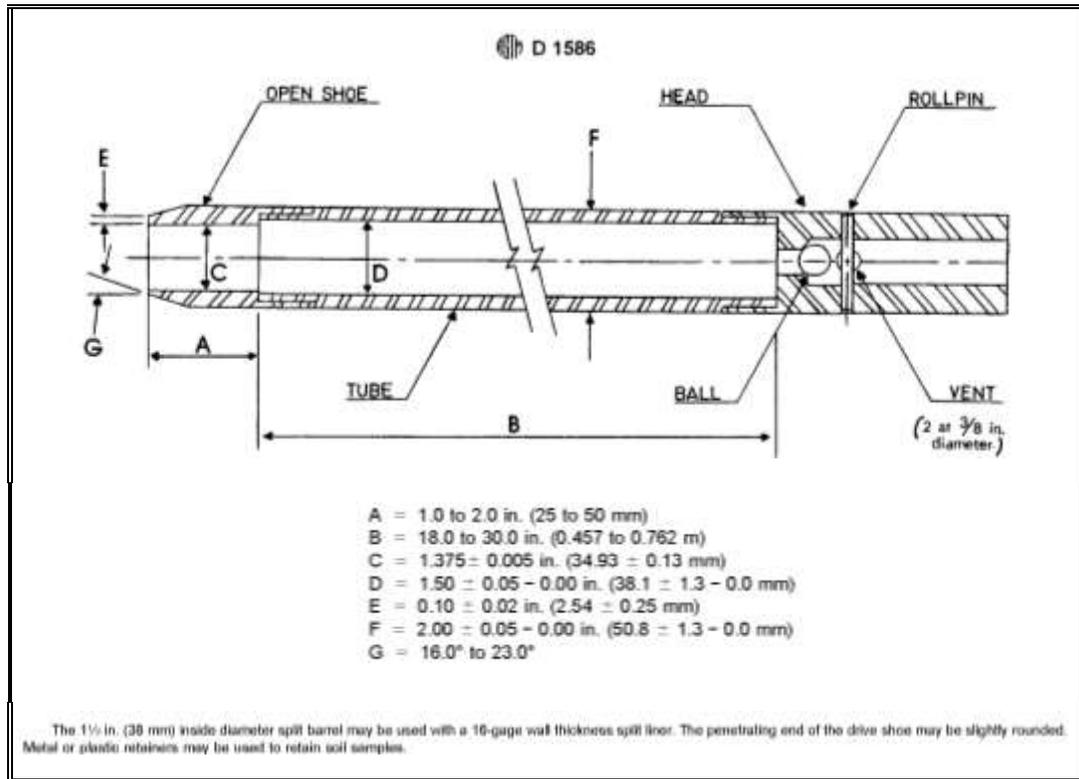


Figura A.1- 1: Dimensiones del muestreador.

Fuente:
Fig 2: Split-Barrel Sampler de la ASTM D1586-99. ASTM (2000).

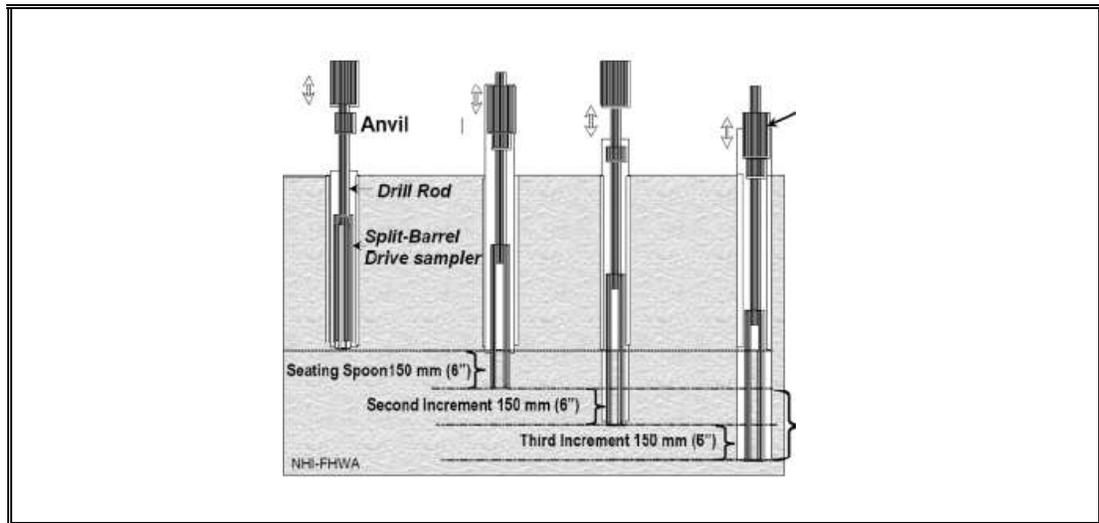


Figura A.1- 2: Penetración del muestreador durante la ejecución del ensayo SPT.

Fuente:
FIUBA (ND)

El muestreador es hincado a energía constante, a través de la caída libre de un martillo de 63.5 kg (140 lb), desde una altura de 76,2 cm (30 plg).

Con base en el número de golpes necesarios para hincar el muestreador los últimos 30 cm, se obtiene la resistencia a la penetración estándar (N_{SPT}) del suelo y de la cuchara partida (muestreador) se obtiene una muestra perturbada, con la cual sólo es posible caracterizar el suelo y medir su contenido de humedad, para luego definir espesores y estratificación de los materiales.

De acuerdo a la ASTM D1586, cuando: (i) se requieren más de 50 golpes en alguno de los 15 cm, (ii) o un total de 100 golpes han sido aplicados, (iii) o no se observa avance del muestreador después de aplicar 10 golpes sucesivos, (iv) o el muestreador avanza los

45 cm sin ser golpeado, debe detenerse el ensayo. En las 3 primeras situaciones, debe reportarse el número de golpes en función de la penetración alcanzada.

Este ensayo se ha correlacionado ampliamente con parámetros de resistencia al corte de suelos:

En suelos arenosos, permite obtener una idea de la densidad del suelo y con ello una estimación del ángulo de fricción.

En suelos arcillosos, permite obtener una idea de la resistencia a la compresión simple, a través de correlaciones.

Este ensayo está afectado por diversas variantes y fuentes de diferencia (aunque se denomina "estándar"), lo cual impide reproducir los resultados del ensayo en el mismo suelo, con un equipo distinto. Especialmente, la energía que llega al muestreador está afectada por:

- ✓ Tipo y estado de los equipos de perforación.
 - Configuración del martillo de hinca.
 - Forma de control de la altura de caída, que puede estar afectada a su vez por la destreza de los operadores. Estudios han demostrado que aún utilizando dispositivos automáticos con peso de la maza y altura de caída, correctos, los valores de energía medidos difieren según modelos y marcas de sondas de perforación.
 - Tipo y estado de las cucharas,
 - Presencia de liner o camisa metálica dentro del muestreador.
- ✓ Longitud de las barras.

✓ Grado de confinamiento del suelo.

De forma general, la Norma ASTM D6066-11³⁸, plantea el procedimiento de corrección de los valores del N_{SPT} , únicamente en materiales no cohesivos (SM, SW, SP, SP-SW y SW-SM, según la ASTM D2488³⁹), orientado a la evaluación del potencial de licuefacción.

Sin embargo, como cada uno de los métodos de evaluación del potencial de licuefacción, describe el procedimiento de corrección de los valores del N_{SPT} , de acuerdo a sus necesidades, los detalles de cómo se corrigió el efecto de las distintas variantes se presentan en las secciones 4.2.2 y 4.2.3.

³⁸ Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential.

³⁹ Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).

A.2. Fricción negativa

Los estratos no licuables suprayacentes a los licuables, tienden a asentarse con respecto al pilote, producto de la licuefacción del estrato inferior que tiende a consolidar. Este movimiento relativo, genera una fricción entre el pilote y el suelo no licuable que se desplaza con respecto al pilote, incrementado la carga axial a la que está sometido el pilote, este incremento de la carga axial se conoce como fricción negativa inducida por licuefacción. (Ver Figura A.2- 1)

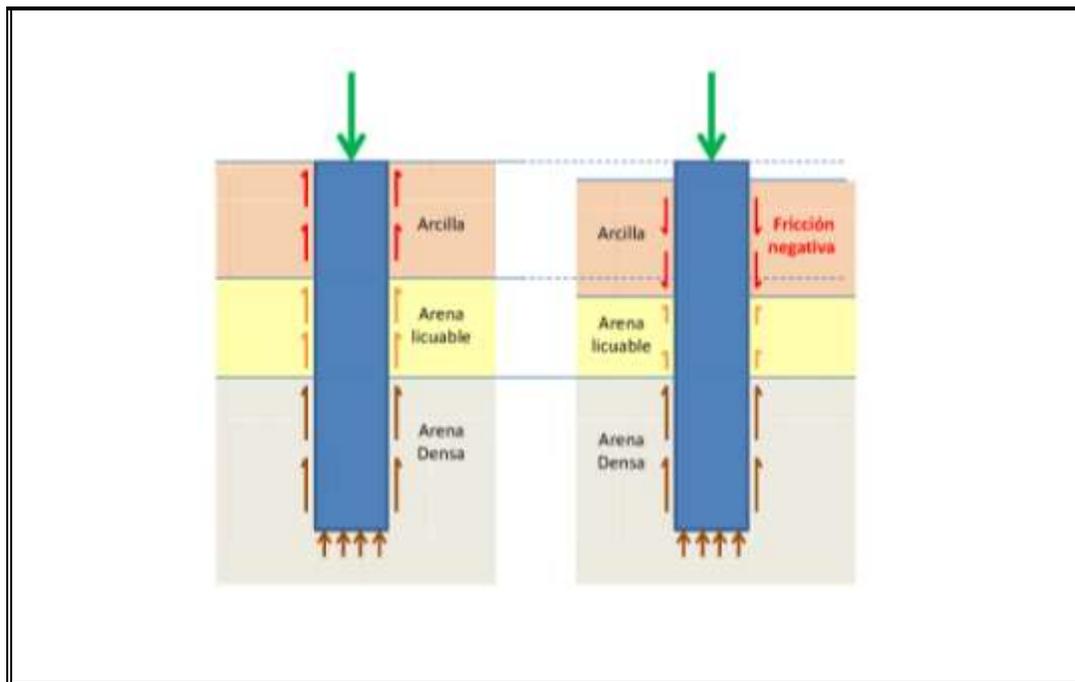


Figura A.2- 1: Fricción negativa

Fuente:
Elaboración propia

A.3. Curvas p-y

La *curva p-y* es una representación de la respuesta del suelo a la deflexión lateral de un pilote, donde la reacción lateral del suelo “p” varia con la deflexión de acuerdo con la curva p-y correspondiente a cada estrato de suelo. En la Figura A.3-1 se muestra una representación esquemática de un pilote sujeto a la reacción lateral del suelo p.

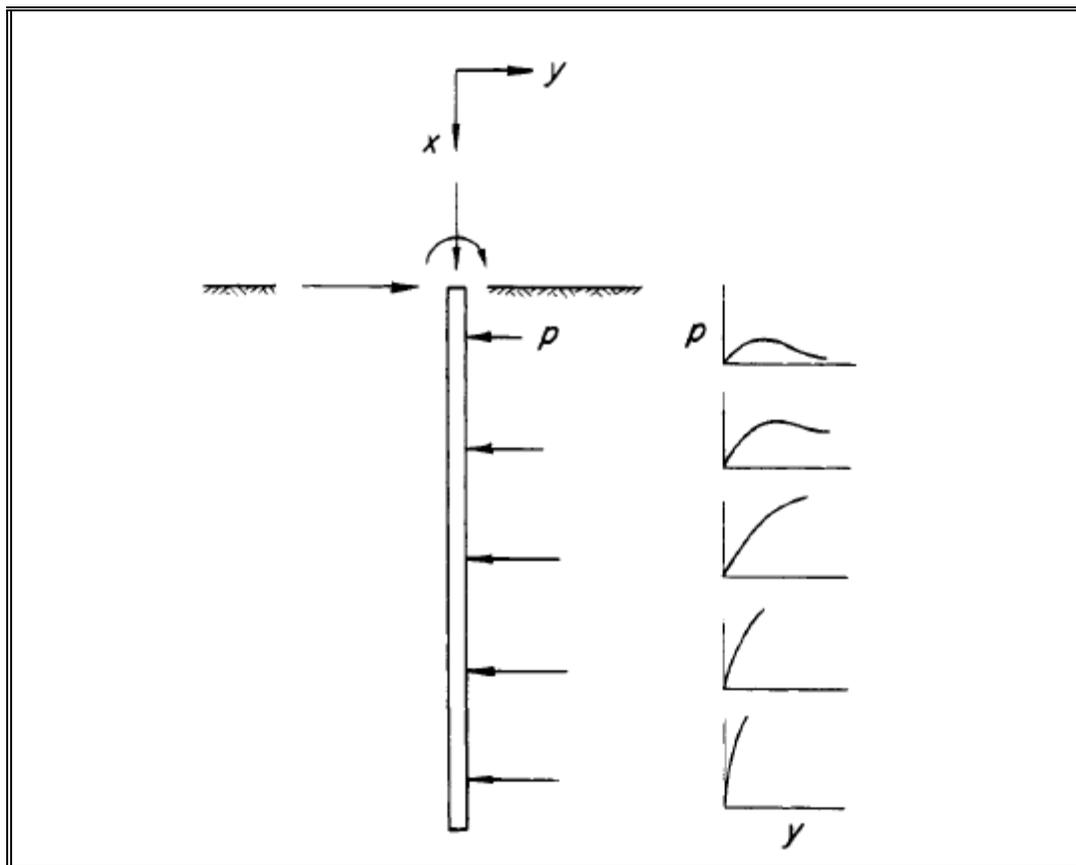


Figura A.3-1: Pilote sometido a carga lateral

Fuente:
Figure 52.17, Terzaghi, K. y Peck, R (1996).

**ANEXO B: SONDEOS GEOTÉCNICOS DISPONIBLES DEL PUENTE JUAN
PABLO II**

B.1. Perforaciones en Juan Pablo II, realizadas por INGEXA (2010).

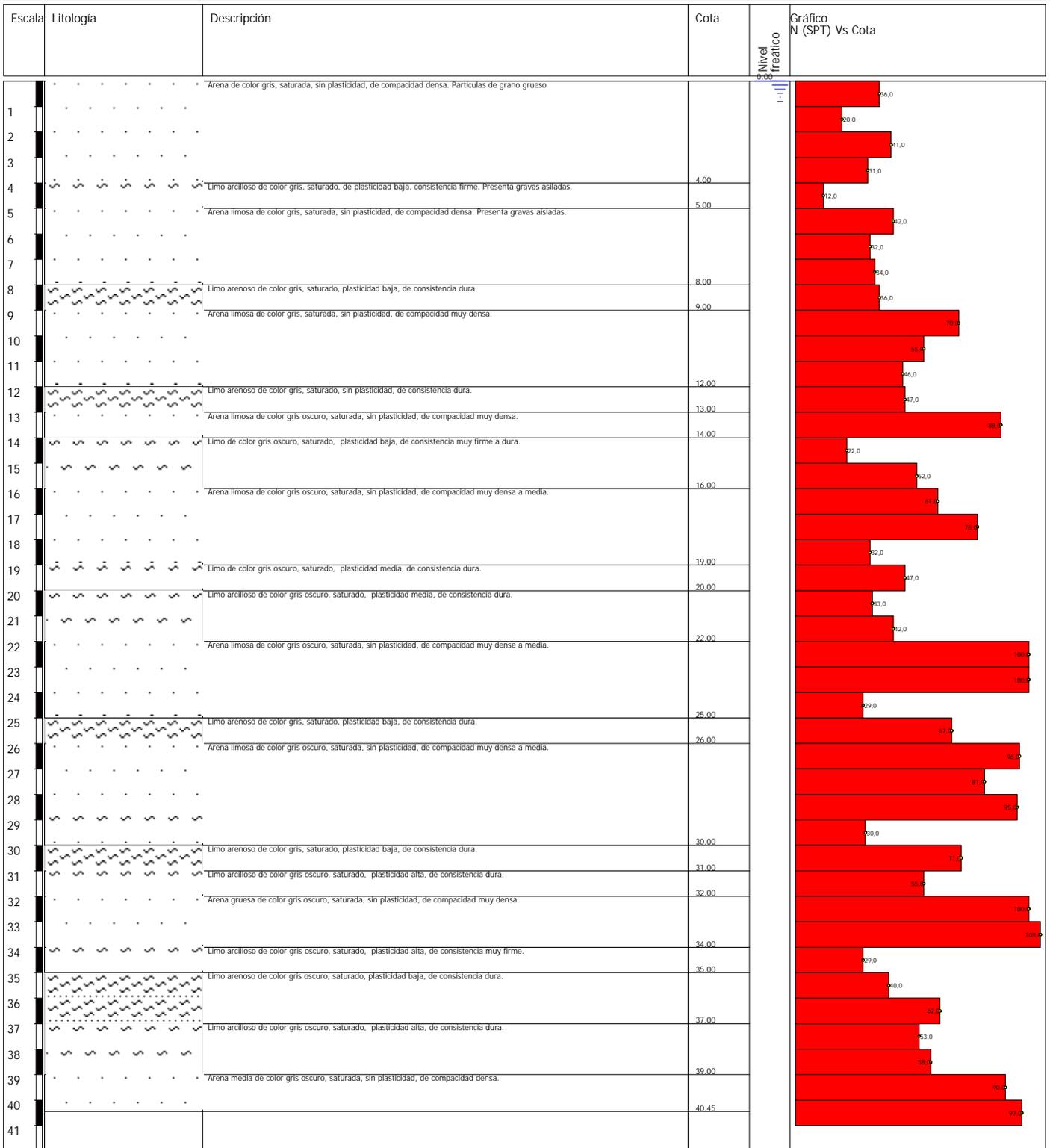
No.	Perforación	Fecha de sondeo		Long. (m)	Cota (m ⁴⁰)	Ensayos
1	Sondaje 1/Cepa 5	30/04/2010	06/05/2010	41.00	99.60	Anexo B.2
2	Sondaje 2/Cepa 45	20/04/2010	30/04/2010	40.00	99.25	Anexo B.2
3	Sondaje 3/Cepa 60	06/04/2010	19/04/2010	41.00	99.47	Anexo B.2
4	Sondaje 4/Cepa 65	06/04/2010	19/04/2010	41.00	99.47	Anexo B.2
5	Sondaje 5/Cepa 64	03/05/2010	08/05/2010	41.00	99.69	Anexo B.2
6	Sondaje 6/Cepa 59	09/05/2010	14/05/2010	41.00	99.73	Anexo B.2
7	Sondaje 7/Cepa 61	10/05/2010	17/05/2010	41.00	99.48	Anexo B.2
8	Sondaje 8/Cepa 44	15/05/2010	19/05/2010	40.00	99.35	Anexo B.2
9	Sondaje 9/Cepa 46	17/05/2010	21/05/2010	41.00	99.69	Anexo B.2
10	Sondaje 10/Cepa 4	17/05/2010	21/05/2010	40.00	99.75	Anexo B.2
11	Sondaje 11/Cepa 6	29/05/2010	01/06/2010	40.00	99.98	Anexo B.2
12	Sondaje 12/Cepa 7	17/05/2010	21/05/2010	41.00	99.93	Anexo B.2
13	Sondaje 13/Cepa 67	06/04/2010	19/04/2010	40.05	99.60	ND
14	Sondaje 14/Cepa 69	06/04/2010	19/04/2010	40.00	99.74	ND
15	Sondaje 15/Estribo Sur	31/04/2010	ND	40.00	100.02	ND
16	Sondaje 16/Cepa 1	27/05/2010	31/05/2010	40.00	99.96	Anexo B.2

⁴⁰ Metros con relación a un nivel de referencia, de cota 90 m. No fue posible encontrar la cota en msnm, de este nivel de referencia.



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-1	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 06/04/2010	Fin Ejecución 19/04/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1



Sondeo: Rotación con SPT / metro

Máquina de sondeo: Sondeo: Rotación con SPT / metro

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-2	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 20/04/2010	Fin Ejecución 30/04/2010	Certificado n° 002/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad densa. Partículas de grano grueso. Presenta gravas aisladas.			82.0
2					87.0
3					93.0
4					93.0
5					95.0
6		Arena de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad muy densa. Partículas de grano fino.	6.00		99.0
7		Limo arenoso de color gris, saturado, sin plasticidad, de consistencia dura.	7.00		93.0
8		Arcilla de color gris, saturada, plasticidad alta, de consistencia dura.	8.00		94.0
9					100.0
10		Arena de color gris oscuro, saturada, sin plasticidad, de compacidad muy densa. Partículas de grano grueso	10.00		95.0
11					99.0
12		Limo de color gris, saturado, plasticidad baja, de consistencia muy firme.	12.00		93.0
13					94.0
14					91.0
15		Limo arcilloso de color gris, saturado, plasticidad media, de consistencia dura.	15.00		95.0
16		Arcilla de color gris, saturada, plasticidad alta, de consistencia firme.	16.00		92.0
17					95.0
18		Arena de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad densa. Partículas de grano medio a grueso con la profundidad.	18.00		97.0
19					92.0
20					95.0
21					79.0
22					95.0
23					69.0
24		Arena limosa de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad muy densa.	24.00		99.0
25		Arena de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad densa. Partículas de grano fino.	25.00		100.0
26					84.0
27					82.0
28		Arena limosa de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad media.	28.00		82.0
29					82.0
30		Arena de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad media. Partículas de grano fino.	30.00		98.0
31		Arena limosa de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad suelta.	31.00		91.0
32		Limo de color gris, saturado, plasticidad media, de consistencia muy firme.	32.00		90.0
33		Arena limosa de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad suelta a densa con la profundidad.	33.00		98.0
34					96.0
35					90.0
36					93.0
37		Limo de color gris, saturado, plasticidad media, de consistencia dura.	37.00		93.0
38		Arena de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad media. Partículas de grano fino.	38.00		82.0
39					93.0
40			40.00		73.0
41					



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliete Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-3	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 06/04/2010	Fin Ejecución 19/04/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena, de color gris oscuro, saturada, sin plasticidad, compacidad de suelta a densa.			
2					
3					
4					
5					
6					
7		Arena débilmente limosa, de color gris oscuro, saturada, sin plasticidad, de compacidad media.	7.00		
8					
9					
10					
11		Limo arcilloso, de color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia muy firme. Clasificación probable de laboratorio (MH)	11.00		
12					
13		Arcilla, de color color café amarillento, saturada, plasticidad media a alta, consistencia dura.	13.00		
14		Arena, de color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad que varía de densa a media.	14.00		
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22		Limo, de color gris, saturado, plasticidad baja, consistencia muy dura.	22.00		
23					
24		Arena, de color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	24.00		
25		Limo arcilloso, color gris amarillento, saturado, plasticidad media, consistencia de compacta a firme.	25.00		
26					
27					
28					
29					
30					
31		Arena, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	31.00		
32					
33		Limo arcilloso, de color gris, saturado, plasticidad media, consistencia firme a dura.	33.00		
34					
35					
36					
37					
38					
39		Arena, de color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad muy densa.	39.00		
40		Arena débilmente limosa, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	40.00		
41			41.00		



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

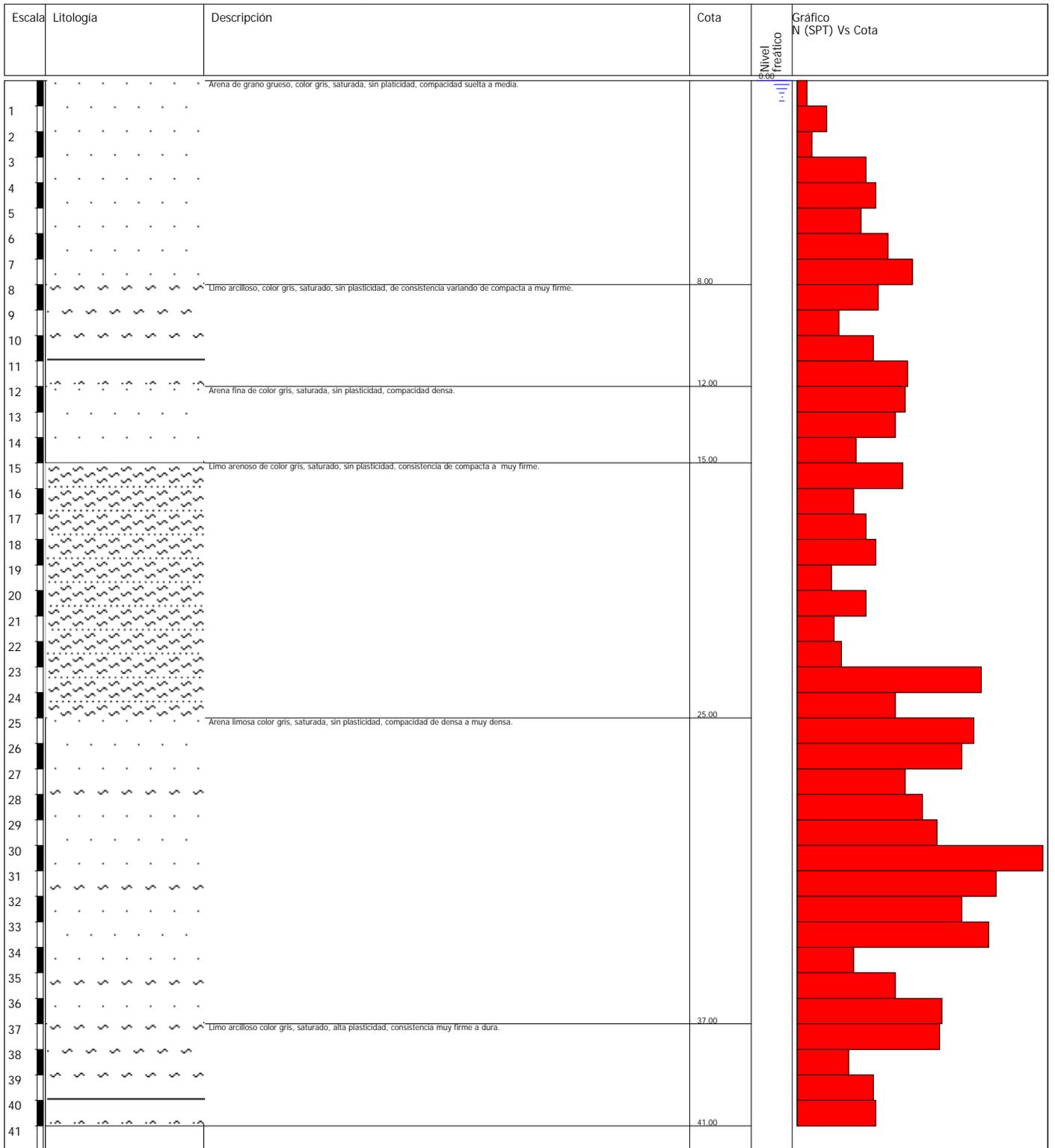
Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-4	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 06/04/2010	Fin Ejecución 19/04/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena, de color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad de muy suelta a media.			
2					
3					
4					
5		Limo, de color plomo, saturado, sin plasticidad, de consistencia compacta a firme.	5.00		
6					
7					
8					
9					
10					
11		Arena limosa, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	11.00		
12					
13		Arena, de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad muy densa.	13.00		
14					
15		Limo, de color plomo, saturado, sin plasticidad de consistencia dura.	15.00		
16					
17					
18					
19					
20					
21		Arena, de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad muy densa.	21.00		
22					
23					
24		Limo, de color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia muy dura.	24.00		
25					
26		Arena débilmente limosa, de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad muy densa.	26.00		
27					
28		Limo, de color gris, saturado, sin plasticidad, de consistencia dura.	28.00		
29		Arena, de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad muy densa.	29.00		
30					
31		Limo, de color gris, saturado, sin plasticidad, con consistencia dura.	31.00		
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38		Arena débilmente limosa, de color gris, saturada, sin plasticidad, de compacidad densa.	38.00		
39					
40					
41			41.00		



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-5	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 03/05/2010	Fin Ejecución 08/05/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1



Sondeo: Rotación con SPT / metro

Máquina de sondeo: Sondeo: Rotación con SPT / metro

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-6	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 09/05/2010	Fin Ejecución 14/05/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena gruesa, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad suelta a media.		0.00	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8		Arena fina, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	8.00		
9					
10					
11		Arena limosa, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	11.00		
12					
13		Limo arenoso, color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia compacta.	13.00		
14		Limo arcilloso, color gris, saturado, alta plasticidad, consistencia firme.	14.00		
15		Arena gruesa de color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	15.00		
16					
17		Limo arenoso, color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia dura.	17.00		
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24		Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia muy firme a compacta.	24.00		
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33		Arena color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa a muy densa.	33.00		
34					
35					
36					
37		Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia muy firme a dura.	37.00		
38					
39					
40					
41			41.00		



ESTRATIGRAFIA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

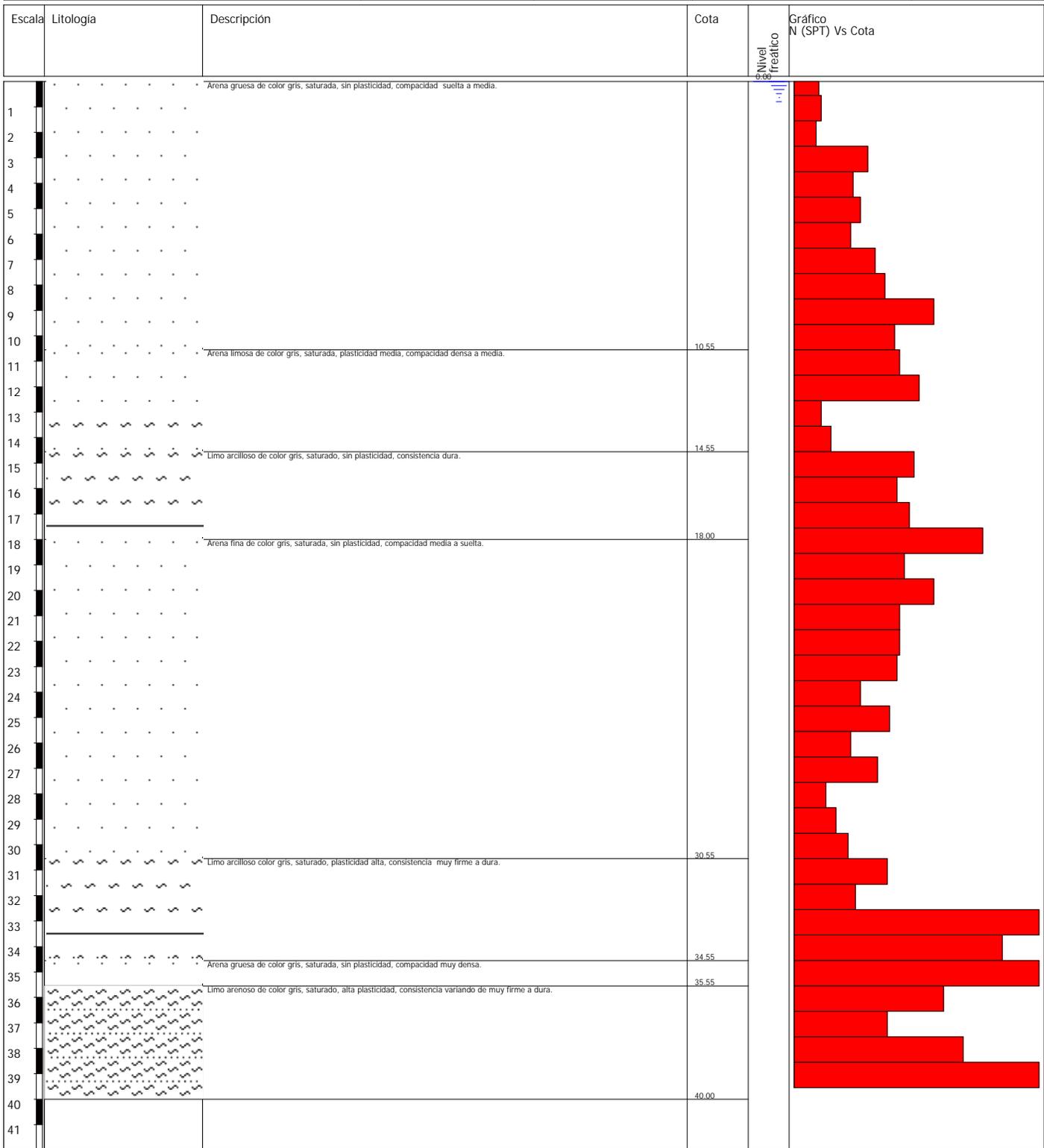
Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-7	Coordenadas	
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 10/05/2010	Fin Ejecución 17/05/2010	Certificado n° 001/2010	Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena gruesa, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad suelta.		6.00	
2		Arena gravosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	2.00		
3		Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	4.00		
4		Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	5.00		
5		Limo color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia variando de muy a firme a media.			
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13		Limo arenoso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia dura.	13.00		
14		Arena limosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	14.00		
15					
16					
17					
18					
19					
20		Limo color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia de compacta a muy firme.	20.00		
21					
22					
23					
24					
25		Arena arcillosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad muy densa.	25.00		
26					
27		Limo color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia firme.	27.00		
28					
29		Arena gruesa limosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad suelta.	29.00		
30		Limo de color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia de firme a muy firme.	30.00		
31					
32		Arena gruesa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	32.00		
33					
34					
35					
36		Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia de muy firme a dura.	36.00		
37					
38		Arena color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	38.00		
39		Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia dura.	39.00		
40		Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	40.00		
41			41.00		



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-8	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 15/05/2010	Fin Ejecución 19/05/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1



Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-9	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 17/05/2010	Fin Ejecución 21/05/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena gruesa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad suelta a media.			
2					
3					
4		Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	4.00		
5					
6					
7		Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia variando de media a muy firme.	7.00		
8					
9					
10					
11		Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	11.00		
12		Arena gruesa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad muy densa.	12.00		
13		Limo arenoso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia de muy firme a dura.	13.00		
14					
15					
16					
17		Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia de firme a muy firme.	17.00		
18					
19					
20		Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad variando de densa a media.	20.00		
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30		Arena arcillosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	30.00		
31					
32		Arena limosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	32.00		
33		Grava limosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	33.00		
34		Arena limosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad de media a densa.	34.00		
35					
36		Grava limosa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad muy densa.	36.00		
37		Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media a densa.	37.00		
38					
39					
40					
41			41.00		



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-10	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 17/05/2010	Fin Ejecución 21/05/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena gruesa, saturada, sin plasticidad, compacidad media.		6.00	
2					
3					
4					
5					
6					
7		Arena limosa, saturada, plasticidad de baja a nula.	7.00		
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40			40.00		
41					

Sondeo: Rotación con SPT / metro

Máquina de sondeo: Sondeo: Rotación con SPT / metro



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-11	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 29/05/2010	Fin Ejecución 01/06/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1	*	Arena gruesa, color gris, húmeda, sin plasticidad, compacidad densa.		0.00	96.0
2	*				90.0
3	*				84.0
4	*				81.0
5	*				81.0
6	*				85.0
7	~	Limo arenoso, color gris, húmedo, sin plasticidad, consistencia muy firme.	7.00		81.0
8	~				83.0
9	~				88.0
10	~				87.0
11	~	Limo arcilloso, color gris, saturado, alta plasticidad, consistencia firme.	11.00		83.0
12	~				84.0
13	~	Limo arenoso, color gris, húmedo, sin plasticidad, consistencia muy firme.	12.00		82.0
14	~	Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia firme.	13.00		81.0
15	*	Arena fina color gris, húmeda, sin plasticidad, compacidad densa.	15.00		89.0
16	*				82.0
17	*				75.0
18	~	Limo arcilloso color gris, húmedo, sin plasticidad, consistencia firme.	18.00		85.0
19	~				86.0
20	*	Arena fina color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	20.00		87.0
21	*				83.0
22	*				87.0
23	*				89.0
24	*				75.0
25	*	Arena limosa, color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	25.00		93.0
26	*				88.0
27	*				81.0
28	~	Limo de color gris, saturado, plasticidad baja a nula, consistencia muy firme.	28.00		87.0
29	~				80.0
30	~				86.0
31	*	Arena gruesa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	30.55		100.0
32	*				94.0
33	~	Limo de color gris, saturado, plasticidad baja a nula, consistencia firme.	33.55		88.0
34	~				82.0
35	~				89.0
36	*	Arena gruesa color gris, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	35.55		89.0
37	*				85.0
38	*				83.0
39	*				82.0
40			40.00		86.0
41					



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-12	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 17/05/2010	Fin Ejecución 21/05/2010	Certificado n° 001/2010
			Página de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena, saturada, sin plasticidad, compacidad de suelta a densa.		0.00	
2					
3					
4					
5					
6		Arena limosa, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	6.00		
7		Arena débilmente limosa, saturada, sin plasticidad, compacidad muy densa.	7.00		
8					
9					
10					
11					
12					
13		Arena gruesa, saturada, sin plasticidad, compacidad muy densa.	13.00		
14		Arena fina, saturada, sin plasticidad, compacidad densa a media.	14.00		
15					
16					
17					
18					
19					
20		Arena limosa, saturada, sin plasticidad, compacidad suelta.	20.00		
21		Limo, saturado, sin plasticidad, consistencia dura.	21.00		
22		Arena gruesa, saturada, sin plasticidad, compacidad densa a suelta.	22.00		
23					
24		Arena fina, saturada, sin plasticidad, compacidad muy densa.	24.00		
25					
26		Limo arcilloso, saturado, sin plasticidad, consistencia dura.	26.00		
27					
28		Arena gruesa, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	28.00		
29		Limo arcilloso color plomo, saturado, sin plasticidad, consistencia firme.	29.00		
30		Arena fina, saturada, sin plasticidad, compacidad media.	30.00		
31					
32		Arena gruesa, saturada, sin plasticidad, compacidad variando entre suelta y densa.	32.00		
33					
34					
35		Limo arcilloso color gris, saturado, sin plasticidad, consistencia de firme a dura.	35.00		
36					
37					
38		Arena gravosa, saturada, sin plasticidad, compacidad densa.	38.00		
39		Arena fina, saturada, sin plasticidad, compacidad de media a suelta.	39.00		
40					
41			41.00		



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-13	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 06/04/2010	Fin Ejecución 19/04/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena tamaño medio color gris oscuro, humedad media, de compactad baja a alta, entre cota 0,00 m a 8,20 m; entre 8,20 m a 8,40 m se detecto un trozo de hormigon; desde 8,40 m a 14,5 m continua la arena media, esta vez con una compactad media alta, color gris oscuro.		2,82	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14			14,50		
15		Limo arenoso, color gris claro, humedad alta, baja compresibilidad, buena consistencia.			
16			16,95		
17		Arena fina color gris oscuro, humedad media, compactad media a baja.			
18					
19			19,50		
20		Limo de color gris oscuro, humedad alta, ligeramente plastico, de baja compresibilidad, consistencia baja.			
21					
22		Arena debilmente limosa color gris oscuro, humedad media, buena compactad.	22,20		
23					
24					
25			25,95		
26		Limo de color gris oscuro, buena consistencia, baja compresibilidad.			
27					
28					
29		Arena color gris oscuro, humedad media, muy buena compactad.	29,22		
30					
31			31,95		
32		Limo arenoso de color gris claro, sin plasticidad, de baja compresibilidad, muy buena consistencia.	32,95		
33		Arena tamaño medio de color gris claro, humedad media, muy buena compactad, posible cementación.			
34					
35					
36					
37					
38					
39			40,05		
40					
41					



ESTRATIGRAFÍA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-14	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 06/04/2010	Fin Ejecución 19/04/2010	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena fina de color gris oscuro, humedad media, de compacidad media a alta.			
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12		Limo de color gris oscuro, sin plasticidad, de baja compresibilidad.	11.95		
13					
14					
15		Limo arcilloso color gris claro, altamente plástico, buena consistencia.	14.95		
16					
17					
18					
19		Arena débilmente limosa color gris oscuro, muy buena compacidad.	18.95		
20					
21		Limo color gris claro, mediana plasticidad, baja compresibilidad, buena consistencia.	20.95		
22					
23					
24					
25					
26		Arena débilmente limosa color gris oscuro, muy buena compacidad.	25.95		
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40			40.00		
41					

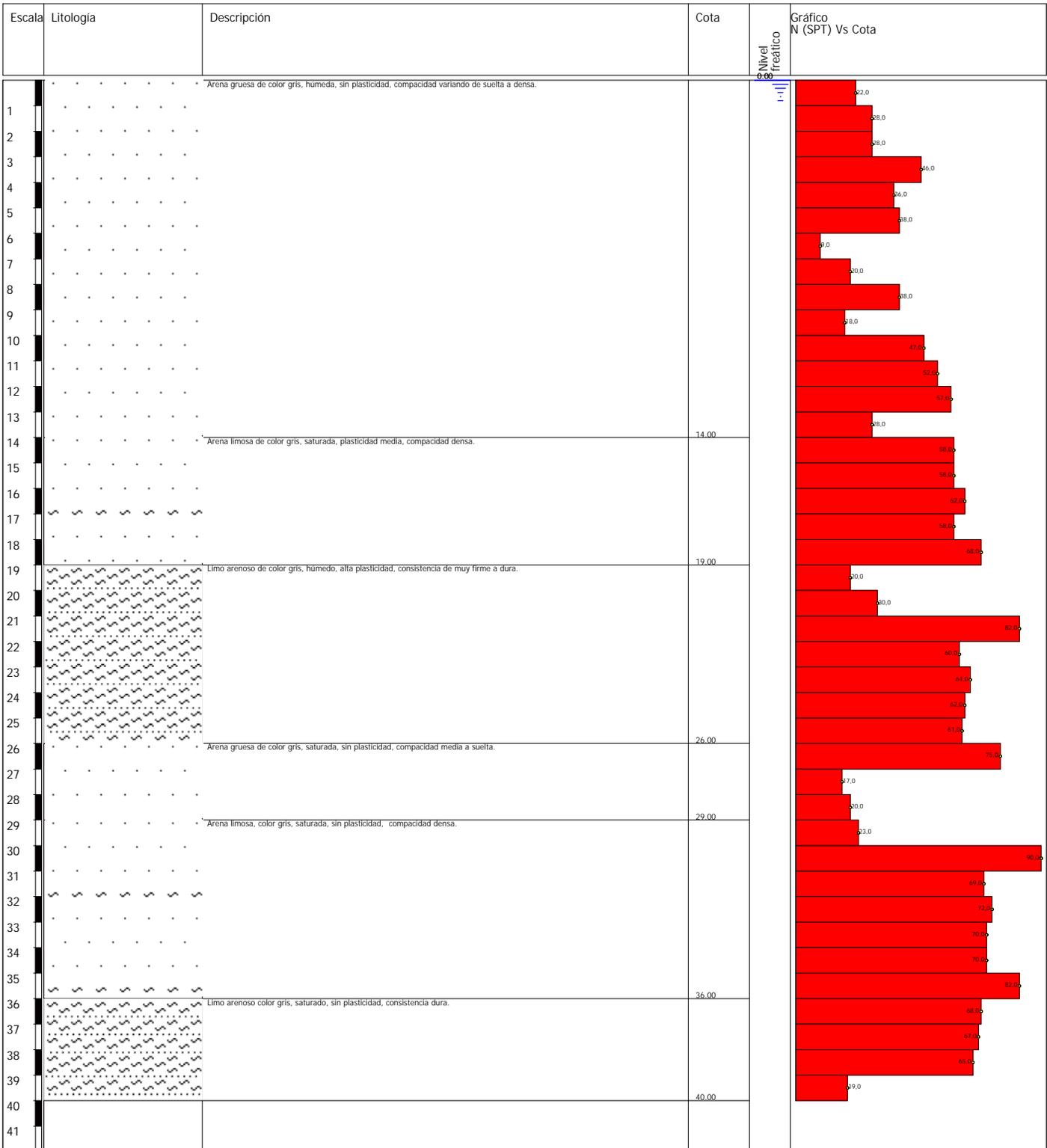


ESTRATIGRAFIA
INGEXA LTDA.
DIVISIÓN SONDAJES GEOTÉCNICOS

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-15	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 31/04/2010	Fin Ejecución	Certificado n° 001/2010
			Página 1 de 1

Escala	Litología	Descripción	Cota	Nivel freático	Gráfico N (SPT) Vs Cota
1		Arena limosa tamaño medio, color gris claro, humedad media, compacidad baja a media.			61.0
2					65.0
3					66.0
4		Arena media a fina, algo limosa, color gris oscuro, humedad media, compacidad media a alta.	4.00		66.0
5					69.0
6					73.0
7					82.0
8		Arena muy fina y limosa, color gris oscuro fino no plástico, baja humedad, alta compacidad.	8.05		89.0
9					99.0
10		Limo color gris oscuro, humedad alta, plastico, buena consistencia, baja compresibilidad.	10.00		110.0
11					123.0
12					132.0
13					149.0
14					179.0
15		Arena media a gruesa, color gris oscuro, humedad alta, algo limosa, buena compacidad.	14.50		179.0
16					210.0
17		Arena muy fina y limosa, color gris oscuro, fino plástico, humedad alta, compacidad media.	17.10		231.0
18					241.0
19		Arena media, algo limosa, color gris oscuro humedad alta, compacidad muy alta.	18.95		282.0
20					300.0
21		Arena fina, color gris oscuro, humedad alta, buena compacidad.	20.95		305.0
22		Limo arenoso color gris oscuro, no plástico, humedad alta, buena consistencia, baja compresibilidad.	21.86		325.0
23		Arena media, algo limosa, color gris oscuro, humedad alta, muy buena compacidad.	23.50		339.0
24					380.0
25					385.0
26					400.0
27					400.0
28					400.0
29					400.0
30					400.0
31					400.0
32					400.0
33		Arena fina y limosa, color gris oscuro, fino no plástico, humedad alta, compacidad alta.	32.50		400.0
34		Arena tamaño medio, limpia, color gris oscuro, poco fino bajo malla N° 200, humedad alta, compacidad muy alta.	34.00		435.0
35					400.0
36					400.0
37					400.0
38					400.0
39					400.0
40			40.00		480.0
41					

Cliente Dirección de Vialidad, M.O.P.	Proyecto Reconstrucción Puente Juan Pablo segundo, Concepción	Sondaje N° S-16	Coordenadas
Tipo sondeo Rotación con SPT / metro	Inicio Ejecución 27/05/2010	Fin Ejecución 31/05/2010	Certificado n° 0017/2010
			Página 1 de 1



B.2. Ensayos de caracterización correspondiente a las perforaciones en Juan Pablo II, realizadas por INGEXA (2010).



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 1

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 30-04-2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 0.00-3.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

		>3"	
		3"	
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	90%
		# 20	90%
		# 40	27%
		# 60	27%
		FINOS # 200	3%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 18
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 2

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 29-04-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 4.00-4.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

		>3"	
		3"	
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	100%
		3/8"	95%
		# 4	93%
		# 10	91%
		# 20	91%
		# 40	90%
		# 60	90%
		FINOS # 200	85%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 40
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 3

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 30-04-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 5,00-5,45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

		>3"	
		3"	
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	98%
		# 20	98%
		# 40	78%
		# 60	78%
		FINOS # 200	24%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 44
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.M.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 4

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 29-04-2010
 Muestra N°: 4 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 6,00-6,45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

		>3"	
		3"	
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	100%
		3/8"	94%
		# 4	93%
		# 10	93%
		# 20	93%
		# 40	92%
		# 60	92%
		FINOS # 200	5%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 31
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SP-SC
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 5

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 30-04-2010
 Muestra N°: 5 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 7.00-7.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20			
# 40			
# 60			
FINOS # 200			

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 24
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: POCO MATERIAL 100 gr

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 6

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 30-04-2010
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 8.00-8.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20	100%		
# 40	96%		
# 60	96%		
FINOS # 200	87%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 58
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79 N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 7

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 3/510
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 9.00-10.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	99%
FINOS	# 20	99%	
	# 40	67%	
	# 60	67%	
	# 200	34%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 31
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.M.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 8

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 30-04-2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 11.00-11.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	99%
FINOS	# 20	99%	
	# 40	67%	
	# 60	67%	
	# 200	53%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 20
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 9

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 03-05-2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 12.00-12.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	100%
A R E N	# 10	99%
	# 20	99%
	# 40	58%
	# 60	58%
FINOS # 200		3%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 45
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.P.-S.M.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA POBREMENTE GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 10

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 03-05-2010
 Muestra N°: 10 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 13.00-13.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	
A R E N	# 10	
	# 20	100%
	# 40	80%
	# 60	80%
FINOS # 200		55%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 22
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 11

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 11 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 14.00-15.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	93%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 43
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 12

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 12 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 16.00-16.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	98%
# 20		98%	
# 40		92%	
# 60		92%	
FINOS # 200	24%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 13

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29-04-2010
Muestra N°: 13 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
Cota Muestra (m): 17.00-18.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
	# 20	100%	
	# 40	77%	
	# 60	77%	
FINOS # 200		9%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 21
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.M.
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 14

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
Muestra N°: 14 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
Cota Muestra (m): 19.00-21.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	99%
	# 20	99%	
	# 40	96%	
	# 60	96%	
FINOS # 200		49%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 26
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.M.
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 15

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 15 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 22.00-22.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	100%
A R E N	# 10	92%
	# 20	92%
	# 40	5%
	# 60	5%
FINOS # 200		2%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 20
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SP-SC
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 16

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 16 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 23.00-25.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	100%
A R E N	# 10	99%
	# 20	99%
	# 40	88%
	# 60	88%
FINOS # 200		68%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 26
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 17

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-05-2010
 Muestra N°: 17 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 26.00-27.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	89%
FINOS	# 20	89%	
	# 40	26%	
	# 60	26%	
	# 200	6%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 15
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.M.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 18

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-05-2010
 Muestra N°: 18 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 29.00-29.50 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	99%
FINOS	# 20	99%	
	# 40	99%	
	# 60	99%	
	# 200	14%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.M.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 19

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 06-05-2010
Muestra N°: 19 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
Cota Muestra (m): 30.00-31.50 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
	# 20	100%	
	# 40	99%	
	# 60	99%	
FINOS # 200		59%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 30
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 23%
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) 21%
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) 2%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O A-2-4
ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) 23

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 20

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 06-05-2010
Muestra N°: 20 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
Cota Muestra (m): 32.00-33.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	99%
	# 20	99%	
	# 40	31%	
	# 60	31%	
FINOS # 200		6%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 19
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.W.-S.M.
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 21

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 06-05-2010
 Muestra N°: 21 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 34.00-34.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	
A R E N	# 10	
	# 20	100%
	# 40	99%
	# 60	99%
FINOS # 200	97%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 54
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 22

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 22 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 35.00-36.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	
A R E N	# 10	
	# 20	100%
	# 40	99%
	# 60	99%
FINOS # 200	90%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 32
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 23

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 23 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 37.00-37.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	96%
FINOS	# 20	96%	
	# 40	38%	
	# 60	38%	
	# 200	19%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 18
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.M.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 24

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 24 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 38.00-38.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	99%
FINOS	# 20	99%	
	# 40	99%	
	# 60	99%	
	# 200	97%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 41
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) M.L.
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 25

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de obras públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 06-05-2010
 Muestra N°: 25 Sondaje N°: 1 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 39.00-40.00 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	98%
# 20		98%	
# 40		47%	
# 60		47%	
FINOS # 200	11%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 26

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 2 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 0.55-7.00 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	89%
# 20		89%	
# 40		21%	
# 60		21%	
FINOS # 200	4%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 18

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) S.W.

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 27**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 04-05-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 2 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 7.55-8.55 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	
A R E N	# 10	
	# 20	100%
	# 40	99%
	# 60	99%
FINOS # 200	97%	

CONSTANTES FÍSICASHUMEDAD NATURAL w(%) (NCh 1515.Of79) **CONSTANTES HIDRICAS**

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO W_p (%) (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 1517/2.Of79

CLASIFICACIÓN DE SUELOSCLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 28**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 07-05-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 2 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 8.55-10.00 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	
A R E N	# 10	
	# 20	
	# 40	
	# 60	
FINOS # 200	100%	

CONSTANTES FÍSICASHUMEDAD NATURAL w(%) (NCh 1515.Of79) **CONSTANTES HIDRICAS**

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO W_p (%) (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 1517/2.Of79

CLASIFICACIÓN DE SUELOSCLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 30

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas.

DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 07-05-2010

Muestra N°: 5 Sondaje N°: 2

Cota Muestra (m): 12.55-18.00 Kilómetro N°: - Calicata N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	99%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w(%) (NCh 1515.Of79) 30

CONSTANTES HIDRICASLIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.LIMITE PLÁSTICO W_p (%) (NCh) N.P.DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 1517/2.Of79) N.P.**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) M.L.

Observaciones:

LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.

IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 31

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas.

DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 07-05-2010

Muestra N°: 6 Sondaje N°: 2 Calicata N°: -

Cota Muestra (m): 18.55-24.00 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		98%	
# 60		98%	
FINOS # 200	9%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w(%) (NCh 1515.Of79) 25

CONSTANTES HIDRICASLIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.LIMITE PLÁSTICO W_p (%) (NCh) N.P.DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 1517/2.Of79) N.P.**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SP-SC

Observaciones:ARENA POBREMENTE GRADUADA ALGO
ARCILLOSACHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 32

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 07-05-2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 2 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 24.55-40.00 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	
A R E N	# 10	
	# 20	
	# 40	
	# 60	100%
FINOS # 200	28%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 25

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 32%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) 26%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) 6%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SM

Observaciones: _____

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 33

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 3 Calicata N°: -
 Cota Muestra (m): 0.00-6.45 Kilómetro N°: - Método: -

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	100%
	3/8"	99%
	# 4	96%
A R E N	# 10	92%
	# 20	92%
	# 40	49%
	# 60	49%
FINOS # 200	3%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 17
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_g/(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SW
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: _____

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 34

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 7.00-10.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	100%
	3/4"	99%
	3/8"	99%
	# 4	99%
	# 10	99%
A R E N	# 20	99%
	# 40	98%
	# 60	98%
FINOS # 200		65%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 32
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 35

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 7.00-10.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
	3/8"	
	# 4	
	# 10	
A R E N	# 20	
	# 40	
	# 60	100%
FINOS # 200		98%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 41
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO 52

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 36

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 4 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 13.00-13.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

	>3"		
	3"		
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
	3/8"		
	# 4		
A R E N A	# 10		
	# 20		
	# 40		
	# 60		
FINOS # 200		100%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 59
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 24%
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) 42%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) 18%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O A-2-7
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) 353

Observaciones: ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 37

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 5 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 14.00-14.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

	>3"		
	3"		
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
	3/8"		
	# 4		
A R E N A	# 10		
	# 20	100%	
	# 40	99%	
	# 60	99%	
FINOS # 200		44%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 38

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010

Muestra N°: 6 Sondaje N°: 3

Cota Muestra (m): 22.00-23.45 Kilómetro N°: _____

Calicata N°: _____

Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N A	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	98%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 33

SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)

Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML

CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O

ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.

IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 39

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010

Muestra N°: 7 Sondaje N°: 3

Cota Muestra (m): 24.00-24.45 Kilómetro N°: _____

Calicata N°: _____

Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N A	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	78%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 33

SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)

Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML

CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O

ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 40

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 25.00-30.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
# 20	99%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	95%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 37
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 41

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 31.00-32.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
# 20	92%		
# 40	25%		
# 60	25%		
FINOS # 200	8%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 16
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 42

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 10 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 33.00-38.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
A R E N	# 20	100%	
	# 40	99%	
	# 60	99%	
	FINOS # 200	93%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 34
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 43

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
 Muestra N°: 11 Sondaje N°: 3 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 39.00-39.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	88%
A R E N	# 20	88%	
	# 40	27%	
	# 60	27%	
	FINOS # 200	12%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 15
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SP-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA POBREMENTE GRADUADA ALGO LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 44

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 56, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 13-05-2010
Muestra N°: 12 Sondaje N°: 3 Calicata N°: ----
Cota Muestra (m): 40.00-40.45 Kilómetro N°: ---- Método: ----

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		99%	
# 60		99%	
FINOS # 200	50%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 28
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79 N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 45

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
Muestra N°: 1 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
Cota Muestra (m): 0.00-4.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"	100%	
	3/8"	99%	
	# 4	98%	
	A R E N	# 10	93%
# 20		93%	
# 40		39%	
# 60		39%	
FINOS # 200	22%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 24
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) #iDIV/0!
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) #iDIV/0!

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79 N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 46

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 5.00-6.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	100%
A R E N	3/8"	98%
	# 4	98%
	# 10	98%
	# 20	98%
	# 40	98%
	# 60	98%
	FINOS # 200	68%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 47

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 7.00-10.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
TAMIZ G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
A R E N	3/8"	
	# 4	
	# 10	
	# 20	
	# 40	
	# 60	100%
	FINOS # 200	99%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 41
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 26%
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) 21%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) 5%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) A-2-4
 95

Observaciones: ARCILLA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 48

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010

Muestra N°: 4 Sondaje N°: 4

Cota Muestra (m): 11.00-15.45 Kilómetro N°: ---

Calicata N°: ---

Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20			
# 40			
# 60	100%		
FINOS # 200	32%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 27

SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)

Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM

CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O

ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.

IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 49

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010

Muestra N°: 5 Sondaje N°: 4

Cota Muestra (m): 16.00-20.45 Kilómetro N°: ---

Calicata N°: ---

Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20			
# 40			
# 60	100%		
FINOS # 200	99%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 43

SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) #iDIV/0!

Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) #iDIV/0!

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 25%LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) 22%DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) 3%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML

CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O

ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) A-2-4
64

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 50

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 21.00-23.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	98%
# 20		98%	
# 40		58%	
# 60		58%	
FINOS # 200	22%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 20
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) #1DIV/0!
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) #1DIV/0!

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 51

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 24.00-26.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	63%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 25
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 52**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 27.00-33.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		90%	
# 60		90%	
FINOS # 200	28%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 53**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 34.00-38.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	64%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 54

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 17-05-2010
Muestra N°: 10 Sondaje N°: 4 Calicata N°: ---
Cota Muestra (m): 39,45-40,45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
# 20	98%		
# 40	98%		
# 60	98%		
FINOS # 200	15%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 25
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 55

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
Muestra N°: 1 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
Cota Muestra (m): 0,00-6,45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	95%
# 20	95%		
# 40	40%		
# 60	40%		
FINOS # 200	4%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 23
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 56

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 7.00-9.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
	# 20	96%	
	# 40	96%	
	# 60	96%	
	FINOS # 200	88%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 31
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 57

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 10.00-11.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
	# 20	96%	
	# 40	96%	
	# 60	96%	
	FINOS # 200	96%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 50
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 20%
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) 19%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) 1%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO 10

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 58

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
Muestra N°: 4 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
Cota Muestra (m): 12.00-19.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	44%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 28
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 59

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
Muestra N°: 5 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
Cota Muestra (m): 20.00-22.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	100%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 32
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 24%
LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) 19%
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) 5%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL-ML
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
ÍNDICE DE GRUPO 84

Observaciones: ARCILLA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 60

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 23.00-24.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	100%
	# 20	99%	
	# 40	99%	
	# 60	99%	
	FINOS # 200	69%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 28
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 61

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 25.00-27.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"	100%	
	3/8"	99%	
	# 4	98%	
	A R E N	# 10	98%
	# 20	98%	
	# 40	23%	
	# 60	23%	
	FINOS # 200	4%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 18
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 62**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 28.00-30.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
	# 20	100%	
	# 40	94%	
	# 60	94%	
	FINOS # 200	61%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 63**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 5 Calicata N°: ---
 Cota Muestra (m): 31.00-33.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"	100%	
	# 4	99%	
	A R E N	# 10	91%
	# 20	91%	
	# 40	22%	
	# 60	22%	
	FINOS # 200	7%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones:

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 64

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010

Muestra N°: 10 Sondaje N°: 5

Cota Muestra (m): 35.00-35.45 Kilómetro N°: ---

Calicata N°: ---

Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	30%		

CONSTANTES FÍSICASHUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 27

SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)

Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)**CONSTANTES HIDRICAS**LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM

CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O

ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.

IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 65

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____

Fecha de Ejecución del Ensayo: 19-05-2010

Muestra N°: 11 Sondaje N°: 5

Cota Muestra (m): 36.00-40.45 Kilómetro N°: ---

Calicata N°: ---

Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200	93%		

CONSTANTES FÍSICASHUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 36

SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)

Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)**CONSTANTES HIDRICAS**LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.LIMITE PLÁSTICO $W_p(\%)$ (NCh) N.P.DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML

CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O

ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTIN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 66

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 0.00-10.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"	100%	
	3/4"	94%	
	3/8"	94%	
	# 4	93%	
	A R E N	# 10	88%
# 20		88%	
# 40		54%	
# 60		54%	
FINOS # 200		6%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w_n (%) (Nch 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (Nch 1532.Of80)
 eso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (Nch 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (Nch) N.P.
 ÍNDE DE PLASTICIDAD I_P (%) 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 67

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 11.00-12.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		99%	
# 60		99%	
FINOS # 200		47%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w_n (%) (Nch 1515.Of79) 31
 SG (PESO ESPECIFICO) (Nch 1532.Of80)
 eso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (Nch 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (Nch) N.P.
 ÍNDE DE PLASTICIDAD I_P (%) 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 68

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 13.00-14.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	GRAVA	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
ARENA	# 20		
	# 40		
	# 60	100%	
	FINOS # 200	92%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (Nch 1515.Of79) 45
 SG (PESO ESPECIFICO) (Nch 1532.Of80)
 eso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (Nch 1517/1.Of79) 24%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (Nch) 18%
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) 6%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) 89

Observaciones: ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 69

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 4 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 15.00-15.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	GRAVA	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	97%
ARENA	# 20	97%	
	# 40	26%	
	# 60	26%	
	FINOS # 200	9%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (Nch 1515.Of79) 21
 SG (PESO ESPECIFICO) (Nch 1532.Of80)
 eso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (Nch 1517/1.Of79) N.P
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (Nch) N.P
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 70**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas _____
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago _____

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 5 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 16.00-23.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		A R E N	
# 10			
# 20	100%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	27%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 eso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) _____

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 71**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas _____
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago _____

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 24.00-32.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		A R E N	
# 10			
# 20	100%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	97%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 35
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 eso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 24%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) 18%
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ (1517/2.Of79) 6%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO 93

Observaciones: ARCILLA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 72**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas _____
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago _____

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 33.00-36.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	91%
# 20	91%		
# 40	24%		
# 60	24%		
FINOS # 200	8%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (Nch 1515.Of79) 18
 SG (PESO ESPECIFICO) (Nch 1532.Of80) _____
 eso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (Nch 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (Nch) N.P.
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) _____

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 73**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas _____
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago _____

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 24-05-2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 6 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 37.00-40.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	91%
# 20	99%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	98%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (Nch 1515.Of79) 32
 SG (PESO ESPECIFICO) (Nch 1532.Of80) _____
 eso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (Nch 1517/1.Of79) 24%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (Nch) 17%
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ (1517/2.Of79) 7%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO 106

Observaciones: ARCILLA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 74

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 1 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 0.00-4.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

		>3"	
		3"	
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	100%
		1"	95%
		3/4"	95%
TAMIZ	A R E N	3/8"	89%
		# 4	86%
		# 10	79%
		# 20	79%
		# 40	23%
TAMIZ	A R E N	# 60	23%
		FINOS # 200	4%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 21
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) GW
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: GRABA BIEN GRADUADA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 75

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 2 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 5.00-9.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

		>3"	
		3"	
TAMIZ	G R A V A	2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
TAMIZ	A R E N	3/8"	
		# 4	
		# 10	
		# 20	
		# 40	
TAMIZ	A R E N	# 60	100%
		FINOS # 200	89%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 31
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 76
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 3 **Sondaje N°:** _____ **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 10.00-12.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
A R E N	# 20		
	# 40		
	# 60	100%	
	FINOS # 200	96%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 76
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 24%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 18%)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ **1517/2.Of79** 6%
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO 92
Observaciones: ARCILLA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 77
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 4 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 13.00-23.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
A R E N	# 20		
	# 40		
	# 60	100%	
	FINOS # 200	59%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh N.P.)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ **1517/2.Of79** N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 78

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 5 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 24.00-25.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20			
# 40			
# 60	100%		
FINOS # 200	93%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 33
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) 23%
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh 1517/2.Of79) 18%
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 5%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO 72

Observaciones: ARCILLA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 79

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 6 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 26.00-26.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	99%
# 20	99%		
# 40	48%		
# 60	48%		
FINOS # 200	8%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 5%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 80

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 7 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 27.00-32.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
		# 20	100%
		# 40	99%
		# 60	99%
		FINOS # 200	82%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 27
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 81

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 8 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 33.00-33.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	95%
		# 20	95%
		# 40	16%
		# 60	16%
		FINOS # 200	7%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 20
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 82

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 9 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 36.00-37.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200		53%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 83

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas.
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 26/05/2010
Muestra N°: 10 **Sondaje N°:** 7 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 38.00-40.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200		91%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 43
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 84

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 27/05/2010
Muestra N°: 1 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 0.55-11.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	100%
TAMIZ	3/8"	99%
	# 4	99%
A R E N	# 10	92%
	# 20	92%
A R E N	# 40	30%
	# 60	30%
FINOS # 200		6%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 21
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 85

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 27/05/2010
Muestra N°: 2 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 11.55-12.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
TAMIZ	3/8"	
	# 4	
A R E N	# 10	
	# 20	
A R E N	# 40	
	# 60	
FINOS # 200		100%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 65
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 30%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) 18%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) 12%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-6
 ÍNDICE DE GRUPO 206

Observaciones: ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 86

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 27/05/2010
Muestra N°: 3 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 12.55-18.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		99%	
# 60		99%	
FINOS # 200		99%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 35
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 87

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 27/05/2010
Muestra N°: 4 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 18.55-19.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		87%	
# 60		87%	
FINOS # 200		32%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 26
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 88

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 27/05/2010
Muestra N°: 5 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 19.55-20.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
A R E N	# 20		
	# 40		
	# 60	100%	
	FINOS # 200	99%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 89
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 89

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 27/05/2010
Muestra N°: 6 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 20.55-23.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
A R E N	# 20	100%	
	# 40	84%	
	# 60	84%	
	FINOS # 200	5%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMODE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 90

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 27/05/2010
Muestra N°: 7 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 23.55-34.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	# 10		
A R E N	# 20	100%	
	# 40	95%	
	# 60	95%	
	FINOS # 200	50%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)
CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79)
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))
Observaciones:

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 91

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 28/05/2010
Muestra N°: 8 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 34.55-35.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"	100%	
	# 4	99%	
	# 10	98%	
A R E N	# 20	98%	
	# 40	53%	
	# 60	53%	
	FINOS # 200	35%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)
CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79)
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))
Observaciones:

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 92

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 28/5/10
Muestra N°: 9 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 35.55-38.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20	100%		
# 40	98%		
# 60	98%		
FINOS # 200	70%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)
CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79)
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))
Observaciones:

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 93

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 28/05/2010
Muestra N°: 10 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 38.55-39.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20	100%		
# 40	96%		
# 60	96%		
FINOS # 200	73%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)
CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79)
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))
Observaciones:

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 94

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 28/05/2010
Muestra N°: 11 **Sondaje N°:** 8 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 39.55-40.00 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20	100%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	97%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 40
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) 23%
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh 1517/2.Of79) 17%
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 6%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO 88

Observaciones: ARCILLA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 95

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 1 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 0.00-6.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	96%
# 20	96%		
# 40	19%		
# 60	19%		
FINOS # 200	3%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 22
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 1517/2.Of79 N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SW
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 96
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 2 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 7.00-8.45 **Kilómetro N°:** --- **Método:** ---

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
TAMIZ	3/8"	
	# 4	
	# 10	
	# 20	
A R E N	# 40	
	# 60	100%
	FINOS # 200	90%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 30
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79 N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° _____

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 3 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 9.00-10.45 **Kilómetro N°:** --- **Método:** ---

GRANULOMETRÍA

	>3"	
	3"	
G R A V A	2 1/2"	
	2"	
	1 1/2"	
	1"	
	3/4"	
TAMIZ	3/8"	
	# 4	
	# 10	
	# 20	
A R E N	# 40	
	# 60	100%
	FINOS # 200	99%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 48
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79 N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 98

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 4 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 11.00-13.45 **Kilómetro N°:** --- **Método:** ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	97%
# 20		97%	
# 40		33%	
# 60		33%	
FINOS # 200		15%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)
CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))
Observaciones:

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 99

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 5 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 14.00-19.45 **Kilómetro N°:** --- **Método:** ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200		98%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79)
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)
CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79)
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79)
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000)
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))
Observaciones:

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 100
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 6 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 20.00-23.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		54%	
# 60		54%	
FINOS # 200		6%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 22
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA BIEN GRADUADA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 101
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 7 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 24.00-31.45 **Kilómetro N°:** -- **Método:** --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20			
# 40			
# 60		100%	
FINOS # 200		59%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 30
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 102

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 9 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 32.00-32.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	98%
	# 20	98%	
	# 40	71%	
	# 60	71%	
	FINOS # 200	64%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 103

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 9 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 33.00-36.45 Kilómetro N°: --- Método: ---

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	88%
	# 20	88%	
	# 40	79%	
	# 60	79%	
	FINOS # 200	76%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (NCh 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 104
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 10 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 37.00-37.45 **Kilómetro N°:** --- **Método:** ---
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	99%
# 20		99%	
# 40		99%	
# 60		99%	
FINOS # 200		39%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh _____) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) _____
 ÍNDICE DE GRUPO _____

Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 105
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 11 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 38.00-38.45 **Kilómetro N°:** --- **Método:** ---
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	83%
# 20		83%	
# 40		32%	
# 60		32%	
FINOS # 200		6%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh _____) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) _____
 ÍNDICE DE GRUPO _____

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 106
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
Muestra N°: 12 **Sondaje N°:** 9 **Calicata N°:** --
Cota Muestra (m): 39.00-40.45 **Kilómetro N°:** --- **Método:** --
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
A R E N	# 20		
	# 40		
	# 60	100%	
FINOS # 200		85%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 32
 SG (PESO ESPECÍFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco g_s (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_P (%) 1517/2.Of79 N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) _____
 ÍNDICE DE GRUPO _____

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 107
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 0,55-5.00 Kilómetro N°: -- Método: --
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	GRAVA	AREN	FINOS
	>3"		
	3"		
	2 1/2"		
	2"		
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		100%
	# 4		99%
	# 10		96%
	# 20		96%
	# 40		36%
	# 60		36%
	# 200		8%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 20
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 108
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 5,55-9.00 Kilómetro N°: -- Método: --
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	GRAVA	AREN	FINOS
	>3"		
	3"		
	2 1/2"		
	2"		
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		100%
	# 4		
	# 10		
	# 20		96%
	# 40		96%
	# 60		96%
	# 200		46%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 36
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 109
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 9.55-10.00 Kilómetro N°: -- Método: --
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		A R E N	
# 10			
# 20	100%		
# 40	56%		
# 60	56%		
FINOS # 200	9%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w_L (%) (NCh 1515.Of79) 22
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco ρ_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O _____
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) _____

 Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 110
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31/05/2010
 Muestra N°: 4 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 10.55-13.00 Kilómetro N°: -- Método: --
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		A R E N	
# 10			
# 20	100%		
# 40	90%		
# 60	90%		
FINOS # 200	68%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w_L (%) (NCh 1515.Of79) 52
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco ρ_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) 32%
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) 23%
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) (1517/2.Of79) 9%
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) CL
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) 122

 Observaciones: ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSA

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 111
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 5 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 13.55-16.00 Kilómetro N°: -- Método: --
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	A R E N	FINOS
>3"			
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
3/8"			
# 4		100%	
# 10		98%	
# 20		98%	
# 40		36%	
# 60		36%	
# 200		10%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 21
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) _____

 Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 112
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 10 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 16.55-21.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	A R E N	FINOS
>3"			
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
3/8"			
# 4		100%	
# 10		93%	
# 20		93%	
# 40		93%	
# 60		93%	
# 200		22%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 26
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) _____

 Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 113

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 21.55-26.00 Kilómetro N°: -- Método: --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		A R E N	
# 10			
# 20	100%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	61%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 43
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D: T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 114

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 26.55-30.00 Kilómetro N°: -- Método: --

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		A R E N	
# 10	98%		
# 20	98%		
# 40	67%		
# 60	67%		
FINOS # 200	25%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 25
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D: T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 115
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 10 Calicata N°: --
 Cota Muestra (m): 30.55-40.00 Kilómetro N°: -- Método: --
GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	96%
# 20	96%		
# 40	39%		
# 60	39%		
FINOS # 200	13%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 24
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) _____

 Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 115
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Públicas
 DIRECCIÓN: Morandé 59, Santiago.

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19/05/2010
 Muestra N°: 10 Sondaje N°: 10 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 40.00-40.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	95%
# 20	95%		
# 40	95%		
# 60	95%		
FINOS # 200	79%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 47
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 25%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) 6%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) 19%
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) A-2-6
206

 Observaciones: ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

 CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 129
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/05/2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 0.00-7.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	A R E N	FINOS
	>3"		
	3"		
	2 1/2"		
	2"		
	1 1/2"	100%	
	1"	95%	
	3/4"	92%	
	3/8"	91%	
	# 4	90%	
	# 10	85%	
	# 20	85%	
	# 40	33%	
	# 60	33%	
	# 200	4%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 17
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) GW
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: GRAVA BIEN GRADUADA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 130
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 5/6/10'
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 7.00-11.55 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	A R E N	FINOS
	>3"		
	3"		
	2 1/2"		
	2"		
	1 1/2"	100%	
	1"	98%	
	3/4"	98%	
	3/8"	98%	
	# 4	97%	
	# 10	97%	
	# 20	97%	
	# 40	90%	
	# 60	90%	
	# 200	60%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 33
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 131
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 11.55-15.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
# 20	100%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	66%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w_L (%) (NCh 1515.Of79) 58
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco ρ_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) 29%
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) 21%
 DICE DE PLASTICIDAD I_P (%) (1517/2.Of79) 8%
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) CL
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) 98

 Observaciones: ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 132
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 29/05/2010
 Muestra N°: 4 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 15.55-16.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	A R E N	1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	98%
# 20	98%		
# 40	34%		
# 60	34%		
FINOS # 200	8%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w_L (%) (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80) _____
 Peso Unit. Seco ρ_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02) _____

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_P (%) (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O _____
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) _____

 Observaciones: ARENA BIEN CADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 133
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 5 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 16.55-18.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
		# 20	
		# 40	
		# 60	100%
		FINOS # 200	18%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w_L (%) (NCh 1515.Of79) 26
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco ρ_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 1517/2.Of79 N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 134
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 18.55-20.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
		# 20	100%
		# 40	99%
		# 60	99%
		FINOS # 200	78%

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL w_L (%) (NCh 1515.Of79) 49
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco ρ_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_p (%) 1517/2.Of79 N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S.(ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 135
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 20,55-22,00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
# 20	96%		
# 40	96%		
# 60	96%		
FINOS # 200	22%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 29
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: ARENA LIMOSA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 136
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 2,55-23,00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	95%
# 20	95%		
# 40	29%		
# 60	29%		
FINOS # 200	9%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 14
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 137
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 23.55-30.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N		
# 10			
# 20		100%	
# 40		94%	
# 60		94%	
FINOS # 200		51%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 36
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 138
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 10 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 30.55-32 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N		
# 10		100%	
# 20		99%	
# 40		94%	
# 60		30%	
FINOS # 200		5%	

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 20
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

Ensayo Correlativo N° 139
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 11 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 33.55-35.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	100%
# 20	99%		
# 40	99%		
# 60	99%		
FINOS # 200	82%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 35
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) 25%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) 19%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) 6%
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) CL-ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004)) 84

 Observaciones: ARCILLA LIMOSA CON ARENA

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.

 Ensayo Correlativo N° 140
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

 Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05/06/2010
 Muestra N°: 12 Sondaje N°: 11 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 35.55-40.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	93%
# 20	93%		
# 40	33%		
# 60	33%		
FINOS # 200	8%		

CONSTANTES FÍSICAS

 HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 18
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

 LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ (1517/2.Of79) N.P.
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

 CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O
 ÍNDICE DE GRUPO (M 145-91(2004))

 Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

 CHRISTIAN SAN MARTIN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 116

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 0.00-5.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	92%
		# 20	92%
		# 40	26%
		# 60	26%
FINOS # 200	3%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_P (%) 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 117

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 6.00-6.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	97%
		# 10	97%
		# 20	61%
		# 40	
		# 60	
FINOS # 200			

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 42
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_P (%) 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 118

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 7.00-10.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		80%	
# 60		80%	
FINOS # 200	11%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 23
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 119

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 4 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 11.00-11.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		99%	
# 60		99%	
FINOS # 200	79%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 63
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 120

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 5 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 12.00-16.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	99%
L E N	# 20	99%	
	# 40	79%	
	# 60	79%	
	FINOS # 200	12%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 25
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 121

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 17.00-18.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
L E N	# 20	100%	
	# 40	97%	
	# 60	97%	
	FINOS # 200	65%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 38
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 122

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 19.00-21.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		99%	
# 60		99%	
FINOS # 200	76%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 42
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 123

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 22.00-22.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		68%	
# 60		68%	
FINOS # 200	7%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 26
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SP-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA POBREMENTE GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 124

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 26.00-27.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		98%	
# 60		98%	
FINOS # 200	57%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 47
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 125

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 10 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 28.00-31.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		94%	
# 60		94%	
FINOS # 200	47%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 33
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 126

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Ministerio de Obras Publicas

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 11 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 32.00-35.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	99%
A R E N	# 20	99%	
	# 40	32%	
	# 60	32%	
	FINOS # 200	9%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 19
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 127

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
 Muestra N°: 12 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 36.00-37.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
A R E N	# 20	100%	
	# 40	99%	
	# 60	99%	
	FINOS # 200	91%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 40
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) -151%
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) -108%
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) -43%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004)) A-2-4
 ÍNDICE DE GRUPO -1432

Observaciones: LIMO ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 128

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago.

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: 31-05-2010
Muestra N°: 13 Sondaje N°: 12 Calicata N°: _____
Cota Muestra (m): 38.00-40.45 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ		>3"	
	G R A V A	3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	L E N	3/4"	
		3/8"	100%
		# 4	99%
		# 10	96%
		# 20	96%
	A R E	# 40	57%
		# 60	57%
		FINOS # 200	5%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 24
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $w_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $w_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 141

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 1 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 0.55-6.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	100%
		3/4"	98%
		3/8"	98%
		# 4	97%
		# 10	93%
		# 20	93%
		# 40	31%
		# 60	31%
		FINOS # 200	7%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 25
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_P (%) 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 142

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 2 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 6.55-8.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	100%
		3/4"	96%
		3/8"	96%
		# 4	96%
		# 10	94%
		# 20	94%
		# 40	79%
		# 60	79%
		FINOS # 200	36%

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL w (%) (NCh 1515.Of79) 34
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco g_d (kg/dm³)(AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO W_L (%) (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO W_P (%) (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD I_P (%) 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 143

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 3 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 8.55-9.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20	100%		
# 40	83%		
# 60	83%		
FINOS # 200	17%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 27
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 144

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 4 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 9.55-11.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	A R E N	1"	
		3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20	100%		
# 40	83%		
# 60	83%		
FINOS # 200	44%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 41
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 145

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 5 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 11.55-14.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		73%	
# 60		73%	
FINOS # 200	22%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 38
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 146

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 576/10
 Muestra N°: 6 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 14.55-15.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		90%	
# 60		90%	
FINOS # 200	70%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 50
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 147

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 7 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 15.55-19.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ		>3"	
	G R A V A	3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20		100%	
A R E N	# 40	58%	
	# 60	58%	
	FINOS # 200	9%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 27
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 148

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 8 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 19.55-21.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ		>3"	
	G R A V A	3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20		100%	
A R E N	# 40	99%	
	# 60	99%	
	FINOS # 200	68%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 67
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD ARENOSO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 149

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 576/10
 Muestra N°: 9 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 21.55-27.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ		>3"	
	G R A V A	3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	100%
		# 10	98%
# 20		98%	
A R E N	# 40	37%	
	# 60	37%	
	FINOS # 200	8%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 22
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SW-SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 150

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 10 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 27.55-30.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ		>3"	
	G R A V A	3"	
		2 1/2"	
		2"	
		1 1/2"	
		1"	
	A R E N	3/4"	
		3/8"	
		# 4	
		# 10	
# 20		100%	
A R E N	# 40	99%	
	# 60	99%	
	FINOS # 200	31%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 36
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 151

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 05-06-2010
 Muestra N°: 11 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 30.55-32.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4		
	A R E N	# 10	
# 20		100%	
# 40		93%	
# 60		93%	
FINOS # 200	71%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 40
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 152

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
 DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
 Fecha de Ejecución del Ensayo: may-10
 Muestra N°: 12 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
 Cota Muestra (m): 32.55-39.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ	G R A V A	>3"	
		3"	
		2 1/2"	
		2"	
	1 1/2"		
	1"		
	3/4"		
	3/8"		
	# 4	100%	
	A R E N	# 10	99%
# 20		99%	
# 40		48%	
# 60		48%	
FINOS # 200	17%		

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 25
 SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
 Peso Unit. Seco $g_d(\text{kg}/\text{dm}^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $W_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
 LIMITE PLÁSTICO $W_P(\%)$ (NCh) N.P.
 DICE DE PLASTICIDAD $I_P(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) SM
 CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: ARENA LIMOSA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
 GERENTE TÉCNICO
 INGEXA LTDA.



IE-GT-05

Ensayo Correlativo N° 153

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas
DIRECCIÓN: Morande 59, Santiago

Fecha de Recepción de la Muestra: _____
Fecha de Ejecución del Ensayo: may-10
Muestra N°: 13 Sondaje N°: 16 Calicata N°: _____
Cota Muestra (m): 39.55-40.00 Kilómetro N°: _____ Método: _____

GRANULOMETRÍA

TAMIZ		>3"		
	G R A V A		3"	
			2 1/2"	
			2"	
			1 1/2"	
			1"	
			3/4"	
	L E N A R A		3/8"	
			# 4	
			# 10	
			# 20	100%
			# 40	99%
			# 60	99%
		FINOS # 200	80%	

CONSTANTES FÍSICAS

HUMEDAD NATURAL $w(\%)$ (NCh 1515.Of79) 39
SG (PESO ESPECIFICO) (NCh 1532.Of80)
Peso Unit. Seco $g_d(kg/dm^3)$ (AASHTO D:T233-02)

CONSTANTES HIDRICAS

LIMITE LIQUIDO $w_L(\%)$ (NCh 1517/1.Of79) N.P.
LIMITE PLÁSTICO $w_p(\%)$ (NCh) N.P.
DICE DE PLASTICIDAD $I_p(\%)$ 1517/2.Of79) N.P.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN U.S.C.S. (ASTM D.2488-2000) ML
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O (M 145-91(2004))

Observaciones: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD CON ARENA

CHRISTIAN SAN MARTÍN
GERENTE TÉCNICO
INGEXA LTDA.

B.3. Sondeos en Juan Pablo II, realizadas por IDIEM (2012).

No.	Sondeo	Fecha de sondeo	Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	Long. (m)	Cota snm (m)	Ensayos
1	Sondaje 3 (Z3-B1)	07/04/12 12/04/12	0,00	7,45	7,45	7,99	D/P
2	CPT6 (Z3-C5)	Abril/12	1,10	11,91	10,81	4,87	NA
3	CPT7 (Z3-C6)	Abril/12	0,95	2,59	1,64	4,58	NA
4	CPT8 (Z3-C4)	Abril/12	7,00	16,81	9,81	7,99	NA

D/P: Disponible de forma parcial.

NA: No aplica.

B.3.1 Sondaje 3 (Z3-B1).



4.1.2. Puente Juan Pablo II:

Tabla 6: Estratigrafía sondaje S - 3, Juan Pablo II.

Cota		Descripción
Inferior [m]	Superior [m]	
0,00	5,00	Relleno heterogéneo de gravas, bolones, material fino, escombros mezclados con arena.
5,00	5,75	Arena gravosa, estructura homogénea, plasticidad nula.
5,75	7,45	Arena fina color gris, estructura homogénea, compacidad media.

Nivel napa freática: No se detecta nivel freático.

4.1.3. Puente Llacolén:

Tabla 7: Estratigrafía sondaje S - 4, Llacolén.

Cota		Descripción
Inferior [m]	Superior [m]	
0,00	3,00	Arena media de color gris, estructura homogénea, compacidad media.
3,00	5,00	Arena media de color café, estructura homogénea, a los 5,00 m se observan partículas de ladrillo.
5,0	7,45	Arena media de color gris, estructura homogénea, compacidad baja, plasticidad nula.

Nivel napa freática: No se detecta nivel freático.



4.3.- Ensayos SPT

Se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT) al interior de cada uno de los sondeos, separados cada 30cm. Los resultados de estos ensayos se presentan a continuación.

Tabla 8: Resumen de ensayos SPT – 1, Curanilahue.

SPT	Profundidad		N1	N2	N3	NT
	Desde [m]	Hasta [m]				
1	0,50	0,95	5	8	3	11
2	1,25	1,70	1	0	0	0
3	2,00	2,45	4	14	16	30
4	2,75	3,20	33	32	28	60
5	3,50	3,95	50	31	6	37
6	4,25	4,70	3	7	8	15
7	5,00	5,45	3	5	6	11
8	5,75	6,20	3	4	6	10
9	6,50	6,95	3	6	7	13

Tabla 9: Resumen de ensayos SPT – 3, Juan Pablo II.

SPT	Profundidad		N1	N2	N3	NT
	Desde [m]	Hasta [m]				
1	0,00	0,45	10	10	6	16
2	4,25	4,70	10	10	6	16
3	5,00	5,45	26	6	3	9
4	5,75	6,20	3	8	19	27
5	6,50	6,95	11	11	13	24
6	7,00	7,45	3	7	11	18

Tabla 10: Resumen de ensayos SPT – 4, Llacolén.

SPT	Profundidad		N1	N2	N3	NT
	Desde [m]	Hasta [m]				
1	1,00	1,45	9	9	13	22
2	1,75	2,20	7	10	13	23
3	2,50	2,95	7	8	6	14
4	3,25	3,70	3	3	3	6
5	4,00	4,45	4	4	4	8
6	4,75	5,20	4	13	6	19
7	5,50	5,95	6	7	6	13
8	6,25	6,70	4	4	4	8
9	7,00	7,45	4	5	6	11

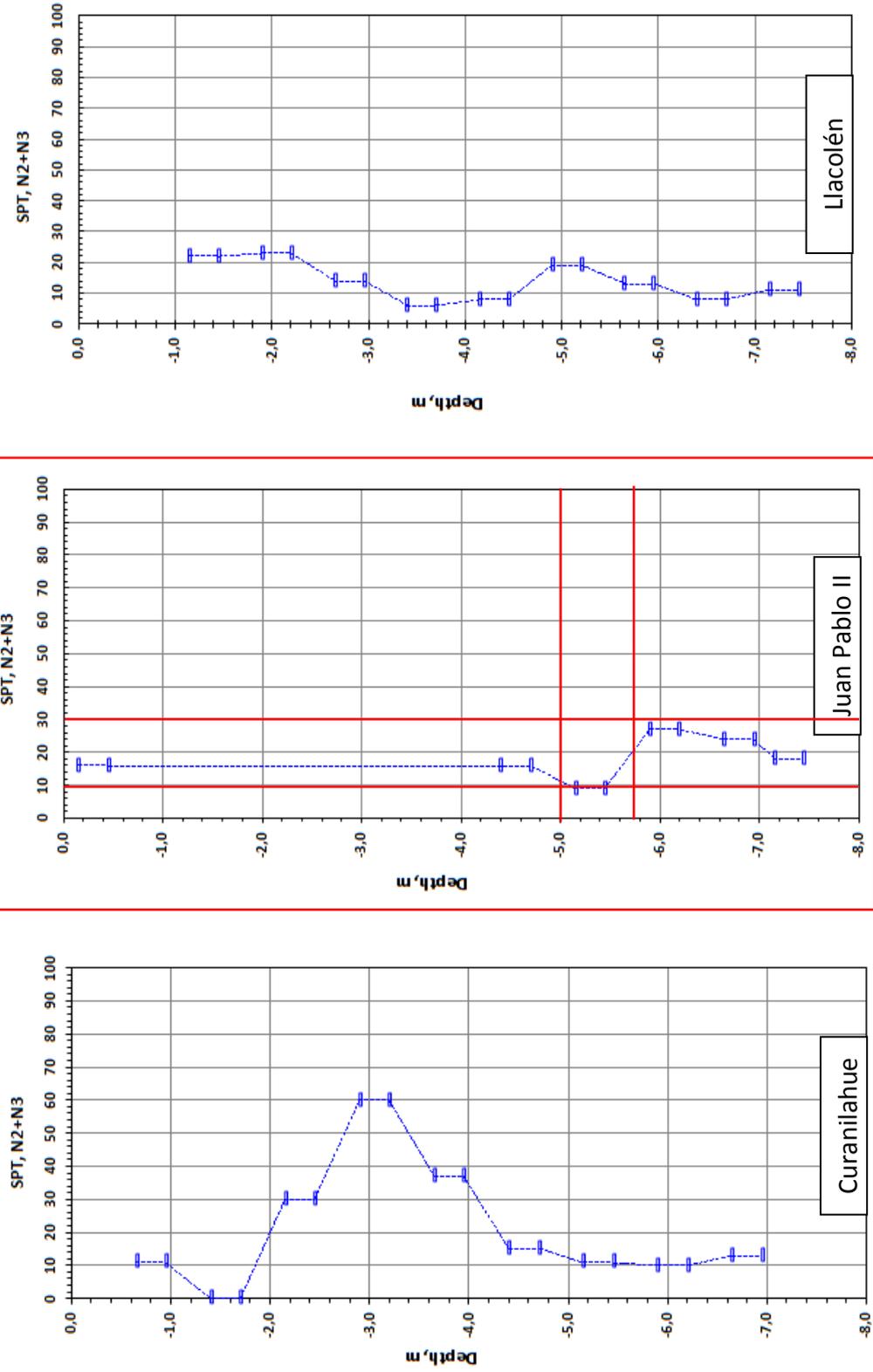


Figura 8: Resultados de ensayos SPT.



INFORME DE ENSAYO OFICIAL Nº 740.383-A
MECANICA DE SUELOS

**EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON
ENSAYOS CPT Y SPT**
OT Nº 87-0000026-12-00

SECCIÓN LABORATORIO DE GEOTECNIA		REF.: SLG.PRE.AC 025	EJEMPLAR Nº: 1	Nº DE PÁGINAS: 6
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	CLIENTE: UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY	
Valeska Barahona O.	Priscilla Torres C.	Iván Bejarano B.	Dirección: 453 Davis Hall, Berkeley, California, USA.	
			DESTINATARIO:	
FECHA DE MUESTREO: Abril del 2012		LUGAR DE MUESTREO: Realizado por IDIEM (Técnico: Claudio Godoy. Lugar de muestreo: Concepción)		
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS : 23 / 08 / 2012	FECHA DE INICIO DE LOS TRABAJOS: 28 / 08 / 2012	FECHA DE TERMINOS DE LOS ENSAYOS: 03/ 09 / 2012	FECHA DE EMISIÓN : 20 / 09 / 2012	

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Laboratorio de Geotecnia de DIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.



1. Antecedentes

Informe de ensayos realizados según los siguientes documentos recibidos por la Sección Laboratorio de Geotecnia

- Aceptación de presupuesto SLG.PRE.AC 025/12

De acuerdo a esto, se ejecutaron los siguientes ensayos:

- SLG-PP-13 Clasificación USCS ASTM D2487-06
- SLG-PP-06 Granulometría ASTM D422-63 (2007)
- SLG-PP-08 IP ASTM D4318-10

2. Identificación de muestras recepcionadas y ensayadas.

Las muestras recepcionadas y ensayadas corresponden al detalle indicado en la tabla N°1.

Tabla N°1.- Muestras recepcionadas y ensayadas

Identificación de Muestra	Calicata [N°]	Cotas [m]	Tipo	Recibida	Ensayada
S1 SPT M1 CURANILAHUE	---	(0.50-0.95)	P	X	X
S1 SPT M3 CURANILAHUE	---	(2.00-2.45)	P	X	X
S1 SPT M4 CURANILAHUE	---	(2.75-3.20)	P	X	X
S1 SPT M6 CURANILAHUE	---	(4.25-4.70)	P	X	X
S1 SPT M8 CURANILAHUE	---	(5.75-6.20)	P	X	X
S3 SPT M2 JUAN PABLO II	---	(5.00-5.45)	P	X	X
S4 SPT M1 LLACOLÉN	---	(1.00-1.45)	P	X	X
S4 SPT M2 LLACOLÉN	---	(1.75-2.20)	P	X	X

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Laboratorio de Geotecnia de DIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.



INFORME ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Proyecto	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON ENSAYOS CPT Y SPT
Inf. Ensayo	Nº 740.383-A
Orden de Trabajo	87-0000026-12-00
Fecha Inicio	28-08-2012
Fecha Término	03-09-2012

IDENTIFICACIÓN

Muestra	Nº
Cota	[m]

S1 SPT M8 CURANILAHUE (5,75-6,20)	S3 SPT M2 JUAN PABLO II (5,00-5,45)	S4 SPT M1 LLACOLÉN (1,00-4,45)	S4 SPT M2 LLACOLÉN (1,75-2,20)
---	---	--------------------------------------	--------------------------------------

Partículas sobre 3"	[%]
---------------------	-----

0,0	0,0	0,0	0,0
-----	-----	-----	-----

GRANULOMETRÍA

Tamaño de Partícula, mm	Designación Malla o Criba
63,50	2 1/2"
50,80	2"
38,10	1 1/2"
25,40	1"
19,00	3/4"
9,52	3/8"
4,76	Nº 4
2,00	Nº 10
0,84	Nº 20
0,42	Nº 40
0,25	Nº 60
0,11	Nº 140
0,07	Nº 200

% en peso que pasa			
100,0	100,0	100,0	100,0
99,4	95,6	95,9	95,3
85,6	87,5	71,7	70,5
76,6	77,6	31,7	37,6
74,9	71,4	12,9	13,1
72,4	51,1	6,2	5,5
72,0	46,8	5,6	4,4

Límite Líquido [%]
Límite Plástico [%]
Índice de Plasticidad [%]

82	45	-	-
63	27	-	-
19	18	NP	NP

Clasificación USCS

MH	SM	SP-SM	SP
-----------	-----------	--------------	-----------

Referencias

1. SLG-PP-06 Granulometría ASTM D422-63 (2007).
2. Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad según SLG-PP-08 basado en ASTM D4318-10.
3. Límite Líquido realizado por método mecánico.
4. Clasificación USCS en base a SLG-PP-13 basado en ASTM D2487-06.

Observaciones

- a. Límites Líquidos y Plásticos realizados con material preparado en seco.
- b. Granulometría realizada por método seco.
- c. El ensayo por Granulometría basado en ASTM, se encuentra fuera del alcance de acreditación LE 304.

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Laboratorio de Geotecnia de DIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.



Figura B.3.1- 1: Vista de la diferencia de cotas, entre las exploraciones realizadas por IDIEM (2012) e INGEXA (2010)

Fuente:
Elaboración Propia

B.3.2 CPT6 (Z3-C5), CPT7 (Z3-C6) y CPT8 (Z3-C4).

4.2.2. Puente Juan Pablo II:

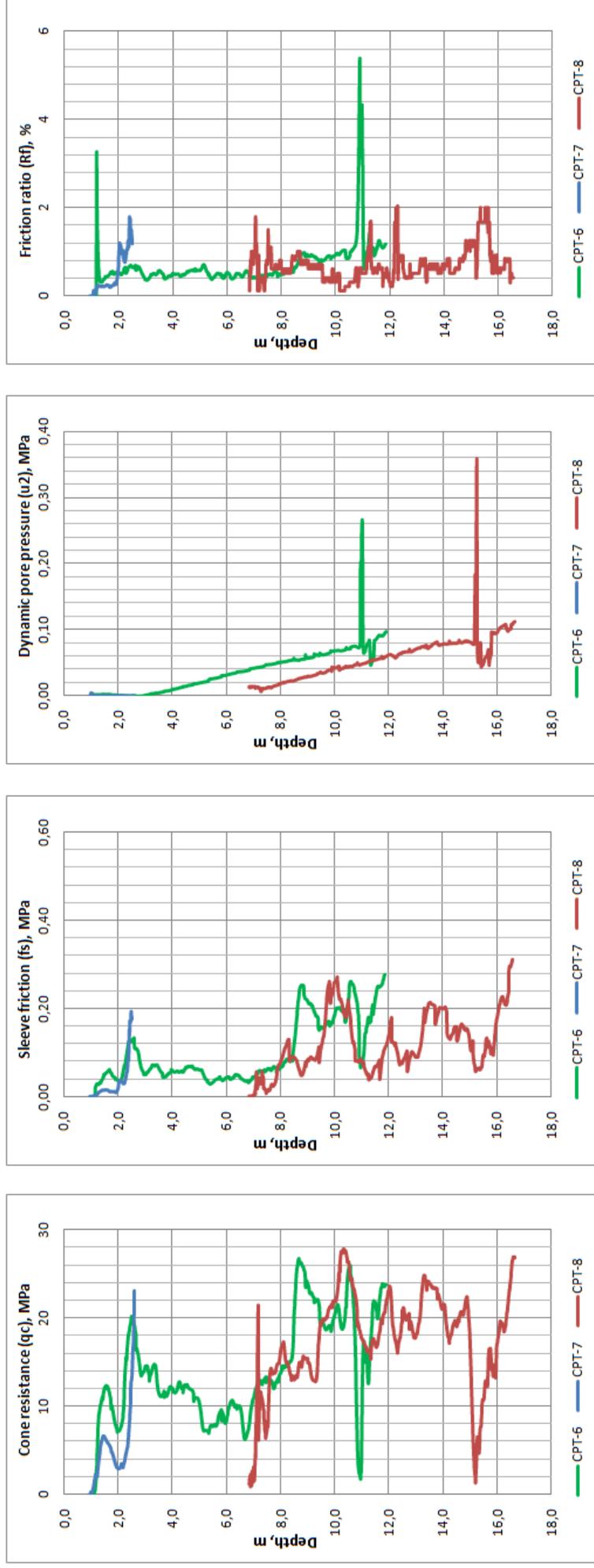
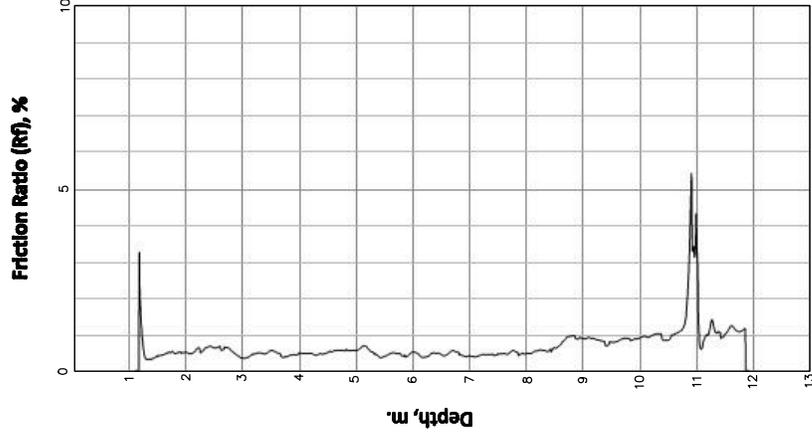
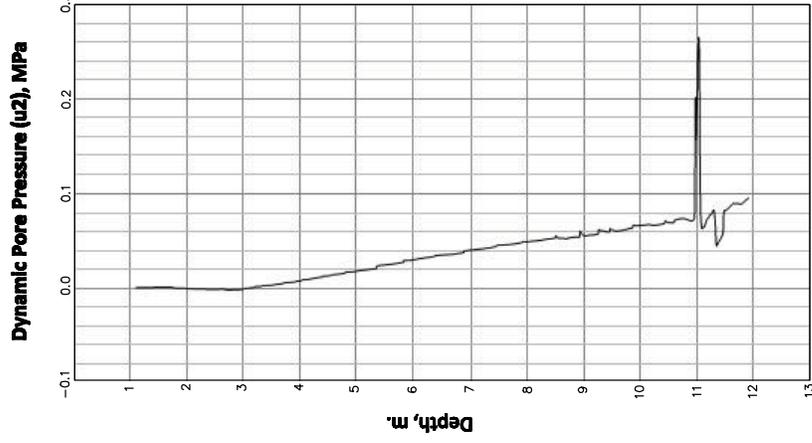
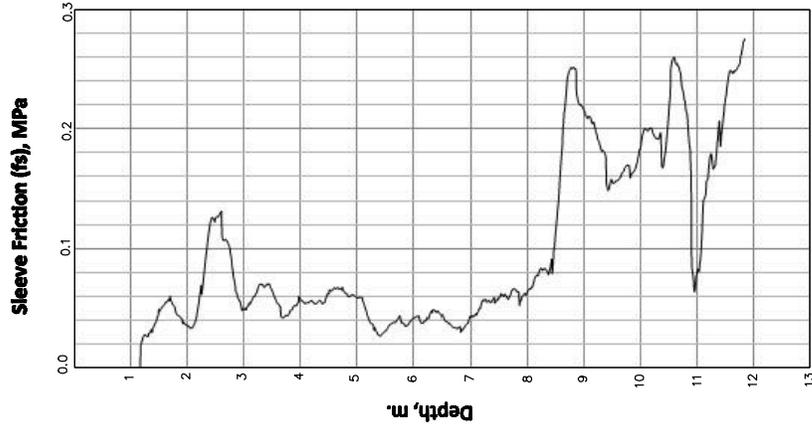
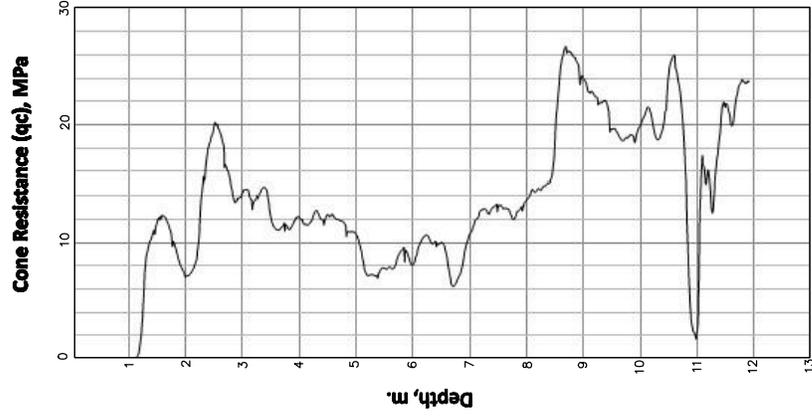
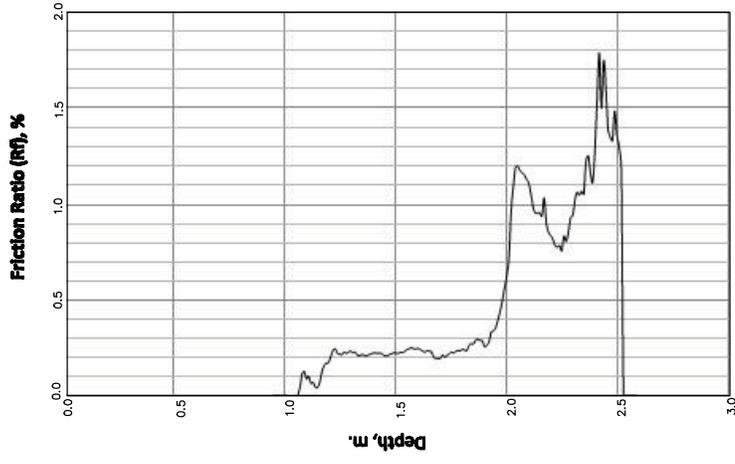
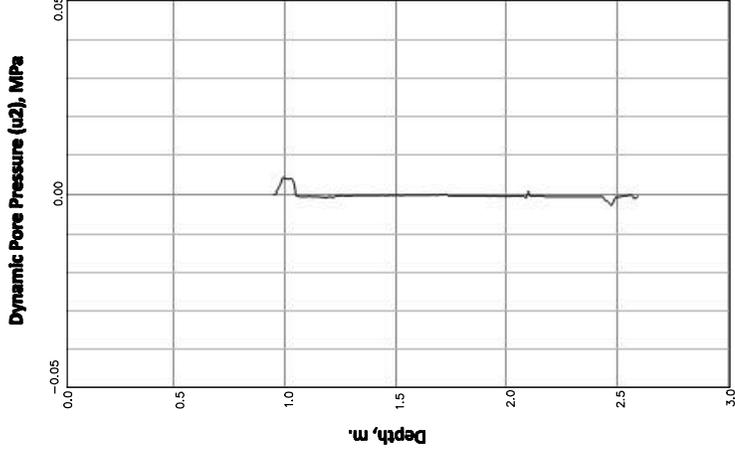
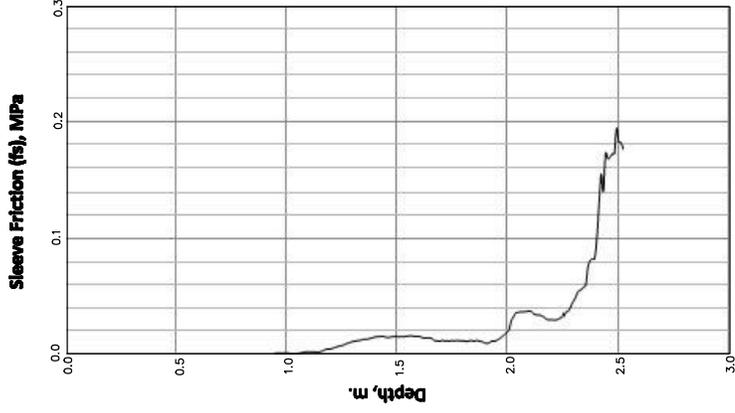
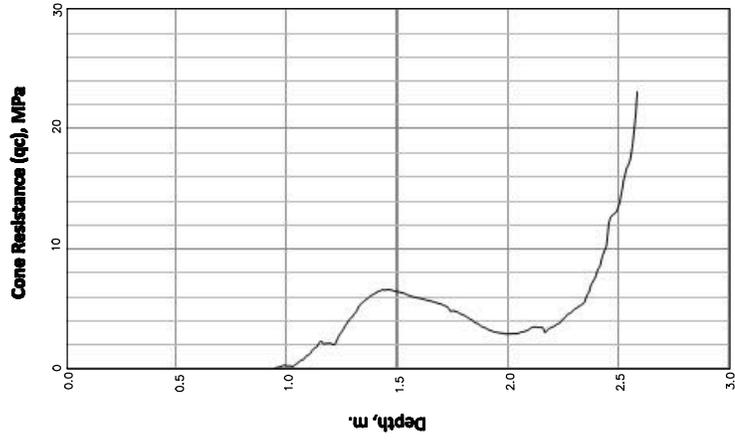


Figura 6: Superposición resultados ensayos CPT Puente Juan Pablo II.



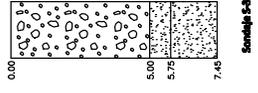
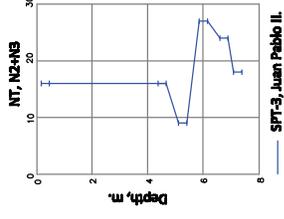
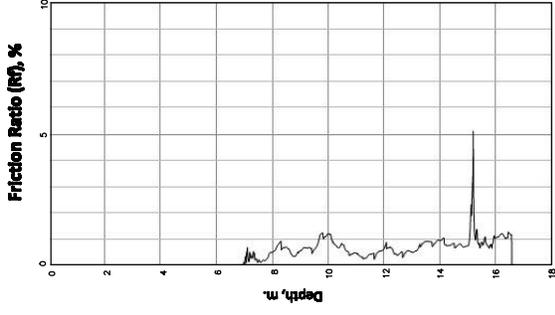
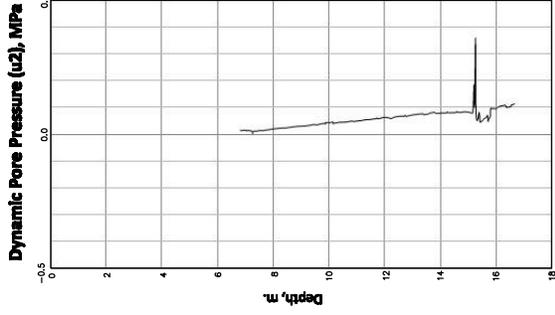
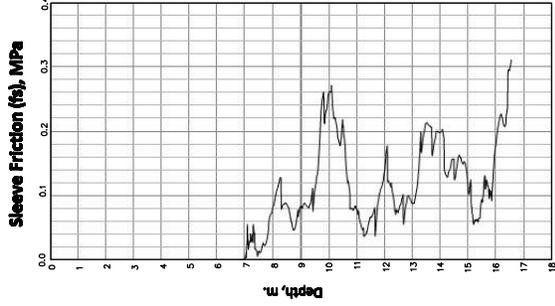
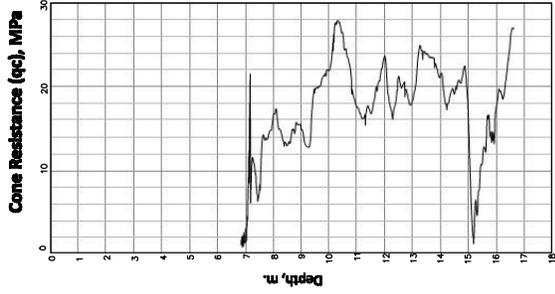
RESULTADOS CPT-6

	ENSAYOS CPT – JUAN PABLO II			
	Diseño: R.S.G.	Fecha: 19/04/2012	Nombre Plano: Resultados Ensayos CPT 6	
Dibujó: T.R.P.R.	Fecha: 19/04/2012			
Revisó: R.O.P.	Fecha: 20/04/2012			
Aprobó: I.B.B.	Fecha: 20/04/2012			

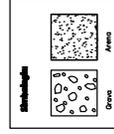


RESULTADOS CPT-7

	ENSAYOS CPT - JUAN PABLO II			
	Diseño: R.S.G.	Fecha: 19/04/2012	Nombre Plano: Resultados Ensayos	
	Dibujo: T.B.B.	Fecha: 19/04/2012	CPT 7	
	Revisó: R.O.P.	Fecha: 20/04/2012		
	Aprobó: L.B.B.	Fecha: 20/04/2012		

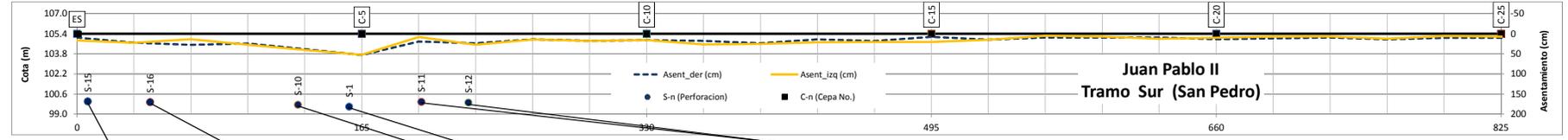


RESULTADOS CPT-3



Idiem		ENSAYOS CPT,SPT – JUAN PABLO II	
Diseño: R.S.G.	Fecha: 19/04/2012.	Nombre Plano: Resultados Ensayos CPT 8 y SPT 3	
Dibujo: T.F.R.	Fecha: 19/04/2012.		
Revisó: R.O.P.	Fecha: 20/04/2012.		
Aprobó: I.B.B.	Fecha: 20/04/2012.		

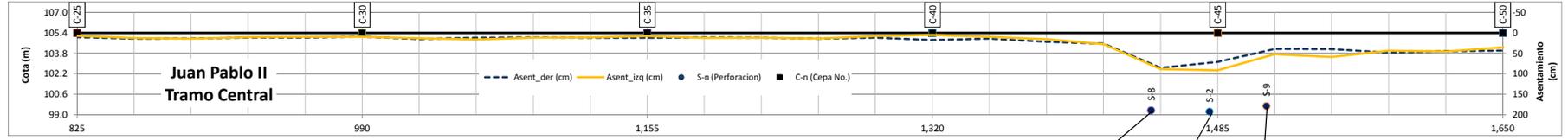
B.4. Perfil Litológico Juan Pablo II.



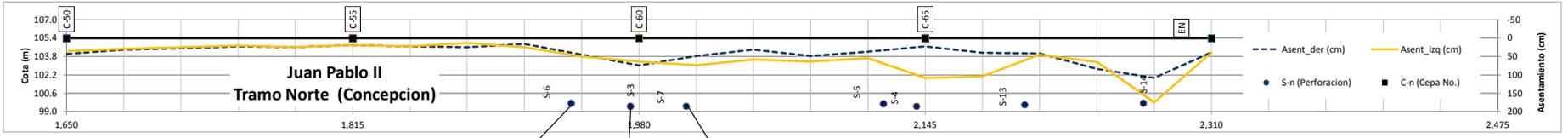
Cota	S-15				S-16				S-10				S-11				S-12			
	Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion	
100.00																				
99.95	1.00	21	SM	m	1.00	22			1.00	16	SP-SW	m-md	1.00	16			1.00	2		
99.90	2.00	25			2.00	28			2.00	10			2.00	10			2.00	14		
99.85	3.00	16			3.00	28			3.00	14			3.00	14			3.00	18		
99.80	4.00	16			3.00	28			4.00	31			4.00	31			4.00	29		
99.75	5.00	19			4.00	46			5.00	41			5.00	41			5.00	44		
99.70	6.00	23	SP-SM	m-d	5.00	36			6.00	56			6.00	56			6.00	41	SP-SW (s) m-d	
99.65	7.00	52			6.00	38			7.00	41			7.00	41			7.00	44		
99.60	8.00	59			7.00	38			8.00	23			8.00	23			8.00	41		
99.55	9.00	49			8.00	20			9.00	18			9.00	18			9.00	24	s(ML) m	
99.50	10.00	53	SM	d-md	9.00	38			10.00	27			10.00	27	s(ML)	m-d	10.00	71		
99.45	11.00	23			10.00	18	SM	(s) d-md	11.00	33	SW	d	11.00	33			11.00	90	SP-SM md	
99.40	12.00	22	ML	m(s)	11.00	47			12.00	31			12.00	31			12.00	64		
99.35	13.00	19			12.00	52			13.00	32			13.00	32			13.00	60		
99.30	14.00	9			13.00	57			14.00	11			14.00	11	s(CL)	compa cta a dura	14.00	85	(ML)s md	
99.25	15.00	57			14.00	28			15.00	19			15.00	19			15.00	63		
99.20	16.00	83	SP-SM	d-md	15.00	58	s(ML)	md	16.00	32	SP-SM	d	16.00	32	SP-SM	d	16.00	69		
99.15	17.00	50			16.00	58			17.00	75			17.00	75	SM	md	17.00	83	SP-SM md	
99.10	18.00	23			17.00	62			18.00	85			18.00	85			18.00	78		
99.05	19.00	21	SM	m	18.00	26			19.00	55			19.00	55			19.00	55		
99.00	20.00	82			18.00	58	SP-SM	md	20.00	72			20.00	72			20.00	40		
98.95	21.00	50	SP-SM	md	19.00	68			21.00	55	SP-SM	m-md	21.00	55			21.00	54	s(ML) md	
98.90	22.00	35	SP-SW	d	20.00	20	s(ML)	m	22.00	67			22.00	67	SM	md	22.00	46		
98.85	23.00	25	s(ML)	m	21.00	30			23.00	59			23.00	59	SP-SM	md	23.00	17	(ML)s d(m)	
98.80	24.00	39			22.00	82			24.00	75			24.00	75			24.00	97		
98.75	25.00	50			23.00	60			25.00	22	ML	m-md	25.00	22			25.00	91		
98.70	26.00	85			24.00	64			26.00	67	SM		26.00	67			26.00	82	SP-SM md(d)	
98.65	27.00	50			25.00	62			27.00	96	SP-SM	d-md	27.00	96			27.00	93		
98.60	28.00	50	SP-SM	d-md	26.00	61			28.00	47			28.00	47	s(ML)	md(m)	28.00	85	SP-SM md(d)	
98.55	29.00	50			27.00	75			29.00	95			29.00	95			29.00	92		
98.50	30.00	50			28.00	17			30.00	66	SM	md-m	30.00	66			30.00	55	s(ML) md	
98.45	31.00	50			29.00	20	SM	m	31.00	100	SP	d	31.00	100			31.00	89		
98.40	32.00	50			30.00	23			32.00	37			32.00	37			32.00	94	SP-SM md	
98.35	33.00	90			31.00	90	(ML)s	md	33.00	100			33.00	100			33.00	51		
98.30	34.00	50	SM	md	32.00	69			34.00	88	s(ML)	md	34.00	88			34.00	47	SM d-md	
98.25	35.00	95			33.00	72			35.00	29			35.00	29	(CL-ML)s	m-d	35.00	74		
98.20	36.00	50			34.00	70			36.00	70			36.00	70			36.00	89		
98.15	37.00	50			35.00	70			37.00	96	SP-SM	md	37.00	96			37.00	47	SP-SM d-md	
98.10	38.00	50			36.00	82			38.00	81			38.00	81			38.00	78		
98.05	39.00	50	SP-SW	md	37.00	68			39.00	95	SP-SM	md	39.00	95			39.00	42		
98.00	40.00	96			38.00	67			40.00	38	SM	m	40.00	38	SP-SM	d-md	40.00	33		
97.95					39.00	65			41.00	71	s(ML)	md	41.00	71			41.00	65	ML md	
97.90					40.00	19	(ML)s	m	42.00	55			42.00	55			42.00	99		
97.85					36.00	40			43.00	90	SW-SM	md	43.00	90			43.00	98		
97.80					37.00	97			44.00	97			44.00	97			44.00	72	SP-SM md(m)	
97.75					38.00	95			45.00	29	ML	m	45.00	29			45.00	18		
97.70					39.00	90			46.00	40			46.00	40			46.00	40		
97.65					40.00	87			47.00	62	ML	d-md	47.00	62			47.00	62		
97.60									48.00	53	SM	md	48.00	53			48.00	53		
97.55									49.00	58	ML	md	49.00	58			49.00	58		
97.50									50.00	90			50.00	90			50.00	90		
97.45									51.00	97	SW-SM	md	51.00	97			51.00	97		

	Densidad		Abrev.
	Nspt	Descripcion	
97.55	0	4	ms
97.50	4	10	s
97.45	10	30	m
97.40	30	50	d
97.35	>50		md

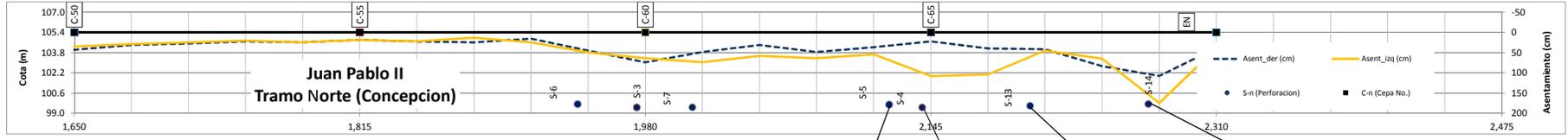
97.55	SP, SW, SP/SW y SP-SW: Arena limpia, mal gradada (SP) o bien gradada (SW)
97.50	SP-SM, SM, SW-SM: Arena Limosa, mal gradada (SP) o bien gradada (SW)
97.45	ML: Limo de baja plasticidad
97.40	CL-ML: Arcilla Limosa
97.35	CL: Arcilla de baja plasticidad



Cota	S-8		S-7		S-9	
	Prof	N	Prof	N	Prof	N
100.00						
99.95						
99.90						
99.85						
99.80						
99.75						
99.70						
99.65						
99.60						
99.55						
99.50						
99.45						
99.40						
99.35						
99.30						
99.25						
99.20						
99.15						
99.10						
99.05						
99.00						
98.95						
98.90						
98.85						
98.80						
98.75						
98.70						
98.65						
98.60						
98.55						
98.50						
98.45						
98.40						
98.35						
98.30						
98.25						
98.20						
98.15						
98.10						
98.05						
98.00						
97.95						
97.90						
97.85						
97.80						
97.75						
97.70						
97.65						
97.60						
97.55						
97.50						
97.45						
97.40						
97.35						
97.30						
97.25						



Cota	S-6				S-3				S-7			
	Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion	
100.00												
99.95												
99.90												
99.85												
99.80												
99.75												
99.70	99.73											
99.65	1.00	10										
99.60	2.00	11	SP-SM	m-d								
99.55	3.00	8										
99.50	4.00	30			99.47				99.48			
99.45	5.00	24			1.00	6			1.00	10		
99.40	6.00	27			2.00	13	SP-SW	m-d	2.00	11		
99.35	7.00	23			3.00	21			3.00	30		
99.30	8.00	33			4.00	29			4.00	29		
99.25	9.00	37			5.00	39			5.00	40		
99.20	10.00	57			6.00	45			6.00	56		
99.15	11.00	41			7.00	44			7.00	49		
99.10	12.00	43			8.00	19			8.00	31		
99.05	13.00	61	SM	d-md	9.00	14	s(ML)	m	9.00	6	ML	m-d
99.00	14.00	11	CL-ML	compa	10.00	25			10.00	17		
98.95	15.00	15	cta		11.00	34			11.00	1		
98.90	16.00	49	SP-SM	d	12.00	14	ML	m	12.00	3	CL-ML	Blanda
98.85	17.00	42			13.00	25			13.00	40		Dura
98.80	18.00	47			14.00	55	CL	dura	14.00	60		
98.75	19.00	77			15.00	65			15.00	37		
98.70	20.00	45			16.00	42			16.00	42		
98.65	21.00	57			17.00	45			17.00	70		
98.60	22.00	43			18.00	21	SM	d-md	18.00	75		
98.55	23.00	43			19.00	56			19.00	69	s(ML)	d-md
98.50	24.00	42			20.00	47			20.00	87		
98.45	25.00	27			21.00	41			21.00	24		
98.40	26.00	39			22.00	63			22.00	33		
98.35	27.00	23			23.00	63	ML	d	23.00	34		
98.30	28.00	34			24.00	64			24.00	27		
98.25	29.00	13	CL-ML	muy compa	25.00	65	(ML)s	d	25.00	7	CL-ML	med
98.20	30.00	17	cta		26.00	12			26.00	84		dura
98.15	31.00	22			27.00	22			27.00	98	SP-SM	md
98.10	32.00	38			28.00	17	ML	m	28.00	33		
98.05	33.00	25			29.00	17			29.00	39		
98.00	34.00	100			30.00	54			30.00	19	(ML)s	d-md
97.95	35.00	85			31.00	51			31.00	38		
97.90	36.00	100	SP-SM	md	32.00	80			32.00	38		
97.85	37.00	61			33.00	102	SW-SM	md	33.00	88		
97.80	38.00	38			34.00	16			34.00	76		md
97.75	39.00	69			35.00	23			35.00	23	SP-SM	m
97.70	40.00	100	CL	dura	36.00	23			36.00	59		md
97.65	41.00	40			37.00	22	ML		37.00	27	s(ML)	m-md
97.60					38.00	77			38.00	62		
97.55					39.00	100			39.00	60		
97.50					40.00	101	SP-SM	md	40.00	57	ML	d-md
97.45					41.00	91	s(ML)	md	41.00	36		
97.40												
97.35												
97.30												
97.25												



Cota	S-5				S-4				S-13				S-14			
	Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion		Prof	N	Clasificacion	
100.00																
99.95																
99.90																
99.85																
99.80																
99.75																
99.70	99.69												99.74			
99.65	1.00	4	SP-SW	m-d					99.60	1.00	1			1.00	1	
99.60	2.00	12							2.00	4			2.00	30		
99.55	3.00	6							3.00	13			3.00	21		
99.50	4.00	28			99.47				4.00	17			4.00	17		
99.45	5.00	32			1.00	4	SM	m	5.00	12			5.00	12		
99.40	6.00	26			2.00	4			6.00	11			6.00	11		
99.35	7.00	37			3.00	15	s(ML)	m-d	7.00	6			7.00	6		
99.30	8.00	47			4.00	16			8.00	12			8.00	12		
99.25	9.00	33			5.00	27			9.00	20			9.00	20		
99.20	10.00	17	ML	d	6.00	28			10.00	38			10.00	38		
99.15	11.00	31			7.00	32			11.00	45			11.00	45		
99.10	12.00	45			8.00	11	CL-ML	compa cta-dura	12.00	35			12.00	36		
99.05	13.00	44			9.00	13			13.00	46			13.00	46	ML	d
99.00	14.00	40			10.00	56			14.00	43			14.00	43		
98.95	15.00	24			11.00	10			15.00	46			15.00	46		
98.90	16.00	43	SM	m-d	12.00	37			16.00	19			16.00	19		
98.85	17.00	23			13.00	17			17.00	20			17.00	20	CL-ML	muy compa cta (bland
98.80	18.00	28			14.00	70	SM	d-md	18.00	4			18.00	4		
98.75	19.00	32			15.00	99			19.00	50			19.00	50		
98.70	20.00	14			16.00	65			20.00	50			20.00	50	SP-SW	d
98.65	21.00	28			17.00	35			21.00	62			21.00	62		
98.60	22.00	15	CL-ML	muy compa cta	18.00	17			22.00	10			22.00	10		
98.55	23.00	18			19.00	39	ML	d	23.00	33			23.00	33		
98.50	24.00	75			20.00	37			24.00	18			24.00	18	ML	m-d
98.45	25.00	40	s(ML)	d-md	21.00	37			25.00	23			25.00	23		
98.40	26.00	72			22.00	80			26.00	26			26.00	26		
98.35	27.00	67	SP-SW	d-md	23.00	83			27.00	23			27.00	23		
98.30	28.00	44			24.00	87	SM	md	28.00	87			28.00	87		
98.25	29.00	51			25.00	81			29.00	50			29.00	50		
98.20	30.00	57	s(ML)	md	26.00	81	s(ML)	md	30.00	7			30.00	7		
98.15	31.00	100			27.00	79			31.00	14			31.00	14	ML	s
98.10	32.00	81			28.00	95			32.00	95			32.00	95		
98.05	33.00	67	SP-SW	md	29.00	106			33.00	50			33.00	50		
98.00	34.00	78			30.00	100			34.00	79			34.00	79	SP-SW	md
97.95	35.00	23			31.00	107	SM	md	35.00	83			35.00	83		
97.90	36.00	40	SM	d	32.00	101			36.00	83	s(ML)	md	36.00	83		
97.85	37.00	59			33.00	102			37.00	80			37.00	80		
97.80	38.00	58			34.00	92			38.00	96			38.00	96		
97.75	39.00	21	ML	d-md	35.00	80			39.00	97			39.00	97		
97.70	40.00	31			36.00	79			40.00	99			40.00	99		
97.65	41.00	32			37.00	36	s(ML)	d-md	97.60	39			39.00	90		
97.60					38.00	72			97.55	103			40.00	99		
97.55					39.00	103			97.50	88			41.00	91		
97.50					40.00	88	SM	md	97.45							
97.45					41.00	91			97.40							
97.40									97.35							
97.35									97.30							
97.30									97.25							
97.25																

**ANEXO C: SONDEOS GEOTÉCNICOS DISPONIBLES DEL PUENTE
LLACOLEN**

C.1 Perforaciones en Llacolén, realizadas en 1993 y 1996.

No.	Perforación	Fecha de sondeo	Long. (m)	Cota (msnm)	Ensayos
1	SJ-2	1993	27,83	ND	ND
2	SJ-5		17,46	ND	ND
3	SJ-6		30,23	ND	ND
4	SJ-7		30,23	ND	ND
5	S-6	1996	23,89	ND	ND
6	S-7		14,82	ND	ND
7	SR-1		30,36	ND	ND
8	SR-2		29,19	ND	ND
9	SR-3		29,27	ND	ND
10	SR-4		31,18	ND	ND

ND: No disponible

Se observa que para las tres zonas donde se produjeron los mayores asentamientos, el porcentaje de suelos densos varía de 50 a 93%. La cepa de mayor asentamiento (cepa 69) presenta el menor porcentaje de suelos densos. Sin embargo, esta cepa no evidenció desplazamiento lateral. Consecuentemente, se estima que con al menos un 50% de suelos densos no existirían problemas de rigidez lateral.

4.3.- Puente Llacolén

Posterior al evento sísmico del 27-02-2010 este puente no presentó mayores daños en su estructura, salvo en el acceso Norte. En la Fig. 4.5 se observa los desplazamientos laterales permanentes del puente Llacolén que, en general, no superan los 10 cm entre tramos sucesivos.



Fig. 4.5.- Efectos menores del sismo 27-02-2010 en el puente Llacolén

Los resultados del **índice de penetración normalizado** obtenidos en los 10 sondajes ejecutados se presentan en la Fig. 4.6. Se observa claramente que en varios sectores el suelo competente se desarrolla a partir de los 5 m de profundidad, con un índice de penetración de rechazo. En forma sistemática esta

condición de rechazo se produce a partir de los 21 m de profundidad, con algunos valores que no bajan de 35 golpes/pie.

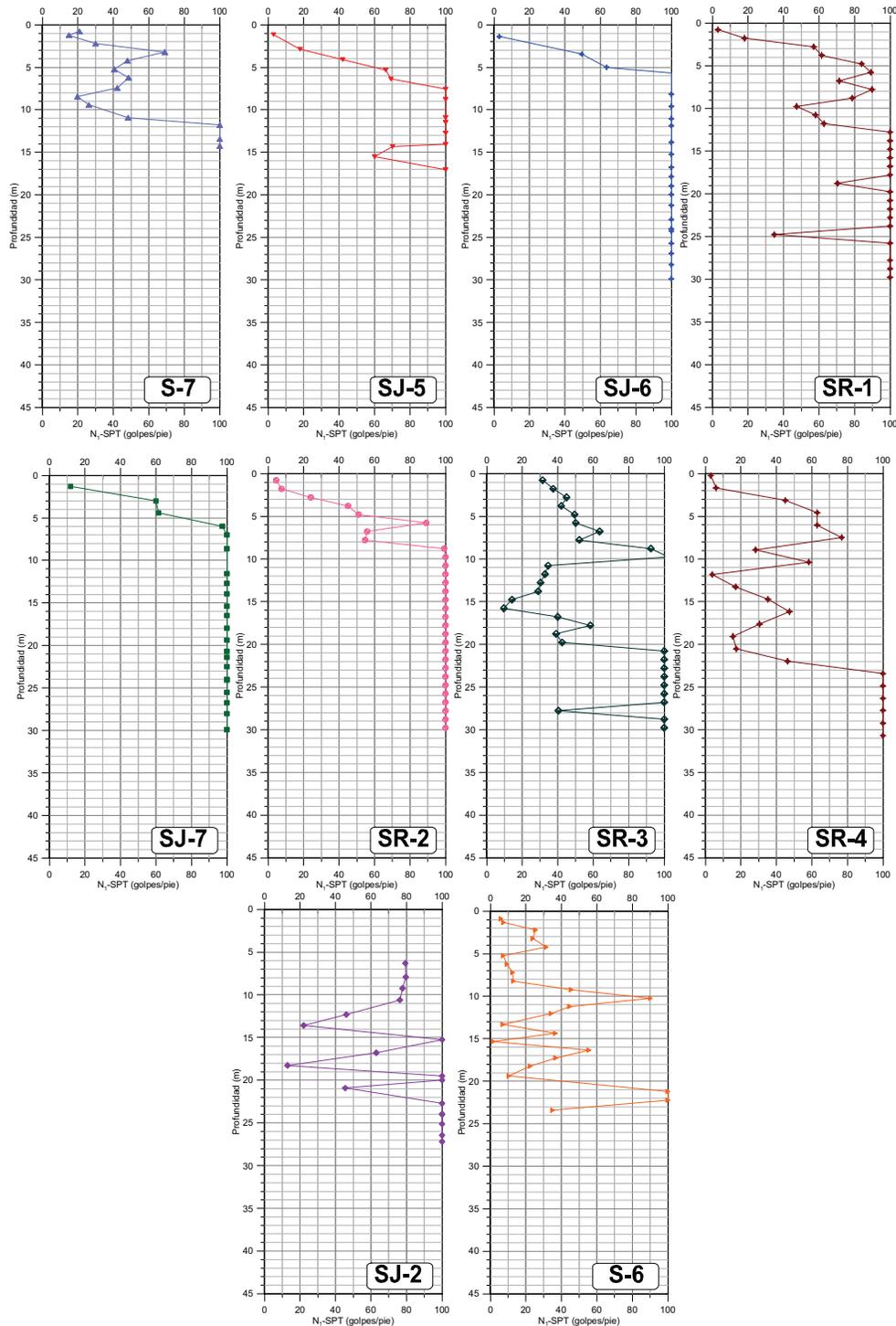


Fig. 4.6.- Resultados N₁-SPT sondajes Puente Llacolén

C.1.1. Estimación del N_{SPT} , medido en campo, en función de las recomendaciones de Díaz y Rodríguez (2007), para los sondeos realizados en el Puente Llacolén entre 1993 y 1996.

Díaz y Rodríguez (2007) proponen en su artículo, entre otras, las ecuaciones C.1 a la C.3 para obtener el Índice de Penetración normalizado $(N_1)_{60}$:

$$N_{60} = N_m * C_{ed} * C_{rd} * C_{bd} * C_{sd} \quad (C.1)$$

donde:

N_{60} : Índice de penetración por efecto de la energía del ensayo.

N_m : N_{SPT} medido en campo.

C_{ed} : factor de corrección por energía

C_{rd} : factor de corrección por longitud de barras.

C_{bd} : factor de corrección por el diámetro del sondaje.

C_{sd} : factor de corrección por el uso de una cuchara normal sin tubo muestreador en su interior o sin “liner”.

$$(N_1)_{60} = N_{60} * C_{nd} \quad (C.2)$$

donde:

$(N_1)_{60}$: Índice de penetración normalizado por efecto de la energía del ensayo y la presión de confinamiento existente en el suelo en la cota que se hace el ensayo.

C_{nd} : factor de corrección por confinamiento.

$$C_{sd} = \left(1 + \frac{N_m * C_{nd} * C_{ed}}{100} \right) \quad (C.3)$$

La propuesta de Díaz y Rodríguez (2007), tiene la particularidad que simplifica el proceso de cálculo del $(N_1)_{60}$, pues calcula el C_s , en función del N_m , sin necesidad de iterar, como lo hacen otras propuestas.

Los valores de $(N_1)_{60}$ que presentan Verdugo y Peters (2010), del puente Llacolén, se estimaron de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$N_{60} = N_m * C_{ev} * C_{rv} * C_{bv} * C_{sv} \quad (C.4)$$

C_{ev} : factor de corrección por energía

Verdugo y Peters (2010), asumen que la energía del SPT en Chile es del 60% (Sección 3.3) “En Chile no existen mediciones al respecto, pero se estima que la metodología aplicada no difiere mayormente de la utilizada en Estados Unidos. Por lo tanto, se asume que el valor del N-SPT medido corresponde al valor $(N)_{60}$.”

$C_{ev} = 1$.

C_{bv} : factor de corrección por el diámetro del sondaje.

Verdugo y Peters (2010), no lo aplican y no comentan nada en referencia a este factor de corrección.

Se asumió que los equipos disponibles en Chile, perforan un diámetro de 65-115 mm. Youd et al. (2001) en la Tabla 2, recomienda valores de $C_b = 1.0$, para este diámetro.

$C_{bv} = 1$.

C_{rv} : factor de corrección por longitud de barras.

Verdugo y Peters (2010), no lo aplican y no comentan nada en referencia a este factor de corrección.

Giovanny y Rodríguez (2007), recomiendan hacer siempre $C_r = 1$, independientemente de la longitud de barras.

$C_{rv} = 1$

Reemplazando C_{ev} , C_{bv} y C_{rv} , en (C.4) nos queda:

$$N_{60} = Nm * C_{sv} \quad (C.5)$$

$$(N_1)_{60} = N_{60} * C_{nv} \quad (C.6)$$

Reemplazando (C.5) en (C.6), nos queda:

$$(N_1)_{60} = (Nm * C_{sv}) * C_{nv} \quad (C.7)$$

siendo C_{nv} :

$$0.5 \leq C_{nv} = \frac{1.7}{0.7 + \left(\frac{sve}{1 \frac{kg}{cm^2}} \right)} \leq 1.5 \quad (C.8)$$

Igualamos $C_{sv} = C_{sd}$ y reemplazamos (C.3) en (C.7), obteniendo:

$$(N_1)_{60} = Nm * \left(1 + \frac{Nm * C_{nv} * C_{ev}}{100} \right) * C_{nv} \quad (C.9)$$

Simplificando y reemplazando $C_{ev} = 1$, nos queda:

$$(N_1)_{60} = Nm * \left(\frac{100 + Nm * C_{nv}}{100} \right) * C_{nv} \quad (C.9a)$$

$$(N_1)_{60} = \left(\frac{100 * Nm * C_{nv} + (Nm * C_{nv})^2}{100} \right) \quad (C.9b)$$

$$(N_1)_{60} * 100 = (100 * Nm * C_{nv}) + (Nm * C_{nv})^2$$

$$(Nm * C_{nv})^2 + (100 * Nm * C_{nv}) - (N_1)_{60} * 100 = 0 \quad (C.9c)$$

Sustituyendo variables:

$$(Nm * Cnv) = x$$

$$(x)^2 + (100 * x) - (N_1)_{60} * 100 = 0 \quad (C.10)$$

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (C.11)$$

siendo entonces:

$$a = 1 \quad (C.11a)$$

$$b = 100 \quad (C.11b)$$

$$c = -(N_1)_{60} * 100 \quad (C.11c)$$

$$x = \frac{-b(+/-)\sqrt{(b^2 - 4ac)}}{2a} \quad (C.12)$$

Los valores de $(N_1)_{60}$ reportados por Verdugo y Peters (2010), se reemplazaron en (C.11c), con “c” se calculo las raíz positiva (x) que es solución de la ecuación cuadrática (C.12) y con el valor de “x” y Cnv (C.8), se calculo el Nm. En la Figura C.1.1-1, se presenta el perfil del N_{SPT} medido en campo.

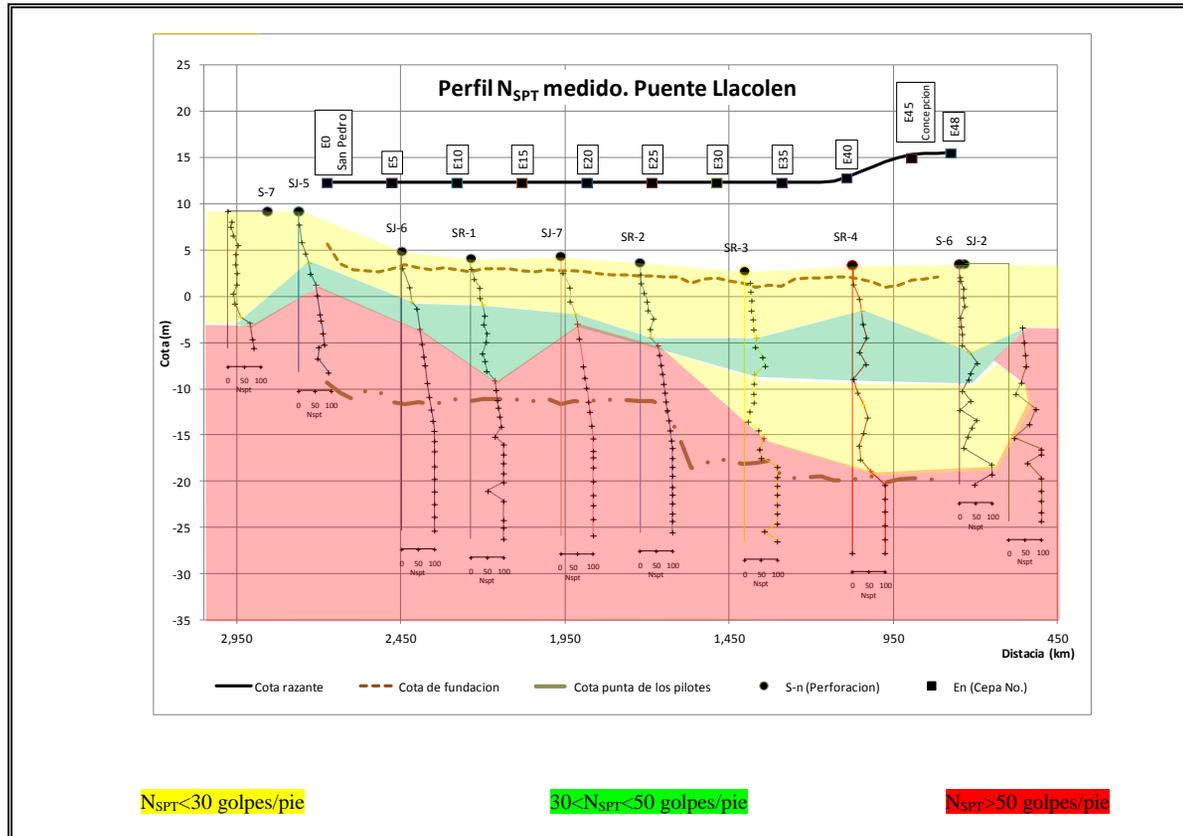


Figura C.1.1-1: Perfil N_{SPT} medido en campo del Puente Llacolén.

Fuente:
Elaboración Propia.

C.2 Sondeos en Llacolén, realizados por IDIEM (2012).

No	Sondeo	Fecha de sondeo	Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	Long. (m)	Cota snm (m)	Ensayos
1	Sondaje 4 (Z4-B1)	12/04/12 al 13/04/12	0,00	7,45	7,45	8,46	D/P
2	CPT9 (Z4-C3)	Abril/12	0,83	1,20	0,38	7,00	NA
3	CPT10 (Z4-C1)	Abril/12	0,47	3,63	3.16	8,73	NA

D/P: Disponible de forma parcial. D: Disponible, ND: No disponible, NA: No aplica

C.2.1 Sondaje 4 (Z4-B1)



4.1.2. Puente Juan Pablo II:

Tabla 6: Estratigrafía sondaje S - 3, Juan Pablo II.

Cota		Descripción
Inferior [m]	Superior [m]	
0,00	5,00	Relleno heterogéneo de gravas, bolones, material fino, escombros mezclados con arena.
5,00	5,75	Arena gravosa, estructura homogénea, plasticidad nula.
5,75	7,45	Arena fina color gris, estructura homogénea, compacidad media.

Nivel napa freática: No se detecta nivel freático.

4.1.3. Puente Llacolén:

Tabla 7: Estratigrafía sondaje S - 4, Llacolén.

Cota		Descripción
Inferior [m]	Superior [m]	
0,00	3,00	Arena media de color gris, estructura homogénea, compacidad media.
3,00	5,00	Arena media de color café, estructura homogénea, a los 5,00 m se observan partículas de ladrillo.
5,0	7,45	Arena media de color gris, estructura homogénea, compacidad baja, plasticidad nula.

Nivel napa freática: No se detecta nivel freático.



4.3.- Ensayos SPT

Se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT) al interior de cada uno de los sondeos, separados cada 30cm. Los resultados de estos ensayos se presentan a continuación.

Tabla 8: Resumen de ensayos SPT – 1, Curanilahue.

SPT	Profundidad		N1	N2	N3	NT
	Desde [m]	Hasta [m]				
1	0,50	0,95	5	8	3	11
2	1,25	1,70	1	0	0	0
3	2,00	2,45	4	14	16	30
4	2,75	3,20	33	32	28	60
5	3,50	3,95	50	31	6	37
6	4,25	4,70	3	7	8	15
7	5,00	5,45	3	5	6	11
8	5,75	6,20	3	4	6	10
9	6,50	6,95	3	6	7	13

Tabla 9: Resumen de ensayos SPT – 3, Juan Pablo II.

SPT	Profundidad		N1	N2	N3	NT
	Desde [m]	Hasta [m]				
1	0,00	0,45	10	10	6	16
2	4,25	4,70	10	10	6	16
3	5,00	5,45	26	6	3	9
4	5,75	6,20	3	8	19	27
5	6,50	6,95	11	11	13	24
6	7,00	7,45	3	7	11	18

Tabla 10: Resumen de ensayos SPT – 4, Llacolén.

SPT	Profundidad		N1	N2	N3	NT
	Desde [m]	Hasta [m]				
1	1,00	1,45	9	9	13	22
2	1,75	2,20	7	10	13	23
3	2,50	2,95	7	8	6	14
4	3,25	3,70	3	3	3	6
5	4,00	4,45	4	4	4	8
6	4,75	5,20	4	13	6	19
7	5,50	5,95	6	7	6	13
8	6,25	6,70	4	4	4	8
9	7,00	7,45	4	5	6	11

Informe N° 740383

Proyecto: Exploración geotécnica con ensayos CPT y SPT, Concepción, Chile.

Página 17 de 19

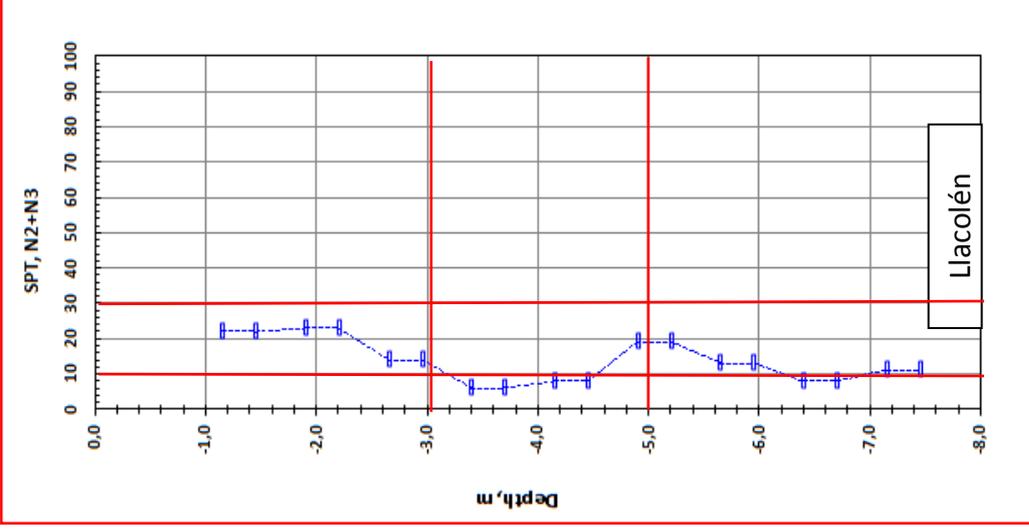
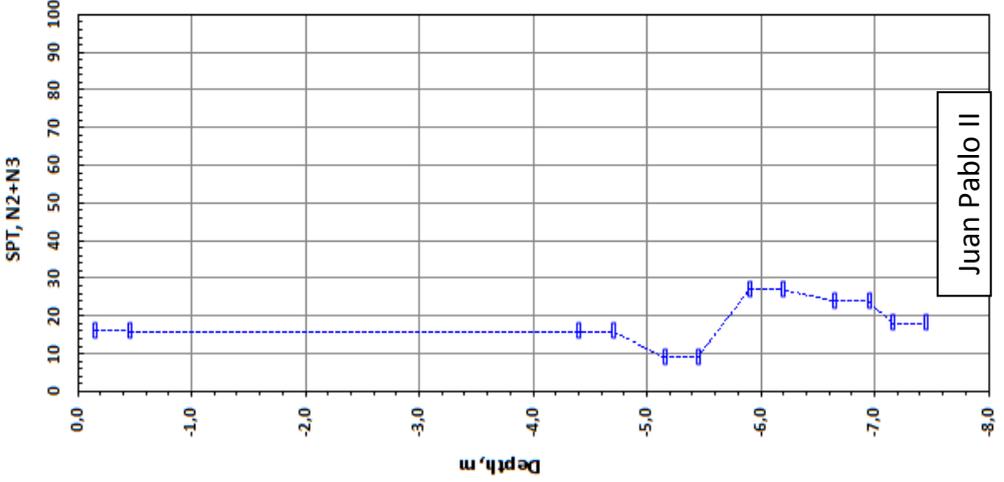
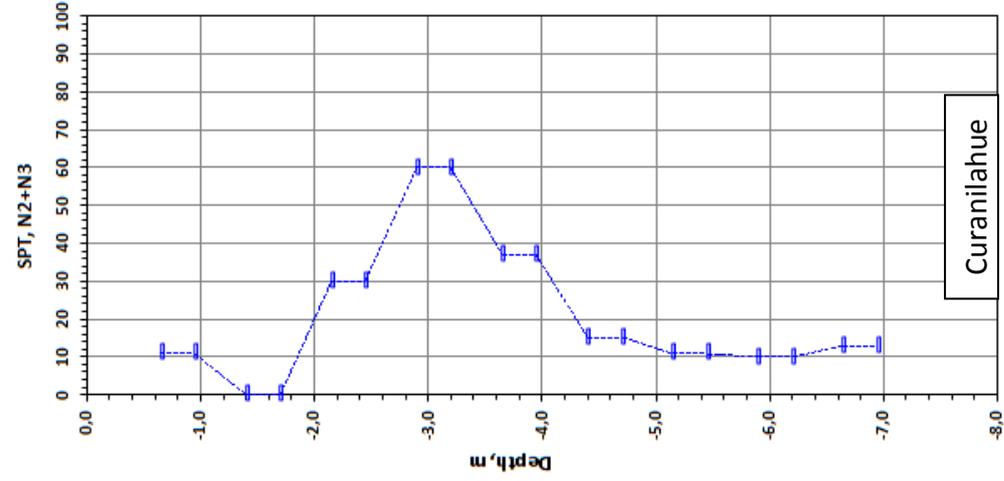


Figura 8: Resultados de ensayos SPT.

**INFORME DE ENSAYO OFICIAL Nº 740.383-A**
MECANICA DE SUELOS**EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON
ENSAYOS CPT Y SPT**
OT Nº 87-0000026-12-00

SECCIÓN LABORATORIO DE GEOTECNIA		REF.: SLG.PRE.AC 025	EJEMPLAR Nº: 1	Nº DE PÁGINAS: 6
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	CLIENTE: UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY	
Valeska Barahona O.	Priscilla Torres C.	Iván Bejarano B.	Dirección: 453 Davis Hall, Berkeley, California, USA.	
			DESTINATARIO:	
FECHA DE MUESTREO: Abril del 2012		LUGAR DE MUESTREO: Realizado por IDIEM (Técnico: Claudio Godoy. Lugar de muestreo: Concepción)		
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS : 23 / 08 / 2012	FECHA DE INICIO DE LOS TRABAJOS: 28 / 08 / 2012	FECHA DE TERMINOS DE LOS ENSAYOS: 03/ 09 / 2012	FECHA DE EMISIÓN : 20 / 09 / 2012	

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Laboratorio de Geotecnia de DIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Informe Ensayo Nº 740.383-A (EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON ENSAYOS CPT Y SPT)

Página 1 de 6

SLG-FOR-72 V29



1. Antecedentes

Informe de ensayos realizados según los siguientes documentos recibidos por la Sección Laboratorio de Geotecnia

- Aceptación de presupuesto SLG.PRE.AC 025/12

De acuerdo a esto, se ejecutaron los siguientes ensayos:

- SLG-PP-13 Clasificación USCS ASTM D2487-06
- SLG-PP-06 Granulometría ASTM D422-63 (2007)
- SLG-PP-08 IP ASTM D4318-10

2. Identificación de muestras recepcionadas y ensayadas.

Las muestras recepcionadas y ensayadas corresponden al detalle indicado en la tabla N°1.

Tabla N°1.- Muestras recepcionadas y ensayadas

Identificación de Muestra	Calicata [N°]	Cotas [m]	Tipo	Recibida	Ensayada
S1 SPT M1 CURANILAHUE	---	(0.50-0.95)	P	X	X
S1 SPT M3 CURANILAHUE	---	(2.00-2.45)	P	X	X
S1 SPT M4 CURANILAHUE	---	(2.75-3.20)	P	X	X
S1 SPT M6 CURANILAHUE	---	(4.25-4.70)	P	X	X
S1 SPT M8 CURANILAHUE	---	(5.75-6.20)	P	X	X
S3 SPT M2 JUAN PABLO II	---	(5.00-5.45)	P	X	X
S4 SPT M1 LLACOLÉN	---	(1.00-1.45)	P	X	X
S4 SPT M2 LLACOLÉN	---	(1.75-2.20)	P	X	X

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Laboratorio de Geotecnia de DIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.



Identificación de Muestra	Calicata [N°]	Cotas [m]	Tipo	Recibida	Ensayada
S4 SPT M5 LLACOLÉN	---	(4.00-4.45)	P	X	X
S4 SPT M8 LLACOLÉN	---	(4.75-5.20)	P	X	X
S4 SPT M10 LLACOLÉN	---	(7.00-7.45)	P	X	X

La definición del tipo de muestras corresponde a:

- P: muestra perturbada
- NP: muestra no perturbada en bloque inalterado
- SH: muestra tubo Shelby
- CN: muestra cuchara normal
- CD: muestra corona diamantina

Las muestras son almacenadas por IDIEM hasta 15 días luego de emitido este informe. Posterior a este tiempo serán eliminadas, a menos que exista una solicitud escrita del cliente para su resguardo y la ejecución de ensayos adicionales por un tiempo determinado.

La Clasificación USCS y el Ensayo de Granulometría según ASTM no se encuentran en el alcance de la Acreditación Le-304

Alejandra Sánchez T.
Jefe Área Laboratorios Geotecnia y Asfalto
Geotecnia –IDIEM

Iván Bejarano B.
Jefe División Geotecnia
Geotecnia –IDIEM

VBO/ahf

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Laboratorio de Geotecnia de IDIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Informe Ensayo N° 740.383-A (EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON ENSAYOS CPT Y SPT)

Página 3 de 6

SLG-FOR-72 V29



INFORME ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Proyecto	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON ENSAYOS CPT Y SPT
Inf. Ensayo	Nº 740.383-A
Orden de Trabajo	87-0000026-12-00
Fecha Inicio	28-08-2012
Fecha Término	03-09-2012

IDENTIFICACIÓN

Muestra	Nº
Cota	[m]

S1 SPT M8 CURANILAHUE (5,75-6,20)	S3 SPT M2 JUAN PABLO II (5,00-5,45)	S4 SPT M1 LLACOLÉN (1,00-4,45)	S4 SPT M2 LLACOLÉN (1,75-2,20)
---	---	--------------------------------------	--------------------------------------

Partículas sobre 3"	[%]
---------------------	-----

0,0	0,0	0,0	0,0
-----	-----	-----	-----

GRANULOMETRÍA

Tamaño de Partícula, mm	Designación Malla o Criba
63,50	2 1/2"
50,80	2"
38,10	1 1/2"
25,40	1"
19,00	3/4"
9,52	3/8"
4,76	Nº 4
2,00	Nº 10
0,84	Nº 20
0,42	Nº 40
0,25	Nº 60
0,11	Nº 140
0,07	Nº 200

% en peso que pasa			
100,0	100,0	100,0	100,0
99,4	95,6	95,9	95,3
85,6	87,5	71,7	70,5
76,6	77,6	31,7	37,6
74,9	71,4	12,9	13,1
72,4	51,1	6,2	5,5
72,0	46,8	5,6	4,4

Límite Líquido [%]
Límite Plástico [%]
Índice de Plasticidad [%]

82	45	-	-
63	27	-	-
19	18	NP	NP

Clasificación USCS

MH	SM	SP-SM	SP
-----------	-----------	--------------	-----------

Referencias

1. SLG-PP-06 Granulometría ASTM D422-63 (2007).
2. Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad según SLG-PP-08 basado en ASTM D4318-10.
3. Límite Líquido realizado por método mecánico.
4. Clasificación USCS en base a SLG-PP-13 basado en ASTM D2487-06.

Observaciones

- a. Límites Líquidos y Plásticos realizados con material preparado en seco.
- b. Granulometría realizada por método seco.
- c. El ensayo por Granulometría basado en ASTM, se encuentra fuera del alcance de acreditación LE 304.

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Laboratorio de Geotecnia de DIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

C.2.2 CPT9 (Z4-C3) y CPT10 (Z4-C1)

4.2.3. Puente Liacolén:

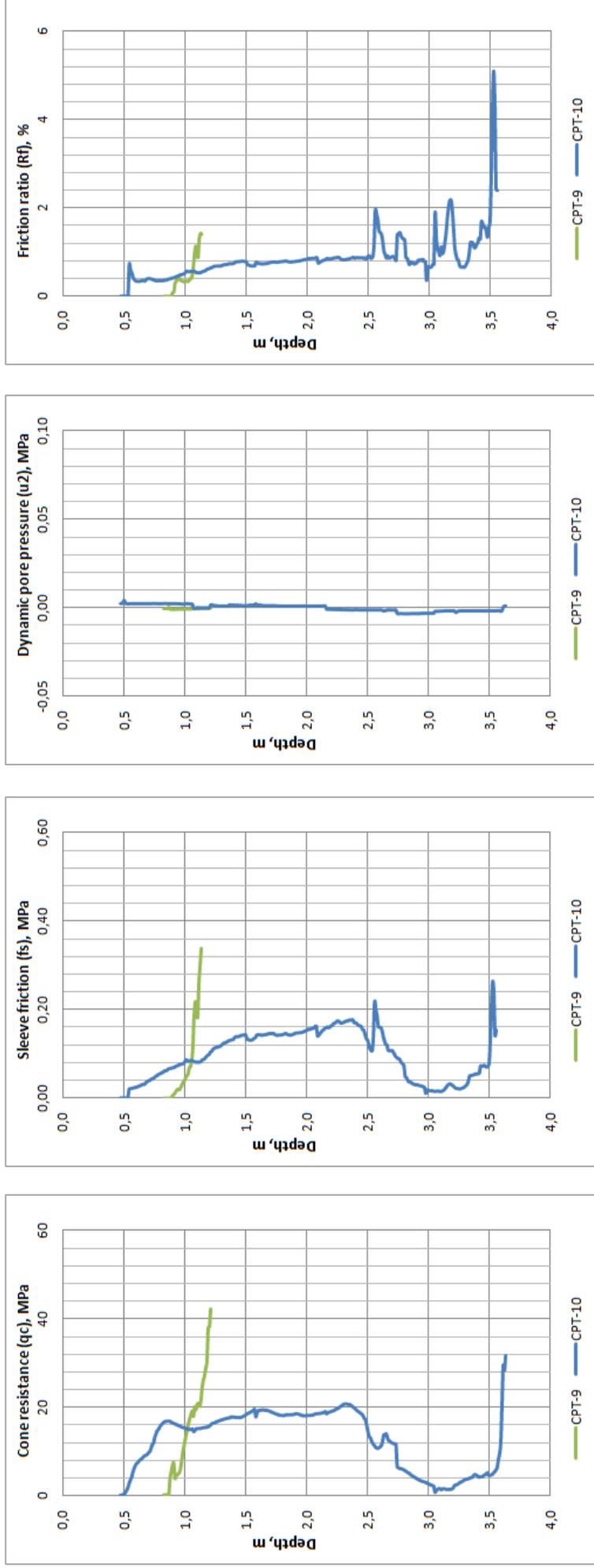
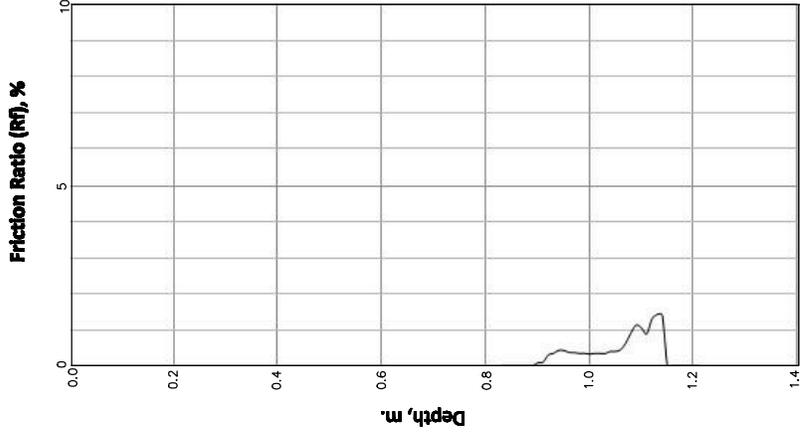
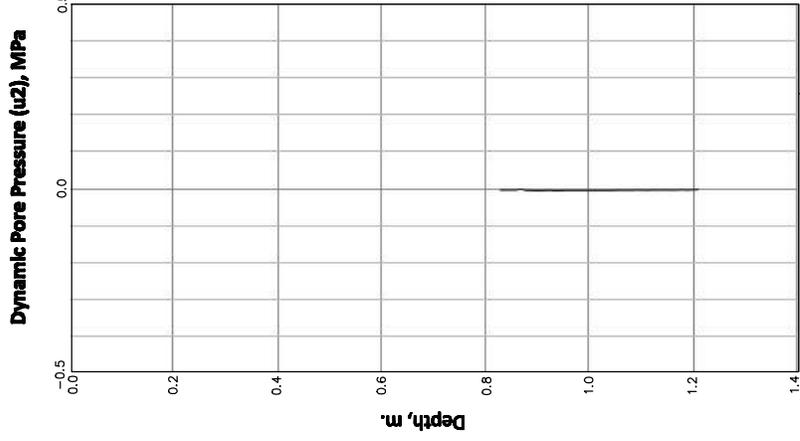
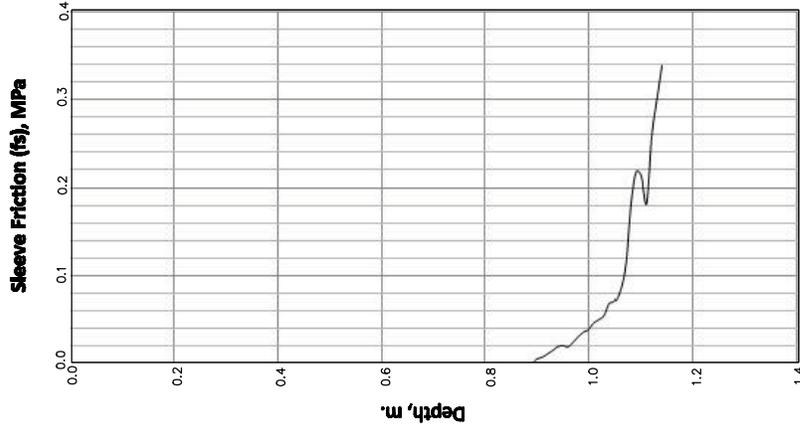
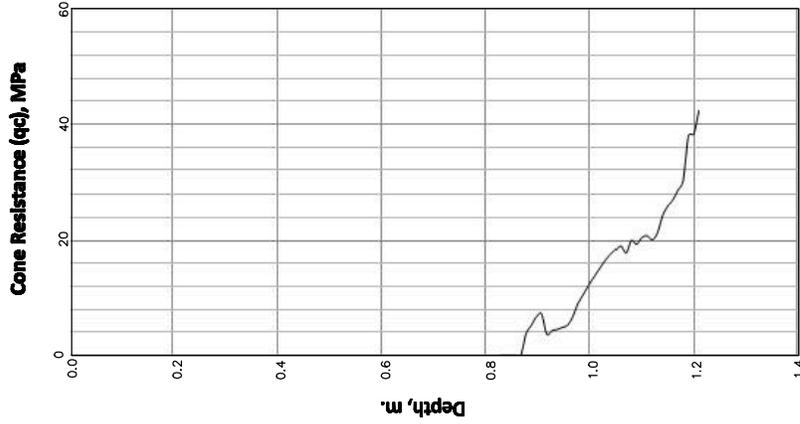
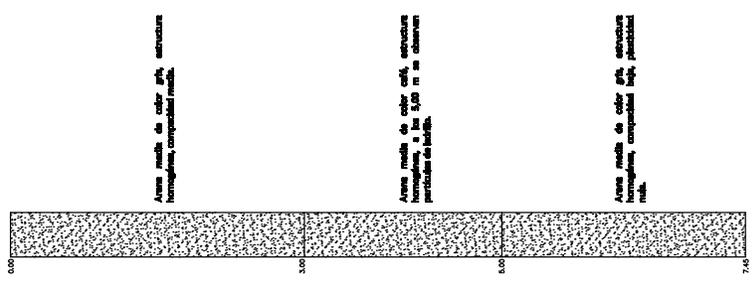
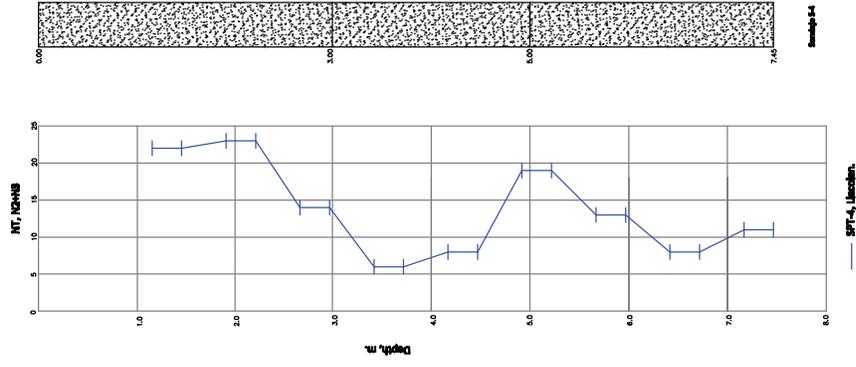
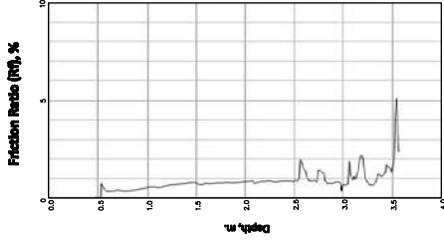
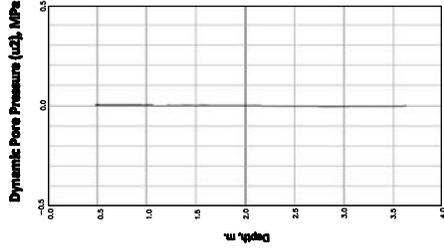
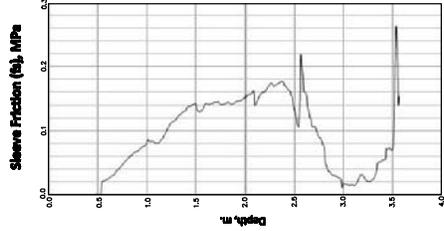
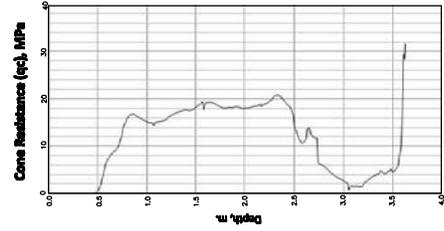


Figura 7: Superposición resultados ensayos CPT Puente Liacolén.



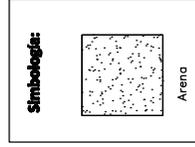
RESULTADOS CPT-9

ENSAYOS CPT – LLANCOLEN	
Diseñó: R.S.G.	Fecha: 19/04/2012.
Dibujó: T.R.R.	Fecha: 19/04/2012.
Revisó: R.O.P.	Fecha: 20/04/2012.
Aprobó: I.B.B.	Fecha: 20/04/2012.
Nombre Plano: Resultados Ensayos CPT 9	



RESULTADOS CPT-50

•Nota: El ensayo CPT finaliza a los 3.25 m, ya que la resistencia de punta sobrepasó los 30 MPa. Lo anterior se debe probablemente a que se hizo contacto con partículas de material granular grueso.



	ENSAYOS CPT, SPT – LLANCOLEN	
	Diseño: R.S.G.	Fecha: 19/04/2012
	Dibujó: T.R.R.	Fecha: 19/04/2012
	Revisó: R.O.P.	Fecha: 20/04/2012
Aprobó: I.B.B.		Fecha: 20/04/2012
Nombre Plano:		Resultados Ensayos
		CPT 10 y SPT 4

ANEXO D: MEDICIONES DE LA ENERGÍA DEL SPT, REALIZADAS DURANTE EL ESTUDIO DEL IDIEM (2012).

De acuerdo a la Norma ASTM D6066-11, la normalización de los valores de N_{SPT} al 60% de la energía se realiza con la siguiente ecuación:

$$N_{60} = N * \frac{ETR}{60} = N * \frac{EMX}{0,60 * E_{(t)}} \quad (AC.1)$$

donde:

N_{60} : Número de golpes de un martillo operando al 60% de eficiencia.

N: Numero de golpes de los últimos 30 cm de avance en el ensayo.

ETR: Proporción de energía transmitida, con respecto a la teórica.

EMX: Máxima energía transmitida, calculada a través de la medición de la fuerza y velocidad.

$E(t)$: Energía teórica, producto de una caída totalmente libre.

De los resultados de las mediciones de energía durante la ejecución de los ensayos SPT realizados por el IDIEM (2012), se obtuvo la mediana de los promedios de los ETR (%), de los ensayos donde se realizó la medición de la energía:

Sondaje	Puente	ETR ⁴¹ (%)	$C_E = ETR/60$
Z3-B1	Juan Pablo II	53,8	0,896
Z4-B1	Llacolén	64,3	1,071

⁴¹ Mediana de los promedios de los ETR (%), de los ensayos donde se realizó la medición de la energía

ANEXO E: PERFILES DE LICUEFACCION.

E.1 Puente Juan Pablo II.

E.1.1 Susceptibilidad de licuefacción de los suelos finos

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones	
Tramo Sur 1/2 (San Pedro)	S-15	10.00	11.00	23	ML	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*				
		11.00	12.00	22											
		12.00	13.00	19											
		13.00	14.00	9											
		22.00	23.00	25	s(ML)	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*					
	S-16	14.00	15.00	58	s(ML)	NP	50	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		19.00	20.00	20	s(ML)	NP	67	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		20.00	21.00	30											
		30.00	31.00	90	(ML)s	NP	40	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		31.00	32.00	69	(ML)s	NP	39	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
39.00	40.00	19													

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones											
Tramo Sur 2/2 (San Pedro)	S-10	10.00	11.00	70	s(CL)	9	52	32	1.6	No susceptible	Susceptible	3.2	7.19E-05	Nspt alto para la relación wc>LL											
		11.00	12.00	11																					
		12.00	13.00	26																					
		21.00	22.00	78	s(ML)	NP	43	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		22.00	23.00	23																					
		23.00	24.00	21																					
		24.00	25.00	25																					
	25.00	26.00	37																						
	S-1	4.00	5.00	12	(ML)s	NP	40	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		8.00	9.00	36	ML	NP	58	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		11.00	12.00	46	s(ML)	NP	20	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		13.00	14.00	88	s(ML)	NP	22	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		14.00	15.00	22	ML	NP	43	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		15.00	16.00	52	s(ML)	NP	26	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		23.00	24.00	100																					
		24.00	25.00	29																					
		25.00	26.00	67	s(ML)	2	30	23	1.3	Susceptible	Susceptible	Susceptible													
		30.00	31.00	71																					
		31.00	32.00	55																					
		34.00	35.00	29												ML	NP	54	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible		
35.00		36.00	40	ML												NP	32	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
36.00	37.00	62	ML	NP	32	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible															
38.00	39.00	58																							

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones	
Tramo Sur 2/2 (San Pedro)	S-11	7.00	8.00	23	s(ML)	NP	33	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		8.00	9.00	18											
		9.00	10.00	27											
		10.00	11.00	33											
		11.00	12.00	14											
		12.00	13.00	32	s(CL)	8	58	29	2.0	No susceptible	Susceptible	Se considero susceptible para el análisis (**)	5	1.12E-07	Nspt alto para la relación wc>LL
		13.00	14.00	11											
		14.00	15.00	19											
		18.00	19.00	8	(ML)s	NP	49	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		19.00	20.00	17											
		23.00	24.00	75	s(ML)	NP	14	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		24.00	25.00	91											
		25.00	26.00	68											
		26.00	27.00	21											
		27.00	28.00	47											
		28.00	29.00	60											
		29.00	30.00	66											
		33.00	34.00	32	(CL-ML)s	6	35	25	1.4	No susceptible	Susceptible	Se considero susceptible para el análisis (**)	3	9.28E-04	Nspt alto para la relación wc>LL
	34.00	35.00	29												
	S-12	6.00	7.00	24	s(ML)	NP	42	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		11.00	12.00	85	(ML)s	NP	63	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		17.00	18.00	40	s(ML)	NP	38	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
18.00		19.00	54												
19.00		20.00	46	(ML)s	NP	42	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
20.00		21.00	17												
21.00		22.00	97												
26.00		27.00	92	s(ML)	NP	47	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
27.00		28.00	55												
36.00		37.00	65	ML	nd	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*				
37.00	38.00	99													

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones		
Tramo Central	S-8	10.55	11.55	43	CL	12	65	30	2	No susceptible	Susceptible	4	2.94E-06	Se considero susceptible para el análisis (**) Nspt alto para la relación wc>LL		
		11.55	12.55	51												
		12.55	13.55	11	ML	NP	35	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		13.55	14.55	15												
		14.55	15.55	49												
		15.55	16.55	42												
		16.55	17.55	47	ML	NP	89	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		19.55	20.55	57												
		35.55	36.55	61	(ML)s	NP	29	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		36.55	37.55	38												
	37.55	38.55	69													
	38.55	39.55	100													
	S-2	7.00	8.00	44	ML	NP	29	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		8.00	9.00	100	CL	18	61	42	1.5	No susceptible	No Aplica B&S (2006)	Criterio ingenieril	2.1	1.55E-02	Nspt alto para la relación wc>LL	
		9.00	10.00	55												
		12.00	13.00	24	ML	NP	30	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		13.00	14.00	11												
		14.00	15.00	25												
15.00		16.00	32													
16.00		17.00	15													
17.00	18.00	17														

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones	
Tramo Central	S-9	7.00	8.00	31	ML	NP	30	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		8.00	9.00	15		NP	48	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		9.00	10.00	1											
		10.00	11.00	63											
		14.00	15.00	32	ML	MP	25	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		15.00	16.00	37											
		16.00	17.00	24											
		17.00	18.00	30											
		18.00	19.00	42											
		19.00	20.00	31											
		24.00	25.00	97	s(ML)	NP	30.00	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		25.00	26.00	44											
		26.00	27.00	90											
		27.00	28.00	95											
		28.00	29.00	78											
		29.00	30.00	15											
		30.00	31.00	27											
		31.00	32.00	37											
		32.00	33.00	54		NP	23.00	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		33.00	34.00	34	(ML)s	NP	29	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
34.00	35.00	21													
35.00	36.00	59													
36.00	37.00	88													
39.00	40.00	70	(ML)s	NP	32.00	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible					
40.00	41.00	92													

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones
Tramo Norte 1/2 (Concepción)	S-6	13.00	14.00	11	CL-ML	6	45	24	1.9	No susceptible	Susceptible	4.5	2.00E-07	Nspt alto para la relación wc>LL
		14.00	15.00	15										
		24.00	25.00	27	CL-ML	6	35	24	1.5	No susceptible	Susceptible	2.8	4.31E-04	Nspt alto para la relación wc>LL
		25.00	26.00	39										
		26.00	27.00	23										
		27.00	28.00	34										
		28.00	29.00	13										
		29.00	30.00	17										
		30.00	31.00	22										
		31.00	32.00	38										
		32.00	33.00	25	CL	7	32	24	1.3	No susceptible	Susceptible	2.1	1.04E-02	Nspt alto para la relación wc>LL
		37.00	38.00	38										
		38.00	39.00	69										
		39.00	40.00	100										
		40.00	41.00	40										

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones	
Tramo Norte 1/2 (Concepción)	S-3	7.00	8.00	19	s(ML)	NP	32	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		8.00	9.00	14											
		9.00	10.00	25											
		10.00	11.00	34											
		11.00	12.00	14	ML	NP	41	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		12.00	13.00	25											
		13.00	14.00	55	CL	18	59	24	2.5	No susceptible	No Aplica B&S (2006)	Criterio ingenieril	2.9	2.58E-04	Nspt alto para la relación $wc > LL$
		22.00	23.00	63	ML	NP	33	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		23.00	24.00	64											
		24.00	25.00	65	(ML)s	NP	33	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		25.00	26.00	12	ML	NP	37	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		26.00	27.00	22											
		27.00	28.00	17											
		28.00	29.00	17											
		29.00	30.00	54											
		30.00	31.00	51											
		33.00	34.00	16	ML	NP	34	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		34.00	35.00	23											
		35.00	36.00	23											
		36.00	37.00	22											
37.00	38.00	77													
38.00	39.00	100													
40.00	41.00	91	s(ML)	NP	28	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible					

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones		
Tramo Norte 1/2 (Concepción)	S-7	5.00	6.00	56	ML	NP	31	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		6.00	7.00	49												
		7.00	8.00	31												
		8.00	9.00	6												
		9.00	10.00	17												
		10.00	11.00	1	CL-ML	6	76	24	3.2	No susceptible	Susceptible	Se considero susceptible para el análisis (**)	9.7	9.28E-18	Nspt coherente con la relación wc>LL	
		11.00	12.00	3												
		12.00	13.00	40												
		13.00	14.00	60	s(ML)	NP	29	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		14.00	15.00	37												
		15.00	16.00	42												
		16.00	17.00	70												
		17.00	18.00	75												
		18.00	19.00	69												
		19.00	20.00	87												
		20.00	21.00	24												
		21.00	22.00	33												
		22.00	23.00	34												
		23.00	24.00	27												
		24.00	25.00	7	CL-ML	5	33	23	1.4	No susceptible	Susceptible	Se considero susceptible para el análisis (**)	3.0	2.00E-04	Nspt coherente con la relación wc>LL	
		25.00	26.00	84												
		27.00	28.00	33	(ML)s	NP	27	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
		28.00	29.00	39												
		29.00	30.00	19												
		30.00	31.00	38												
		31.00	32.00	38												
		32.00	33.00	88												
		36.00	37.00	27	s(ML)	NP	29	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
37.00	38.00	62														
38.00	39.00	60	ML	NP	43	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible						
39.00	40.00	57														
40.00	41.00	36														

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones	
Tramo Norte 2/2 (Concepción)	S-5	7.00	8.00	47	ML	NP	31	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		8.00	9.00	33											
		9.00	10.00	17											
		10.00	11.00	31											
		11.00	12.00	45	1	50	20	3	Susceptible	Susceptible	Susceptible	31.0	2.00E-60	Nspt alto para la relación wc>LL	
		20.00	21.00	28	CL-ML	5	32	24	1.3	No susceptible	Susceptible	Se considero susceptible para el análisis (**)	2.6	1.26E-03	Nspt alto para la relación wc>LL
		21.00	22.00	15											
		22.00	23.00	18											
		23.00	24.00	75	s(ML)	NP	5	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		24.00	25.00	40											
		28.00	29.00	51	s(ML)	NP	28	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
		29.00	30.00	57											
		30.00	31.00	100											
		36.00	37.00	59	ML	NP	36	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
	37.00	38.00	58												
	38.00	39.00	21												
	39.00	40.00	31												
	40.00	41.00	32												
	S-4	5.00	6.00	28	s(ML)	NP	29	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible			
			6.00	7.00											
		7.00	8.00	11	CL-ML	5	41	26	1.6	No susceptible	Susceptible	Se considero susceptible para el análisis (**)	4.0	2.00E-06	Nspt alto para la relación wc>LL
		8.00	9.00	13											
		9.00	10.00	55											
		10.00	11.00	10											
		16.00	17.00	35	ML	3	43	25	2	Susceptible	Susceptible	Susceptible	7.0	2.00E-12	Nspt alto para la relación wc>LL
		17.00	18.00	17											
		18.00	19.00	39											
		19.00	20.00	37											
20.00		21.00	37												
24.00		25.00	81	s(ML)	NP	25	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible				
25.00		26.00	81												
26.00		27.00	79												
34.00	35.00	80	s(ML)	NP	30	NP	NA	Susceptible	Susceptible	Susceptible					
35.00	36.00	79													
36.00	37.00	36													
37.00	38.00	72													
38.00	39.00	103													

Tramo	Perf.	Prof. (m)	N (golpes/pie)	Clasificación	IP	wc	LL	wc/LL	B&I(2006)	B&S(2006)	CONCLUSION	IL	cu (kPa)	Observaciones
Tramo Norte 2/2 (Concepción)	S-13	14.00	15.00	32	s(ML)	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*			
		15.00	16.00	42										
		16.00	17.00	56										
		19.00	20.00	7	ML	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*			
		20.00	21.00	7										
		21.00	22.00	4										
		26.00	27.00	7	ML	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*			
		27.00	28.00	9										
		28.00	29.00	14										
	32.00	33.00	83	s(ML)	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*				
	S-14	12.00	13.00	46	ML	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*			
		13.00	14.00	43										
		14.00	15.00	46										
		15.00	16.00	19	CL-ML	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*			
		16.00	17.00	20										
		17.00	18.00	4										
		18.00	19.00	50										
		21.00	22.00	10	ML	nd	nd	nd	Susceptible*	Susceptible*	Susceptible*			
		22.00	23.00	33										
		23.00	24.00	18										
24.00		25.00	23											
25.00	26.00	26												

Leyenda:

IP: Índice de Plasticidad [%]

wc: Contenido de humedad [%]

LL: Limite Liquido [%]

nd: información no disponible

NP: No Plástico

B&I (2006): Boulanger e Idriss (2006).

Susceptible: suelos finos que muestran comportamiento de arena, cuyo $IP < 3$, pueden ser considerados susceptibles de licuar y su resistencia cíclica (CRR) podrá ser estimada a partir de correlaciones de SPT y CPT.

Comportamiento intermedio o de transición: suelos finos, cuyo $3 < IP < 6$, la resistencia cíclica (CRR) debe ser evaluada a través de ensayos de laboratorio, los cuales proveerán mejores resultados que las correlaciones de SPT y CPT.

No Susceptible: suelos finos que muestran comportamiento de arcilla, pues su $IP > 7$ (CL) o $IP \geq 5$ (CL-ML), y su resistencia cíclica (CRR) debe ser evaluada a través de ensayos en sitio, ensayos de laboratorio y correlaciones empíricas.

Susceptible*: dada falta de información se asumió la condición mas desfavorable. B&I(2006)

B&S(2006): Bray y Sancio (2006)

Susceptible: los suelos finos, pueden ser considerado susceptibles de licuar, si: $IP < 12$ y $wc/LL > 0,85$. Y moderadamente susceptibles, si: $12 < IP < 18$ y $0,80 < wc/LL < 0,85$; en este caso se debe establecer la susceptibilidad a través de ensayos de laboratorio.

Susceptible*: dada falta de información se asumió la condición mas desfavorable. B&S(2006)

CONC

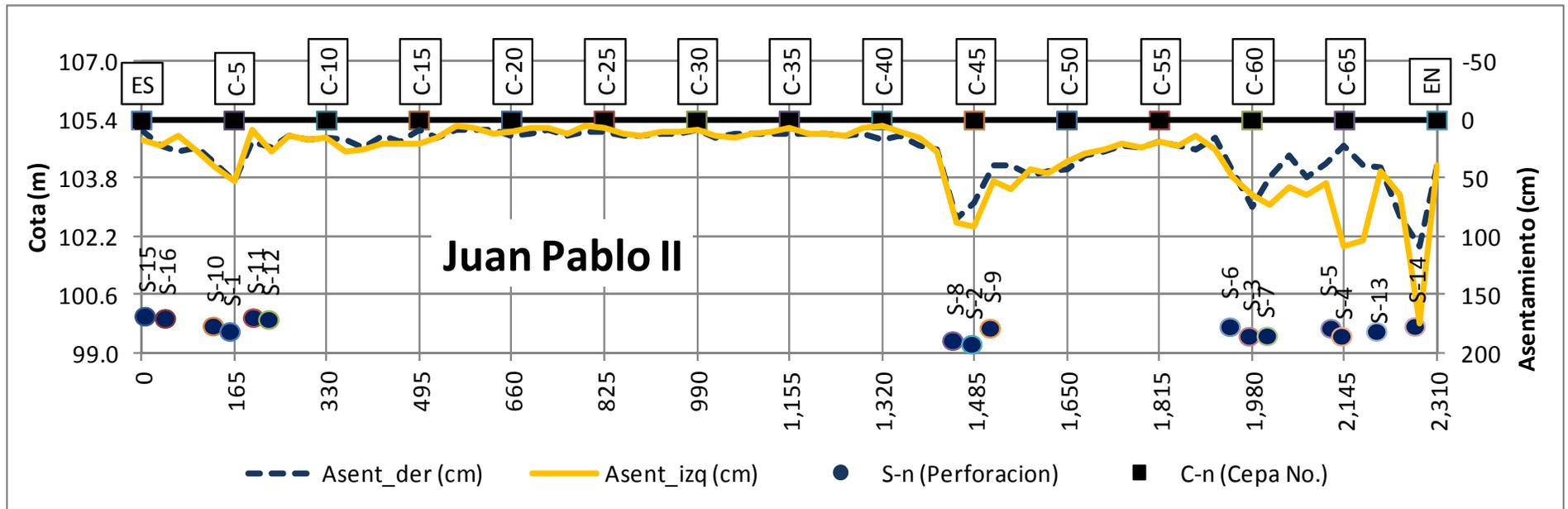
Se considero susceptible para el análisis ():** por tener un alto IL ($wc > LL$), de acuerdo a Muir (1990) se puede esperar en una resistencia al corte (c_u) muy baja.

Criterio Ingenieril: Se debe aplicar criterio ingenieril, si bien no califica como susceptible de licuar, se presume de resistencia al corte muy baja (Muir, 1990), pero con un valor N_{spt} alto. La resistencia a la licuefacción (CRR) debería ser evaluada a través de ensayos de laboratorio o ensayos en sitio.

IL: Índice de Liquidez [%]; $IL = (wc - (LL - IP)) / (LL - IP)$; ec 9.12, Muir (1990)

cu: Resistencia al corte no drenada; $c_u = 2 \times 100^{(1 - IL)}$; ec 9.20, Muir (1990)

E.1.2 Perfil de Licuefacción



Leyenda

Estrato que licua, cuyo FS=1 o PL=80 a 100%, para $a_{max}=0.4g, 0.3g$ y $0.2g$

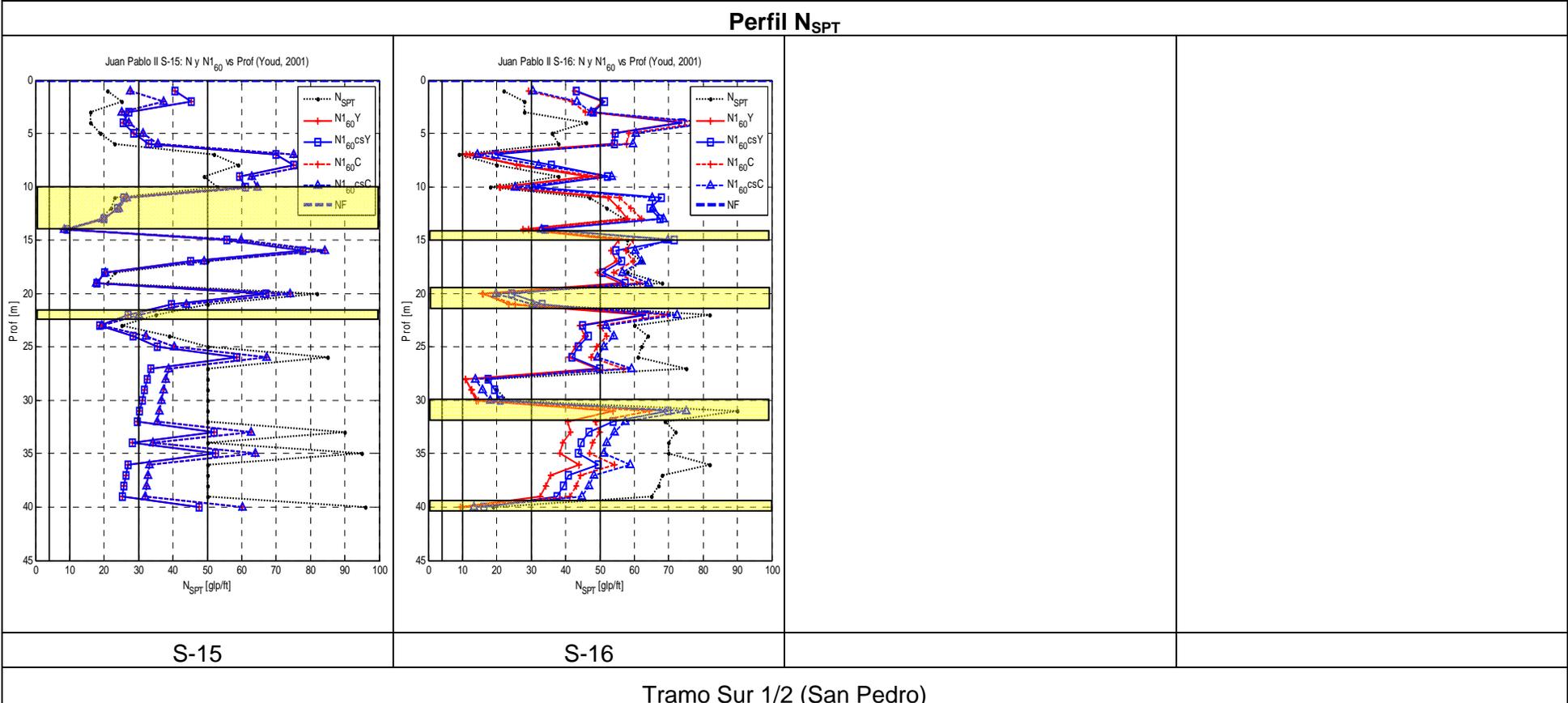
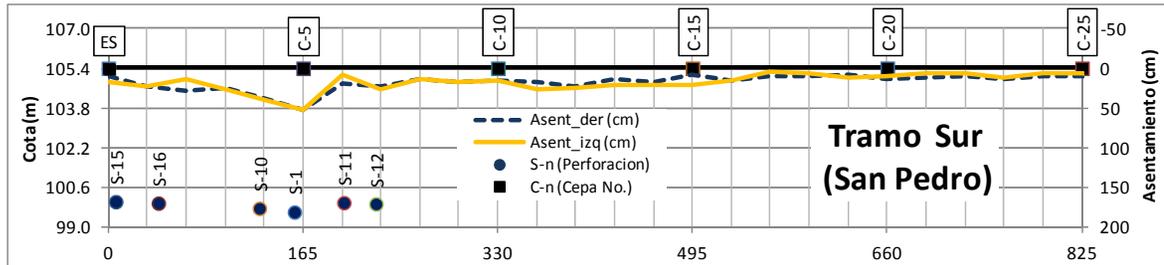
Estrato de grano fino susceptible de licuar, según lo descrito en la Sección 4.2.6.a

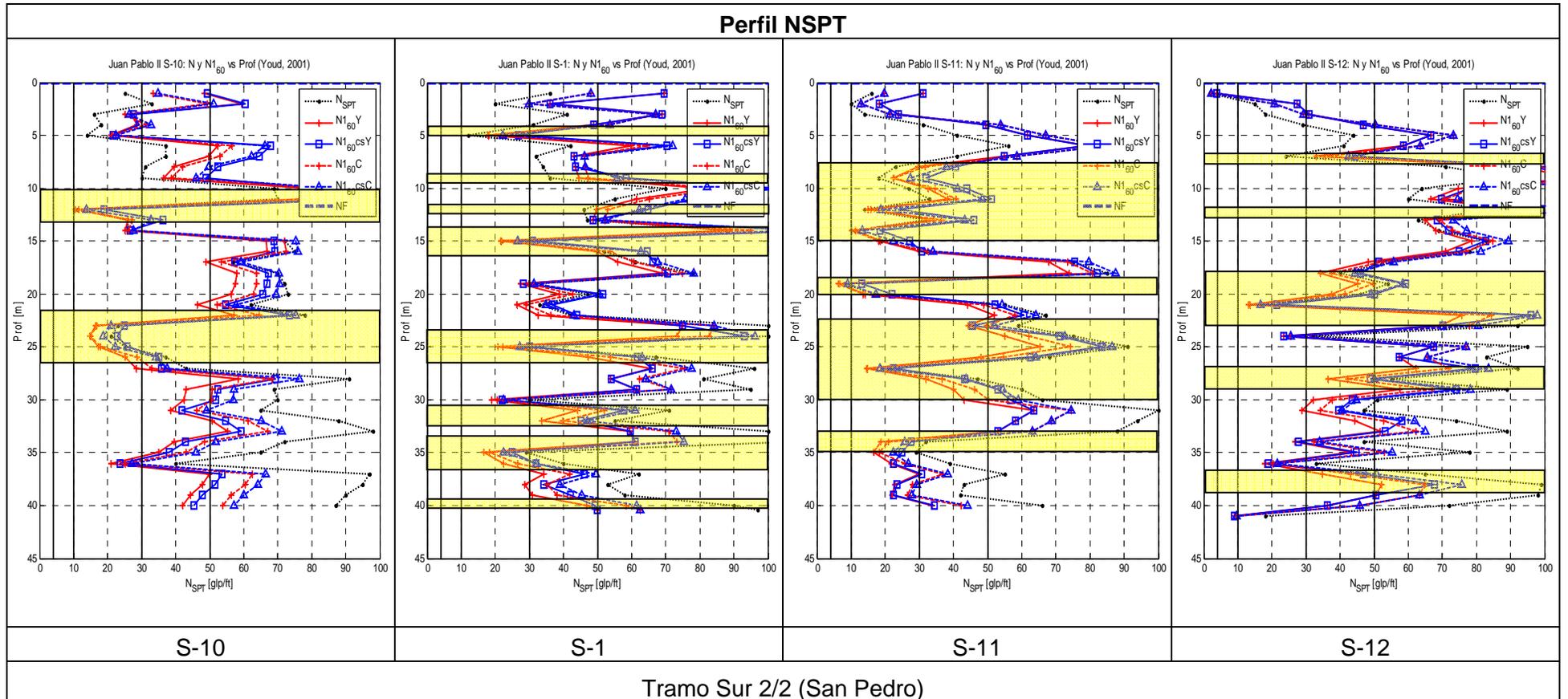
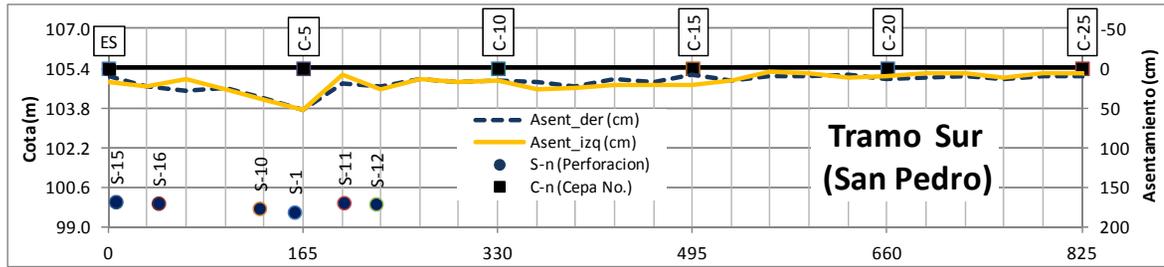
Estrato de grano fino susceptible de licuar, que licua, cuyo FS=1 o PL=80 a 100%, para $a_{max}=0.4g, 0.3g$ y $0.2g$

Estrato que licua, cuyo FS=1 o PL=80 a 100%, para $a_{max}=0.4g$ y/o $0.3g$

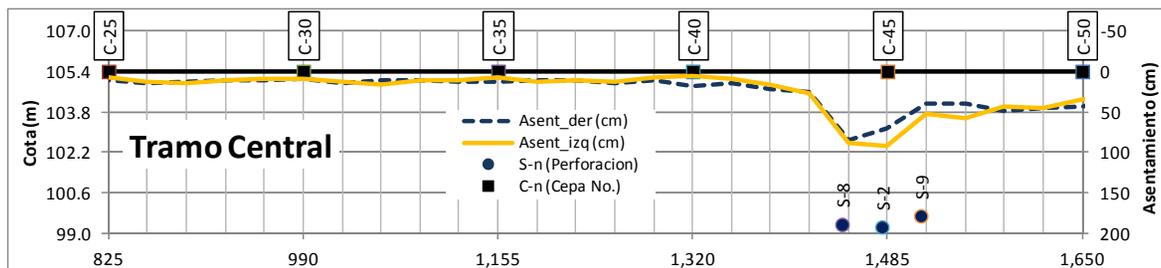
Estrato de grano fino susceptible de licuar, que licua, cuyo FS=1 o PL=80 a 100%, para $a_{max}=0.4g$ y/o $0.3g$

Criterio ingenieril: estrato de grano fino, que no califica como susceptible de licuar y se presume de resistencia al corte muy baja (Muir, 1990), pero con un valor N_{sPT} alto. La resistencia a la licuefacción (CRR) debería ser evaluada a través de ensayos de laboratorio o ensayos en sitio.

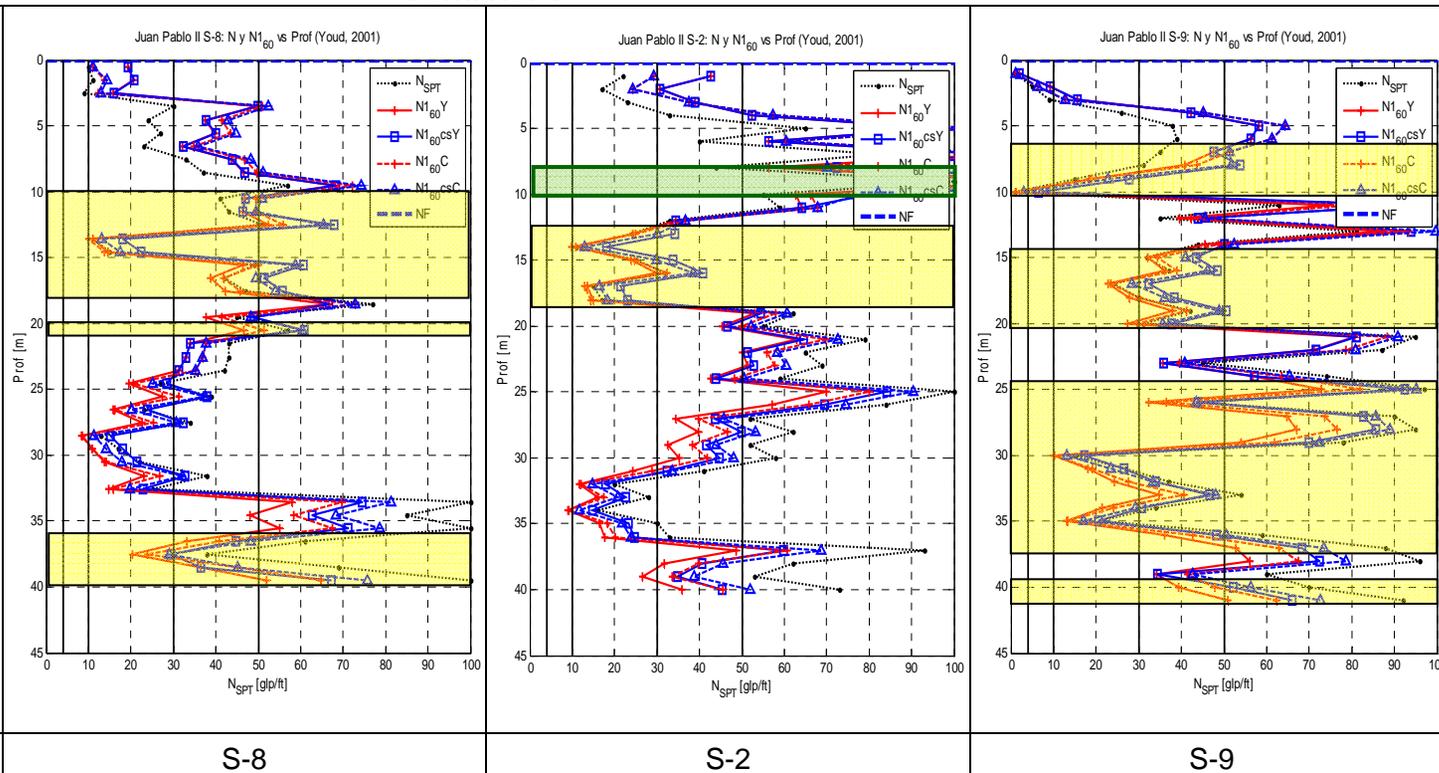




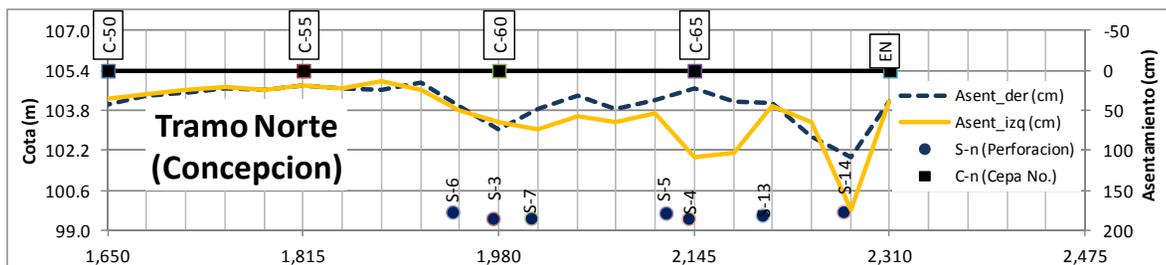
Tramo Sur 2/2 (San Pedro)



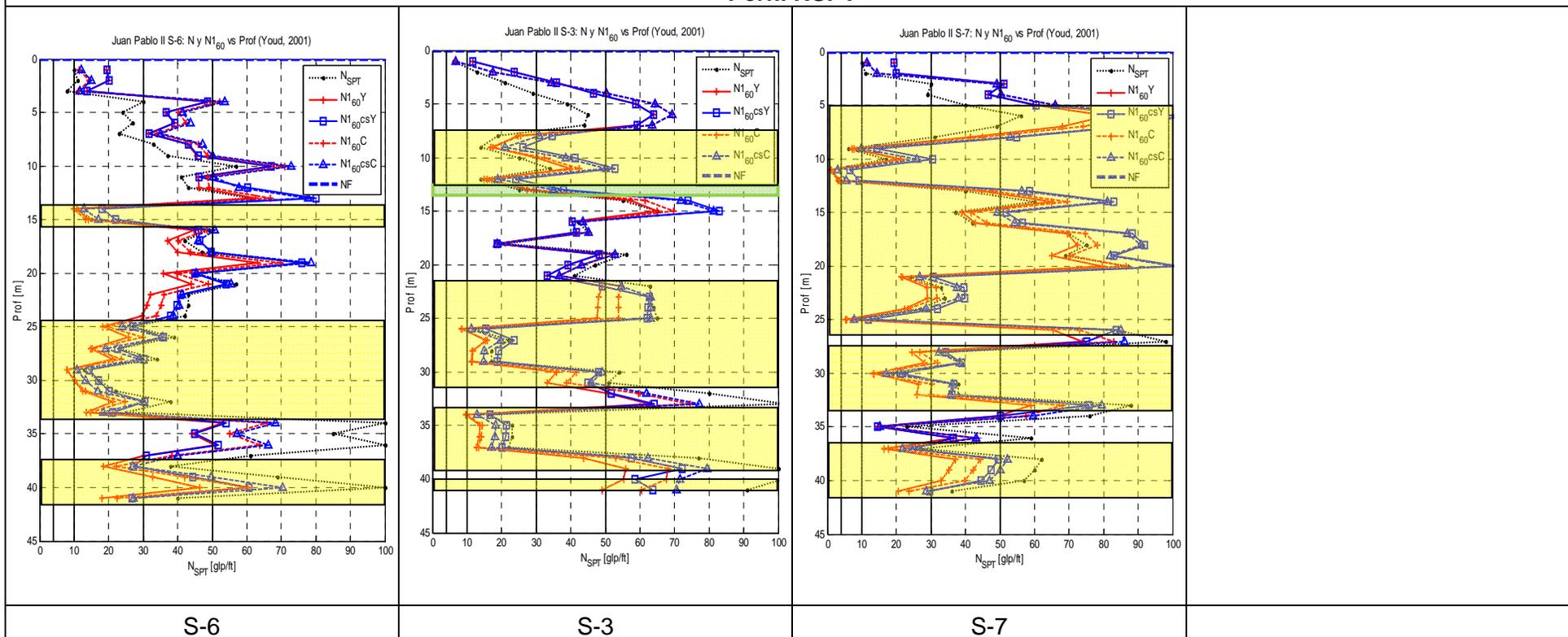
Perfil NSPT



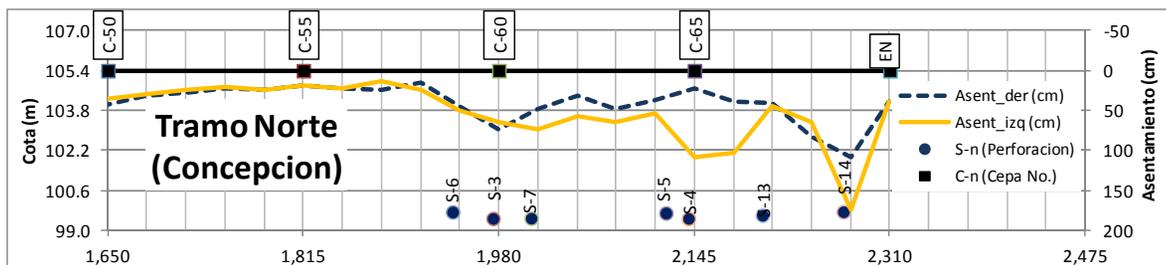
Tramo Central



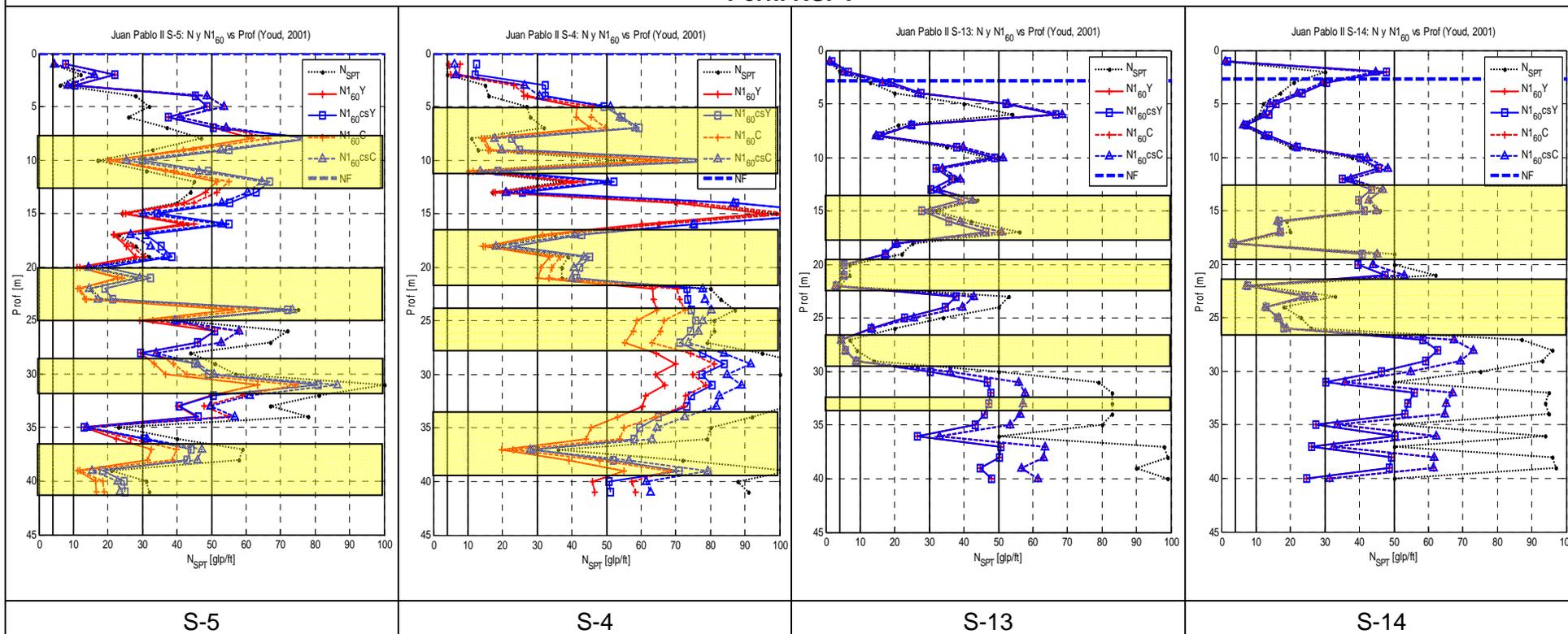
Perfil NSPT



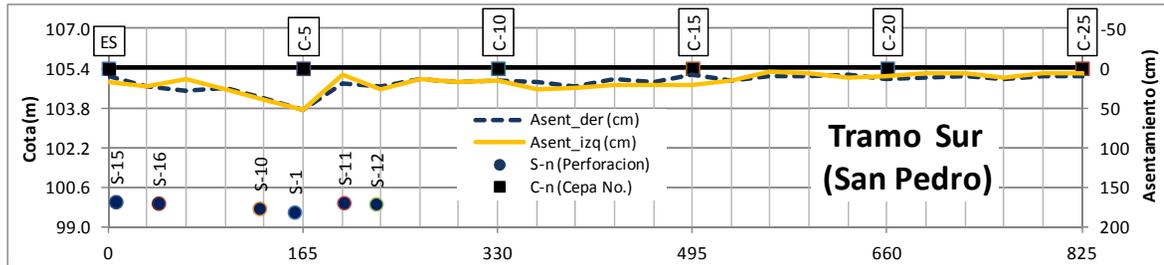
Tramo Norte 1/2 (Concepción)



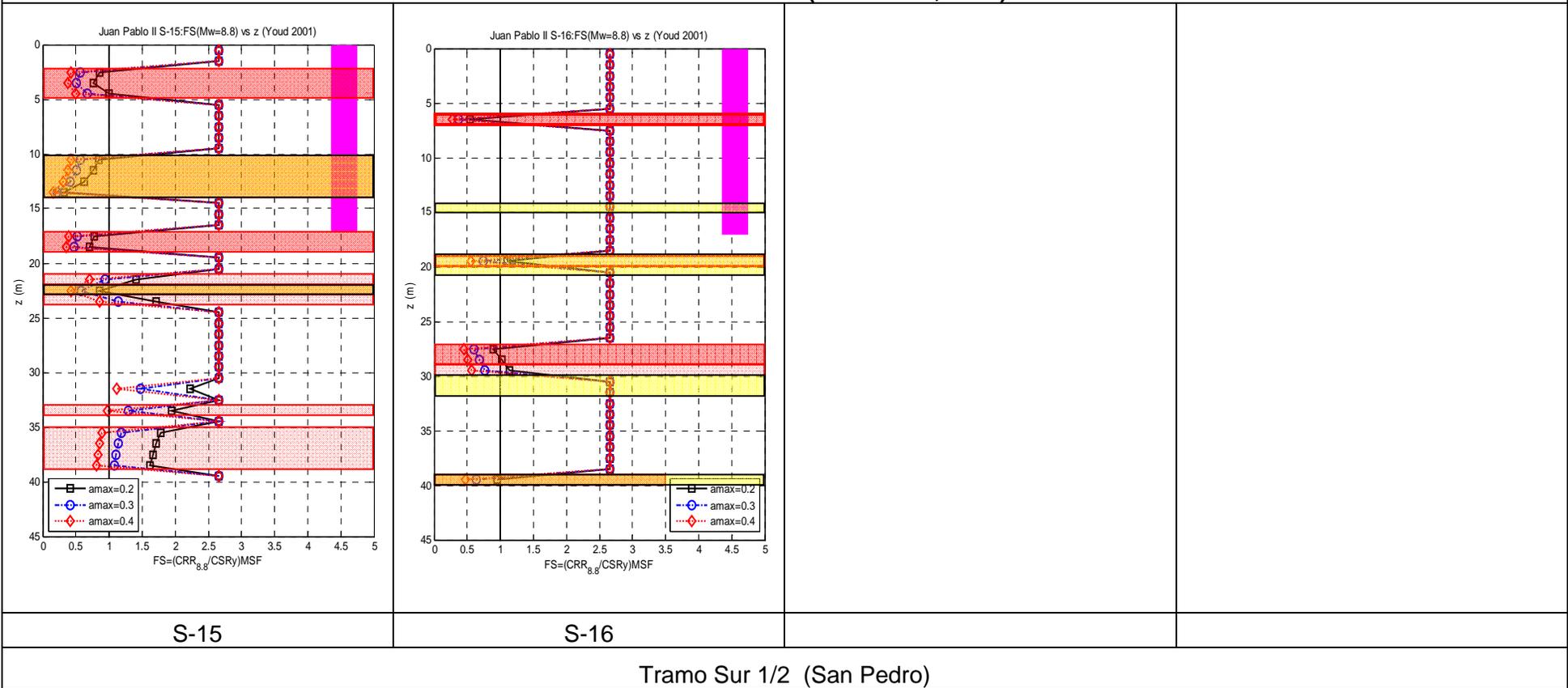
Perfil NSPT

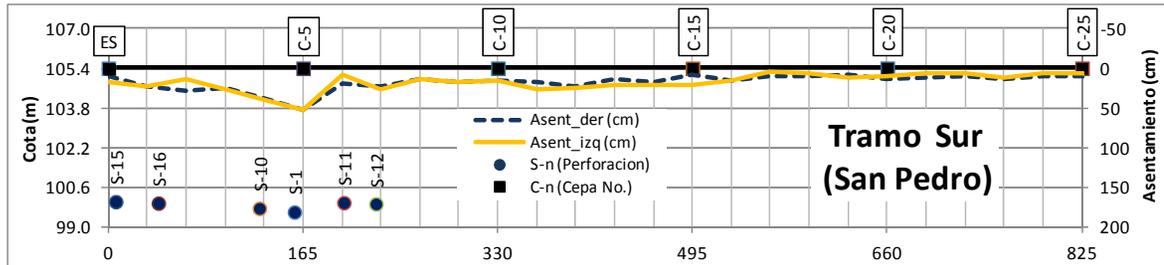


Tramo Norte 2/2 (Concepción)

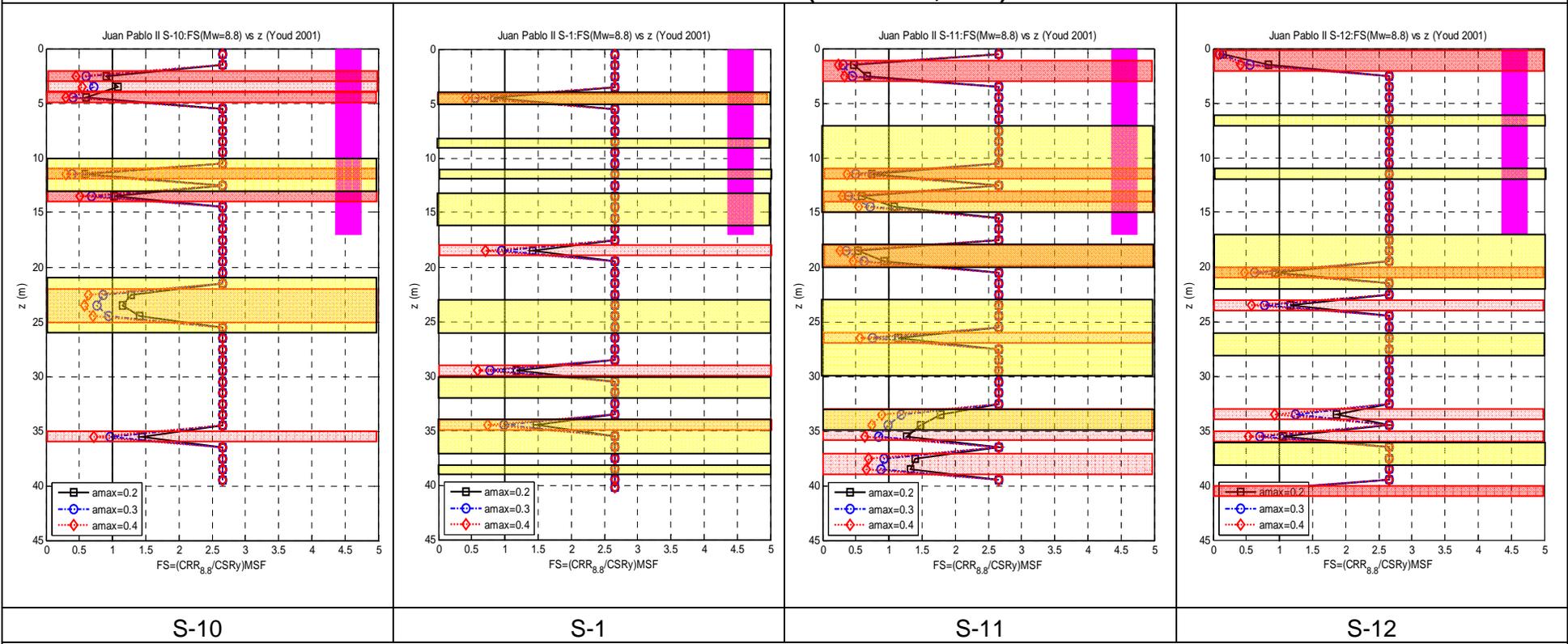


Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001)

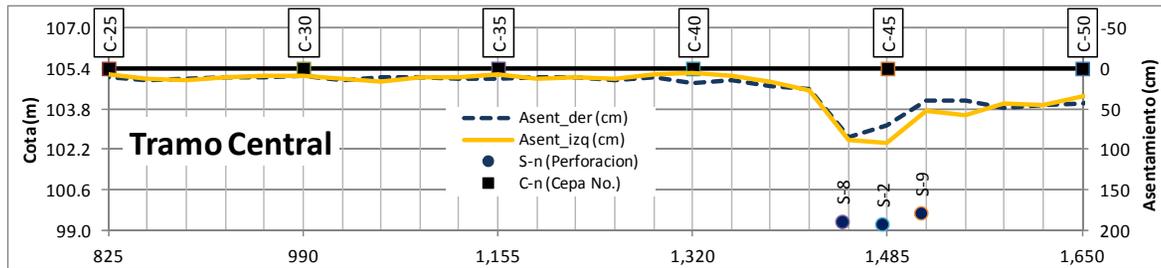




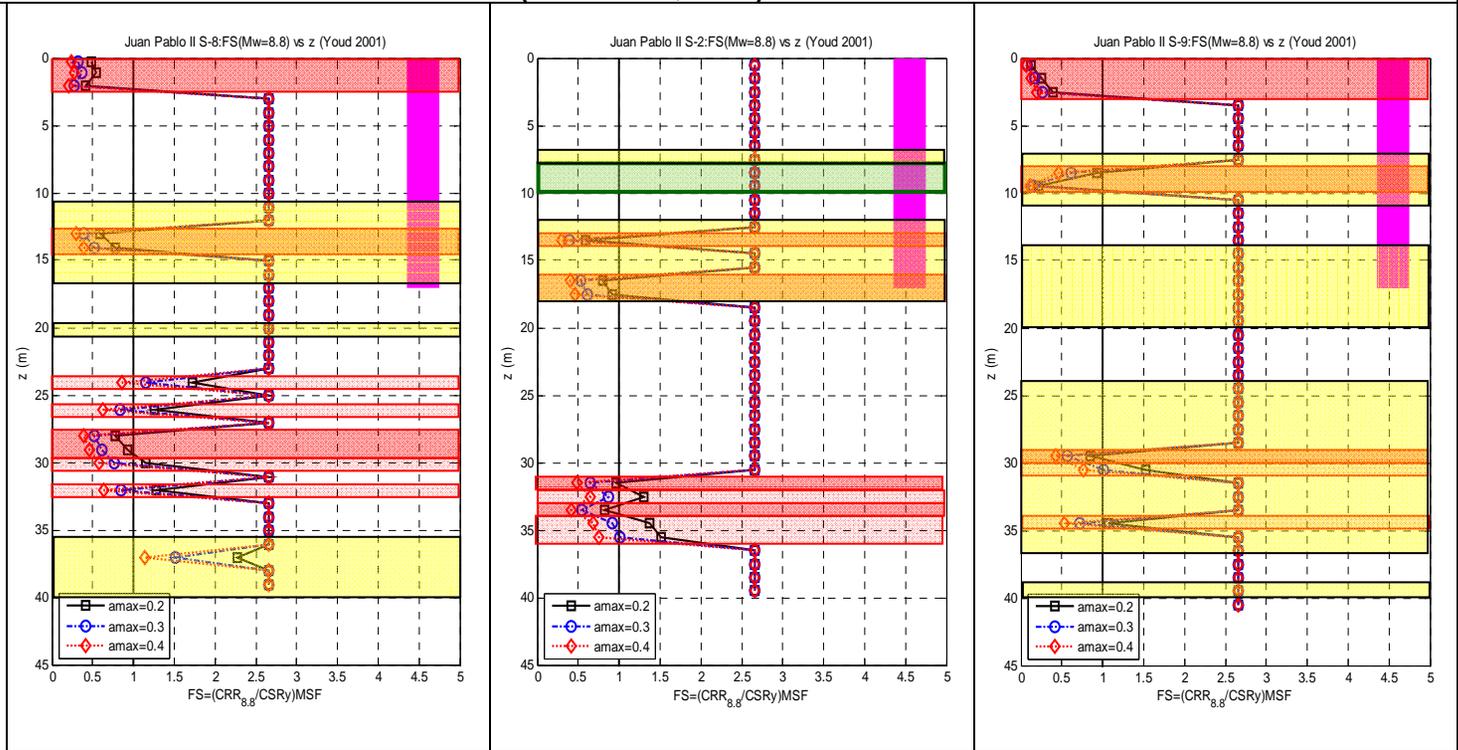
Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001)



Tramo Sur 2/2 (San Pedro)



Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001)

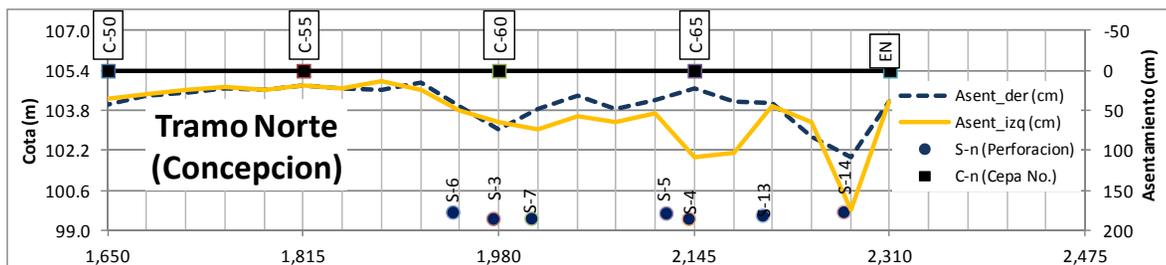


S-8

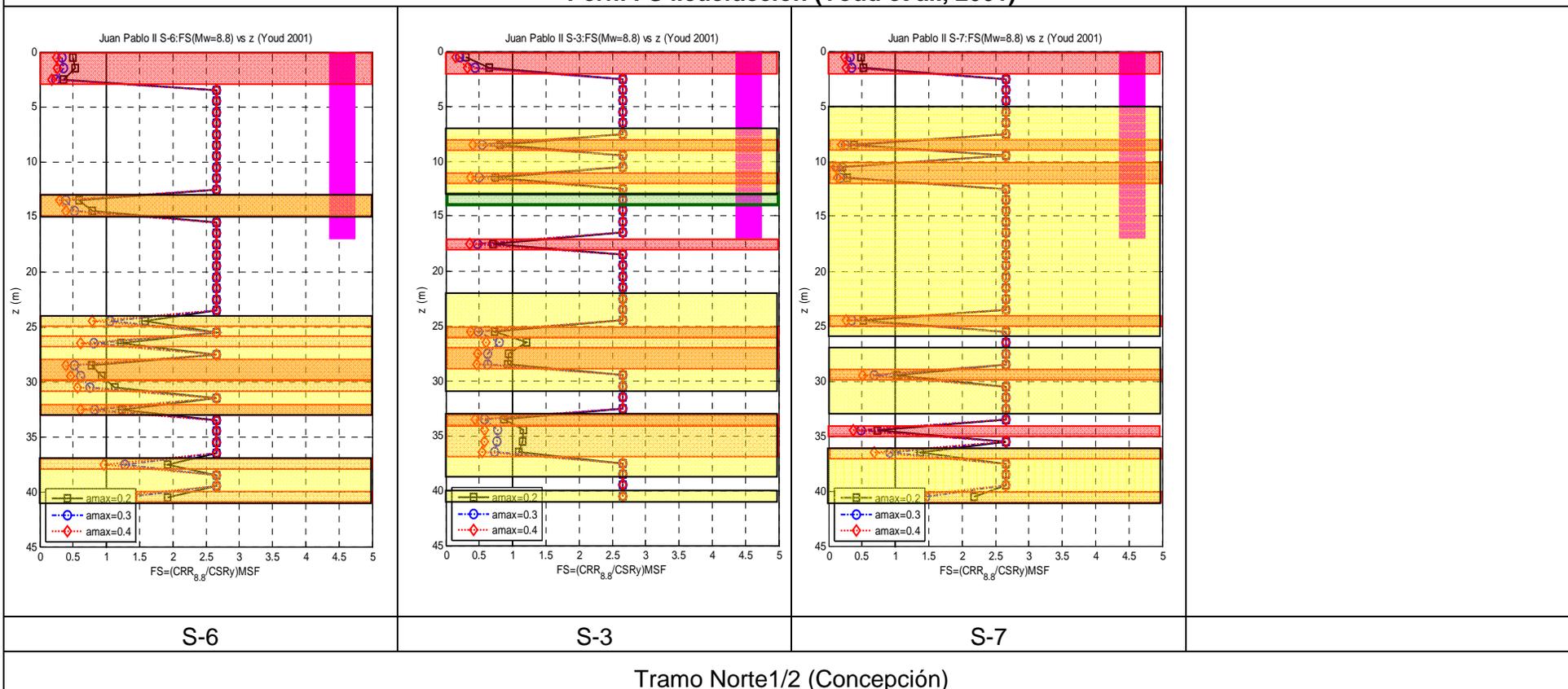
S-2

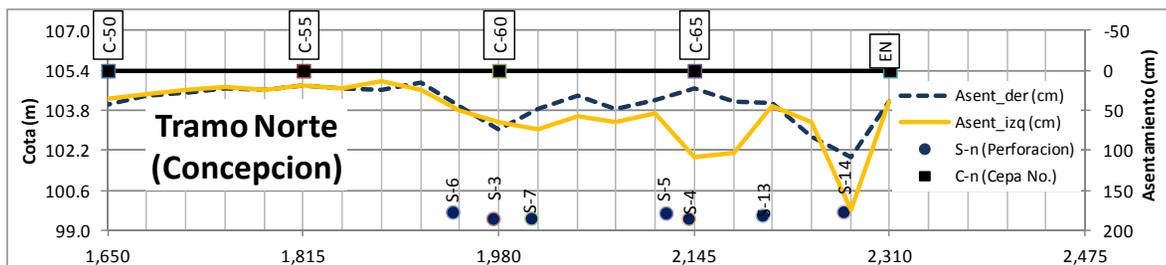
S-9

Tramo Central

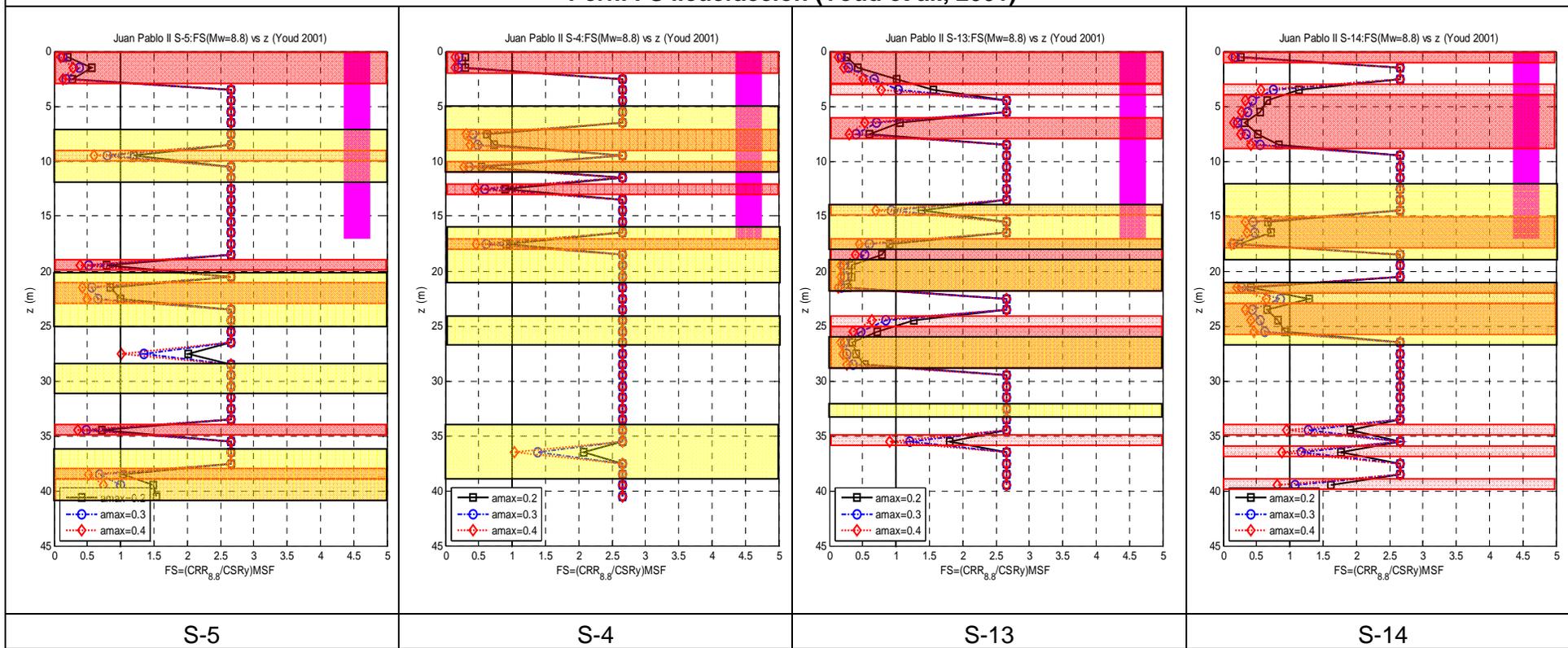


Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001)

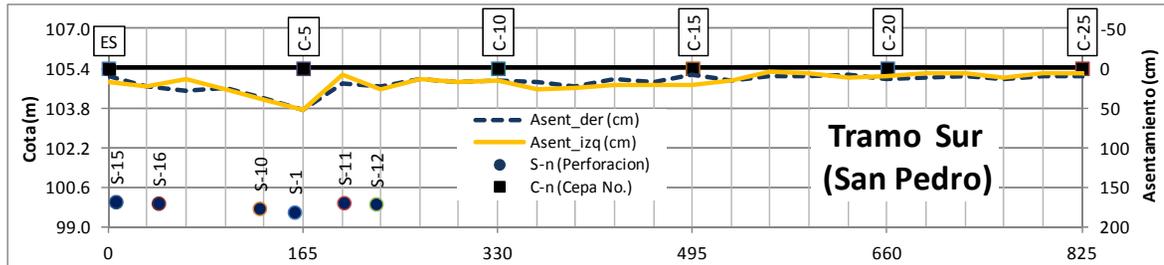




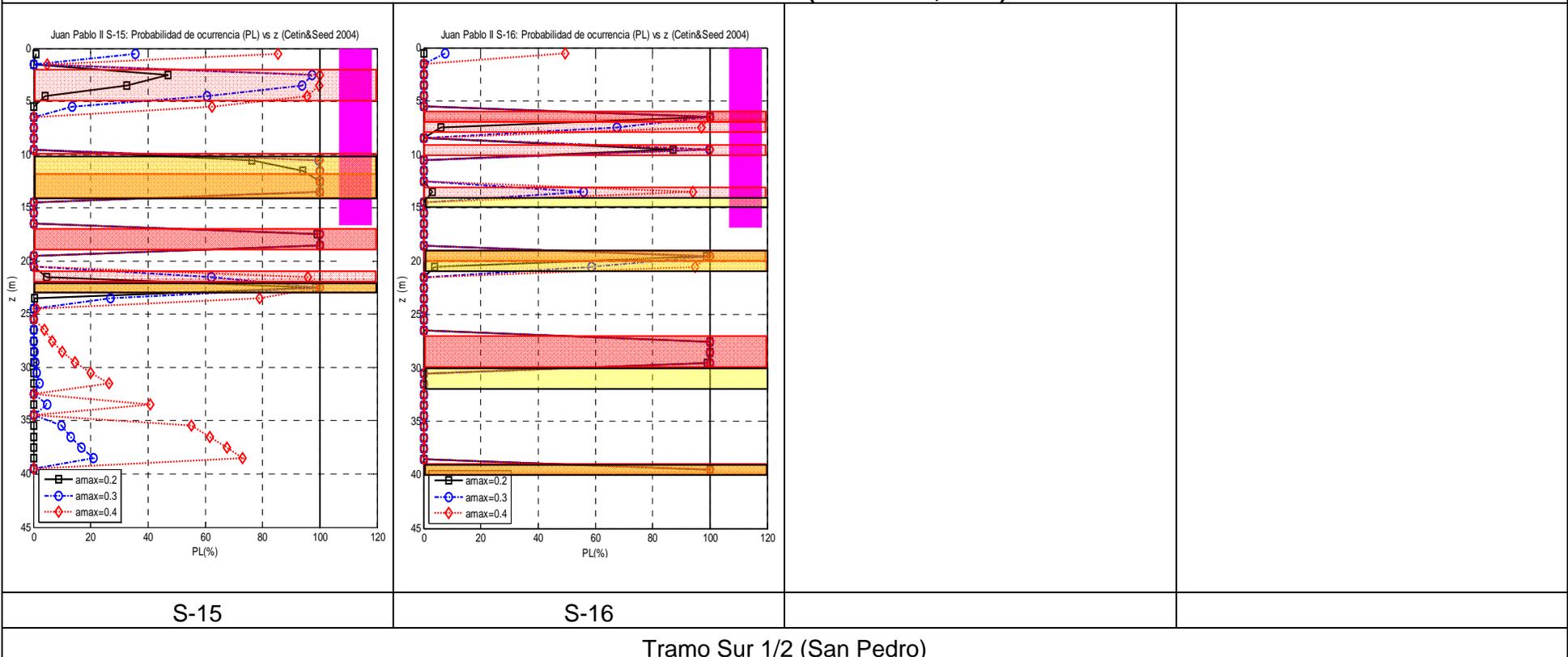
Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001)



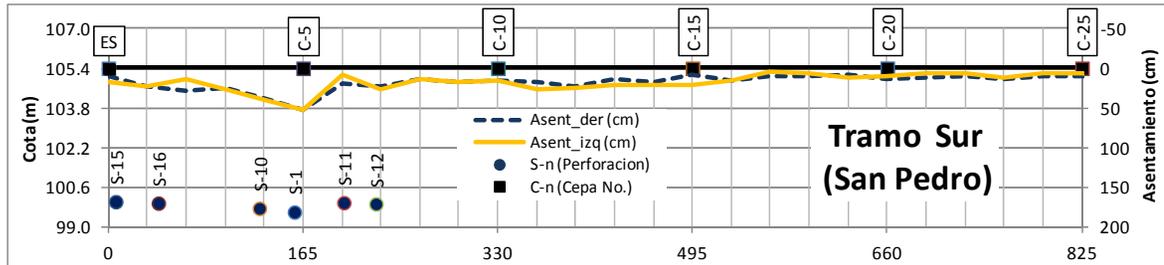
Tramo Norte 2/2 (Concepcion)



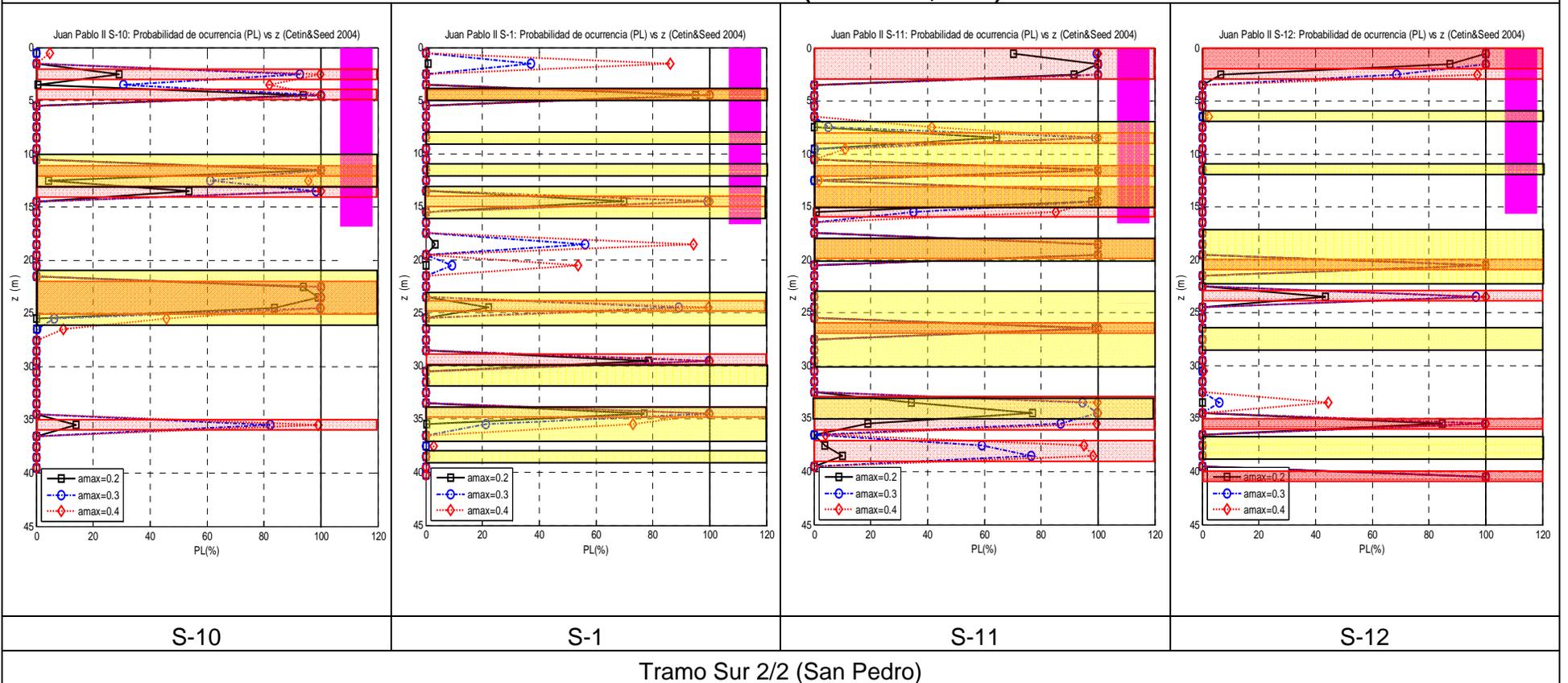
Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004)

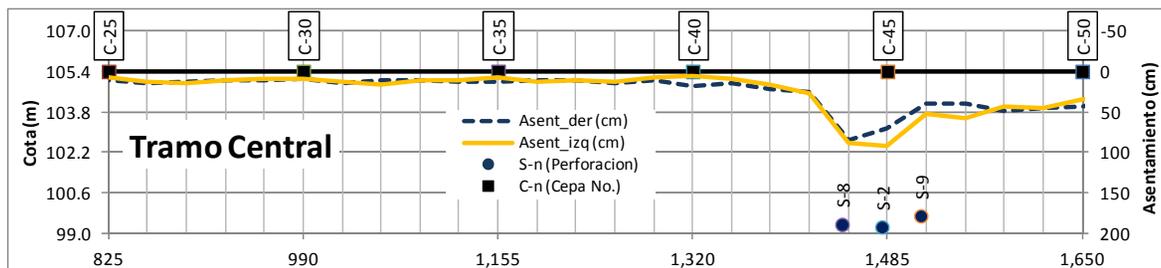


Tramo Sur 1/2 (San Pedro)

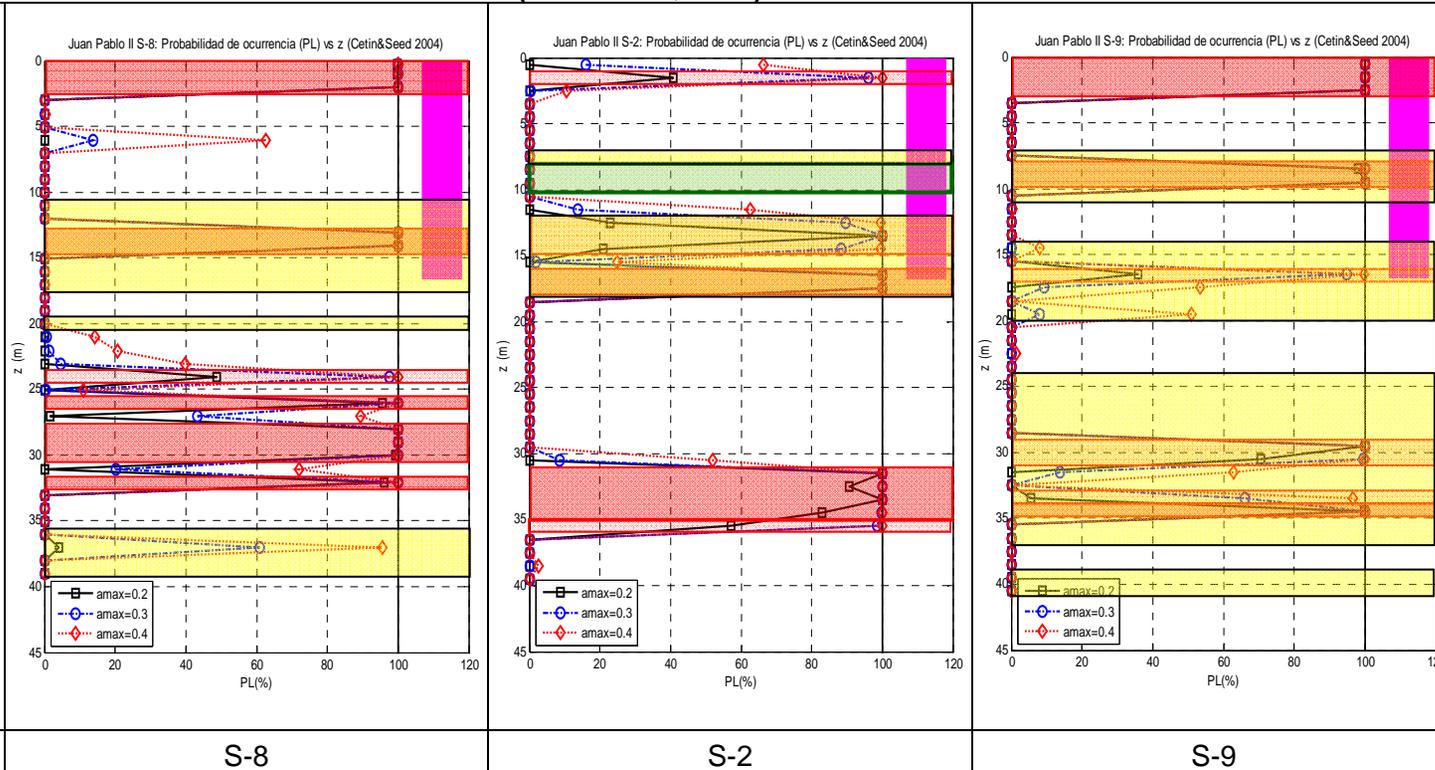


Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004)

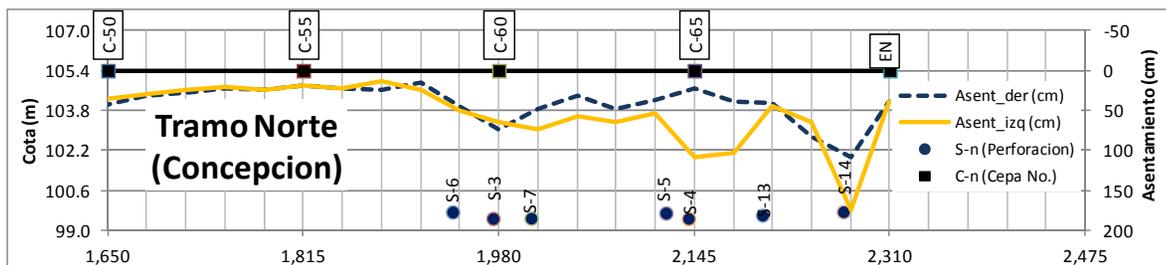




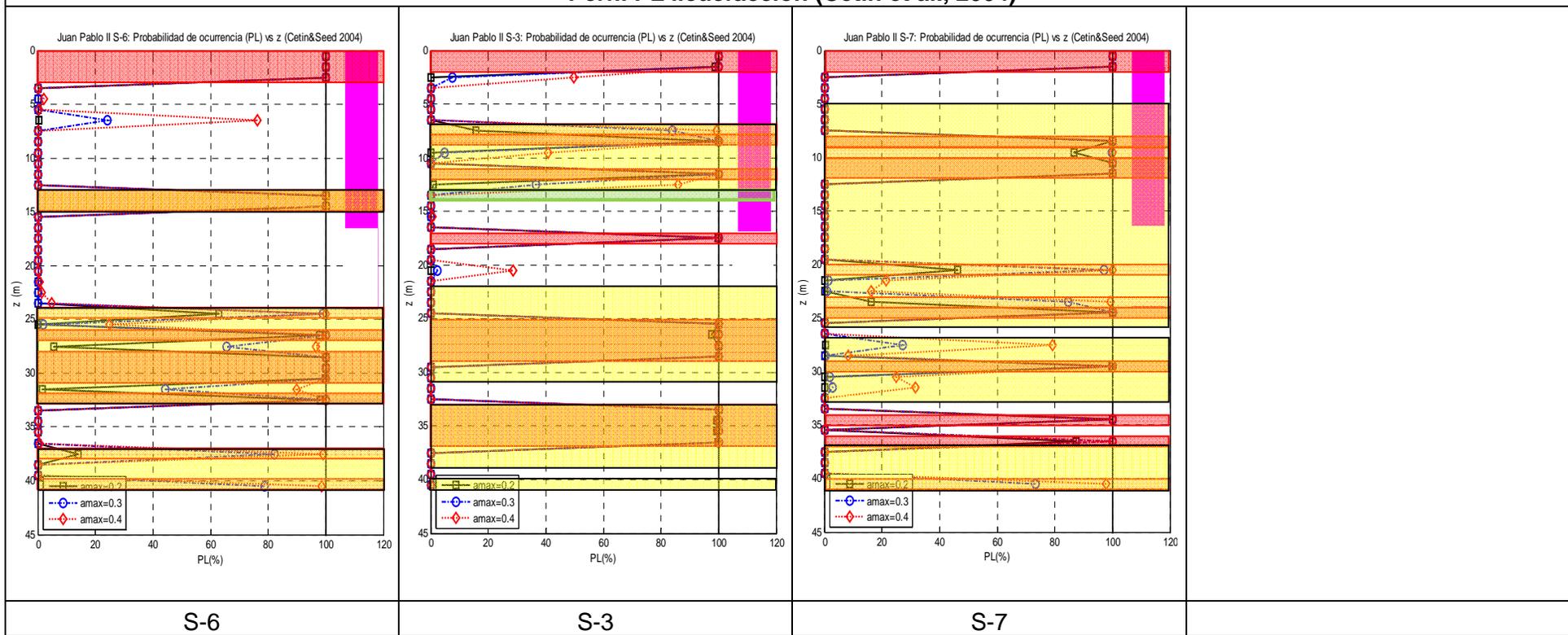
Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004)



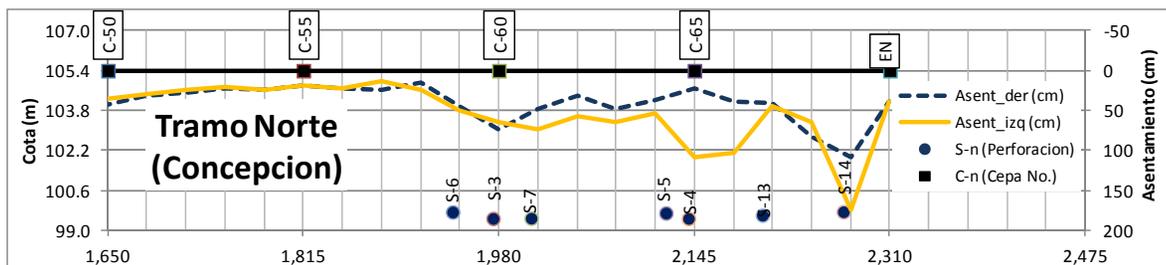
Tramo Central



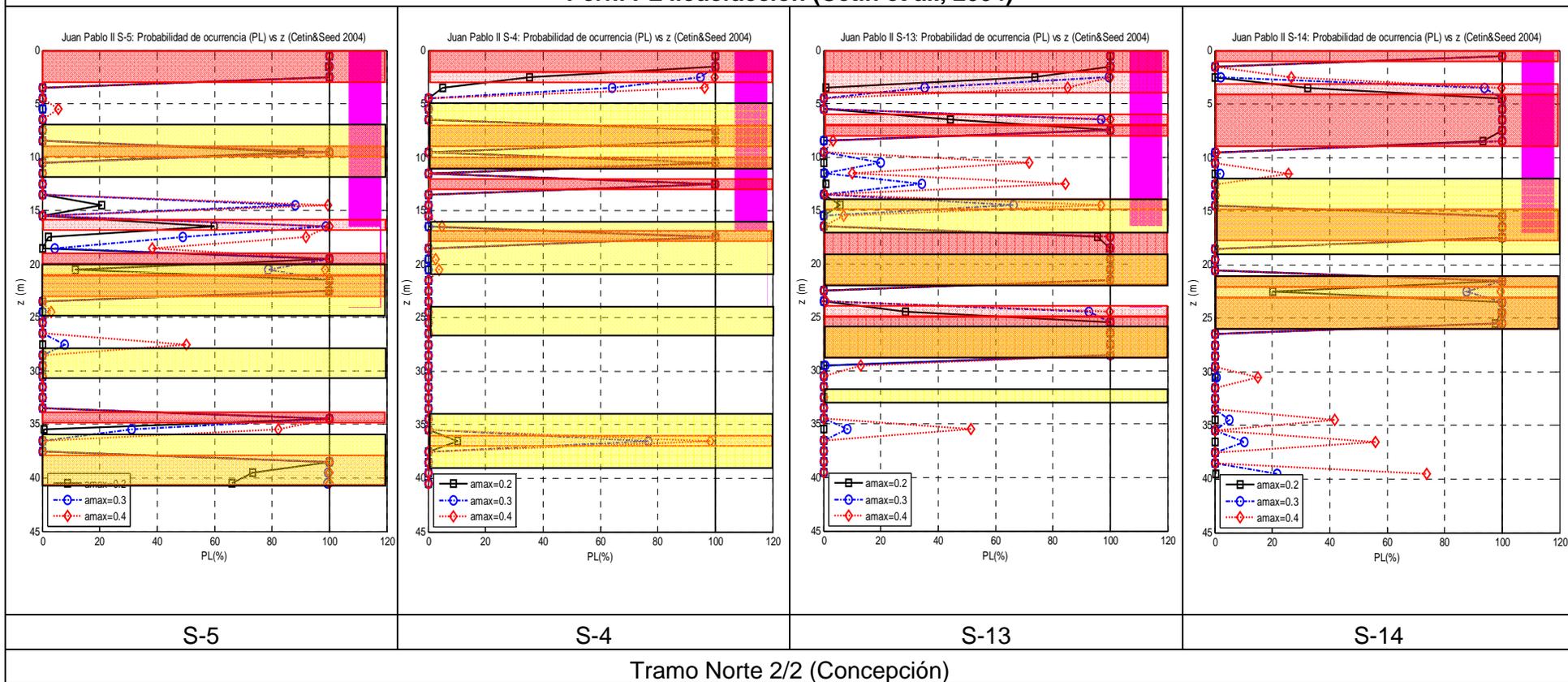
Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004)



Tramo Norte 1/2 (Concepción)



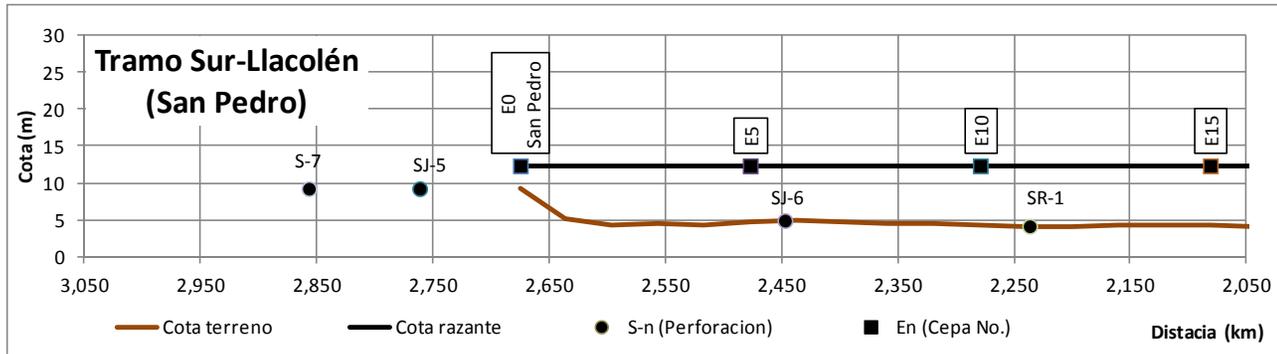
Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004)



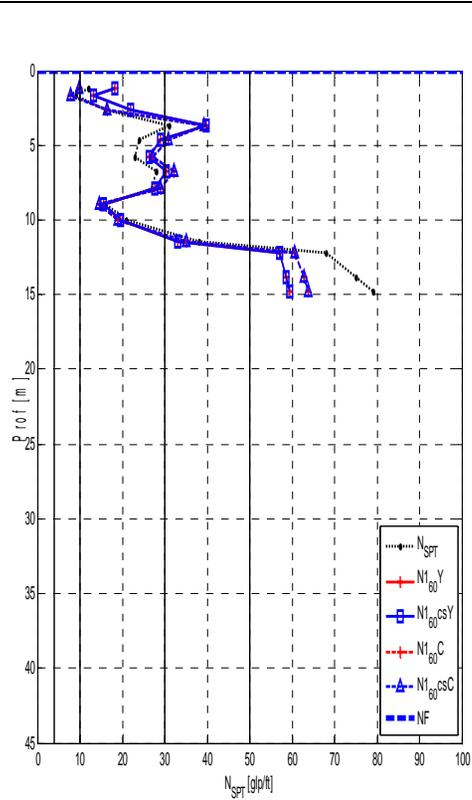
Tramo Norte 2/2 (Concepción)

E.2 Puente Llacolén.

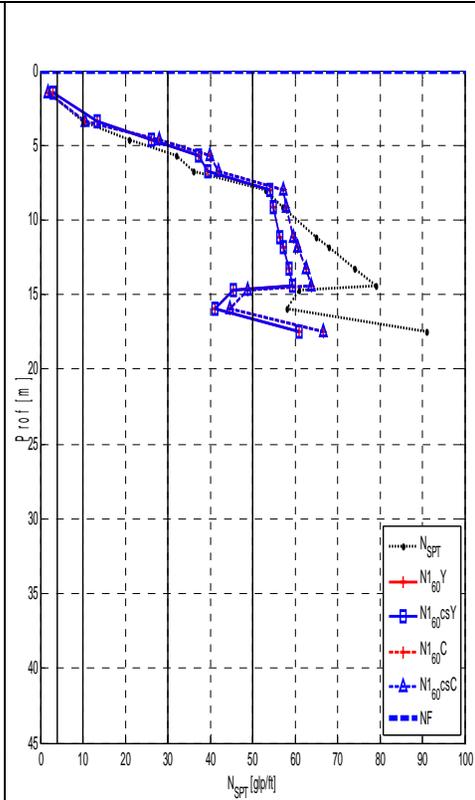
E.2.1 Perfil de Licuefacción Puente Llacolén. Contenido de Finos <5%



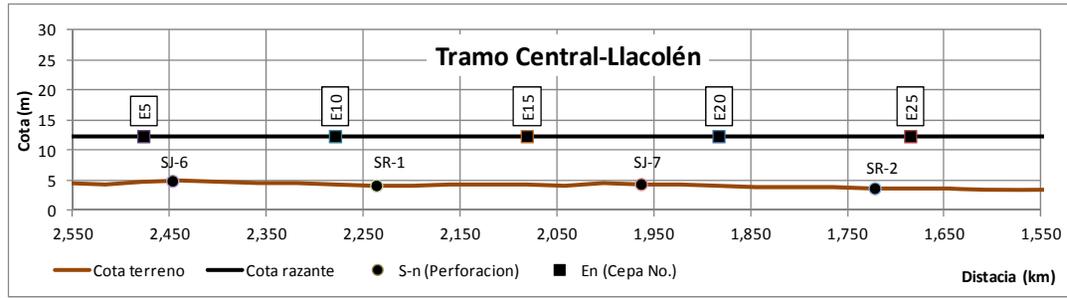
Perfil N_{SPT}. Tramo Sur (San Pedro). Contenido de Finos < 5%



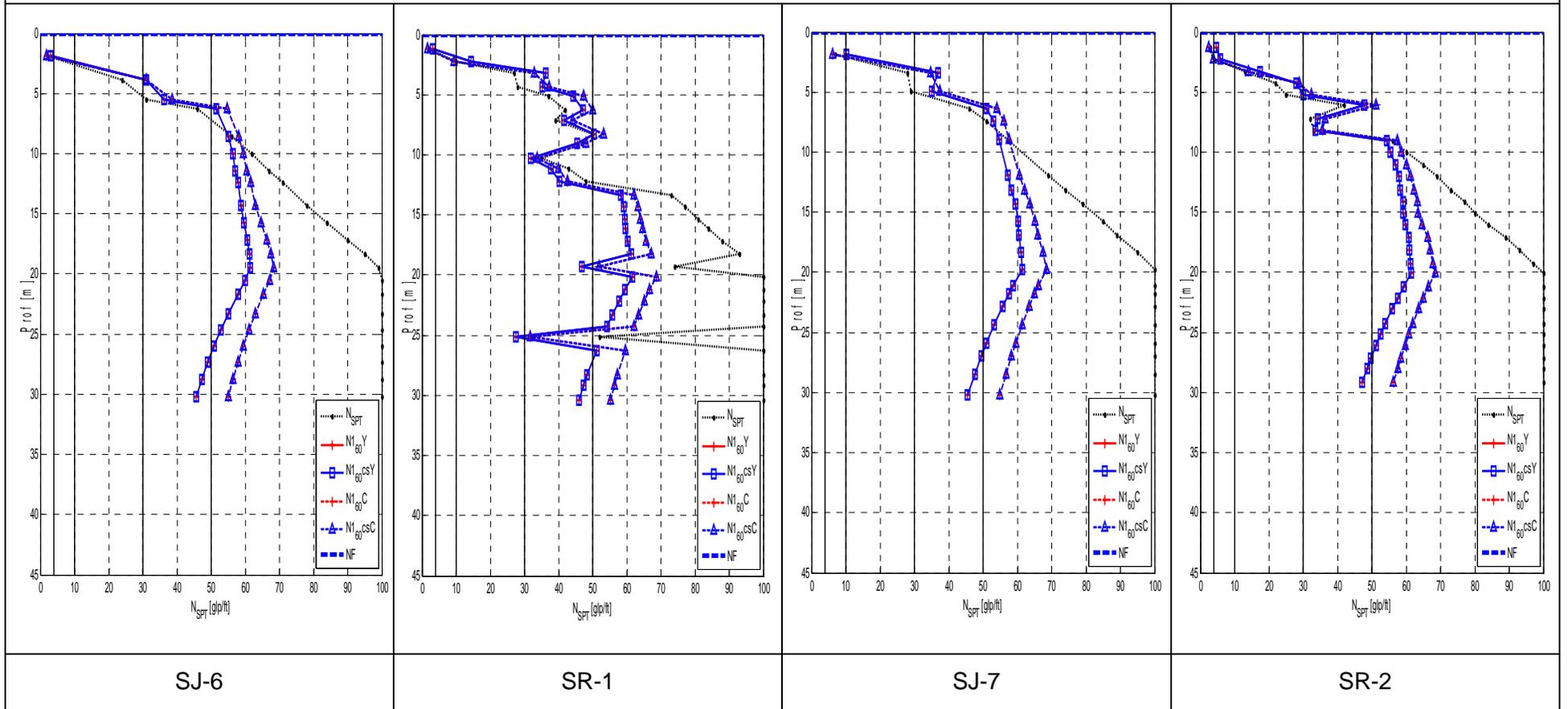
S-7

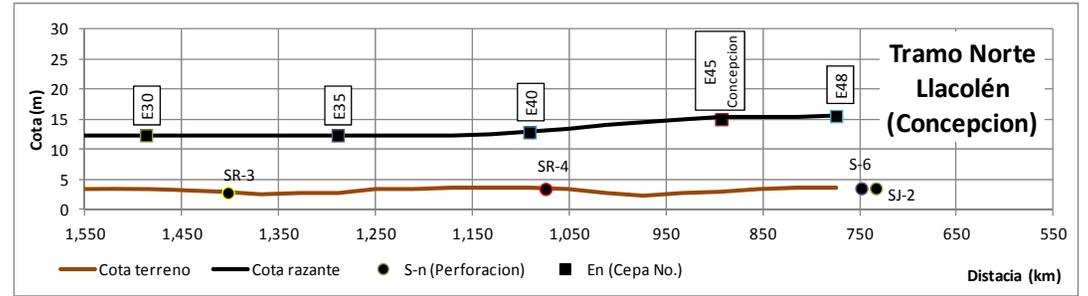


SJ-5

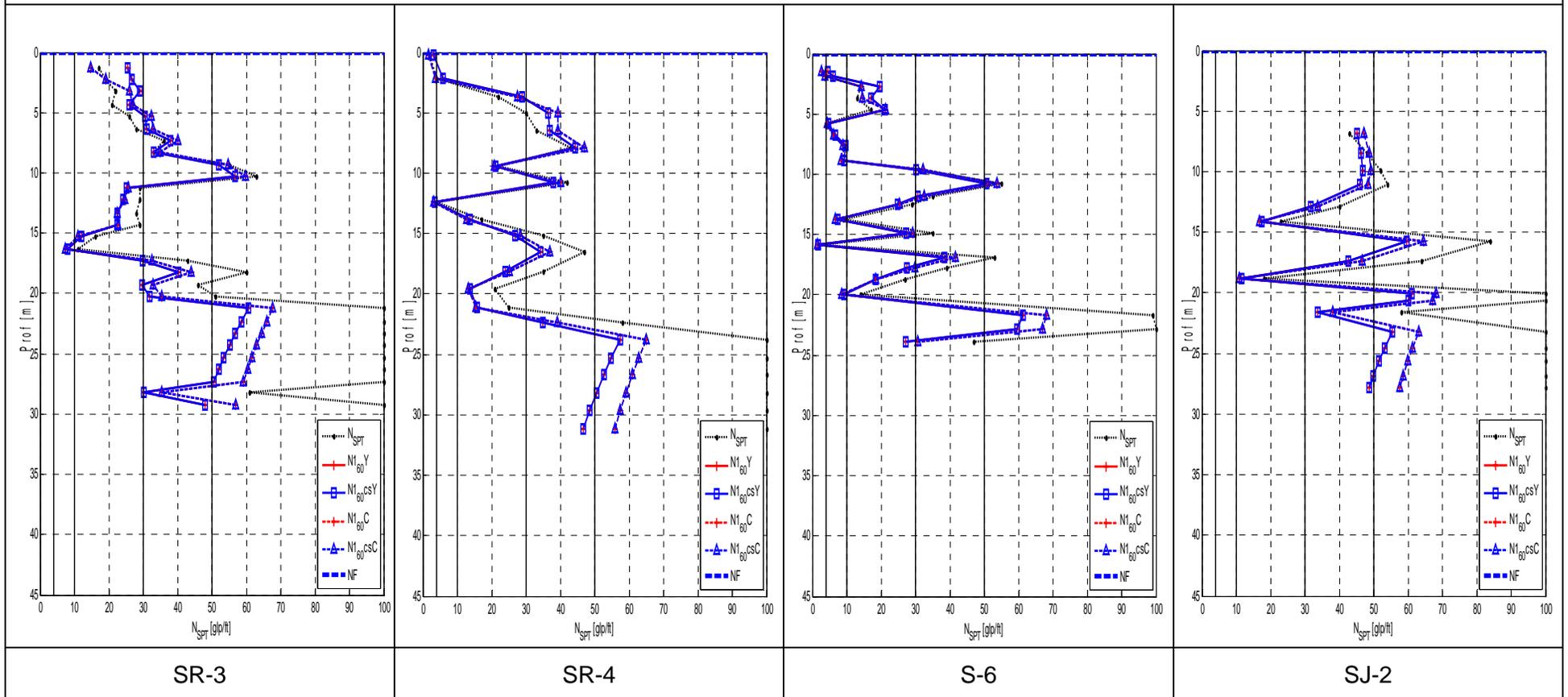


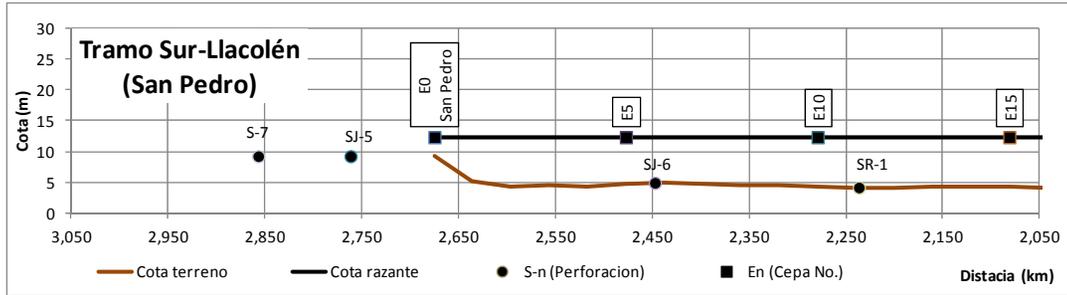
Perfil N_{SPT} . Tramo Central. Contenido de Finos <5%



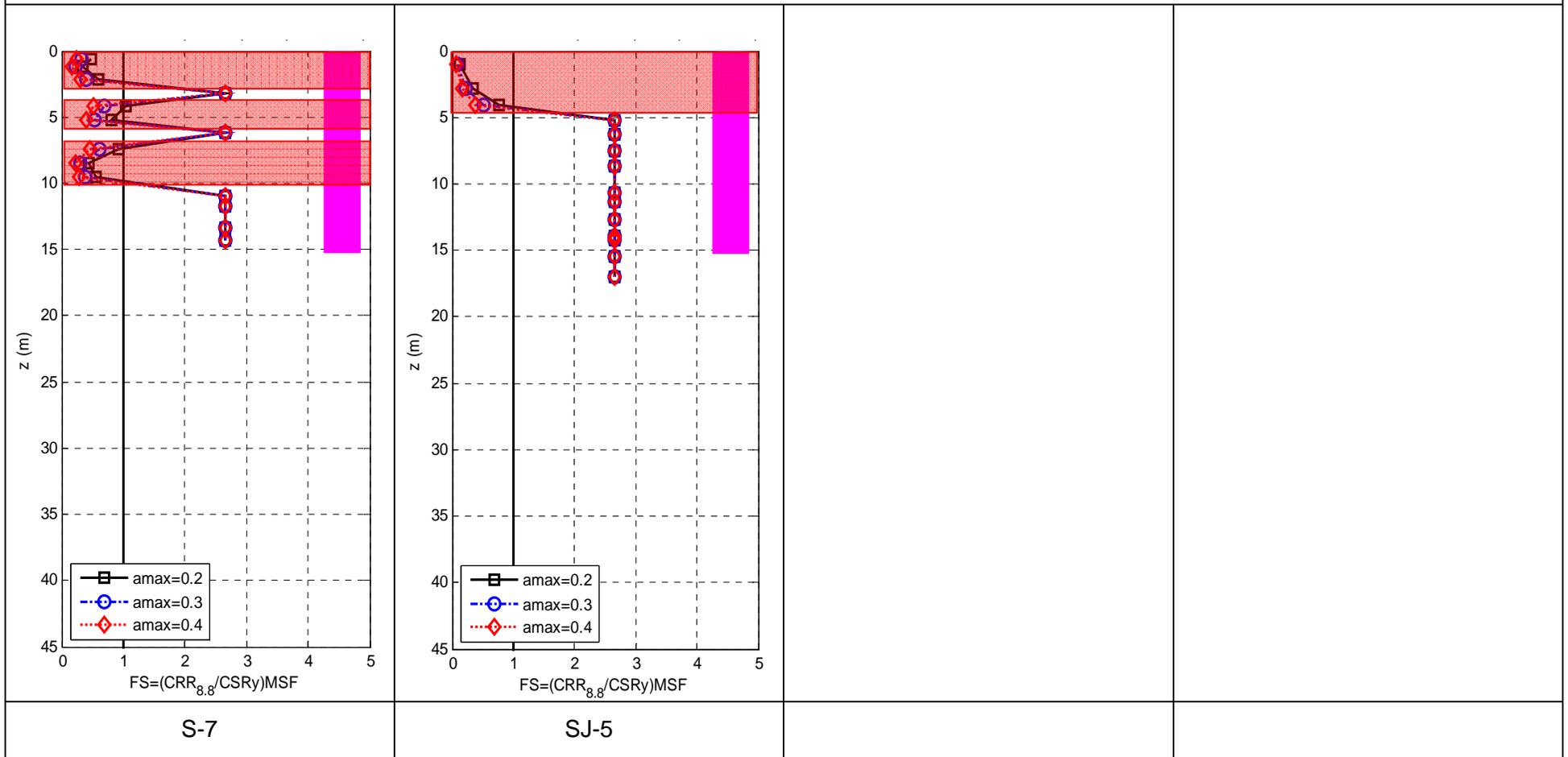


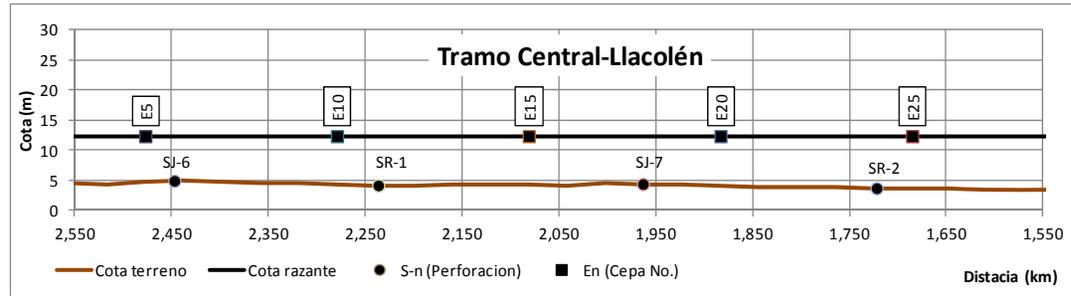
Perfil N_{SPT} . Tramo Norte (Concepción). Contenido de Finos <5%



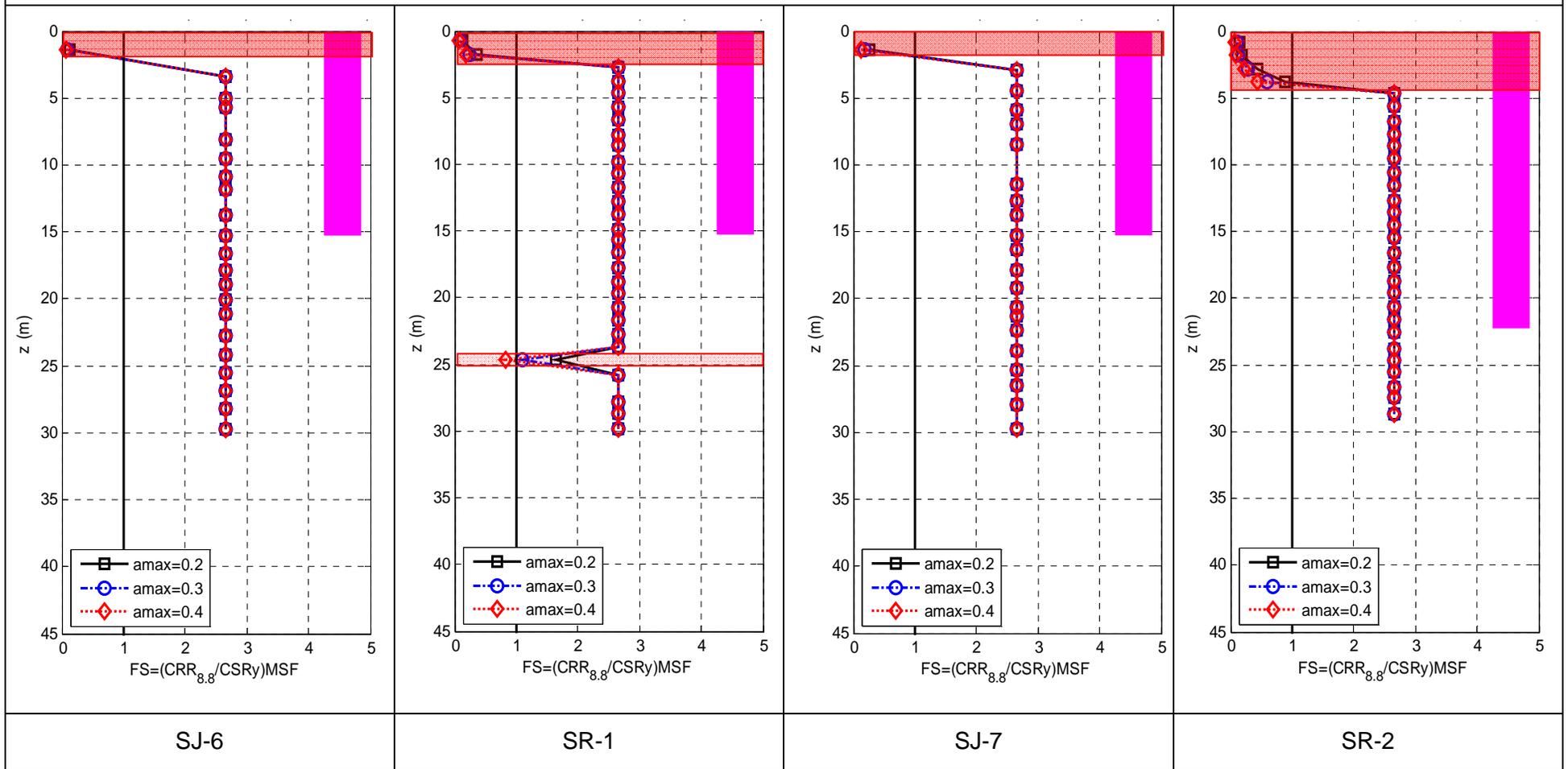


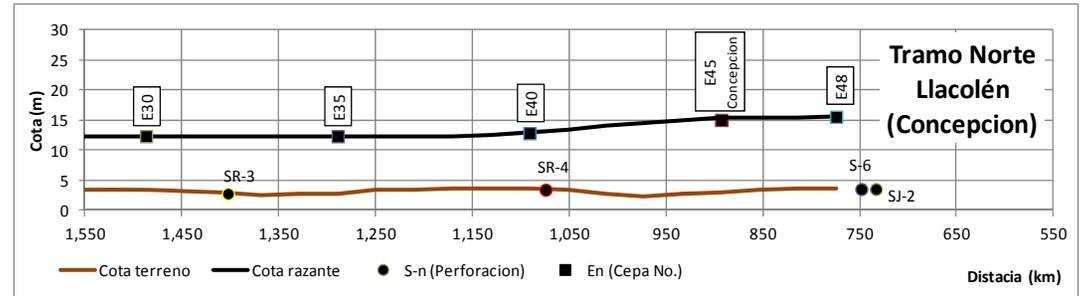
Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001). Tramo Sur (San Pedro). Contenido de Finos<5%



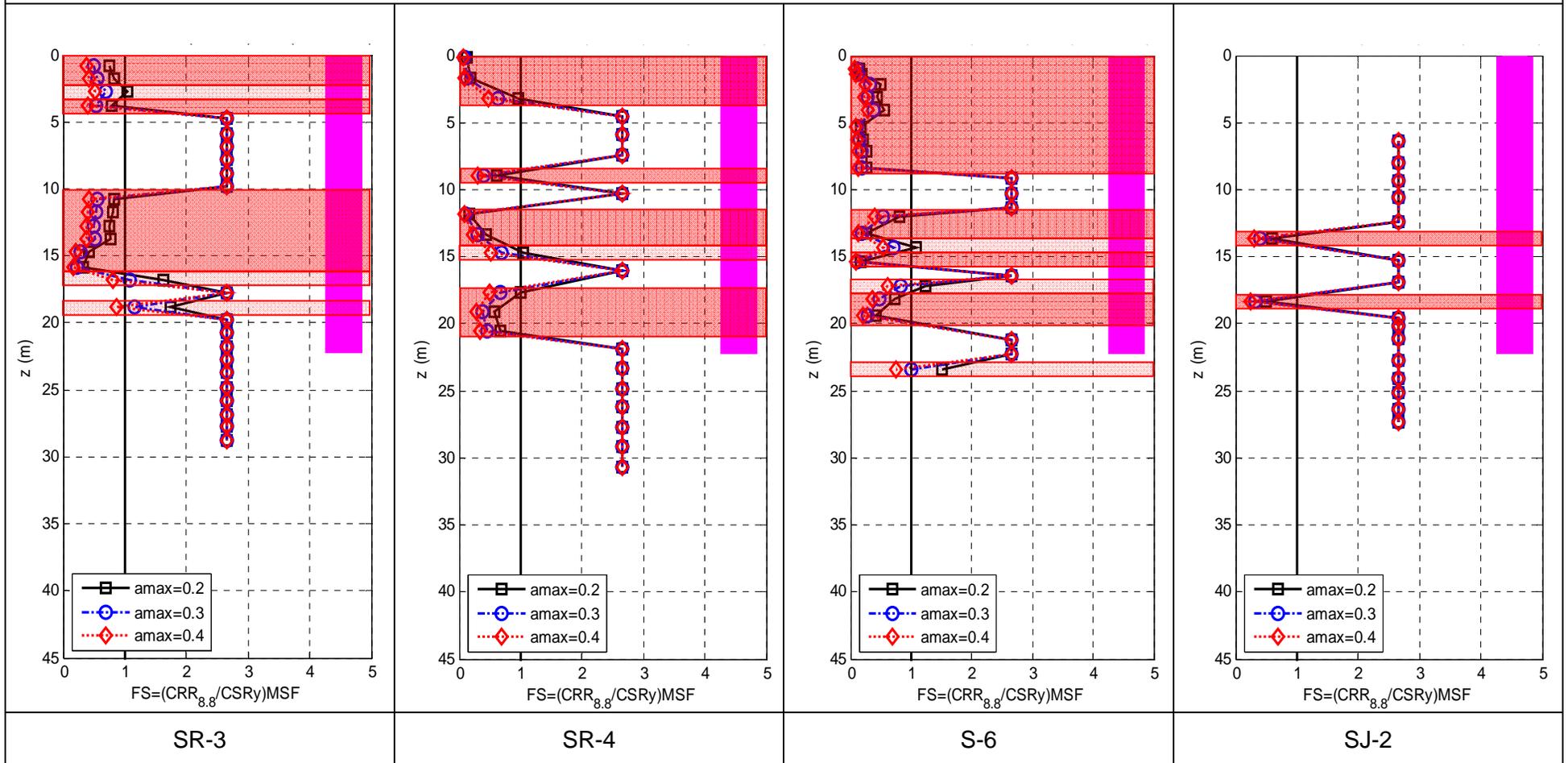


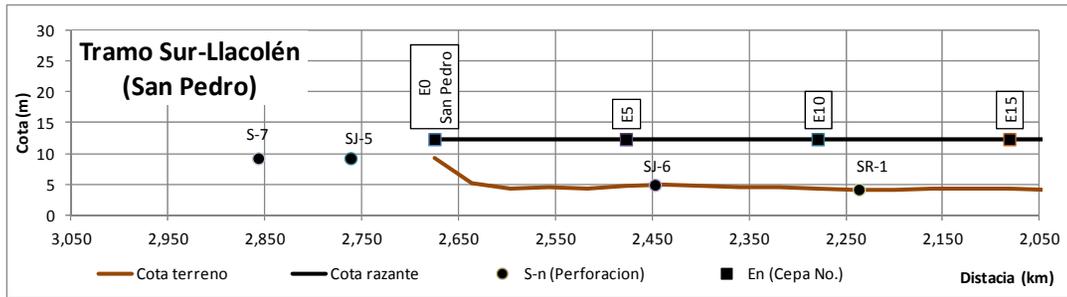
Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001). Tramo Central. Contenido de Finos<5%



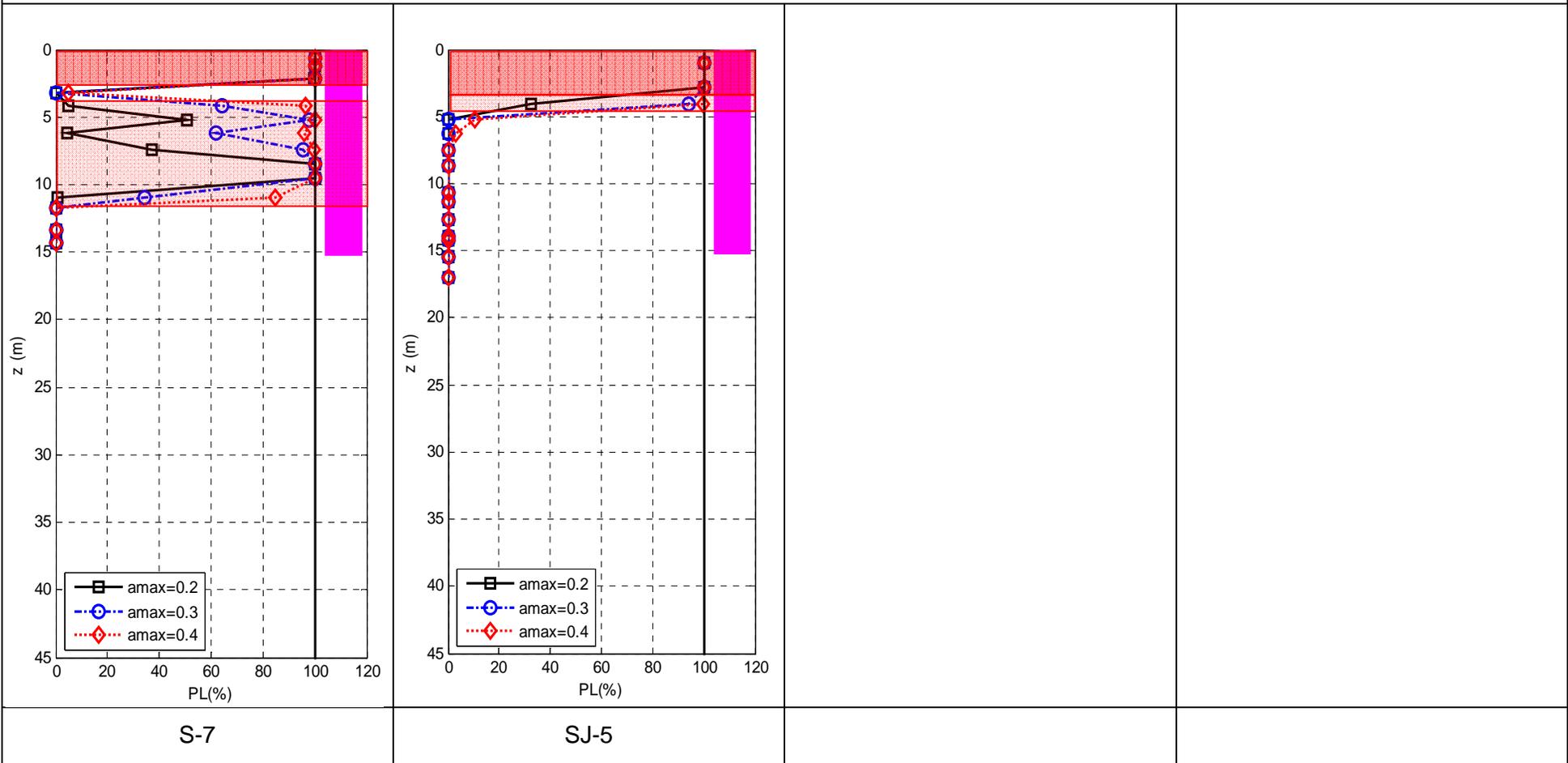


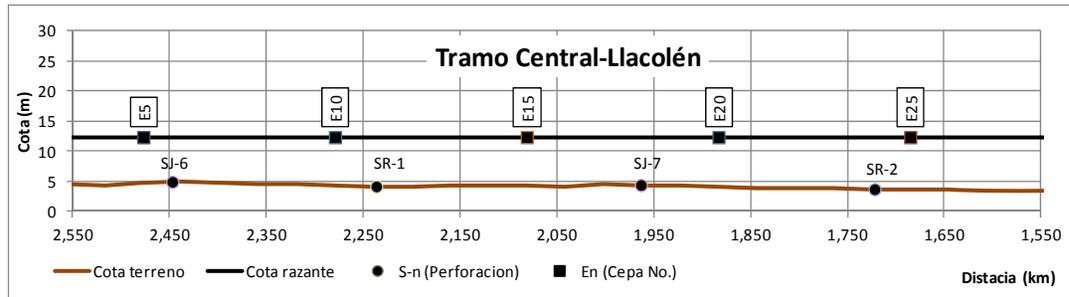
Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001). Tramo Norte (Concepción). Contenido de Finos<5%



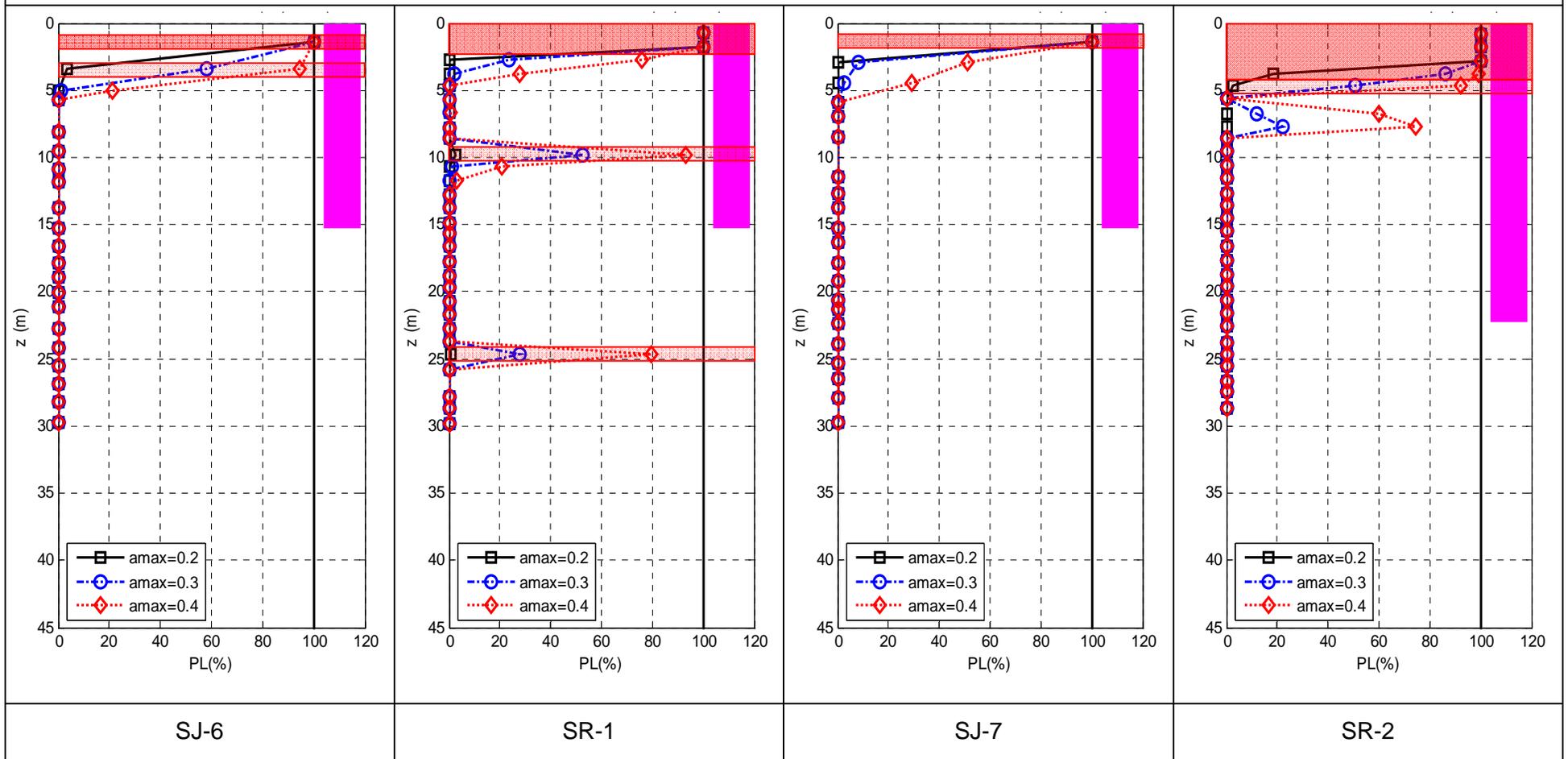


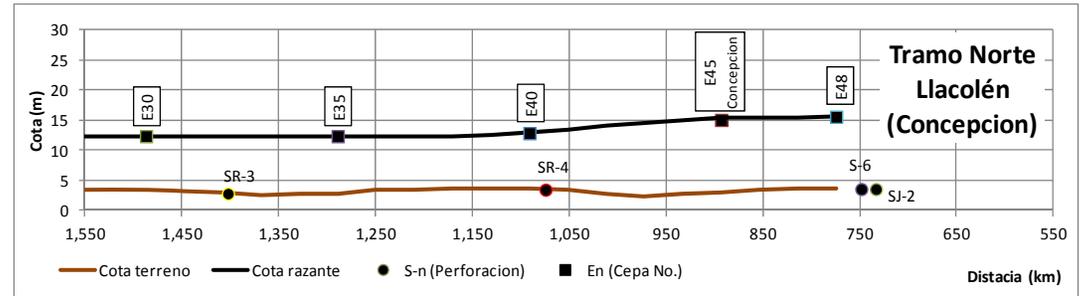
Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004). Tramo Sur (San Pedro). Contenido de Finos<5%



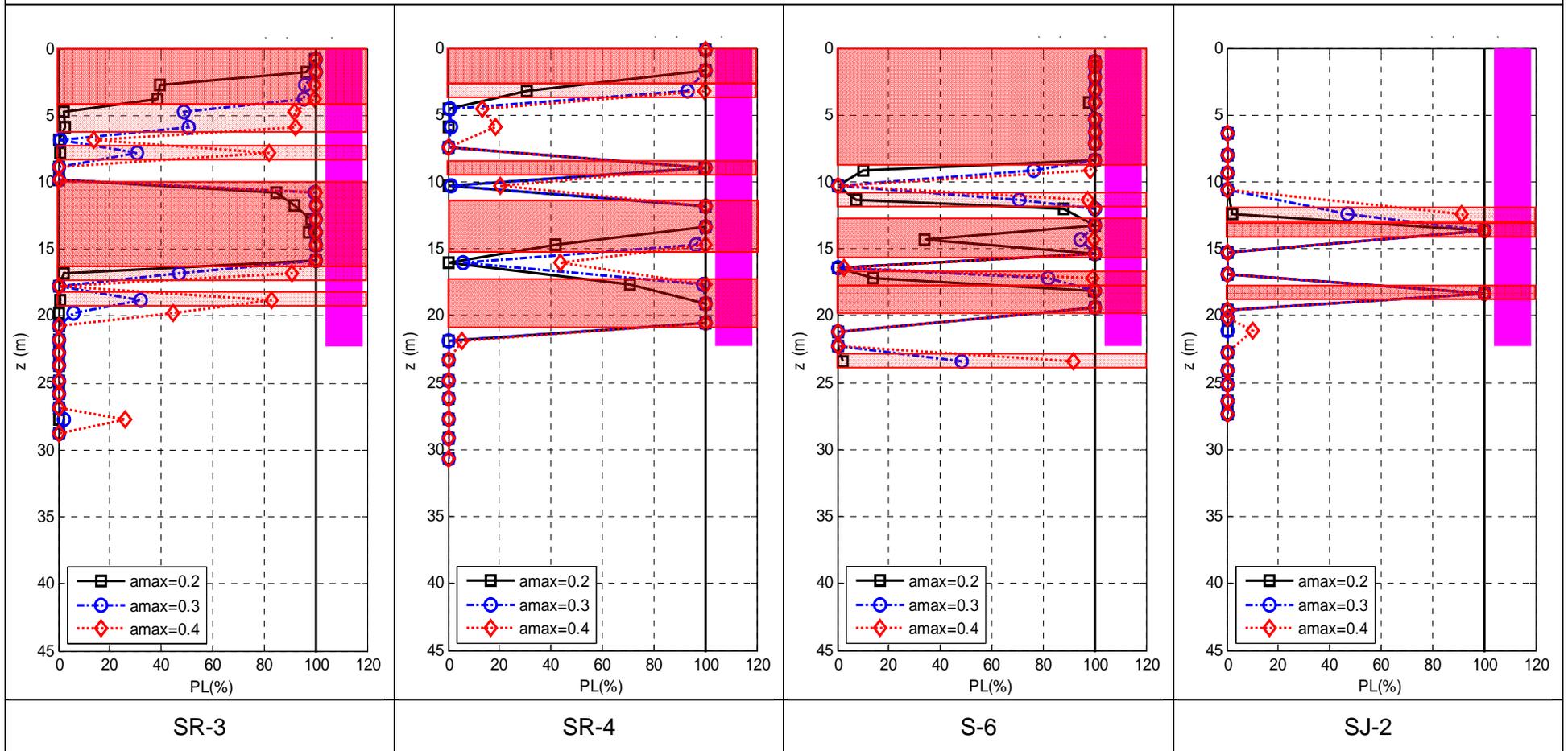


Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004). Tramo Central. Contenido de Finos<5%

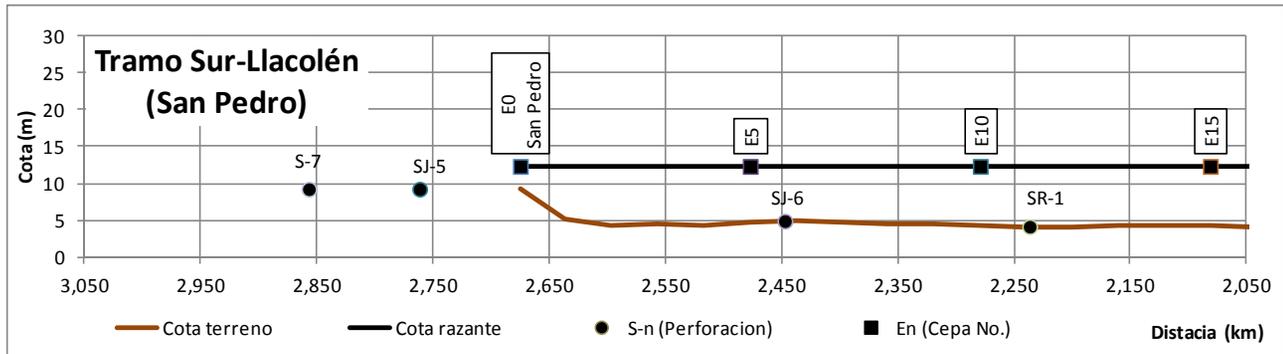




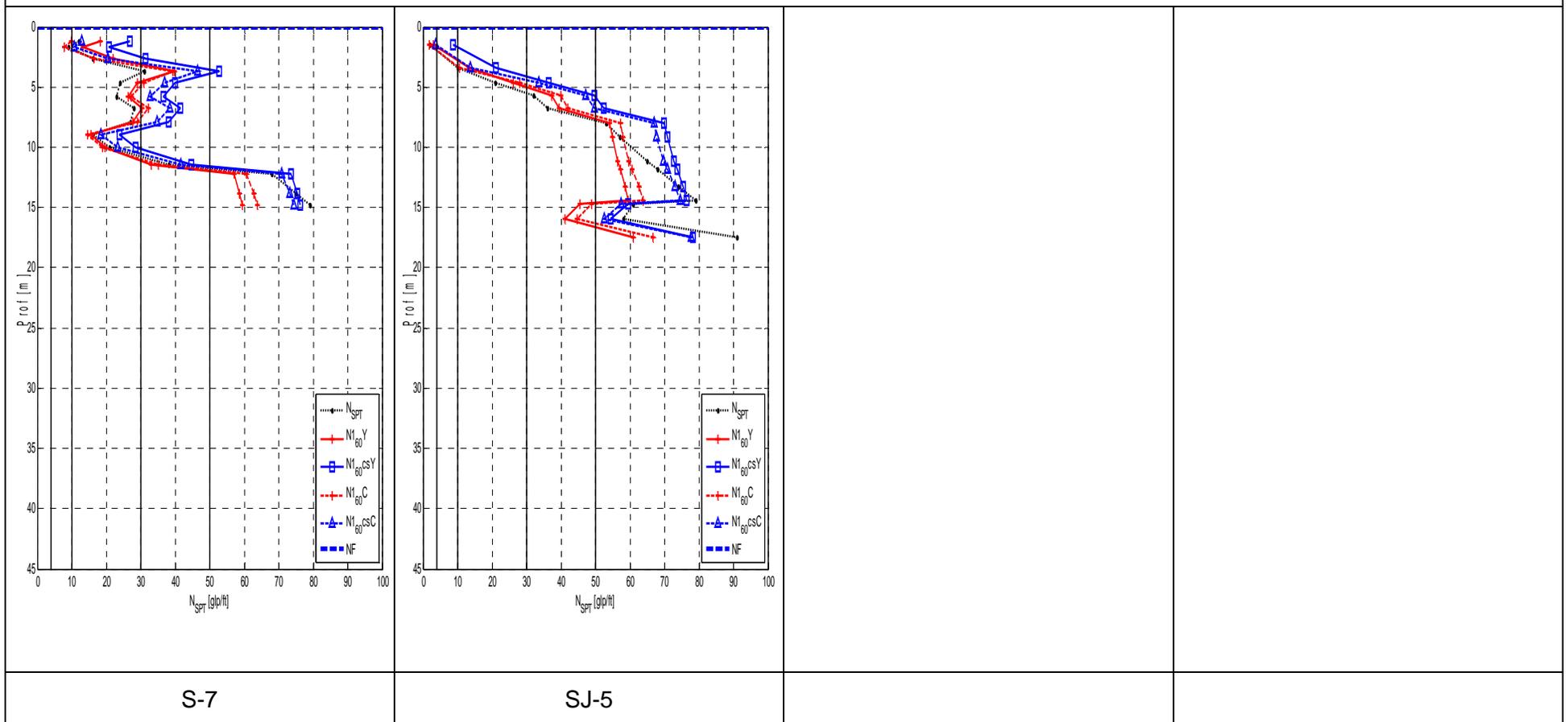
Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004). Tramo Norte (Concepción). Contenido de Finos<5%

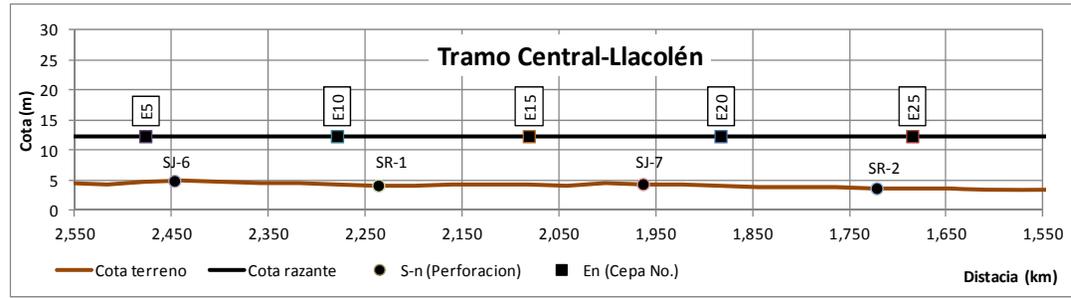


E.2.2 Perfil de Licuefacción Puente Llacolén. Contenido de Finos >35%.

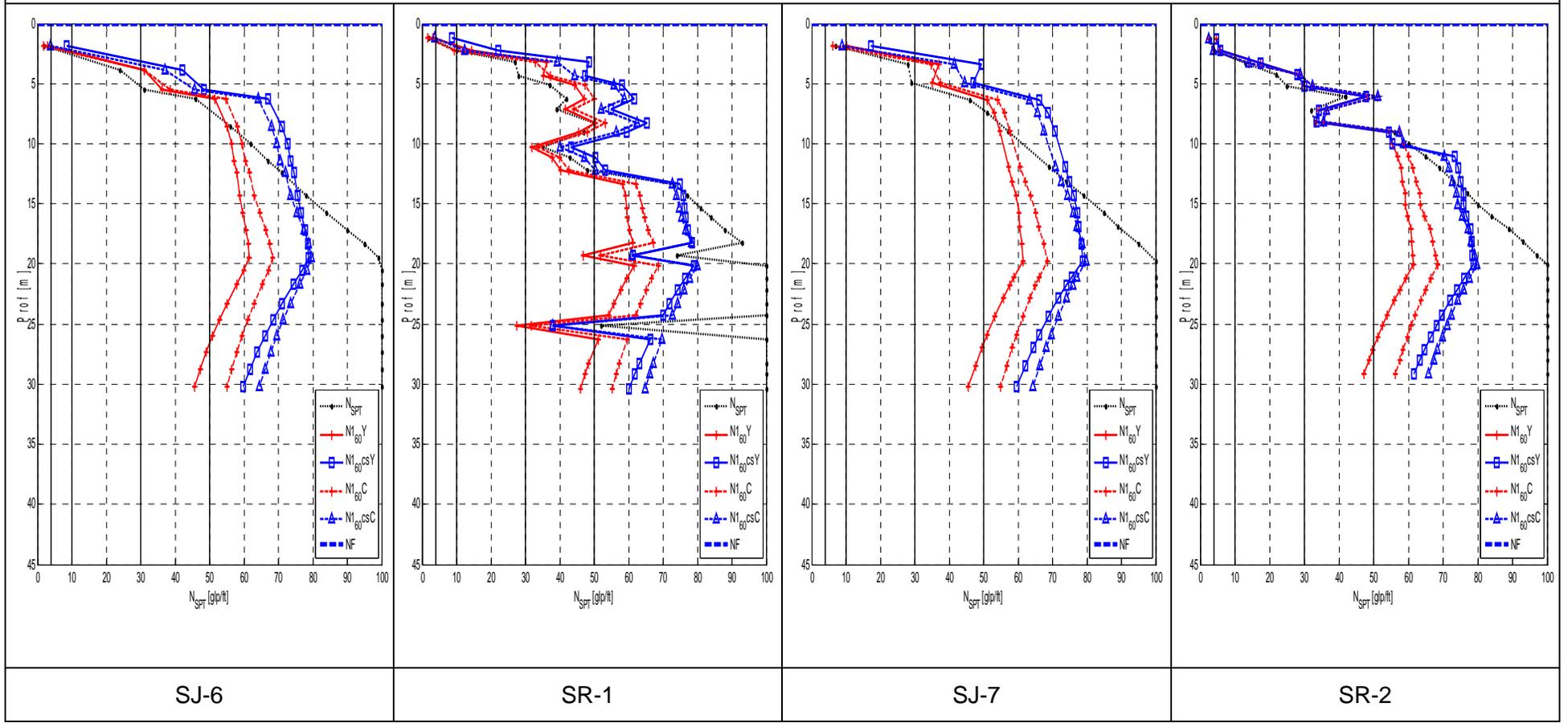


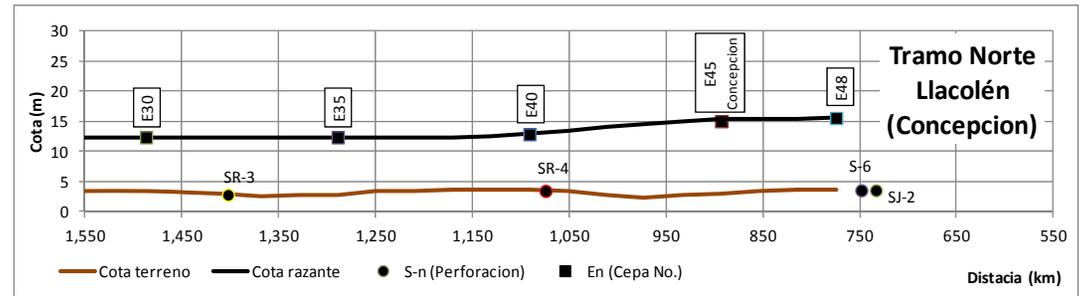
Perfil N_{SPT} . Tramo Sur (San Pedro). Contenido de Finos > 35%



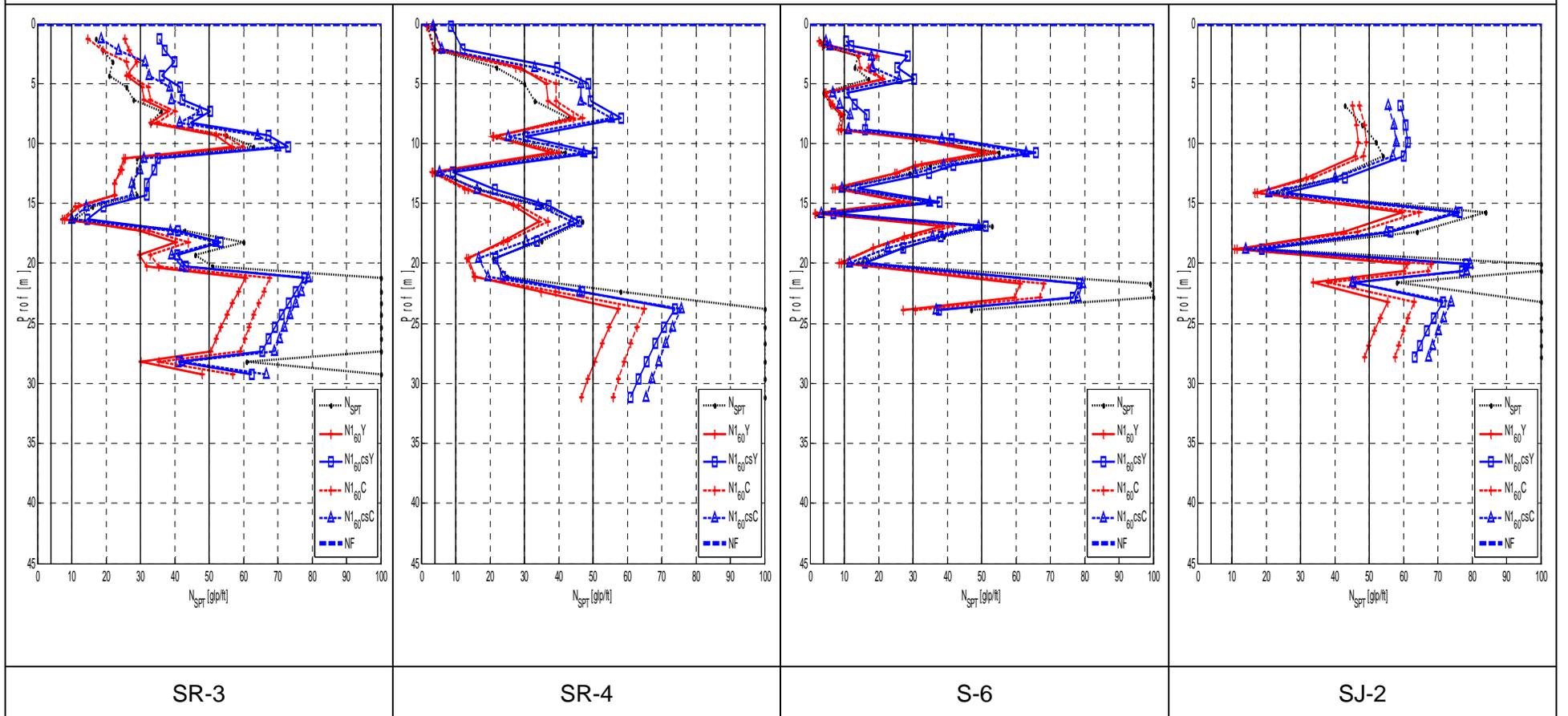


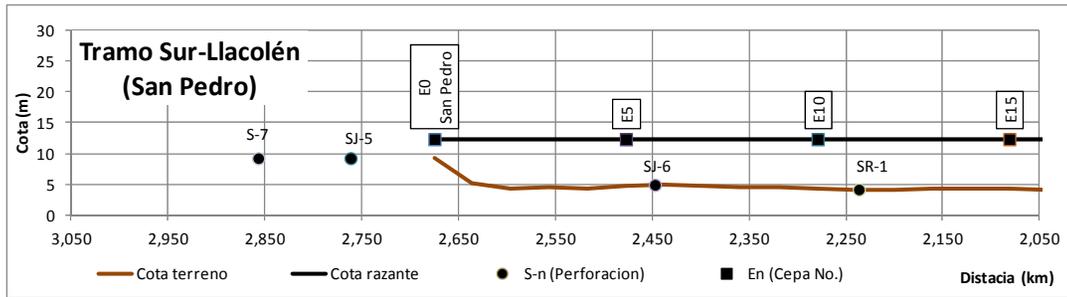
Perfil N_{SPT} . Tramo Central. Contenido de Finos > 35%



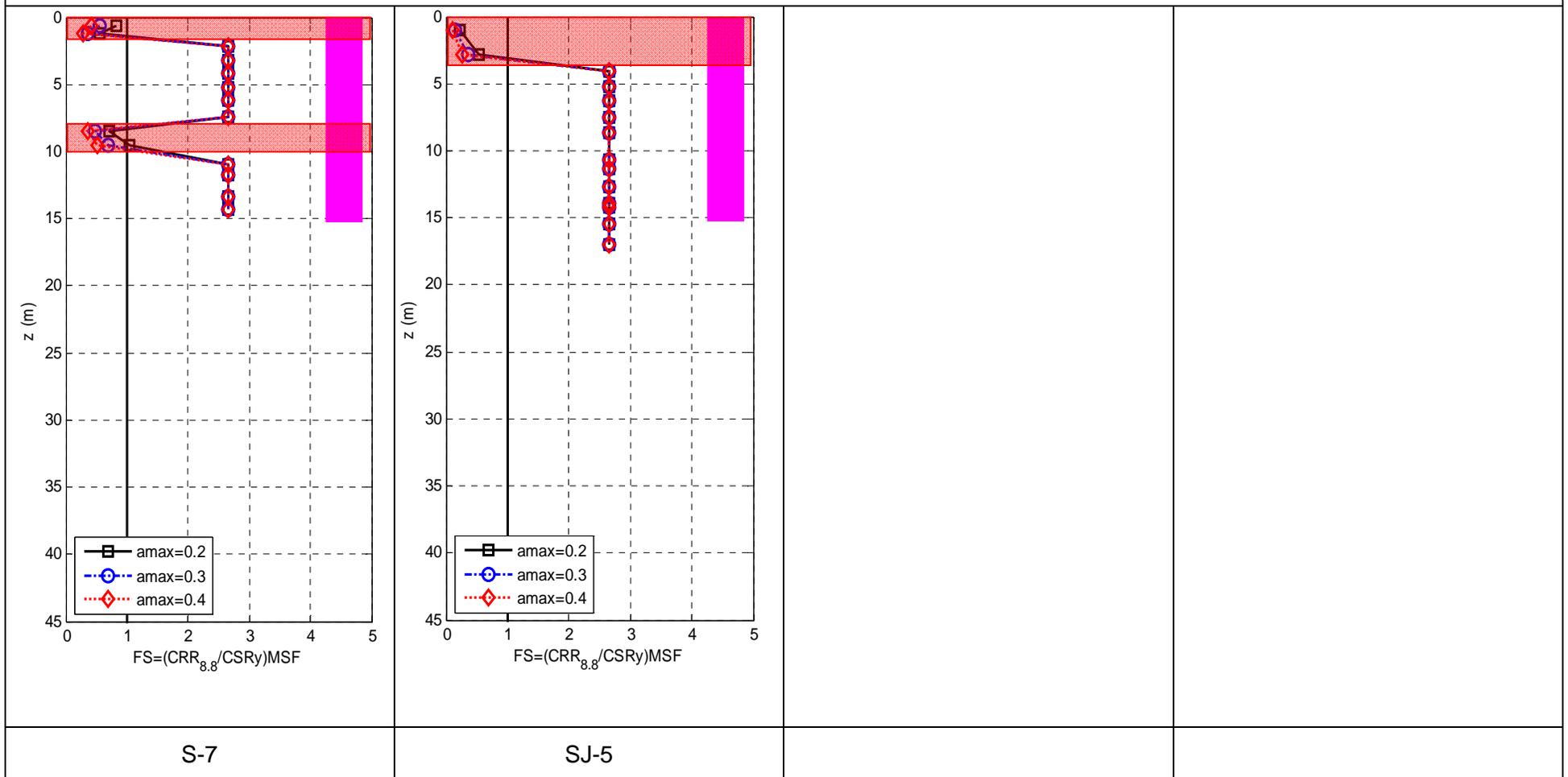


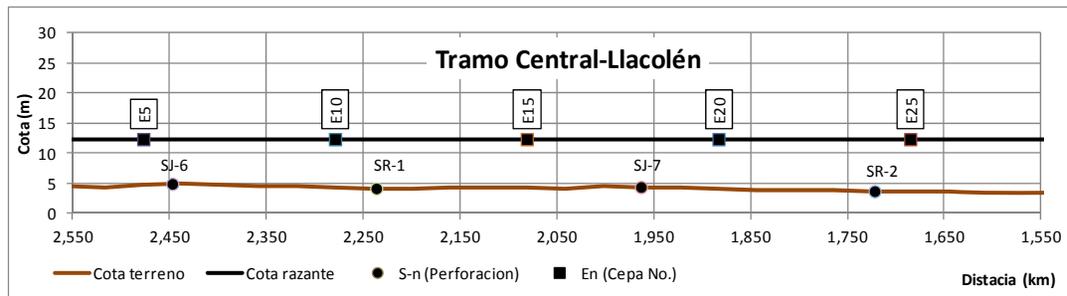
Perfil N_{SPT} . Tramo Norte (Concepción). Contenido de Finos > 35%



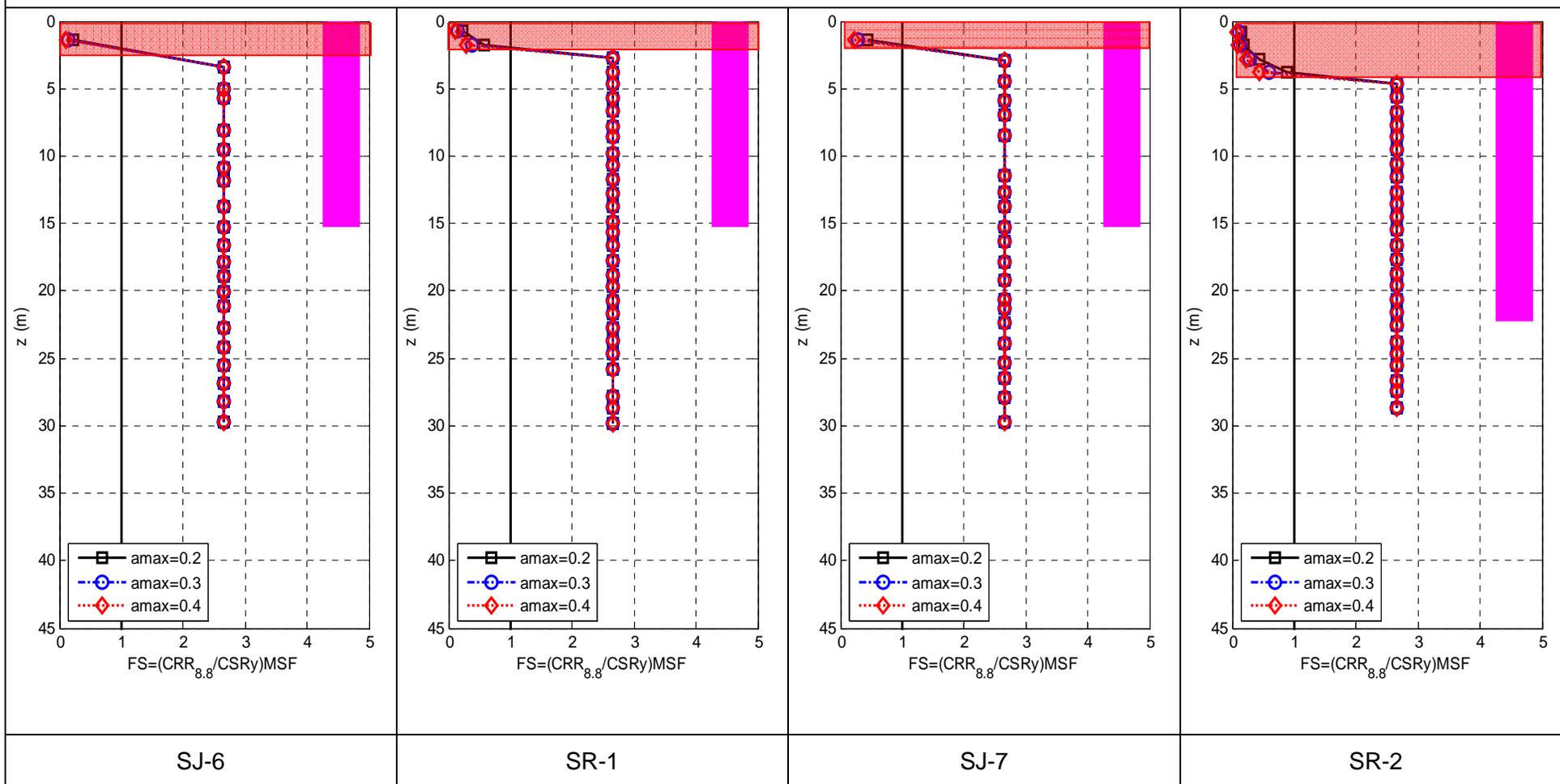


Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001). Tramo Sur (San Pedro). Contenido de Finos > 35%

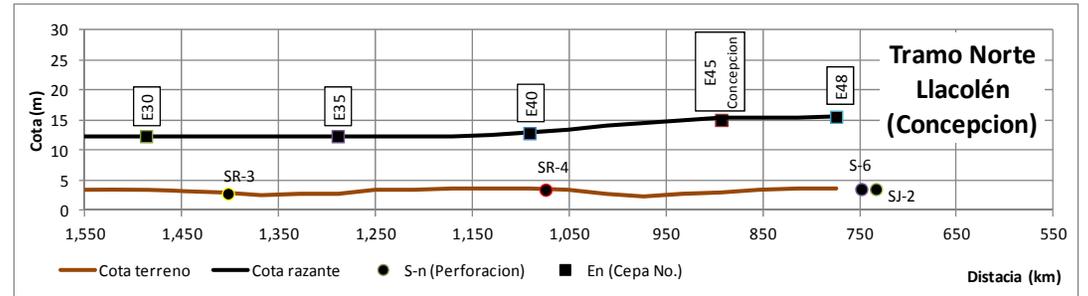




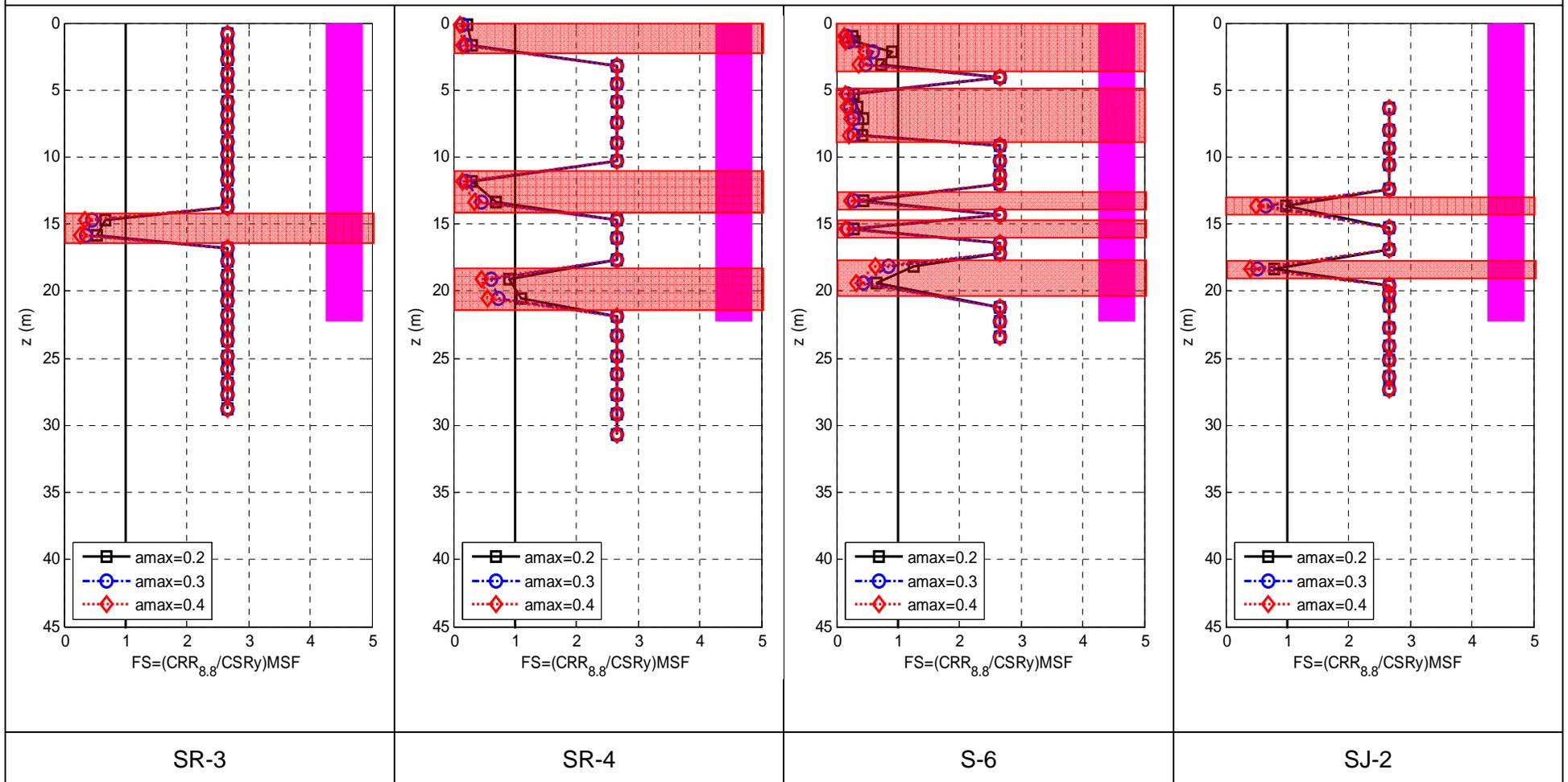
Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001). Tramo Central. Contenido de Finos >35%

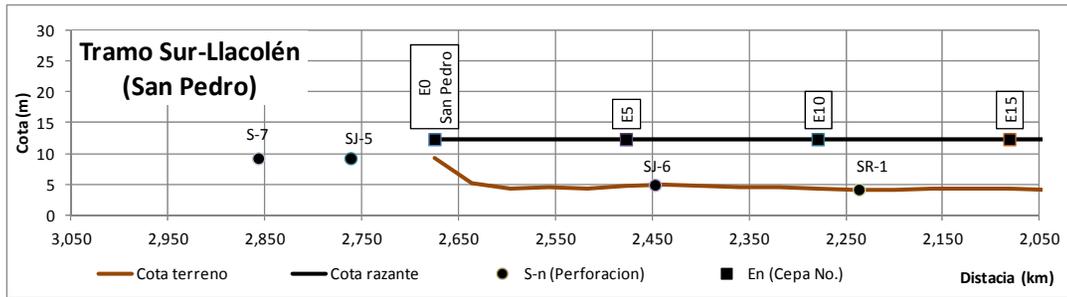


Perfil de Licuefaccion_LLacolén_0_FC>35%

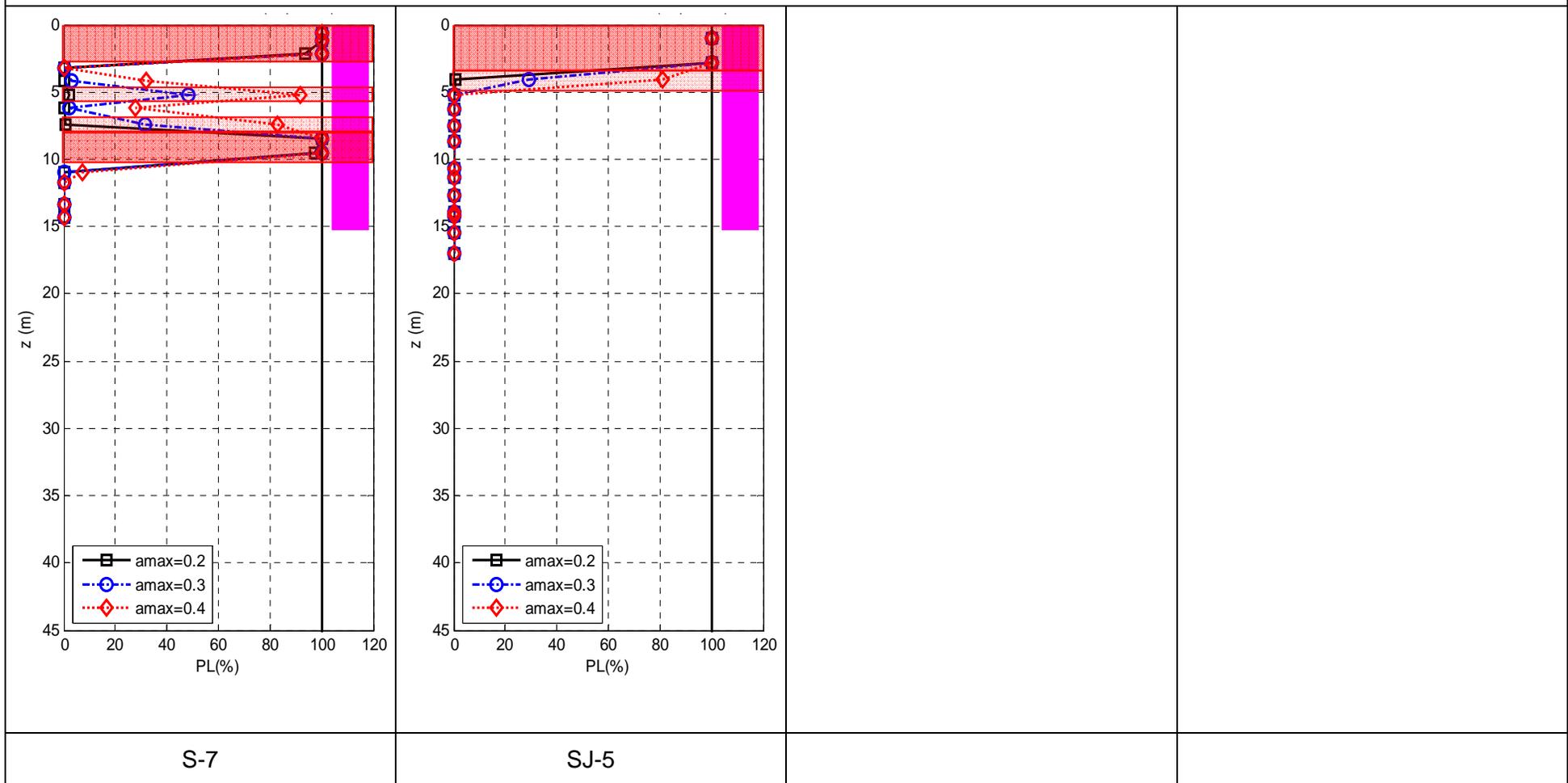


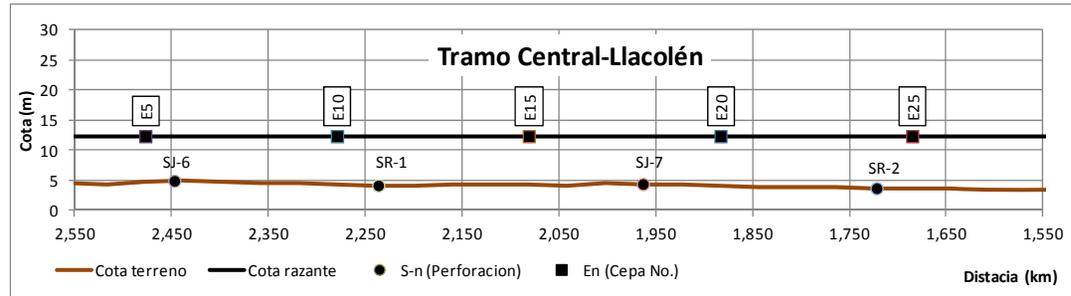
Perfil FS licuefacción (Youd et al., 2001). Tramo Norte (Concepción). Contenido de Finos > 35%



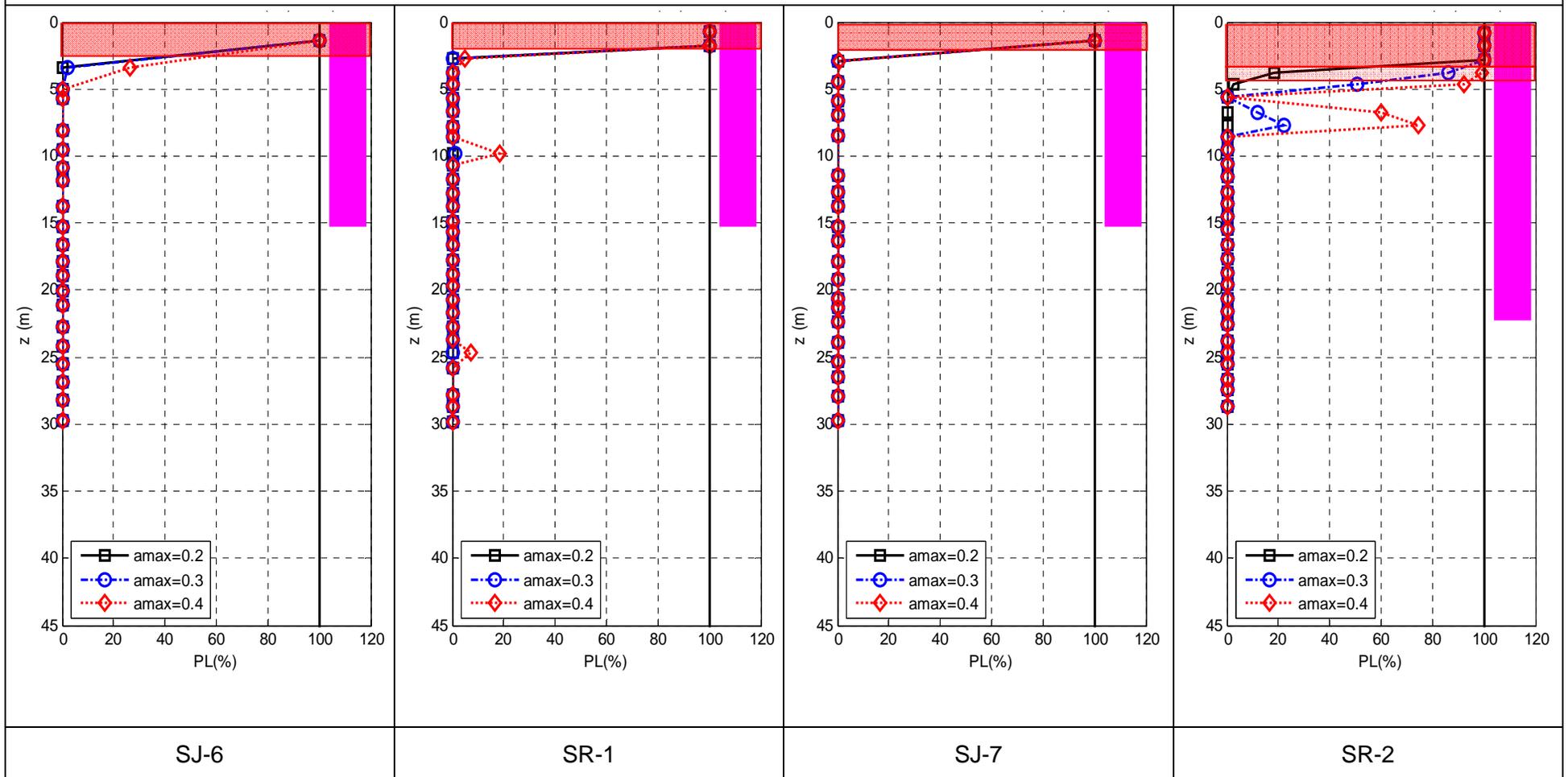


Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004). Tramo Sur (San Pedro). Contenido de Finos > 35%

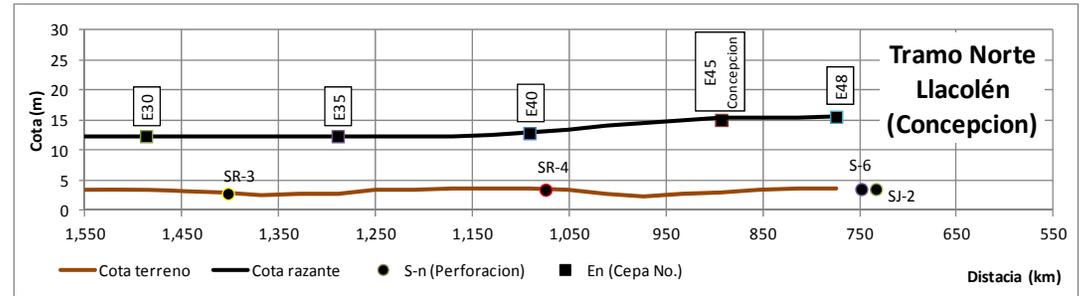




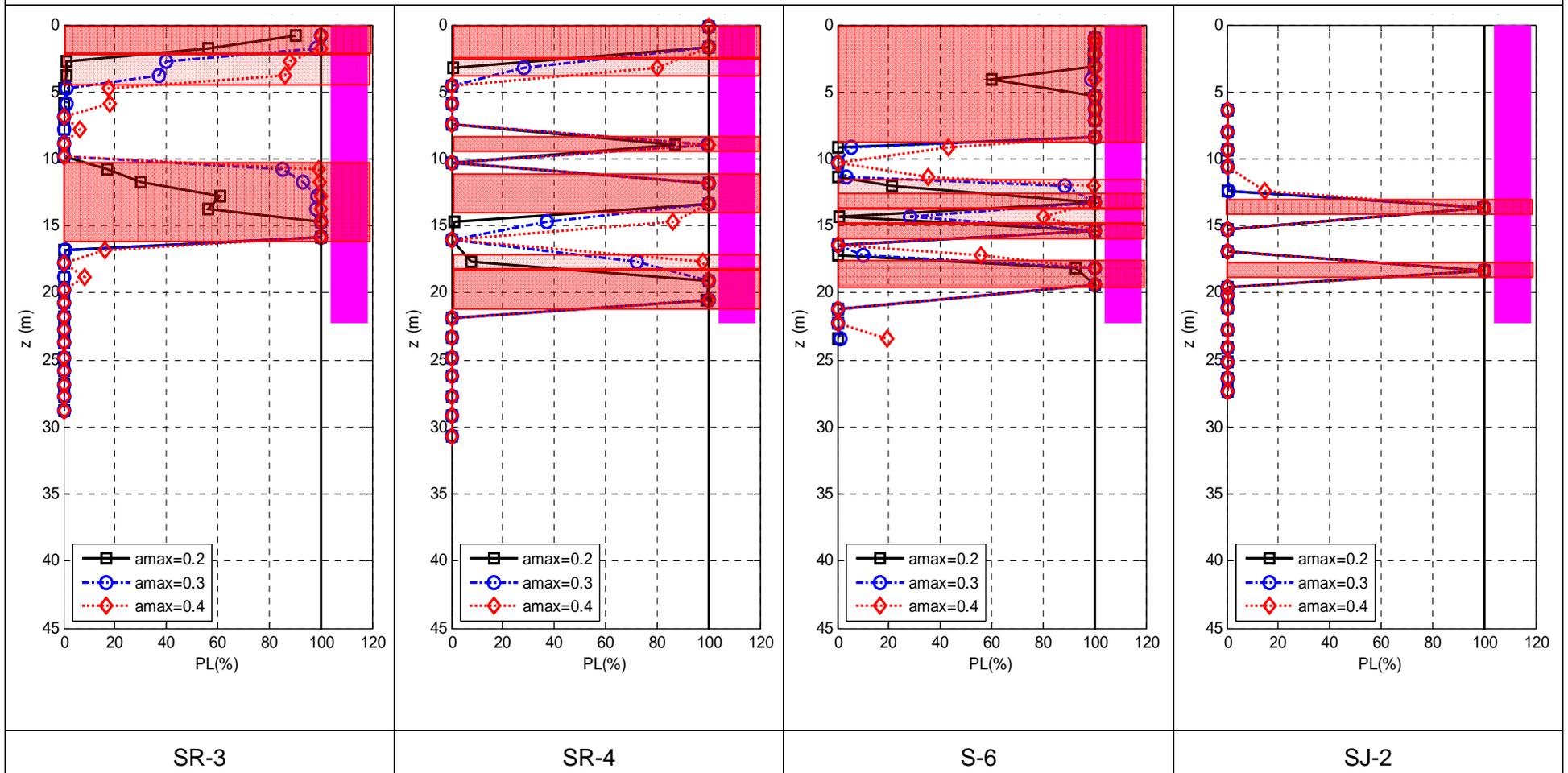
Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004). Tramo Central. Contenido de Finos >35%



Perfil de Licuefacción_LLacolén_0_FC>35%



Perfil PL licuefacción (Cetin et al., 2004). Tramo Norte (Concepción). Contenido de Finos > 35%



ANEXO F: WSLIQ

Anexo F.1: Consideraciones Generales para el cálculo de los asentamientos y el desplazamiento lateral, con WSliq, en Juan Pablo II

A continuación se enumeran las consideraciones generales, tomadas para el cálculo de los asentamientos y el desplazamiento lateral en el Puente Juan Pablo II.

- a) Intensidad de evento:

$PGA = a_{\max} = 0.4g$; $M_w = 8.8$ y $R = 100$ km (Ledezma, Italia 2012)

- b) Soil Profile

- i) GWT:

Se utilizaron los valores de nivel freático, indicado en las planillas de perforación de cada sondaje (Anexo B.1)

- ii) SPT ER:

Se estimo un valor de 57%, en función del factor de corrección por energía del martillo (CEY y CEC), utilizada para la evaluación del potencial de licuefacción, según lo descrito en la Sección 4.2.1.ii y 4.2.2.iii, de forma tal que el $SPT\ ER = ER = CEY * 60$, siendo $CEY = CEC = 0.95$, por que el martillo que se utilizo para la exploración del 2010 (INGEXA) en JP II, fue uno de seguridad.

iii) Ground Surface:

- Elevation: Se uso la elevación de cada sondaje (Anexo B.4).

- Infiniti Slope: Se asumió la condición de pendiente del talud (*groun-slope*) de 0.5% y la condición de talud infinito. (Ledezma, Italia 2012)

iv) Unit Wt: Se uso el valor estimado en función del NSPT, según la Tabla 4-8, de la Sección 4.2.5.

v) Meas. SPT: Se uso el valor de cada estrato.

vi) FC(%):Se uso el valor de cada estrato, reportado en el Anexo B.2.

vii) D_{50} (mm):

- Para los materiales finos de los cuales no se disponían de curvas hidrométricas, se utilizaron los valores de D_{50} , reportados en la Tabla A.E.1-1:

Tabla A.F.1- 1. Valores de D_{50} para suelos de grano fino

Tipo de suelo	D_{50} (mm)
ML(0.075 mm a 0.002 mm)	0.0385
CL-ML (0.075 mm a 0.0003 mm)	0.0020
CL (0.002 mm a 0.0003 mm)	0.0012

- Para los materiales gruesos (Arenas), se obtuvo el valor del D_{50} (mm), de los resultados de la Granulometría que se reportan en el Anexo B.2. Cuando faltó algún dato, se utilizaron los valores de la Tabla A.E.1-2

Tabla A.F.1- 2. Valores de D_{50} para suelos de grano grueso

Tipo de suelo	D_{50} (mm)
Arena fina (0,075 - 0,425 mm)*	0.2500
Arena media (0,425 - 2,000 mm)*	1.2130
Arena gruesa (2,000 – 4.750 mm)*	3.3750

(*) De acuerdo con el USCS

- viii) En las perforaciones donde no se disponía de ensayos de clasificación (S-15, S-13 y S-14), se utilizaron los valores de los estratos con similares características en las perforaciones del mismo tramo.
- c) Susceptibility
- i) Cuando los materiales finos (ML, CL-ML) y los granulares con contenido de finos (SM, SC), tienen como resultado de sus límites NP (No plástico), se asumieron valores de PI y w_c/LL , que los hiciera potencialmente licuables de acuerdo a Bray y Sancio (2006): $IP < 12$ y $w_c/LL > 0.85$ y Boulanger e Idriss (2006): $IP < 3$, es decir, $IP = 2$ y $w_c/LL = 0.90$.
 - ii) Threshold $SI = 0.50$
 - iii) Weighting Factors: $B-I = 0.5$ y $B-S = 0.50$
- d) Initiation
- i) Single Scenario
 - Cetin's $PL = 80\%$. Para este % fue que se definieron en la tesis los estratos licuables. Anexo E.1.2.

- e) Effects
 - i) Lateral Spreading/Single Scenario
 - Initiation Handling: NCEER por defecto. No hay mucha diferencia en los resultados cuando se usa a Cetin como condición para Initiation Handling.
 - ii) Settlement/Single Scenario
 - Initiation Handling: NCEER por defecto. No hay mucha diferencia en los resultados cuando se usa a Cetin como condición para Initiation Handling.

Anexo F.2: Consideraciones Generales para el cálculo de los asentamientos y el desplazamiento lateral, con WSliq, en Llacolén.

A continuación se enumeran las consideraciones generales, tomadas para el cálculo de los asentamientos y el desplazamiento lateral en el Puente Llacolén.

a) Intensidad de evento:

PGA=0.4g; Mw=8.8 y R=100 km (Ledezma, Italia 2012)

b) Soil Profile

i) GWT:

Se utilizó la misma hipótesis de la evaluación del potencial de licuefacción, en nivel freático se encuentra a nivel de superficie.

ii) SPT ER:

Se estimó un valor de 45%, en función del factor de corrección por energía del martillo (CEY y CEC), utilizada para la evaluación del potencial de licuefacción, según lo descrito en la Sección 4.2.1.ii y 4.2.2.iii, de forma tal que el SPT $ER=ER=CEY*60$, siendo $CEY=CEC=0.75$, por que el martillo que se utilizó para la exploración de 1993 y 1996 en Llacolén, se asumió tipo dona.

iii) Ground Surface:

- Elevation: Se utilizaron los valores estimados para elaborar el perfil del puente, Figura C.1.1-1 del Anexo C.1.1
- Infinite Slope: Se asumió la condición de pendiente del talud (*ground-slope*) de 0.5% y la condición de talud infinito. (Ledezma, Italia 2012)

iv) Unit Wt: Se usó el valor estimado en función del NSPT, según la Tabla 4-8, de la Sección 4.2.5.

- v) Meas. SPT: Se uso el valor de cada estrato.
 - vi) FC(%):Se usaron los dos escenarios utilizados en la evaluación del potencial de licuefacción $FC < 5\%$ ($FC = 0\%$) y $FC > 35\%$ ($FC = 40\%$).
 - vii) D_{50} (mm):
 - Como el Puente Llacolén se encuentra aguas arriba de Juan Pablo II, y por sedimentación se puede esperarse que aguas arriba de un punto en el eje de un rio, los materiales sean más gruesos, se calculo la Mediana y el Percentil 75%, para todos los materiales de JPII, cuyo:
 - ✓ $FC < 5\%$: para todas las perforaciones se uso el Percentil 75% del $D_{50} = 0.519$ mm.
 - ✓ $35\% < FC < 50\%$: para todas las perforaciones se uso el Percentil 75% del $D_{50} = 0.079$ mm.
- c) Susceptibility
- i) Como no se disponía de ensayos de clasificación, para el caso de $FC > 35\%$, se asumió escenario más conservador, tomando valores de PI y w_c/LL , que clasifiquen a los estratos potencialmente licuables, de acuerdo a Bray y Sancio (2006): $IP < 12$ y $w_c/LL > 0.85$ y Boulanger e Idriss (2006): $IP < 3$, es decir, $IP = 2$ y $w_c/LL = 0.90$.
 - ii) Threshold $SI = 0.50$
 - iii) Weighting Fcators: $B-I = 0.5$ y $B-S = 0.50$
- d) Initiation
- i) Single Scenario

- Cetin's PL=80%. Para este % fue que se definieron en la tesis los estratos licuables. Anexo E.1.2.

e) Effects

i) Lateral Spreading/Single Scenario

- Initiation Handling: NCEER por defecto. No hay mucha diferencia en los resultados cuando se usa a Cetin como condición para Initiation Handling.

ii) Settlement/Single Scenario

- Initiation Handling: NCEER por defecto. No hay mucha diferencia en los resultados cuando se usa a Cetin como condición para Initiation Handling.