



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“MÉTODO DE INYECCIÓN MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA,
LAMBAYEQUE. 2019”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

Autores:

Bach. Fernandez Silva, Jose Ismael

<https://orcid.org/0000-0002-5185-7827>

Bach. Vasquez Diaz, Nasar Emilio

<https://orcid.org/0000-0001-6013-8130>

Asesor:

MBA. Pedro Ramon Patazca Rojas

<https://orcid.org/0000-0001-9630-7936>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú, 2022

APROBACIÓN DEL JURADO
**“MÉTODO DE INYECCIÓN MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA,
LAMBAYEQUE. 2019”**

Bach, Fernandez silva Jose Ismael

Autor (1)

Bach, Vasquez Diaz, Nasar Emilio

Autor (2)

MBA. Pedro Ramon Patazca Rojas

Asesor

Mg, Idrogo Perez Cesar Antonio

Presidente de Jurado

Mg. Villegas Granados Luis Mariano

Secretario de Jurado

_ Mg. Salinas Vasquez Nestor Raul

Vocal de Jurado

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la **DECLARACIÓN JURADA**, soy(somos) Elija un elemento. del Programa de Estudios de Haga clic o pulse aquí para escribir texto. de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

“MÉTODO DE INYECCIÓN MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE. 2019”

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

FERNANDEZ SILVA JOSE ISMAEL	41073282	
VASQUEZ DIAZ NASAR EMILIO	42572983	

Pimentel, 02 de febrero de 2023.

Dedicatorias

Dedico esta investigación A: mis padres María Graciela Silva Tantacure, y Jorge Gonzalo Fernández Díaz. A mis hijos Jhael y Mariagrazia J. Fernández. A mi señora Rosa Maricruz. A mis sobrinos Jair, Luana, Joshua, Yaretzi y Jahaziel. A mis Hermanos Nury E. y Nancy P. Hernández Silva, Mari Grasse, Jorge G. y Gianella Fernández.

*En memoria del Ing. Juan Jose Tantacure
Julca Mi Querido y estimado tío (QEPD)*

Jose Ismael Fernandez silva

A: Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudios.

A: Mis Abuelos Juan Antonio y Elena (QEPD) por el ejemplo de perseverancia y el amor hacia sus hijos y nietos

A: Mis padres Lila Consuelo y Deledio por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron; todos mis logros se los debo a ustedes

Nasar Emilio Vasquez Diaz

Agradecimientos

Agradecemos A: nuestros Padres, por habernos dado la existencia y así poder realizarnos como estudiantes y profesionales de la Ingeniería civil. A nuestros docentes que compartieron sus conocimientos y experiencias en las Aulas de nuestra querida USS por inculcar el aprendizaje y la exigencia que amerita esta profesión, entre ellos a quienes consideramos nuestros maestros y amigos como los ingenieros: Javier Gonzales Bernilla, Sócrates Muñoz Pérez, Carmen Chilón Muñoz, Roger Anaya Morales, Pedro Bernilla Carlos, Entre otros buenos docentes que tiene nuestra querida escuela. A los miembros de la dirección de la escuela de ingeniería civil y personal del laboratorio de la USS, por permitirnos llevar a cabo esta investigación en los laboratorios de mecánica de suelos y materiales, así como brindarnos el equipo necesario para la exploración in situ realizada en esta investigación. A los maestros: Jorge Alva Hurtado y Carmen Ortiz Salas, docentes del curso dinámica de suelos de la unidad de posgrado de la UNI, ya que en este trabajo se aplican algunos conceptos de análisis tomados en el curso.

Jose Ismael Fernandez Silva.

Nasar Emilio Vasquez Dias.

Resumen

En esta investigación de la ingeniería geotécnica sísmica perteneciente a los estudios de la dinámica de suelos, se trata el problema de la licuación de los suelos y sus efectos en la superficie. El desarrollo de esta investigación se efectuó en cinco fases: la primera consiste en la ejecución de 09 pruebas SPT de campo, para obtener la resistencia a la penetración dinámica de los suelos, la segunda fase consiste en el análisis y procesamiento de las muestras obtenidas de campo en el laboratorio de mecánica de suelos de la USS, en la tercera fase se efectuó el análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA), con el propósito de obtener los valores de aceleración máxima y Magnitud de momento sísmico específicos del sitio, donde se obtuvo $a_{max}=0.40$ g en roca y 0.43 g en la superficie del terreno y $M= 7.0$ Mw, en la cuarta fase se efectuó el análisis y evaluación de la licuación de los suelos y sus efectos en la superficie, aplicando la metodología determinística propuesta por Seed e Idriss y para el análisis de los efectos en la superficie, se aplicó la metodología probabilista de Iwasaki y Tatsuoka, en la quinta fase se desarrolló el diseño experimental de un mortero para inyección en suelos arenosos, en base a pruebas experimentales de fluidez, viscosidad y compatibilidad de la mezcla y sus componentes, medidas en el cono de Marsh, para verificar la calidad del tratamiento se efectuaron pruebas experimentales de resistencia a la penetración en laboratorio y en campo. Así como ensayos de resistencia a la compresión mediante rotura de Testigos cúbicos y cilíndricos, las pruebas de penetración en laboratorio se efectuaron en el penetrómetro Acme, la aplicación del método de inyección de mortero en campo se ejecutó mediante una bomba de recirculación de lechadas, aplicándose directamente en las perforaciones ejecutadas, junto a las pruebas de SPT (01-04), realizadas en la primera Fase, para verificar la resistencia dinámica de los suelos mejorados se efectuaron pruebas adicionales de penetración estándar y en base a estas se realizó la verificación de la activación de la licuación y los efectos en la superficie de los suelos mejorados, los resultados indican que se puede mitigar el riesgo en los suelos potencialmente licuables entre 30 y 40% según la profundidad y tipo de suelo.

Palabras Clave: Análisis de Peligro Sísmico específico, Licuación de Suelos, Mejoramiento del terreno, resistencia cíclica, mitigación de la licuación, efectos en la superficie del terreno, mortero de permeación, bentonita.

Abstract

In this research of seismic geotechnical engineering belonging to the studies of soil dynamics, the problem of soil liquefaction and its effects on the surface is dealt with. The development of this research was carried out in five phases: the first phase consists of the execution of 09 field SPT tests, to obtain the dynamic penetration resistance of soils, the second phase consists of the analysis and processing of the samples obtained from the field in the soil mechanics laboratory of the USS, in the third phase the site-specific seismic hazard analysis (PSHA) was carried out, with the purpose of obtaining the values of maximum acceleration and site-specific seismic moment magnitude, where $a_{max}=0.40$ g in rock and 0.43 g at the ground surface and $M=7.0$ Mw. In the fourth phase, the analysis and evaluation of soil liquefaction and its effects on the surface was carried out, applying the deterministic methodology proposed by Seed and Idriss, and for the analysis of the effects on the surface, the probabilistic methodology of Iwasaki and Tatsuoka was applied, in the fifth phase, the experimental design of a mortar for injection in sandy soils was developed, based on experimental tests of fluidity, viscosity and compatibility of the mixture and its components, measured in the Marsh cone, to verify the quality of the treatment, experimental tests of penetration resistance were carried out in the laboratory and in the field. As well as compressive strength tests by breaking cubic and cylindrical witnesses, the penetration tests in the laboratory were carried out in the Acme penetrometer, the application of the mortar injection method in the field was carried out by means of a grout recirculation pump, applied directly in the drilled holes, together with the SPT tests (01-04), carried out in the first phase, to verify the dynamic resistance of the improved soils, additional standard penetration tests were carried out and based on these, the verification of the activation of liquefaction and the effects on the surface of the improved soils was performed, the results indicate that the risk in potentially liquefiable soils can be mitigated between 30 and 40% depending on the depth and type of soil.

Keywords: Specific Seismic Hazard Analysis, Soil Liquefaction, Ground Improvement, Cyclic Resistance, Liquefaction Mitigation, Ground Surface Effects, Soil Permeation Mixing, Bentonite.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	24
1.1	Realidad Problemática.	24
1.2	Trabajos Previos	27
1.3	Teorías relacionadas al tema.	37
1.4	Formulación del Problema.	97
1.5	Justificación e importancia del estudio.	97
1.6	Hipótesis.	98
1.7	Objetivos.	98
2	MATERIAL Y MÉTODO.....	99
2.1	Tipo y Diseño de Investigación.	99
2.2	Variables, Operacionalización.....	100
2.3	Población y muestra.....	102
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad. 102	
2.5	Procedimiento del análisis de Datos	105
2.6	Criterios Éticos	133
2.7	Criterios de Rigor científico	133
3	RESULTADOS.....	134
3.1	Resultados de Tablas y figuras	134
3.2	Discusión de Resultados.....	254
3.3	Aporte Práctico.....	256
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	262
5	REFERENCIAS	266
6	ANEXOS.....	275

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica Anchorage, Alaska y efectos de la licuación de suelos en Niigata, Japón.	24
Figura 2. Sitios afectados por la licuefacción de suelos en Chile durante el sismo del 27 de febrero del 2010	25
Figura 3. Esquema de un paquete de granos de arena con cambios de empaquetamiento durante la deformación cíclica por corte	38
Figura 4. Registro Histórico de Terremotos 1900-2017	40
Figura 5. Propagación de Ondas Sísmicas	41
Figura 6. Falla del terreno por licuación de flujo ocurrida en el terraplén de una carretera en San Francisco durante el terremoto de 1957 en Daly City.....	42
Figura 7. Esquema de una dispersión lateral	43
Figura 8. Esquema de oscilación del terreno.....	44
Figura 9. Pérdida de capacidad portante por licuación de suelos	44
Figura 10. Expulsión y flotación de un tanque subterráneo por licuación de suelos	45
Figura 11. Relación propuesta entre la relación de tensión cíclica, $(N1)_{60}$ y la deformación volumétrica para arenas limpias saturadas	46
Figura 12. Gráfico para estimar la deformación volumétrica en función de Densidad relativa y el Factor de seguridad. FSL.....	47
Figura 13. Mapa actual macro zonificación sísmica del Perú según la Nte E 0.30, 2018	51
Figura 14. Proceso de subducción y su relación con la distribución sísmica	54
Figura 15. Fuentes Sísmicas de subducción interfase	55
Figura 16. Fuentes Sísmicas de subducción intraplaca	55
Figura 17. Fuentes Sísmicas de subducción Continentales	56
Figura 18. Rango de suelos susceptibles a la licuación	70
Figura 19. Número de ciclos de esfuerzos uniformes equivalentes. N_{eq} . Para terremotos de diferente magnitud.....	71
Figura 20. Simplificación de bloque de suelo como un cuerpo rígido	73
Figura 21. Serie temporal, de ciclos individuales y el número equivalente de ciclos uniformes.....	75
Figura 22. Respuesta dinámica unidimensional del depósito de suelo	76
Figura 23. Combinaciones de los parámetros de carga y resistencia L y R	78
Figura 24. Relaciones de estrés cíclico que determinan la licuación del suelo en arenas limpias en base a pruebas SPT.....	79

Figura 25. Curvas de estrés cíclico para arenas limosas, obtenidas a partir de pruebas SPT	79
Figura 26. Variación del factor de corrección $K\alpha$ con la relación de esfuerzo cortante inicial	81
Figura 27. Variación del factor de corrección, Kcr , con presión de sobrecarga efectiva.....	81
Figura 28. Relación del factor de reducción de resistencia de corte r_d	84
Figura 29. Relación del factor de corrección de sobrecarga (CN) para las resistencias de penetración de CPT y SPT.....	85
Figura 30. Identificación de la licuación de suelos en función del esfuerzo cortante cíclico y la profundidad del análisis	86
Figura 31. Integración de la función $w(z)$ en base al factor de resistencia $FL(z)$. ..	89
Figura 32. Forma lineal de $w(z)$ cuando $FL(z)$ considera capas de suelo no licuables	89
Figura 33. Curvas límite para evaluar efectos de la capa superficial no licuable para diferentes valores de PGA.....	90
Figura 34. Ubicación de la zona de muestreo	103
Figura 35. Diagrama de Flujo de Procesos	105
Figura 36. Plano de Ubicación y localización del área de estudio	106
Figura 37. Plano topográfico del Área de Investigación con curvas de nivel.....	107
Figura 38. Secuencia de perforación dinámica SPT.....	109
Figura 39. Ejecución de Ensayos de Penetración Estándar.....	110
Figura 40. Obtención y recuperación de las muestras alteradas.....	111
Figura 41. Ejecución de Calicatas a cielo abierto.....	111
Figura 42. Toma de registro de densidad natural en las calicatas ejecutadas ..	112
Figura 43. Obtención de muestras inalteradas.....	112
Figura 44. Procedimiento de Identificación visual manual.....	113
Figura 45. Procedimiento para efectuar el análisis granulométrico por tamizado	117
Figura 46. Procedimientos de Ensayos de límites de consistencia	118
Figura 47. Ensayo de peso específico relativo de sólidos	119
Figura 48. Ensayos de corte directo	120
Figura 49. Mapa físico de la provincia de Chiclayo	121
Figura 50. Localización de las coordenadas geográficas para el análisis de peligro sísmico	121

Figura 51. Definición de las coordenadas espectrales en R-Crisis.....	122
Figura 52. Mapa sísmico del Perú.....	123
Figura 53. Modelación de Fuentes de subducción Interface	126
Figura 54. Modelación de Fuentes de subducción Intraplaca.....	126
Figura 55. Modelación de Fuentes continentales	127
Figura 56. Geometría de las fuentes sísmicas en R-Crisis.....	127
Figura 57. Fase de pruebas de selección de materiales, dosificación y preparación del mortero	130
Figura 58. Fase de pruebas de fluidez y compatibilidad del mortero.....	130
Figura 59. Ensayo de resistencia a la penetración en penetrometro ACMÉ	131
Figura 60. Control y medición de especímenes de suelo mejorado	131
Figura 61. Preparación y curado de especímenes cúbicos y cilíndricos de mortero para los ensayos de compresión.....	132
Figura 62. Rotura de moldes cilíndricos en máquina universal de compresión .	132
Figura 63. Aplicación de inyecciones en campo.....	133
Figura 64. Registro de prueba de campo, SPT -01	134
Figura 65. Registro de prueba de campo, SPT -02	135
Figura 66. Registro de prueba de campo, SPT -03	136
Figura 67. Registro de prueba de campo, SPT -04	137
Figura 68. Registro de prueba de campo, SPT -05.....	138
Figura 69. Registro de prueba de campo, SPT -06	139
Figura 70. Registro de prueba de campo, SPT -07	140
Figura 71. Registro de prueba de campo, SPT -08	141
Figura 72. Registro de prueba de campo, SPT -09	142
Figura 73. Resumen grafico de resultados de la variación de la resistencia a la penetración dinámica en las pruebas SPT (01-09)	143
Figura 74. Resumen de resultados contenido de humedad vs profundidad de estratos	144
Figura 75. Curvas Granulométricas, Sondaje SPT -01.....	148
Figura 76. Curvas granulométricas Sondaje SPT-02	148
Figura 77. Curvas granulométricas Sondaje SPT-03	149
Figura 78. Curvas granulométricas Sondaje SPT-04	149
Figura 79. Distribución granulométrica del suelo Sondajes SPT 01-04.....	150
Figura 80. Curvas granulométricas Sondaje SPT-05	150

Figura 81. Curvas granulométricas Sondaje SPT-06	151
Figura 82. Curvas granulométricas Sondaje SPT-07	151
Figura 83. Curvas granulométricas Sondaje SPT-08	152
Figura 84. Curvas granulométricas Sondaje SPT-09	152
Figura 85. Distribución granulométrica del suelo a partir de Sondajes SPT 05-09	153
Figura 86. Variación del contenido de finos con la profundidad, a partir de sondajes SPT 01-09	154
Figura 87. Límite Líquido vs Profundidad según sondaje	158
Figura 88. Índice Plástico vs Profundidad según sondaje	159
Figura 89. Plasticidad de los suelos a partir de sondajes SPT 01-09.....	159
Figura 90. Relación entre el Ángulo de fricción y el número de golpes N-SPT .	166
Figura 91. Mapa de peligro sísmico de sitio, para la provincia de Chiclayo	167
Figura 92. aceleraciones máximas específicas de sitio, para la provincia de Chiclayo	167
Figura 93. Intensidades máximas para el distrito de Santa Rosa.....	169
Figura 94. Aceleraciones máximas en la roca para Santa Rosa, Chiclayo	170
Figura 95. Aceleraciones máximas en la superficie del suelo para Santa Rosa, Chiclayo	170
Figura 96. Espectros de respuesta de sitio de Santa Rosa en la roca, con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años para un sismo de $T_r=475$ años	172
Figura 97. Espectros de Peligro Uniforme en la roca para Santa Rosa.	172
Figura 98. Espectros de peligro uniforme para suelos	173
Figura 99. Parámetros globales para el análisis de Magnitud máxima a de momento sísmico M_w	173
Figura 100. Magnitud máxima de momento sísmico probable para un sismo de tipo raro periodo de retorno de 475 años con una probabilidad de ser excedido en 10% cada 50 años.....	174
Figura 101. Desagregación del peligro sísmico específico de sitio	176
Figura 102. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-01, escala de momento sísmico 7.5 M_w	180
Figura 103. Profundidades de activación de la licuación del suelo, estado inicial (a) y dinámico de esfuerzos (b), sondaje SPT-01.....	181
Figura 104. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-02, escala de momento sísmico 7.5 M_w	185

Figura 105. Profundidades de activación de la licuación del suelo, estado inicial (a) y dinámico de esfuerzos (b), sondaje SPT-02.....	186
Figura 106. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-03, escala de momento sísmico 7.5 Mw.....	190
Figura 107. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial, (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-03.....	191
Figura 108. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-04, escala de momento sísmico 7.5 Mw.....	194
Figura 109. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-04.....	195
Figura 110. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-05, escala de momento sísmico 7.5 Mw.....	198
Figura 111. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-05.....	199
Figura 112. V Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-06, escala de momento sísmico 7.5 Mw.....	201
Figura 113. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-06.....	202
Figura 114. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-07, escala de momento sísmico 7.5 Mw.....	204
Figura 115. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-07.....	205
Figura 116. Alternativa de solución para la profundidad de fondo de cimentación como medida de disipación del exceso de la presión de poros.....	206
Figura 117. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-08, escala de momento sísmico 7.5 Mw.....	208
Figura 118. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-08.....	209
Figura 119. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-09, escala de momento sísmico 7.5 Mw.....	211
Figura 120. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-09.....	212
Figura 121. Profundidades de activación de la licuación del suelo, obtenido con el método determinista.....	213
Figura 122. Curva de resistencia cíclica CRR del terreno, construida a partir del análisis determinista.....	214
Figura 123. Curva de resistencia cíclica normalizada para la evaluación simplificada de licuación del terreno.....	214

Figura 124. Validación de la curva de resistencia del terreno con respecto a las curvas propuestas por Seed e Idriss	215
Figura 125. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.2%.....	224
Figura 126. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%.....	225
Figura 127. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.7%.....	226
Figura 128. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.0 %.....	227
Figura 129. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.5 %.....	228
Figura 130. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 2.0 %.....	229
Figura 131. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 5.0 % y aditivo al 0.4 %.....	230
Figura 132. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 0.7 %.....	230
Figura 133. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 1.0 %.....	230
Figura 134. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 1.5 %.....	231
Figura 135. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 2.0 %.....	231
Figura 136. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %.....	232
Figura 137. Curvas de fluidez del mortero con cemento tipo Ms, bentonita al 10%, % de aditivo variable, del 0,4 al 2.0 %, para 2 horas de inyección.....	233
Figura 138. Curvas de fluidez del mortero con cemento tipo I, Mochica, bentonita y % de aditivo variable, del 0,4 al 2.0 %, para 2 horas de inyección.....	233
Figura 139. Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días, para contenidos de bentonita de 5 y 10% y SP entre 0 y 2%.....	240
Figura 140. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (10,11).....	247
Figura 141. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (12,13).....	248
Figura 142. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (14,15).....	249

Figura 143. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (14, 15).....	250
Figura 144. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (10-11).....	251
Figura 145. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (11-12).....	252
Figura 146. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (14, 15).....	253
Figura 147. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (16, 17).....	254

Índice de Tablas

Tabla 1. Factores de Zona sísmica, según NTE E 0.30-2018.....	50
Tabla 2. Escenarios de peligro sísmico	51
Tabla 3. Coeficientes constantes en el Modelo de subducción de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016)	59
Tabla 4. Coeficientes para el modelo de subducción de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016).....	60
Tabla 5. clases de emplazamiento utilizadas en el modelo de (Zhao, y otros, 2006)	61
Tabla 6. Coeficientes utilizados en el modelo de (Zhao, y otros, 2006).....	61
Tabla 7. Coeficientes de atenuación de Youngs et al para aceleraciones espectrales en la roca	62
Tabla 8. Coeficientes de atenuación de Youngs et al para aceleraciones espectrales en suelos.....	63
Tabla 9. Coeficientes de atenuación de (Sadigh, et al 1997) en roca, para $M \leq 6.5$	64
Tabla 10. Coeficientes de atenuación de (Sadigh, et al 1997) en roca, para $M > 6.5$	64
Tabla 11. Coeficientes de atenuación de (Sadigh, et al 1997) para sitios de suelo profundo	65
Tabla 12. Susceptibilidad de los depósitos sedimentarios.....	68
Tabla 13. Factores de corrección de Magnitud para el enfoque de esfuerzo cíclico	80
Tabla 14. Niveles de LPI para definir el riesgo y efectos en la superficie del terreno	91
Tabla 15. Mejoramiento del terreno con métodos de reemplazo.	92
Tabla 16. Mejoramiento del terreno con métodos de densificación.	93
Tabla 17. Mejoramiento del terreno con métodos de densificación continuación.	94
Tabla 18. Mejoramiento del terreno con métodos de solidificación.....	94
Tabla 19. Mejoramiento del terreno con métodos de drenaje	95
Tabla 20. Diseño de Investigación	99
Tabla 21. Operacionalización de la Variable Suelos potencialmente Licuables.	101
Tabla 22. Normativa utilizada en esta Investigación	104
Tabla 23. Dimensiones del área de estudio.....	106
Tabla 24. Ubicación de los puntos de investigación	107

Tabla 25. Serie de Tamices Estandarizados de Malla Cuadrada	115
Tabla 26. Fuentes Sísmicas Analizadas	123
Tabla 27. Coordenadas geográficas de las fuentes sísmicas de interface	124
Tabla 28. Coordenadas geográficas de las fuentes sísmicas de intraplaca	124
Tabla 29. Coordenadas geográficas de las fuentes sísmicas de intraplaca	125
Tabla 30. Factor de seguridad a usar en la evaluación de la licuación de suelos	128
Tabla 31. Resistencia del terreno a la penetración dinámica Nm-SPT pruebas SPT (01-09).....	143
Tabla 32. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-01	144
Tabla 33. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-02	144
Tabla 34. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-03.....	144
Tabla 35. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-04.....	145
Tabla 36. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-05.....	145
Tabla 37. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-06.....	145
Tabla 38. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-07.....	145
Tabla 39. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-08.....	146
Tabla 40. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-09.....	146
Tabla 41. Resumen de resultados contenido de humedad vs profundidad de estratos	146
Tabla 42. Variación del contenido de finos con la profundidad, a partir de sondajes SPT 01-09.....	153
Tabla 43. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-01	154
Tabla 44. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-02	155
Tabla 45. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-03.....	155
Tabla 46. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-04.....	155
Tabla 47. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-05.....	156
Tabla 48. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-06.....	156
Tabla 49. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-07	156
Tabla 50. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-08.....	157
Tabla 51. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-09.....	157
Tabla 52. Resumen Límite Líquido vs Profundidad según sondaje	157
Tabla 53. Resumen Límite Plástico vs Profundidad según sondaje	158
Tabla 54. Resumen Índice de plasticidad vs Profundidad según sondaje	158

Tabla 55. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 01	160
Tabla 56. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 02	160
Tabla 57. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 03	161
Tabla 58. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 04	161
Tabla 59. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 05	162
Tabla 60. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 06	162
Tabla 61. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 07	163
Tabla 62. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 08	163
Tabla 63. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 09	164
Tabla 64. Tabla resumen clasificación SUCS con fines de evaluación de licuación del suelo.....	164
Tabla 65. Parámetros de resistencia del terreno al Esfuerzo cortante.....	165
Tabla 66. Relación entre el Ángulo de fricción con el número de golpes N-SPT	166
Tabla 67. Ángulos de fricción obtenidos en base a la relación entre NSPT- ϕ ...	166
Tabla 68. Intensidades máximas a partir del análisis de peligro sísmico PSHA para la Provincia de Chiclayo	168
Tabla 69. Intensidades máximas a partir del análisis de peligro sísmico PSHA para Santa Rosa.....	169
Tabla 70. Aceleraciones espectrales obtenidas del análisis de peligro sísmico	171
Tabla 71. Probabilidad de superación de un evento sísmico específico de sitio	175
Tabla 72. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf= 2.10 m.	177
Tabla 73. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf= 1.50 m.	178
Tabla 74. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, sondaje SPT-01, Nf=1.50 m.....	178
Tabla 75. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf=2.10 m.....	179
Tabla 76. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf=1.50 m.....	179
Tabla 77. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 2.30 m.....	182
Tabla 78. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 1.50 m.....	182
Tabla 79. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 2.30 m	183

Tabla 80. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 1.50 m	183
Tabla 81. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 2.30 m	184
Tabla 82. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 1.50 m	184
Tabla 83. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-03, Nf=2.60 m	187
Tabla 84. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-03, Nf=1.50 m	187
Tabla 85. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, sondaje SPT-03, Nf= 2.60 m	188
Tabla 86. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, sondaje SPT-03, Nf= 1.50 m	188
Tabla 87. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, Sondaje SPT-03, Nf= 2.60 m	189
Tabla 88. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, Sondaje SPT-03, Nf= 1.50 m	190
Tabla 89. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, Sondaje SPT-04, Nf=2.00 m	192
Tabla 90. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, Sondaje SPT-04, Nf= 1.50 m	192
Tabla 91. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, Sondaje SPT-04, Nf= 2.00 m	193
Tabla 92. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, Sondaje SPT-04, Nf= 1.50 m	193
Tabla 93. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -3.00 m	196
Tabla 94. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -1.50 m	196
Tabla 95. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -3.00 m	197
Tabla 96. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -1.50 m	197
Tabla 97. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-06, Nf= -3.45 m	200
Tabla 98. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-06, Nf= -1.50 m	200

Tabla 99. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-07, Nf= -3.60 m	203
Tabla 100. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-07, Nf= -1.50 m	203
Tabla 101. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-08, Nf= -2.90 m	207
Tabla 102. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-08, Nf= -1.50 m	207
Tabla 103. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-09, Nf= -3.40 m	210
Tabla 104. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-09, Nf= -1.50 m	210
Tabla 105. Resumen de factores de seguridad del terreno obtenidos con el método determinista.....	213
Tabla 106. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -01.....	215
Tabla 107. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -02.....	216
Tabla 108. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -03.....	216
Tabla 109. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -04.....	216
Tabla 110. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -05.....	216
Tabla 111. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -06.....	217
Tabla 112. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -07.....	217
Tabla 113. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -08.....	217
Tabla 114. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -09.....	217
Tabla 115. Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-01	218
Tabla 116. Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-01	218
Tabla 117. Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-02	219
Tabla 118. Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-02	219
Tabla 119. Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-03.....	220
Tabla 120. Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-03	220
Tabla 121. Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-04.....	221
Tabla 122. Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-04	221
Tabla 123. Dispersión lateral por licuación de suelos a partir del perfil de SPT-01	222
Tabla 124. Dispersión lateral por licuación de suelos a partir del perfil de SPT-02	222

Tabla 125. <i>Dispersión lateral por licuación de suelos a partir del perfil de SPT-03</i>	221
Tabla 126. <i>Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 0.2%</i>	222
Tabla 127. <i>Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.2%</i>	223
Tabla 128. <i>Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 0.4%</i>	223
Tabla 129. <i>Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%</i>	224
Tabla 130. <i>Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 0.7%</i>	224
Tabla 131. <i>Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.7%</i>	225
Tabla 132. <i>Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 1.0 %</i>	225
Tabla 133. <i>Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.0 %</i>	225
Tabla 134. <i>Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 1.5 %</i>	226
Tabla 135. <i>Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.5 %</i>	228
Tabla 136. <i>Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 2.0 %</i>	228
Tabla 137. <i>Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 2.0 %</i>	229
Tabla 138. <i>Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %</i>	231
Tabla 139. <i>Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %</i>	231
Tabla 140. <i>Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.2%</i>	234
Tabla 141. <i>Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%</i>	234
Tabla 142. <i>Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%</i>	234
Tabla 143. <i>Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.0 %</i>	235

Tabla 144. Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.5 %.....	235
Tabla 145. Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 2.0 %.....	235
Tabla 146. Prueba de decantación del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %	236
Tabla 147. Resultados de ensayos de penetración en laboratorio, usando penetrómetro Acme.....	237
Tabla 148. Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cilíndricos a los 14 días, bentonita al 5%	237
Tabla 149. Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cúbicos de 5 cm de lado a los 14 días, bentonita al 5%.....	238
Tabla 150. Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cúbicos de 5 cm de lado a los 28 días, bentonita al 5%.....	239
Tabla 151. Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cúbicos de 5 cm de lado a los 28 días, bentonita al 10%.....	239
Tabla 152. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 10.....	241
Tabla 153. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 11.....	241
Tabla 154. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 12.....	242
Tabla 155. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 13.....	242
Tabla 156. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 14.....	242
Tabla 157. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 15.....	242
Tabla 158. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 16.....	243
Tabla 159. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 17.....	243
Tabla 160. Resistencia cíclica del suelo mejorado con inyecciones de mortero de permeación durante la activación de la licuación, SPT-10 y 11	244
Tabla 161. Resistencia cíclica del terreno mejorado con inyecciones de mortero de permeación y drenaje vertical durante la activación de la licuación, SPT-10 y 11	244
Tabla 162. Resistencia cíclica del suelo mejorado con inyecciones de mortero de permeación durante la activación de la licuación, SPT-12 y 13, Df= 2.00 m.....	245
Tabla 163. Resistencia cíclica del suelo mejorado con inyecciones de mortero de permeación durante la activación de la licuación, SPT-14 y 15, Df= 2.00 m.....	245
Tabla 164. Resistencia cíclica del suelo mejorado con inyecciones de mortero de permeación durante la activación de la licuación, SPT-16 y 17, Df= 1.80 m.....	246
Tabla 165. Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (10, 11)	247

Tabla 166. Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (12,13)	248
Tabla 167. Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (14,15)	249
Tabla 168. Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (16,17)	249
Tabla 169. Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado SPT (10,11)	250
Tabla 170. Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (12,13)	251
Tabla 171. Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (14,15)	252
Tabla 172. Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (16,17)	253
Tabla 173. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-1, $M_w=7.5$	260
Tabla 174. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-1, $M_w=6.0$	260
Tabla 175. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-2, $M_w=6.0$	261
Tabla 176. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-4, $M_w=6.0$	261

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática.

▪ Internacional

(Cilia, Mooney, & Nugroho, 2020), En Indonesia el 28 de septiembre del 2018 un terremoto alcanzó una escala de momento sísmico de 7.5 Mw, desencadenando una catástrofe en la turística ciudad de Palu, donde se presentaron 6 sub-rupturas dentro de una Región de unos 150 km de longitud, entre los efectos más visibles y cuantificables del sismo se produjo la activación de licuación de suelos que ocurrió en varios lugares adyacentes a la franja de ruptura, ocasionando deslizamientos, hundimiento y colapso de estructuras de viviendas y edificios, incluso se presentaron desplazamientos de masas de suelo, dejando a la población en una situación crítica con una gran cantidad de damnificados.

(Youd T. L., 2014). En Alaska El terremoto de 1964 que generó efectos de licuación del suelo alcanzó una Magnitud de momento sísmico 9.2 Mw y se convirtió en un hito para la ingeniería geotécnica sísmica. Antes de este evento, la licuefacción era un fenómeno curioso, algo conocido, pero se desconocía su alto potencial para causar grandes daños durante los terremotos. El terremoto de Niigata, Japón que alcanzó 7.6 Mw, ocurrido unos meses más tarde, también generó efectos de licuación sin precedentes, el mundo de la ingeniería geotécnica sísmica repentinamente dio gran importancia de este fenómeno y comenzó la investigación sobre la licuación de suelos, acerca de cómo predecir su ocurrencia. y mitigar sus efectos en la superficie. Esta investigación continúa sin cesar en el presente.



Figura 1. Ubicación geográfica Anchorage, Alaska y efectos de la licuación de suelos en Niigata, Japón.

Se muestra en: (1-a) la Ubicación geográfica de la bahía de Anchorage, en (1-b) el efecto de la licuación de suelos en las estructuras, Niigata, Japón, presentado en la portada de geotechnical Earthquakes Engineering (Kramer S. L., 1996)

En Chile (González Fuentealba & Verdugo Alvarado, 2014), identificaron más de 180 sitios afectados por el fenómeno de licuefacción del suelo, durante el sismo del 27 de febrero del 2010, que registró 8.8 Mw. Estos sitios están localizados entre Valparaíso y los lagos. Entre los efectos se observaron formaciones de grietas, dispersiones laterales, asentamientos y eyección de volcanes de arena, procesos que afectaron las estructuras de viviendas, puertos, muelles y pavimentos, también se presentaron daños en tanques de relaves y estructuras enterradas. Estos sitios se clasificaron de acuerdo a las condiciones locales y el nivel de afectación de las estructuras en agrupándolos en: terrenos relativamente planos, terrenos con desplazamientos laterales, puentes y pasos a desnivel, terraplenes de accesos y terrenos ganados al mar, se presentó una distancia de desarrollo, de la licuación del suelo fue de 950 km, es decir una longitud cercana al doble de la zona de ruptura, el área afectada se extiende con mayor dominio hacia el sur de Chile, con lo que se explica el desarrollo de la licuación con predominio en los suelos arenosos, con presencia de aguas subterráneas superficiales y terrenos cercanos al mar y/o rodeados por cauces y lagos.

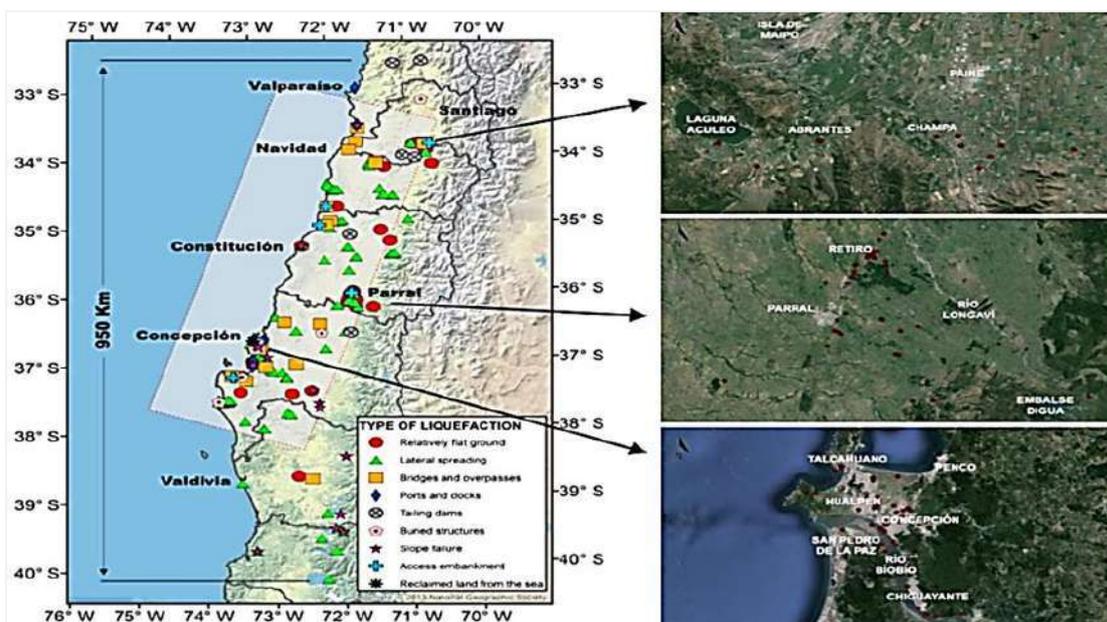


Figura 2. Sitios afectados por la licuefacción de suelos en Chile durante el sismo del 27 de febrero del 2010

- **Nacional**

En el Perú existen tres procesos de licuación de suelos, considerados como los más significativos, el primero ocurrido en los suelos de Chimbote, Áncash, por efecto del terremoto de 1970, el segundo localizado en el valle de alto mayo en Moyobamba, por los sismos de 1990 y 1991 y el tercero ocurrió en la localidad de Tambo de Mora, departamento de Ica, por efecto del sismo del 2007. En Chimbote se registraron intensidades de VIII- IX (MM), y Magnitudes de 7.7 Mw, ocasionando la licuación del Suelo de Casma, puerto Casma y la zona costera de la ciudad. Generando efectos de desplazamientos laterales. En Moyobamba los sismos de 1990 y 1991 ocurridos en la localidad de valle del Alto Mayo alcanzaron magnitudes de VIII - IX (MM) y Magnitudes de 6.5 Mw generando la licuefacción del suelo en áreas con depósitos aluviales, coluviales, entre los efectos más evidentes se presentaron asentamientos diferenciales, amplificación de onda de corte. El sismo del año 2007 ocurrido en la ciudad de Pisco alcanzó intensidades de VIII (MM) y Magnitudes de 8.0 Mw, las zonas más afectadas por la licuación de suelos fueron chincha y tambo de mora, en el margen costero entre villa el salvador y Paracas en Ica, se presentaron las fallas asociadas a la licuación de suelos, como dispersión lateral masiva a lo largo de 3 km, deslizamientos de taludes, asentamientos de edificaciones hasta profundidades de 1 m debajo del nivel de terreno natural, terraplenes dañados por dispersión lateral, rotura de tuberías de agua y alcantarillado en zonas portuarias, eyección de agua y arena saturada en la superficie. (Tavera, 2014)

- **Local**

Según los mapas de peligros del distrito de Santa Rosa elaborados por (Indeci, 2003) las zonas más propensas a desarrollar la licuefacción del suelo se orientan hacia la franja costera y la Av. mariscal castilla comprometiendo la nueva zona industrial, parte del sector jose Olaya y la zona central de la ciudad, presentaron una serie de láminas, de las que en este trabajo se exponen las figuras 8 y 9, que corresponden a la sectorización por tipo de suelos y de peligros asociados a licuación y expansividad de suelos respectivamente.

1.2 Trabajos Previos

(Sandiani & Tanzadeh, 2020). En su trabajo de investigación titulado: "Laboratory assessing of the liquefaction potential and strength properties of Sand soil treated with mixture of nanoclay and glass fiber under dynamic and static loading". debido a que los suelos arenosos de la zona costera de la ciudad de Bandar Anzali. presentan el problema de susceptibilidad a la licuación y rendimientos mecánicos muy pobres e insuficientes por lo que resultan inadecuados para muchos proyectos de construcción, en base a pruebas estáticas y dinámicas evaluaron el rendimiento de los suelos modificados con nanoarcilla y reforzados con fibra de vidrio. Para conocer los efectos de agregar simultáneamente ambos componentes a través de ensayos triaxiales estáticos en condición drenada consolidada. Los resultados mostraron efectos significativos con la adición fibras de vidrio y nanoarcilla de manera simultánea lográndose Incrementar la resistencia en más de 5,5 veces el número de ciclos de carga requeridos para causar la licuefacción con la relación de tensión cíclica de 0,27, aproximadamente 3 veces con la relación de tensión cíclica de 0,3 y, finalmente, más de 2 veces con la relación de tensión cíclica de 0,34 para la muestra de arena modificada en comparación con la muestra de arena pura. Lo que indica una mejora mayor al 100% en la condición más desfavorable que se evaluó. Con lo que concluyen que la adición conjunta de fibras de vidrio y nanoarcilla modificada en porcentajes al 0,5 % y 1% respectivamente del peso seco total de la muestra, se mejoró la resistencia cíclica del suelo arenoso de las dunas de la costa de Bandar Anzal.

(Hazarika, et al., 2020). En su trabajo de investigación titulado: "Tire-chip reinforced foundation as liquefaction countermeasure for residential buildings", con el propósito de mitigar los daños inducidos por la licuación del suelo en los edificios residenciales durante los movimientos sísmicos, desarrollaron una técnica de bajo costo, donde se utiliza una mezcla de astillas de neumáticos y grava como inclusión de refuerzo horizontal por debajo de los cimientos de las viviendas residenciales. La inclusión de refuerzo horizontal consta de una capa de virutas de neumáticos y grava colocada horizontalmente debajo de los cimientos. para evaluar la eficacia de la técnica se realizó una serie de pruebas experimentales de mesa vibratoria modelo de 1g a escala reducida, a su vez que efectuaron ensayos

triaxiales cíclicos no drenados para evaluar la licuefacción y susceptibilidad de las mezclas de grava y gravilla. Los resultados de las pruebas indicaron que se obtiene el mejor desempeño cuando el espesor de la capa armada es de 10 cm (2 m en prototipo) y la fracción de grava en porcentaje de volumen es del 50%. Las pruebas también indicaron que con una fracción de grava de 50 a 60 % por volumen se obtiene el porcentaje óptimo de la mezcla, con lo que concluyen que se puede restringir significativamente el aumento del exceso de presión intersticial sin comprometer la rigidez de la inclusión de refuerzo.

(Bahmanpour, et al., 2019). En su trabajo de investigación titulado: “The effect of underground columns on the mitigation of liquefaction in shaking table model experiments” Con el propósito de evaluar el efecto de las columnas mixtas profundas subterráneas en la mitigación de la licuación y para mejorar el comportamiento del suelo durante la carga sísmica, aplicaron el método de experimentación en el modelo de mesa vibratoria y estudiaron los efectos de factores como la frecuencia del movimiento sísmico de entrada, grado de drenaje, longitud, diámetro y espaciamiento de la columna y la condición límite. Además, la deformación volumétrica, la relación de presión intersticial, las tasas de generación y disipación de la relación PWP, así como la respuesta de aceleración y deformación del suelo. Según los resultados la presión intersticial del agua al final de la agitación se redujo hasta el 44 % del valor máximo, lo que indica que las columnas mixtas de suelo-cemento reducen significativamente la relación de presión de agua intersticial al final de la agitación y aumentan la tasa de disipación de la presión intersticial, lo que implica un menor tiempo para la disipación del exceso de presión intersticial, sin embargo, la aceleración registrada en la superficie del suelo, aumentó con la mejora. Por lo que concluyen que la instalación de las columnas subterráneas, efectuada correctamente, puede mitigar el daño del subsuelo inducido por la licuefacción.

(Fasano, De Sarno, Bilotta, & Flora, 2019). En su trabajo de investigación titulado: “Design of horizontal drains for the mitigation of liquefaction risk”. Evaluaron la eficacia de los drenajes horizontales como medida para reducir la acumulación de presión intersticial durante la agitación en suelos licuables. Modificaron los criterios

de diseño existentes para drenajes verticales para hacer frente a los diferentes diseños geométricos de drenajes horizontales que afectan el proceso de consolidación. El problema se resolvió con un algoritmo implícito de diferencias finitas y los resultados se resumieron en gráficos, trazando la relación de exceso de presión intersticial máxima calculada ru tomando valores tanto medios como máximos, para diferentes valores de la relación entre demanda y capacidad (N_{eq} / N_{liq}) y del factor de tiempo adimensional (T_{ad}) que dan cuenta de la duración sísmica significativa (t_d). Los análisis numéricos realizados en este trabajo tienen algunas limitaciones como la consideración de un solo diseño geométrico con tres filas de drenes (1), un suelo con permeabilidad isotrópica (2) drenes para los cuales se podía despreciar la resistencia del pozo (3). Este método de diseño propuesto también se puede adoptar cuando se espera un aumento significativo de la presión intersticial, pero no se alcanza la licuefacción, es decir, ($N_{eq} / N_{líquido} < 1$). En este caso, el valor límite de la relación de exceso de presión intersticial, ru debe seleccionarse como el que no desencadene una reducción inaceptable de la capacidad portante ni cause asentamientos excesivos de la estructura, por lo que concluyen que los drenajes horizontales son una opción interesante e innovadora para la mitigación de los peligros de la licuación del suelo.

(Mahmood, Mohammed, & Ghafor, 2019). En su trabajo de investigación titulado: "Viscosity, yield stress and compressive strength of cement-based grout modified with polymers" con el propósito de estudiar el comportamiento reológico y la resistencia a la compresión de una lechada a base de cemento, utilizando como adiciones dos tipos de polímero de policarboxilato (PCE) (DBC-21 y VK-98), fijaron la relación agua-cemento (a/c) en 0,6 y 1,0 a una temperatura de 25 °C y 50 °C. efectuaron el método experimental para estudiar la composición química de la lechada a base de cemento y la pérdida de masa, Se efectuaron modelos numéricos para comprender la resistencia al corte, las propiedades reológicas y la resistencia a la compresión. Los resultados muestran que el aditivo polimérico PCE al 0,16 % conlleva a una pérdida baja de peso del cemento a 800 °C, un aumento drástico de la viscosidad aparente y plástica y presenta una mejora de la resistencia a la compresión hasta un 90 % con relación a la mezcla sin adición de polímeros. Con lo que se concluye que la adición de polímeros produjo una red de fibra

alrededor de las partículas de cemento que reduce el vacío, une las partículas de cemento y aumenta la resistencia a la compresión de la lechada de cemento .

(Khebizi, et al., 2019). En su trabajo de investigación titulado: “Undrained behaviour of polypropylene fibre reinforced sandy soil under monotonic loading” Con el propósito de estudiar el comportamiento no drenado y la resistencia a la licuefacción de la arena reforzada con fibras de polipropileno, efectuaron pruebas de compresión triaxial sobre muestras de arena reforzada y no reforzada de Chlef con diferentes contenidos de fibras de polipropileno (0, 0,3, 0,5 y 0,8%). Las muestras se prepararon a densidades relativas del 30 y 80 % que representan estados sueltos y densos respectivamente, y se realizaron pruebas triaxiales a presiones de confinamiento de 50, 100 y 200 kPa. Los resultados de las pruebas indican que la adición de fibras es más eficaz en las muestras sueltas que en las densas. Donde las resistencias máximas de las muestras sueltas con refuerzo de fibras de polipropileno se incrementaron hasta el 100%. También se manifestó un aumento del Ángulo de fricción con respecto a las muestras sin reforzamiento de fibras. Con lo que se concluye que la inclusión de fibras es útil para mejorar la resistencia al corte y la dilatación del suelo arenoso.

(Ahmad, Tang, Qiu , Ahmad, & Gu, 2019). En su investigación titulada: “LLDV-a Comprehensive Framework for Assessing the Effects of Liquefaction Land Damage Potential”. Con el propósito de estimar el nivel de daño relacionado con la licuefacción del suelo durante los terremotos, desarrollaron un modelo que interpreta la vulnerabilidad de daño del terreno por licuefacción (LLDV), para estimar la probabilidad que la licuefacción cause daños en la superficie del terreno. Presentaron el desarrollo de un nuevo marco integral explorado a partir de registros de casos históricos seleccionados, utilizando la metodología de red de creencias bayesianas (BBN). El modelo de vulnerabilidad de daños del terreno está basado en la integración de factores multirelacionados con la licuefacción del suelo y sus peligros son inducidos en un modelo sobre la base de registros de casos de prueba de penetración de cono (CPT) utilizando un algoritmo y dominio de aprendizaje automático (ML). Los resultados destacan que el BBN propuesto es un marco LLDV novedoso y mostró un rendimiento relativamente mejor en comparación con el árbol

de decisiones (DT) C4.5, el clasificador bayesiano (NB) y los métodos de predicción BBN - K2 ML en términos de precisión global, con lo que se concluyó que el uso del marco propuesto, por el modelo BBN - K2 y DK, en la evaluación del potencial de daño al suelo es bastante prometedor, además este método prioriza el sitio más vulnerable de daños del suelo por la licuefacción, en lugar de tratar todos los sitios en los que se ha producido la licuefacción inducida por el terremoto, minimizando así el coste de la respuesta al desastre y puede ayudar a tomar decisiones sobre medidas de mitigación del riesgo sísmico para el desarrollo sostenible y proporciona un paso hacia un modelo de evaluación del riesgo de licuefacción más sofisticado.

(Hussain & Sachan, 2019). En su trabajo de investigación titulado: "Static liquefaction and effective stress path response of Kutch soils". Con el propósito de determinar los efectos del contenido de finos y de la plasticidad del suelo, en el comportamiento no drenado de las arenas, a partir del método experimental, experimentaron muestras de arena estándar y de río con agregados finos plásticos y no plásticos de forma controlada y sistemática. Estudiaron los efectos de contenidos variables de finos y las características de la ruta de tensión efectiva de varios depósitos de suelo en la región de Kutch en Gujarat, India. La mayoría de las muestras de suelo se clasificaron como SM o SP-SM y SC. A partir de los resultados de las pruebas triaxiales CIUC. Se determinaron cuatro índices de licuefacción: índice de fragilidad no drenado "IB", índice potencial de colapso "CP", índice potencial de licuefacción "Lp" e índice de resistencia a una mayor deformación "RFD". Los resultados indican que los suelos con contenido de finos (FC) entre 11 y 20% y contenidos de arcilla inferiores al 3 % exhibieron ablandamiento por deformación que condujo a la licuefacción, mientras que los suelos con FC superiores al 20% y contenidos de arcilla superiores al 7% exhibieron un ablandamiento por deformación limitado. la respuesta de la ruta de tensión fue controlada por el índice de plasticidad "PI". Los índices de licuefacción estática indicaron que los suelos limosos "SM" de la región de Kutch son altamente susceptibles a sufrir licuefacción. Independientemente de su densidad in situ y del contenido de finos, ya que presentaron hasta el 45 % de FC y mostraron una licuefacción casi estática con cuatro índices cercanos a los valores límite. Sin embargo, cuando se ensayaron las muestras S-13 y S-19 con igual contenido de

finos, pero se incrementó el índice de plasticidad al 10 y 22.9% respectivamente, ninguna experimentó la licuefacción, pero la muestra S-19 presentó una reducción del índice de fragilidad IB del 50% con respecto a la muestra S-13, en resumen los valores de los cuatro índices de la licuación, estuvieron fuertemente controlados por la proporción del contenido de arcilla, el contenido de limo y el índice de plasticidad PI. Con lo que se concluye que las mezclas de suelo arenoso con contenidos de arcilla e índices de plasticidad mayores al 20% son menos susceptibles que las muestras de arena con contenido de limos e índices de plasticidad menores.

(Charca, Gamarra, & Parra, 2019). En su trabajo de investigación titulado: “Selection of Subduction Ground Motion Prediction Equations for Seismic Hazard Assessment in Peru”. Con el propósito de investigar la aplicación de las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo GMPE, para la zona de subducción del Perú, recopilaron una base de datos de 484 registros de movimientos sísmicos, de 118 eventos fuertes de subducción, con magnitudes de momento sísmico que van desde 5.0 hasta 8.4 Mw, registrados el norte de Chile y en Perú, entre 1966 y 2015. Para evaluar la bondad de ajuste de los datos de diferentes ecuaciones de predicción GMPE. Aplicaron la metodología log-verosimilitud promedio (LLH) de Scherbaum et al. cuyos resultados indican que los modelos de interfase de Youngs et al. y Zhao et al. tienen el mejor rendimiento; mientras que el estudio de Abrahamson et al. Muestra un buen ajuste para periodos largos superiores a 1.0 s, pero no así para periodos cortos, con lo que se concluye que este modelo no sería aplicable para la costa norte peruana. Finalmente, los autores proponen asignar pesos para cada GMPE de acuerdo al sitio para obtener un mejor cálculo de la aceleración espectral.

(Sha, Li, Liu, Li, & Zhang, 2018). Presentaron su trabajo de investigación titulado: “Experimental study on performance of cement-based grouts admixed with fly ash, bentonite, superplasticizer and water glass”. Con el propósito de mejorar la fluidez e inyectabilidad de las lechadas frescas, a partir del método de experimentación, diseñaron y seleccionaron una mezcla de cemento Portland Tipo I, cenizas volantes (FA) clase F ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), bentonita (B), superplastificante (SP) y

vidrio soluble. El SP está basado en polinaftaleno. La bentonita se usó para mejorar la estabilidad y bombeabilidad, penetrabilidad y baja lixiviación de los materiales de lechadas frescas. Se utilizó la relación agua/Cemento (a/c) =1.0, las cantidades de cenizas volantes FA, bentonita y SP por masa de PC utilizadas fueron de 0–40 %, 0–15 % y 0,7 %, respectivamente. Las proporciones de volumen de las suspensiones a base de cemento y el vidrio soluble se seleccionaron como 1:1, 2:1 y 3:1. Los resultados indican que la inclusión de ceniza volante FA y superplastificante al 0.7% mejoran la fluidez y la capacidad de esparcimiento de las lechadas frescas, la bentonita mejora la estabilidad de la inyección. Concluyen que el desempeño de lechadas a base de cemento con 20–30 % de ceniza volante FA clase F, bentonita de 0–5 %, Superplastificante =0.7 % y proporciones de volumen de 2:1–3:1, satisface los requisitos de alto desempeño, respeto al medio ambiente y bajos costos en ingeniería geotécnica y subterránea.

(Keramatikerman, Chegenizadeh, Nikraz, & Salih Sabbar, 2018). En su trabajo de investigación titulado: *Effect of flyash on liquefaction behaviour of sand-bentonite mixture*. Analizaron el comportamiento de licuefacción de muestras de arena-bentonita (S-B) tratadas con cenizas volantes (FA), a partir de una serie de pruebas de compresión triaxial monótona sin drenaje. Se preparó un mortero con adición de 5% de bentonita. Y se investigaron tres contenidos de cenizas volantes (FA) al 3,5 y 7%, para tres densidades relativas de 10, 20 y 30%. El análisis de la reacción de corte de la mezcla arena -bentonita (SB), mostró que la adición de bentonita redujo el esfuerzo de deflexión final. El estudio sobre el efecto de las cenizas volantes (FA) en el comportamiento de corte de las muestras de arena- Bentonita indica que la adición de FA provocó una mayor tensión desviadora máxima y la formación de un comportamiento sin flujo. Además, el análisis de los efectos de la densidad relativa reveló que la tensión de deflexión máxima era mayor a densidades relativas más altas, especialmente en las muestras tratadas con cenizas volantes (FA). Los resultados indican que la adición de FA en las mezclas de S-B provocó una mayor estabilidad de las muestras en el estado máximo, mientras que el valor de la relación de tensión aumentó y el parámetro de estado (Ψ) se redujo. Se observó un comportamiento similar para el factor de pendiente en el plano de tensión-deformación, la pendiente de la línea de estado crítico y la intersección en el plano

de compresión. Finalmente, un estudio de las propiedades de licuefacción de las muestras en base al índice de fragilidad (IB) mostró que los especímenes de suelo y S-B sin tratar tienen una resistencia a la licuefacción más baja que los especímenes tratados con FA con lo que se concluye que los especímenes que contienen cenizas volantes (FA) tienen un valor más bajo de índice de fragilidad, mientras que las mezclas de suelo sin tratar y S-B tienen un índice de fragilidad más fuerte. Este comportamiento indica que los suelos tratados con adiciones de bentonita y cenizas volantes presentan menor susceptibilidad a la licuefacción.

(Mesboua, Benyounes, & Benmounah, 2018). En su trabajo de investigación titulado: “Study of the impact of bentonite on the physico-mechanical and flow properties of cement grout”, con el propósito de analizar el efecto de la bentonita en el comportamiento de la lechada de cemento, a partir de la investigación experimental basada en ensayos como difracción de rayos X (XRD), granulometría láser y espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) en mezclas de cemento y bentonita. Examinaron las lechadas frescas y endurecidas, para obtener una lechada fluida y estable. El procedimiento experimental se fundamentó en el estudio del comportamiento de mezclas sustituidas por diferentes contenidos de bentonita, al (8, 10, 12, 14, 16 y 18%) sometidas a prueba mediante los ensayos físicos de densidad y exudación y pruebas reológicas de mini-slump cone. Las pruebas de resistencia mecánica de las lechadas se efectuaron a los 28 días. Los resultados indican que la resistencia a la compresión disminuyó ligeramente con el aumento de la dosis de bentonita, haciéndose más evidente cuando esta es superior al 16%. La evaluación de la actividad puzolánica se determinó a partir del índice de actividad de fuerza (SAI). Todas las mezclas mostraron índices de actividad de fuerza superiores al 75%, los cuales se ajustan a la norma ASTM C618. Con lo que se concluye que una formulación de lechada con una dosificación de hasta el 18% de bentonita como reemplazo parcial del cemento produce lechadas económicas con propiedades físicas razonables.

(Amini & Noorzad, 2018). En su trabajo de investigación titulado: “Energy-based evaluation of liquefaction of fiber-reinforced sand using cyclic triaxial testing”. Con el propósito de disminuir la susceptibilidad a la licuación de los suelos granulares,

de la arena Babolsar, investigaron la aplicabilidad del refuerzo de fibra como medida de mitigación de la licuefacción, para este fin se utilizaron una serie de pruebas triaxiales cíclicas controladas por tensión para investigar las características de licuefacción de la arena reforzada con fibras distribuidas aleatoriamente. Utilizaron el método de enfoque energético en el que se estudió el efecto del contenido de fibra, la longitud de la fibra, la presión de confinamiento y la densidad relativa, con énfasis en el efecto de los parámetros (contenido y longitud de fibra). Los resultados de las pruebas experimentales indican que la inclusión de fibras aumentó significativamente la cantidad de energía disipada necesaria para desencadenar la licuefacción. Lográndose un incremento máximo en la capacidad energética de la arena Babolsar de 250% con 1% de contenido de fibra y con una longitud de 18 mm de fibra, a una presión de confinamiento de 200 kPa y densidad relativa del 40%. Con lo que se concluye que la energía disipada puede ser un buen parámetro para evaluar la licuefacción de arena reforzada con fibras distribuidas aleatoriamente.

(Cetin, et al., 2018). En su trabajo de investigación titulado: “SPT-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction triggering hazard” con el propósito de reducir las incertidumbres inherentes a la evaluación de la licuación del suelo, efectuaron una actualización de las bases de datos a partir de los casos más recientes y proponen nuevas curvas de activación de la licuación del suelo, basadas en la prueba de penetración estándar (SPT) a partir de modelos de máxima verosimilitud para la evaluación de la iniciación de la licuefacción del suelo, estas curvas incluyen los modelos probabilistas, deterministas y las incertidumbres relevantes que incluyen: incertidumbres de medición y estimación de los parámetros de entrada (1), imperfección del modelo de estado límite (2), incertidumbre estadística (3). Los resultados indican que se presenta un ligero incremento de los niveles de CSR para un rango de valores mayores de 15 golpes/pie, pero las curvas de correlación permanecen esencialmente sin cambios en valores de N_{160cs} menores de 15 golpes/pie. Con lo que se concluyó que los nuevos modelos proporcionan una base mejorada para la evaluación de la licuación del suelo, puesto que resultan imparciales junto con el análisis de respuesta sísmica directa del sitio, y la interacción suelo-estructura, en la evaluación de la CSR in situ.

(Cetin, et al., 2018). En su trabajo de investigación titulado: “Dataset on SPT-based seismic soil liquefaction” presentaron un resumen de los casos históricos de activación y no activación de la licuefacción sísmica del suelo, que compilaron y examinaron para determinar la integridad y la calidad de los datos históricos que procesaron para el desarrollo de las relaciones de activación propuestas en su posterior investigación “SPT-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction triggering hazard”. La base de datos se compone de 113 casos históricos de licuefacción y 95 casos de no licuación y 2 casos de licuación marginal, los valores de eventos sísmicos con magnitud de momento M_w varían en el rango de 5.9 a 8.3 M_w . Los autores incluyen una hoja de cálculo resumen los casos históricos, junto con una hoja de cálculo mediante la que se realizó la evaluación de máxima verosimilitud. Estos datos nos permiten acceder a los parámetros de entrada de los casos históricos y a los detalles del procesamiento, para comparar los protocolos de procesamiento del historial de casos con los de diferentes investigadores.

(Bouckovalas, Yannis, Vasiliki, & Chara, 2017). En su trabajo de investigación titulado: “Equivalent linear computation of response spectra for liquefiable sites: The spectral envelope” con el propósito de obtener los espectros de diseño asociados a los sitios licuables, proponen una metodología simplificada para el cálculo de espectros de respuesta elástica de sitios licuables, basada en el método de análisis de respuesta de sitio lineal equivalente (dominio de frecuencias). Donde el espectro de respuesta real se obtiene como la envolvente del límite superior de los espectros de respuesta calculados correspondientemente a los segmentos de pre licuación y pos licuación sísmica, el primero calculado para las propiedades naturales del suelo y el último para las propiedades del suelo licuado. El tiempo de inicio de la licuefacción, que separa los dos segmentos de excitación sísmica, se define en términos del factor mínimo de seguridad contra la licuefacción (FSL min) dentro de una capa licuable. La metodología propuesta fue calibrada con los resultados de rigurosos análisis numéricos paramétricos elastoplásticos y la precisión general se valida con los registros de movimiento sísmico de dos estudios de casos de licuefacción. Los resultados indican que el tiempo promedio de inicio de los efectos

de la licuefacción en la superficie del terreno es ligeramente 15% menor que el tiempo necesario para la licuefacción completa de la subcapa más débil del perfil del suelo, es decir, la subcapa calculada a la profundidad donde el factor de resistencia FSL es mínimo, y la velocidad media de las ondas de corte del suelo licuable VSL se reducen drásticamente a un valor residual, aproximadamente entre el 6-17% de la correspondiente velocidad inicial de las ondas de corte VS; con lo que se concluye que físicamente la licuefacción se percibe en la superficie del terreno, si al menos la capa más sensible del subsuelo se aproxima a la licuefacción y no después de la licuefacción completa en toda la profundidad calculada ya que esta puede no ocurrir nunca.

1.3 Teorías relacionadas al tema.

1.3.1 Licuación de suelos

1.3.1.1 Definiciones

(Youd T. L., 2003), conceptualizó la licuación de suelos como la transformación de los suelos granulares de un estado sólido a una fase licuada, debido al aumento de la presión de agua intersticial y la reducción del esfuerzo efectivo, puesto que la demanda de resistencia cíclica produce una pérdida temporal de la capacidad resistente del esfuerzo cortante del suelo. Los suelos granulares que se licuan fácilmente, están compuestos por mezclas en arena fina, arena mixta, arcilla-limo no plástico o gravas arenosas (1), la capa debe inundarse encontrándose por debajo del nivel de agua subterránea (2), se requiere de la ocurrencia de la carga sísmica (3), (E.0.50,RNE, 2018)

(Carrido & alcayhuaman, 2008), asocian la licuación de suelos a la formación geológica de los depósitos recientes de arenas con bajo contenido de finos, sin cohesión y con presencia del nivel freático superficial. Cuando los suelos son sometidos a la acción de esfuerzos cortantes cíclicos, tienden a comprimirse generando un aumento de las presiones de poro que no pueden disipar debido a la rápida acción de las cargas sísmicas que ocasionan la reducción de los esfuerzos efectivos dentro de la masa del suelo, la aceleración máxima en la superficie del

terreno es el parámetro de mayor importancia en la evaluación de la licuación de los suelos. (Carrillo , 2008)

1.3.1.2 Mecanismos de falla de la licuación de suelos

En el proceso de licuación de suelos, cuando las ondas sísmicas atraviesan los sedimentos granulares saturados, se inducen deformaciones cíclicas por esfuerzo cortante y producen colapsos de las estructuras de partículas sueltas. A medida que ocurre este colapso los contactos entre los granos se interrumpen y las cargas transportadas a través de los contactos partícula a partícula se transfieren al agua de poro intersticial, generando el incremento de la presión intersticial en los poros y la reducción del esfuerzo efectivo. Cuando el suelo entra en estado licuado, las deformaciones se producen fácilmente en respuesta a las cargas estáticas o dinámicas. Donde la cantidad de deformación es una función de las solicitaciones de cargas, amplitudes y frecuencias de las ondas sísmicas, espesor y extensión de la capa licuada, densidad y permeabilidad relativas del sedimento licuado, y la permeabilidad de las capas sedimentarias circundantes. (Youd T. L., 2003)

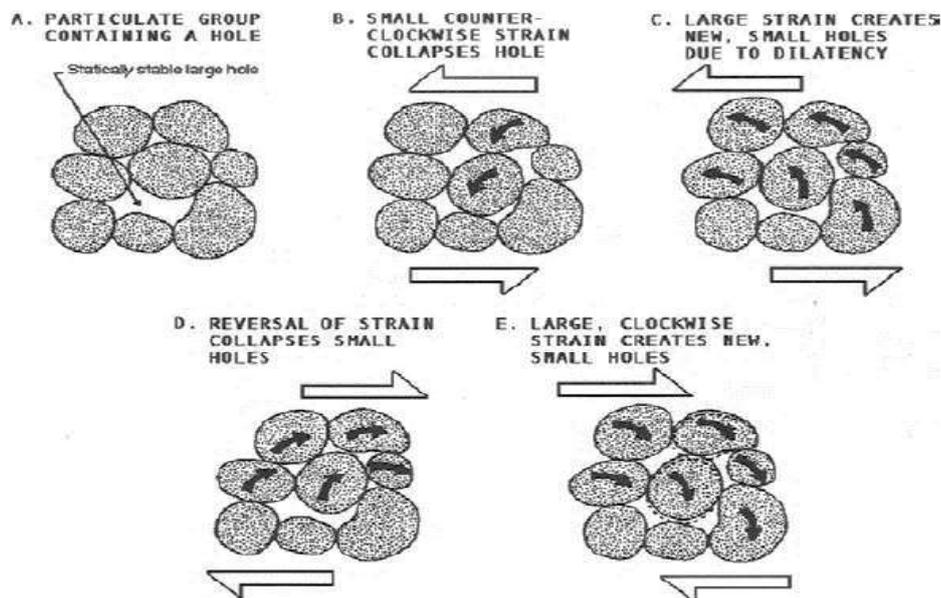


Figura 3. Esquema de un paquete de granos de arena con cambios de empaquetamiento durante la deformación cíclica por corte

Tomado de (Youd T. L., 2003)

Fases de la deformación cíclica por corte

Fase A. un grupo de partículas que contiene un agujero

Fase B. La inversión de la tensión colapsa la tensión que crea nuevos agujeros

Fase C. una gran tensión crea nuevos agujeros debido a la dilatación

Fase D. la inversión de la tensión colapsa creando agujeros pequeños

Fase E. Una Gran Tensión en el Sentido horario crea nuevos agujeros estables donde puede producirse el drenaje, hasta que se alcanza una condición de volumen estable en estado estacionario, condición denominada "relación de vacío crítica".

En la Figura 10, la fase "C" representa un paquete de partículas granulares en estado de dilatación con partículas forzadas a rodar o deslizarse unas sobre otras, tendiendo a crear pequeños vacíos. Una carga adicional obliga a las partículas a estar más apretadas entre sí, aumentando la acción dilatadora. Esta condición se denomina detención dilatativa, que impide una mayor deformación del flujo en la dirección de la carga. Sin embargo, una inversión de la carga invierte la dirección del movimiento y libera la acción dilatadora (fase D). Esta liberación reprime el agua en los huecos y relicúa el suelo granular.

1.3.2 Factores asociados con la licuación de suelos

1.3.2.1 Terremotos

(Tolosa, 2018), los terremotos son movimientos de la corteza terrestre ocasionados por la liberación de energía de la actividad constante de fallas geológicas y la fricción entre las placas tectónicas. El movimiento cíclico horizontal en la base de la roca hace que las capas de arena sobre ella se aceleren y desaceleren de manera similar, generando ondas de corte superficiales que actúan como tensiones de corte cíclicas en el suelo, que disminuyen la resistencia efectiva al esfuerzo de corte, debido a la rápida acción de cargas cíclicas sobre el suelo, generando que el suelo disminuya su volumen y la presión del agua de poro aumenta hasta que excede las tensiones de contacto entre los granos del suelo. Según el registro histórico de (USGS, 2018) las zonas de mayor intensidad sísmica principalmente a la costa de los continentes adyacentes al océano pacífico.

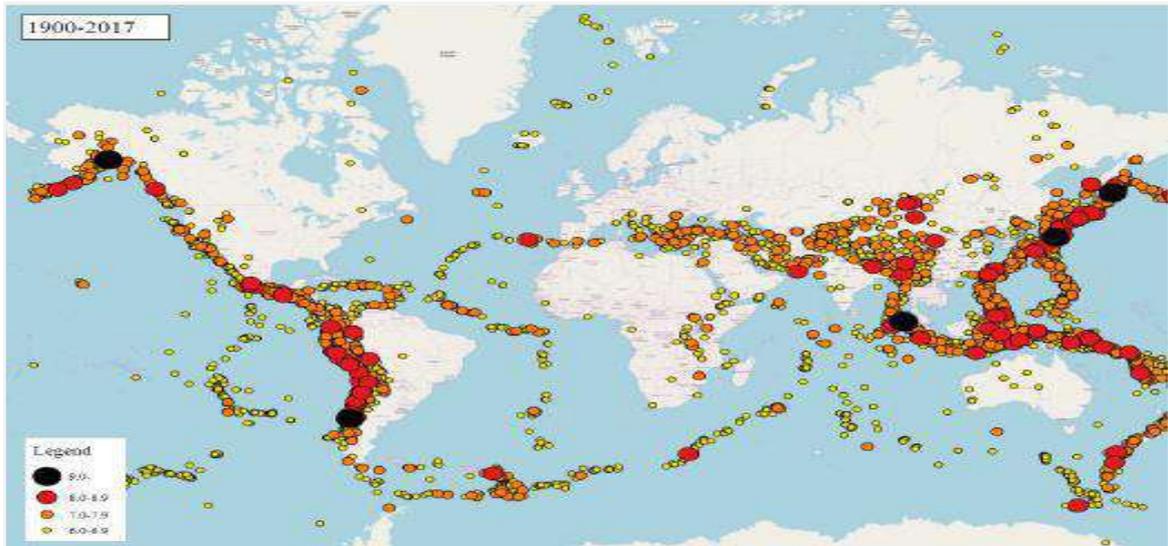


Figura 4. Registro Histórico de Terremotos 1900-2017

obtenido del procesamiento de datos del (USGS, 2018), efectuado por (Tolozá, 2018)

1.3.2.2 Ondas sísmicas

(Universidad de Alicante, 2019) asocia la generación de ondas sísmicas a la fractura de una roca, producida por la ocurrencia de un sismo, estas se propagan desde el interior de la roca hacia la superficie del terreno, generando ondas de compresión y de corte llamadas ondas primarias (P) y ondas secundarias (S) respectivamente, Las ondas de compresión (P) se mueven en la dirección de propagación mientras que las ondas (S) oscilan perpendicularmente a la propagación de la onda. Según sea la heterogeneidad del suelo, en ambos casos las ondas experimentan cambios que se deben principalmente a la amortiguación del material de los suelos. Según sea la amortiguación de la radiación de la onda, la energía específica de la onda puede disminuir debido a la dispersión geométrica del suelo. En consecuencia, la amplitud de las ondas de tensión disminuye con la distancia, aunque la energía total permanece constante. La amortiguación del material afecta a las ondas de tensión propagadas ya que una parte de la energía elástica de estas se pierde debido a la generación de calor.

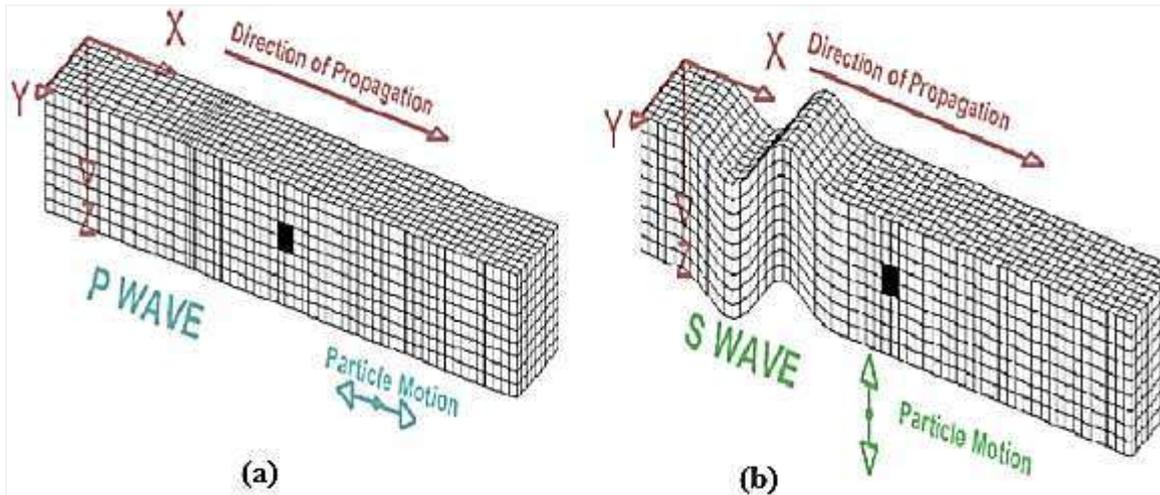


Figura 5. Propagación de Ondas Sísmicas

(a) Onda P, (b) Onda S, extraído de la Unidad de Registro Sísmico, (Universidad de Alicante, 2019)

1.3.3 Fallas y efectos asociados con la licuación de suelos

De acuerdo con (Youd T. L., 2003). Solo cuando la licuación del suelo ocasione grandes deformaciones o se presente una falla, resultará peligrosa para las obras construidas en suelos licuables. La licuación puede dar lugar a uno de los diversos tipos de falla del suelo, dependiendo de las cargas superficiales, la geometría del lugar, profundidad, espesor y extensión de la capa licuable. Las fallas del suelo se dividen en dos categorías asociadas al desplazamiento del suelo (laterales y verticales).

1.3.3.1 Fallas asociadas a los desplazamientos laterales

De acuerdo con (Youd T. L., 2003). Las fallas del suelo asociadas a los desplazamientos laterales del terreno son de tres tipos: falla por flujo (1), propagación o dispersión lateral (2) y oscilación del terreno (3). Los límites entre estos tipos de falla son de transición. El tipo de falla y la cantidad de desplazamiento depende de las condiciones locales de sitio.

- **Fallas de flujo**

Son del tipo más catastrófico de fallas del terreno, ocasionadas por la licuación de los suelos, ocurren en terrenos con pendientes pronunciadas (superiores al 6% o

3,5°), subyacentes a suelos contractivos, se caracterizan por generar grandes desplazamientos laterales y una grave alteración interna de la masa de falla. Las estructuras fundadas en el suelo movilizado o dentro de él, suelen ser destruidas. (Youd T. L., 2003)



Figura 6. Falla del terreno por licuación de flujo ocurrida en el terraplén de una carretera en san francisco durante el terremoto de 1957 en Daly City

Tomado de (Youd T. L., 2003)

- **Dispersión lateral**

Este fenómeno se presenta en terrenos con pendientes suaves o hacia una cara libre. La dispersión lateral se caracteriza por el desplazamiento horizontal de las capas de suelo licuado como respuesta a la acción de fuerzas gravitatorias, estáticas e inerciales producidas por el movimiento sísmico. Estas fuerzas actúan sobre los sedimentos dentro y fuera de la zona licuada. Durante la falla, las capas superficiales suelen romperse en grandes bloques, que transitoriamente se mueven de acuerdo a la oscilación del terreno a medida que migran progresivamente en sentido horizontal. Los desplazamientos laterales suelen crear fisuras abiertas y otras características extensionales, a continuación se muestra la deformación por corte de la capa licuada y la migración de los depósitos superficiales hacia una pendiente suave o hacia una cara libre (Youd T. L., 2003)

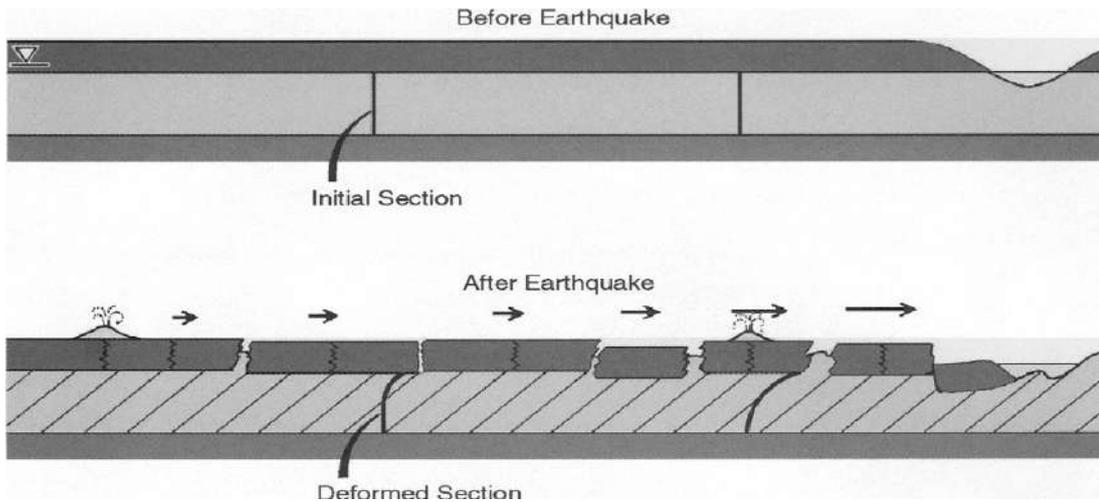


Figura 7. Esquema de una dispersión lateral
Tomado de (Youd T. L., 2003)

- **Oscilación del terreno**

La oscilación del terreno se produce en respuesta a las fuerzas inerciales que actúan sobre los materiales del suelo desacoplados, por encima o dentro de la zona licuada. Este desacoplamiento permite que se desarrollen grandes movimientos transitorios del suelo, pero los desplazamientos permanentes suelen ser pequeños y caóticos, se han observado oscilaciones de terrenos de hasta un metro de altura, acompañados de la apertura y cierre de fisuras. En la siguiente figura se muestran bloques desacoplados de suelo intacto que oscilan hacia adelante y hacia atrás debido a las fuerzas de inercia y al ablandamiento del suelo licuado (Youd T. L., 2003)

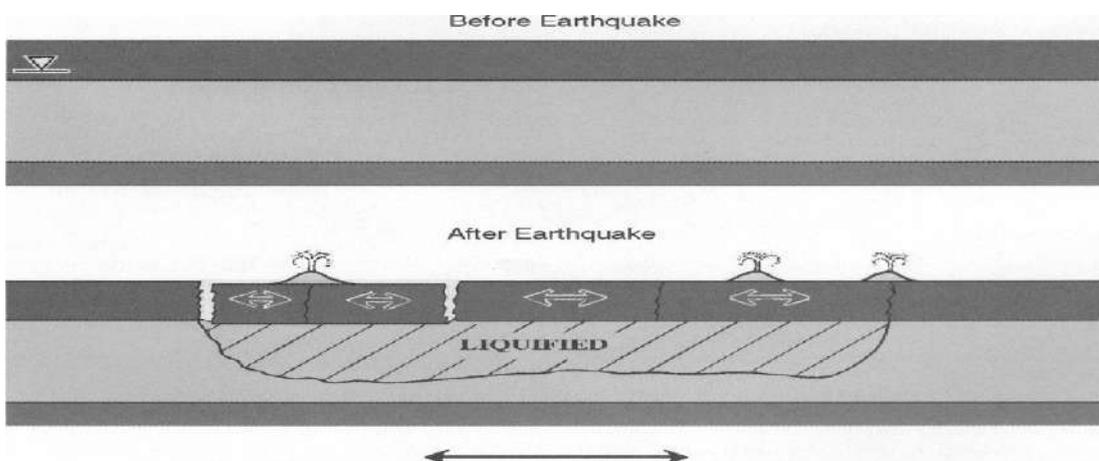


Figura 8. Esquema de oscilación del terreno
Tomado de (Youd T. L., 2003)

1.3.3.2 Fallas asociadas a desplazamientos verticales

- **Pérdida de la capacidad de soporte**

La licuación de un suelo que soporta una edificación u otra estructura provoca la degradación o pérdida de su resistencia y causa deformaciones que generan asentamientos e inclinaciones de la estructura, por ejemplo, durante el terremoto de 1964 en Niigata, Japón, se produjeron fallas catastróficas por pérdida de la capacidad de soporte en el complejo de apartamentos Kawagishicho, donde varios edificios de cuatro plantas se asentaron y se inclinaron hasta 60 grados. (Youd T. L., 2003)

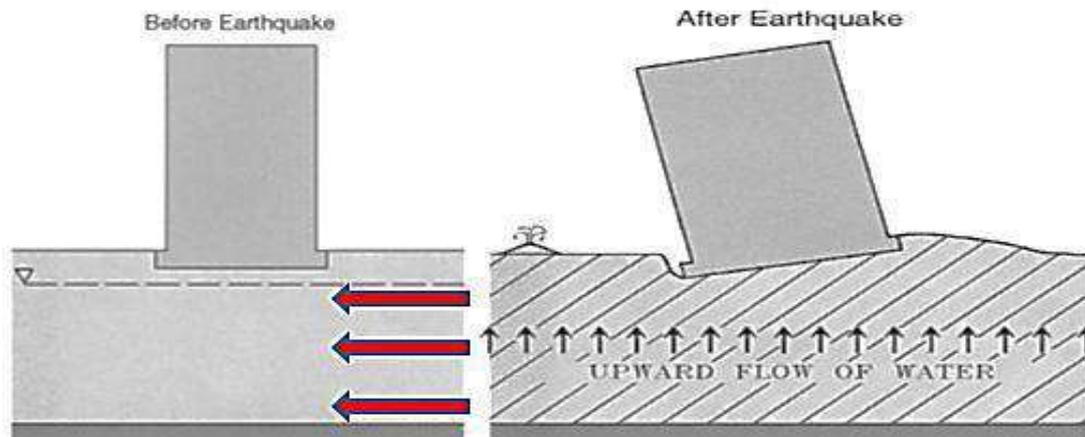


Figura 9. Pérdida de capacidad portante por licuación de suelos

Tomado de (Youd T. L., 2003)

- **Expulsión de estructuras enterradas**

Los tanques, tuberías y pilotes de madera sin carga y otras estructuras ligeras que se encuentran enterradas, suelen elevarse cuando el suelo circundante se licúa y se comporta como un líquido denso. Por ejemplo, el depósito de combustible que se muestra en la figura 18, el cual estaba lleno a un tercio de su volumen en el momento del terremoto de 1993 en Hokkaido Nansei Oki, Japón, flotó hasta la superficie como consecuencia de la licuación del suelo (Youd T. L., 2003)



Figura 10. Expulsión y flotación de un tanque subterráneo por licuación de suelos Tomado de (Youd T. L., 2003)

- **Asentamientos del terreno**

Las deformaciones por cizallamiento generadas por las vibraciones sísmicas tienden a compactar los suelos granulares lo que provoca el asentamiento del terreno. En los sedimentos secos, la compactación se produce rápidamente al expulsar el aire de los vacíos. En los sedimentos saturados con drenaje restringido, las presiones de los poros aumentan, causando ablandamiento del suelo, mayores deformaciones por cizallamiento y una mayor compactación. Por lo tanto, los asentamientos en los suelos saturados suelen producirse más lentamente, pero también suelen ser mayores que en los suelos no saturados. Los asentamientos suelen oscilar entre unos pocos porcentajes del espesor de las capas sueltas licuables y una fracción de un porcentaje en el caso de los sedimentos densos. Las capas uniformemente gruesas de sedimentos homogéneos suelen compactarse y asentarse de forma bastante uniforme, con pocos daños consecuentes. Cuando las capas granulares varían en grosor, contienen discontinuidades, o cuando las propiedades del suelo varían localmente. (Youd T. L., 2003)

- **Asentamiento del suelo saturado**

Dado que la deformación volumétrica después de la licuefacción inicial varía con la densidad relativa y la deformación máxima de cizallamiento. (Tokimatsu & Seed, 1984) propusieron una correlación entre el potencial de deformación por corte de suelos licuados estimado con $(N1)_{60}$ y la relación de esfuerzos cíclicos **CSR** para generar una gráfica que permite estimar el volumen de deformación después de la

licuefacción en un terremoto de **7.5 Mw**, en términos de relación de esfuerzos cíclicos y resistencia corregida **N1₆₀ SPT**. Para terremotos de otra magnitud, se puede determinar la relación de tensión del período equivalente, **CSR_M**.

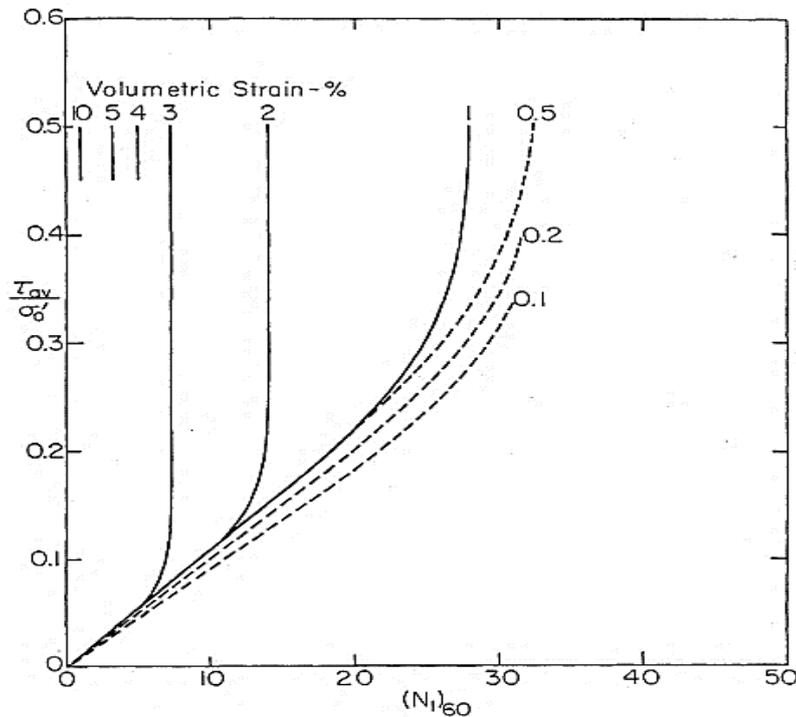


Figura 11. relación propuesta entre la relación de tensión cíclica, $(N_1)_{60}$ y la deformación volumétrica para arenas limpias saturadas

La resistencia a la penetración dinámica de las pruebas **SPT** puede usarse para estimar la deformación volumétrica posterior a la licuefacción. La integración de estas deformaciones volumétricas sobre el espesor de la capa licuada produce el asentamiento de la superficie del terreno. (González Dumuihual, 2015)

El procedimiento se basa en el factor de seguridad conocido en el análisis determinístico que se utiliza para determinar la deformación volumétrica posterior a la licuefacción, E_v para cada capa y depósito de arena. Una vez conocidas las deformaciones volumétricas establecidas para cada capa a través de la profundidad del depósito, estas se integran multiplicando el espesor de cada capa y sumando la cantidad de sedimentos en la superficie del suelo resultantes de la disipación de las presiones de agua intersticial inducida por un terremoto.

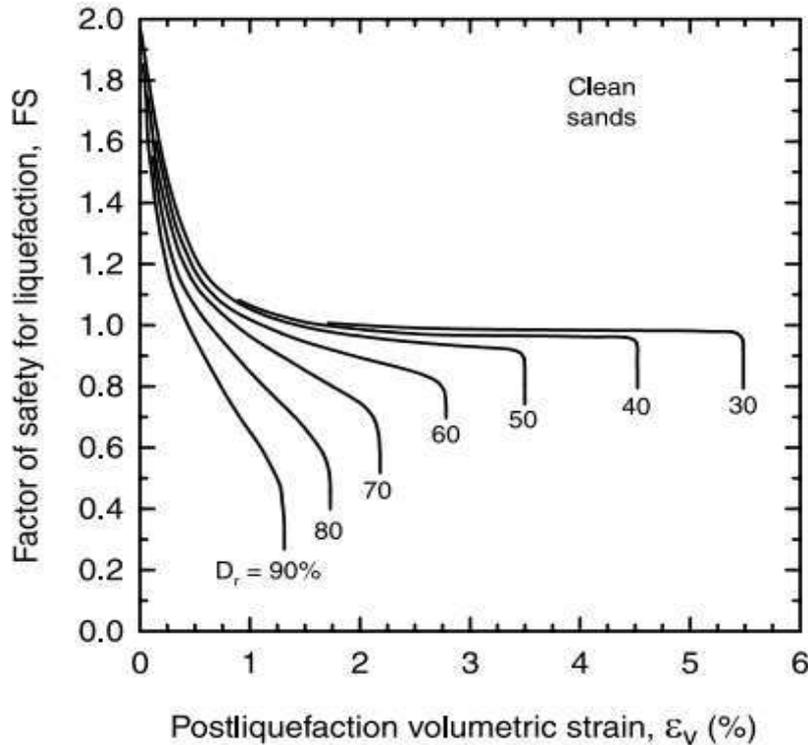


Figura 12. Gráfico para estimar la deformación volumétrica en función de Densidad relativa y el Factor de seguridad. FSL

Tomado de (Idriss & Boulanger, 2008)

▪ **Asentamientos en arenas seca**

La densificación de la arena seca sometida a cargas sísmicas depende de su densidad, de la amplitud de la deformación por cizallamiento cíclico inducida en la arena y el número de periodos de deformación por cizallamiento aplicados durante el terremoto (Silver and Seed, 1971). Los asentamientos pueden estimarse utilizando análisis detallados de respuesta de sitio con correcciones para los efectos de agitación multidireccional (Seed y Silver, 1972; Pyke et al., 1975), o mediante procedimientos simplificados (Tokimatsu y Seed, 1987). En el procedimiento simplificado, la deformación por cizallamiento cíclica efectiva, γ_{cyc} se estima mediante un procedimiento similar al propuesto para el enfoque de deformación cíclica para el inicio de la licuefacción, dado que el módulo de corte varía con γ_{cyc} puede obtenerse con la siguiente ecuación:

$$\gamma_{cyc} = 0.65 \frac{a_{max.}}{g} * \frac{\sigma'_v r d}{G(\gamma_{cyc})} \tag{1}$$

1.3.4 Parámetros de Medición de movimientos Sísmicos

El tamaño de un terremoto se puede medir o estimar en base a tres parámetros: Intensidad sísmica (1), Magnitud sísmica (2) y Momento Sísmico (3) que son términos diferentes. La Magnitud mide la energía que se libera en la fuente del terremoto. Mientras que la intensidad mide la fuerza del movimiento producido por el terremoto en un lugar específico.

1.3.4.1 Intensidad Sísmica

Se expresa como la fuerza actuante en un punto, en el que se experimentan los efectos de la acción sísmica, representa una medida cualitativa de la fuerza del movimiento del terreno y del grado con que la vibración sentida (De la Cruz Marsano, 2011) y su valor está relacionado con los niveles de daño ocasionados por el terremoto. (Ancco Huanacuni, 2018). La evidencia de la mayoría de los daños ocasionados por los sismos corresponde a intensidades superiores al grado VII en la escala de (MM), según esta escala se presentan cuatro niveles de daño, donde el sismo es percibido a partir de la intensidad de grado IV, a partir de intensidad de grado XII, se perciben grandes desplazamientos del terreno. Según la escala MKS los daños se perciben a partir de magnitudes superiores al grado V, donde los daños son ligeros para estructuras de mampostería de adobe, mampostería de piedra, mampostería en seco, y son graves a partir del grado VII, para el nivel de grado IX se perciben destrucción total de construcciones de albañilería, y posible presencia de la licuación de suelos, para el grado XII, se percibe la destrucción total de las estructuras. (Herráiz Sarachaga, 1997)

1.3.4.2 Magnitud Sísmica

La magnitud es una medida cuantitativa que se relaciona con la energía sísmica liberada en el centro de gravedad y transmitida por las ondas sísmicas. Es un valor independiente del sitio donde se encuentra el observador. Este parámetro puede medir la energía transmitida por las ondas sísmicas en diferentes escalas y está directa e indirectamente relacionado con las amplitudes registradas (Ancco Huanacuni, 2018) y se puede medir a través de instrumentos como sismómetros y acelerómetros.

1.3.4.3 Magnitud de Momento sísmico M_w

Esta magnitud no depende del movimiento del terreno, por lo que resulta ser la indicada para la medición de valores altos de magnitud. Su principal ventaja es que no se satura, a diferencia de cualquier otra escala. (Peláez, 2011). Es una medida directa de los factores que producen la ruptura a lo largo de una falla (Ancco Huanacuni, 2018), viene dada por la siguiente expresión:

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 16.0 \quad (2)$$

Dónde: M_0 es el momento sísmico que viene dado por: $M_0 = \mu * A * D$, μ es el módulo de rigidez, A es la superficie de ruptura y D es el desplazamiento medio en la superficie de la ruptura.

1.3.5 Estimación de los parámetros del movimiento del suelo

Los parámetros de entrada para la evaluación de los fenómenos de licuación y otros problemas de la Ingeniería geotécnica sísmica son: amplitud (1), duración del movimiento del suelo (2), y frecuencia (3), una práctica frecuente es representar la amplitud por el mayor valor de aceleración máxima (a_{max}) registrado durante el terremoto, es decir, el pico máximo de aceleración horizontal del suelo (PGA) y la duración de la sacudida del suelo se relaciona con la Magnitud del terremoto, (M_w), sin considerar la frecuencia, representada por el espectro de respuesta. (Cubrinovski, 2016)

▪ Métodos para estimar los parámetros del movimiento del suelo.

Los parámetros del movimiento del suelo se pueden estimar utilizando los siguientes métodos: Método basado en el riesgo utilizando el peligro sísmico (1), Método del análisis probabilístico de peligro sísmico específico del sitio (PSHA) (2), Método del análisis de respuesta específico del sitio (3).

El método (1) es adecuado para proyectos de diseño de ingeniería de rutina. Los métodos (2) y (3) son preferidos para proyectos más significativos, o con fines de investigación, sitios más complejos u otros casos en los que se puede justificar el análisis avanzado. En esta investigación se efectuó el método del análisis de peligro sísmico específico de sitio "PSHA" con la finalidad de obtener los parámetros de aceleración máxima específica de sitio y tamaño máximo de sismo probable. (Cubrinovski, 2016)

1.3.5.1 Método basado en el riesgo mediante estimaciones de peligro sísmico

En el Perú la norma técnica (E.0.30, RNE, 2018) presenta los factores de peligro sísmico no ponderados, conocidos como coeficientes de aceleración máxima del suelo, derivados de la sísmica probabilística, donde los valores de “z” y las magnitudes sísmicas efectivas correspondientes, se pueden utilizar en los análisis de activación de la licuación de suelos, cuando no se disponga de un análisis propio de sitio. A continuación, se indican los valores de aceleración máxima (a_{max}) que corresponde a la Magnitud efectiva del terremoto, (M_w) que propone la norma de acuerdo con la ubicación geográfica del sitio, puesto que nuestra norma divide el territorio nacional en cuatro zonas sísmicas, en base a la distribución espacial de la sismicidad observada, asignándole un factor de zona “Z”, tal cual se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1.

Factores de Zona sísmica, según NTE E 0.30-2018

Zona Sísmica	Factor de zona (Z)
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Tomado de (E.0.30, RNE, 2018)

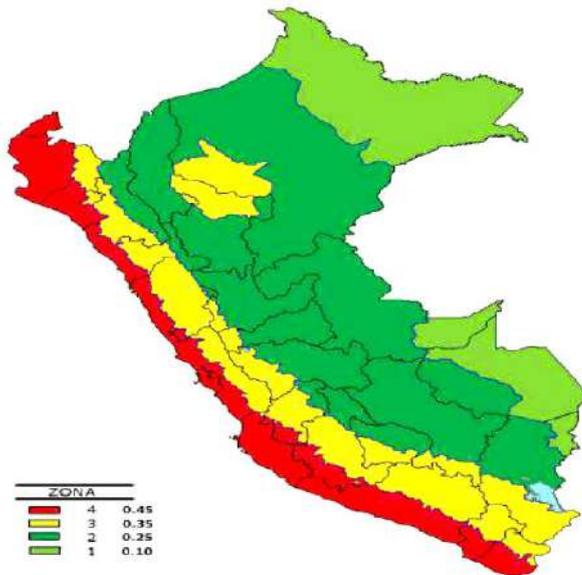


Figura 13. Mapa actual macro zonificación sísmica del Perú según la Nte E 0.30, 2018

Tomado de (E.0.30, RNE, 2018)

Nota: el factor de zona “Z” se interpreta como la aceleración máxima horizontal en un suelo rígido tipo S1, con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. La norma no define a qué tipo de escenario de peligro sísmico corresponde este valor, sin embargo, el comité visión 2000 del SEAOC (Structural Engineering Association of California, 1995) este corresponde al escenario de peligro sísmico de nivel raro para un periodo de retorno de 475 años

Tabla 2.

Escenarios de peligro sísmico

Sismo	Tr (años)	P. exced. en 50 años
frecuente	45	67%
Ocasional	75	50%
raro	475	10%
Muy raro	970	5%

Adaptado de (E.0.30, RNE, 2018)

Notas: P. exced. es la probabilidad d excedencia, Tr es el periodo de retorno

1.3.5.2 Método del análisis probabilístico de peligro sísmico específico de sitio (PSHA)

Este método es el indicado para el análisis de sitios donde se van a construir estructuras importantes. o se realicen trabajos de investigación académica, Puesto que permite determinar las aceleraciones máximas del suelo específicas en el terreno y los espectros para el lugar de interés específico y para el tipo de subsuelo del sitio en lugar de escalarlas a partir del factor de peligro. Permite actualizar el estudio de peligrosidad sísmica. Un análisis específico del sitio proporciona un modelado más preciso de la carga sísmica, los efectos del sitio y la respuesta sísmica. La desagregación de la peligrosidad sísmica específica del lugar proporciona información esencial para los análisis de escenarios sísmicos e incorporan nueva información y una modelización actualizada de la peligrosidad utilizando los estudios y datos, más recientes (Cubrinovski, 2016).

El análisis de peligro sísmico específico de sitio es una herramienta de gran importancia utilizada por los ingenieros para la prevención y reducción de desastres que ocasionan pérdidas humanas y materiales (Tavera, y otros, 2014)

Para efectuar un análisis de la peligrosidad sísmica específica del lugar se llevan a cabo múltiples escenarios utilizando diferentes combinaciones de a_{max} y magnitud de momento M_w efectivo, parámetros necesarios para que las evaluaciones de activación de la licuación de suelos resulten más confiables, reduciendo las incertidumbres de la utilización de los valores de a_{max} y M_w . Debido a que los terremotos de mayor Magnitud pueden desencadenar licuación con valores de a_{max} significativamente más bajos que los eventos de menor magnitud, por lo tanto, el valor más alto de a_{max} estimado para el lugar y el correspondiente M_w efectivo puede no representar el caso crítico. (Cubrinovski, 2016).

1.3.6 Fundamentos del análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA)

El análisis probabilístico de amenaza sísmica se efectúa para evaluar la probabilidad que un movimiento sísmico de cierta intensidad pueda ser superado en un lugar dado. En estos términos cuando hablamos de intensidad nos referimos a cualquier parámetro sísmico que puede ser: magnitud, aceleración máxima,

valores espectrales de velocidad y desplazamiento del suelo. (Maldonado Salvatierra, 2019) Las predicciones de eventos futuros se pueden efectuar a partir de modelos estadísticos basados en datos de sismos pasados, siendo más aceptado el modelo de Poisson, que acepta la independencia de los eventos sísmicos en el tiempo y el espacio, por lo que asume que no existe la probabilidad de que dos sismos ocurran en el mismo lugar y al mismo tiempo. Estos supuestos se ajustan mejor para la ocurrencia de grandes movimientos sísmicos, y no son muy precisos para la ocurrencia de sismos de baja intensidad. La aleatoriedad de un sismo puede aplicarse a partir de la teoría de probabilidades mediante la que se puede demostrar si existe dependencia entre un evento A y otros eventos mutuamente excluyentes, $E_1, E_2 \dots E_n$. La probabilidad de ocurrencia de un evento A, está denotada por:

$$P(A) = \sum_i^n p\left(\frac{A}{E_i}\right) \cdot P(E_i) \quad (3)$$

Donde $P(A/E_i)$ es la probabilidad condicional de la ocurrencia del evento E_i .

El tamaño de un sismo (S) y su localización (R) son considerados variables aleatorias continuas definidas por sus funciones densidad de probabilidad, $f_S(s)$ y $f_R(r)$, respectivamente entonces el peligro sísmico definido por la probabilidad de que la intensidad I sea mayor que la intensidad dada será: $P(I \geq i)$ (Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2018) y está dada por:

$$P(I \geq i) = \iint P\left(\frac{I}{SR}\right) f_S(S)f_R(r) ds dr \quad (4)$$

Notas: Esta ecuación resume la teoría definida por Cornell en 1968, para efectuar los análisis de amenaza sísmica, En esta investigación se empleó el programa de computo R- CRISIS v 20.3.0, desarrollado por (Ordaz & Salgado Galvez, 2017) de la UNAM

1.3.6.1 Fuentes Sísmicas

Una fuente sísmica presenta analogías geológicas, geofísicas y sísmicas que permiten consolidar un potencial sísmico uniforme en toda la fuente, pudiendo ser asociadas como fuentes de línea, área o volumen geográfico, lo que indica un proceso de generación y recurrencia sísmica espacial y temporalmente idéntico. (Tavera, y otros, 2014). La definición de las geometrías de la fuente sísmica proporciona los parámetros físicos que controlan la sismicidad del área de interés en estudio. En base al mapa de distribución de epicentros y las características tectónicas del área de influencia se puede agrupar las fuentes en continentales y de subducción (Alva Hurtado, 2020)

▪ Fuentes de Subducción

Las fuentes de subducción modelan la interacción de las placas sudamericana y la de Nazca, en el Perú la mayor cantidad de los sismos son producidos por la interacción de estas placas debido a que la placa de Nazca penetra debajo de la placa sudamericana y se profundiza a medida que avanza al continente, como se muestra en la siguiente figura (Alva Hurtado, 2020)

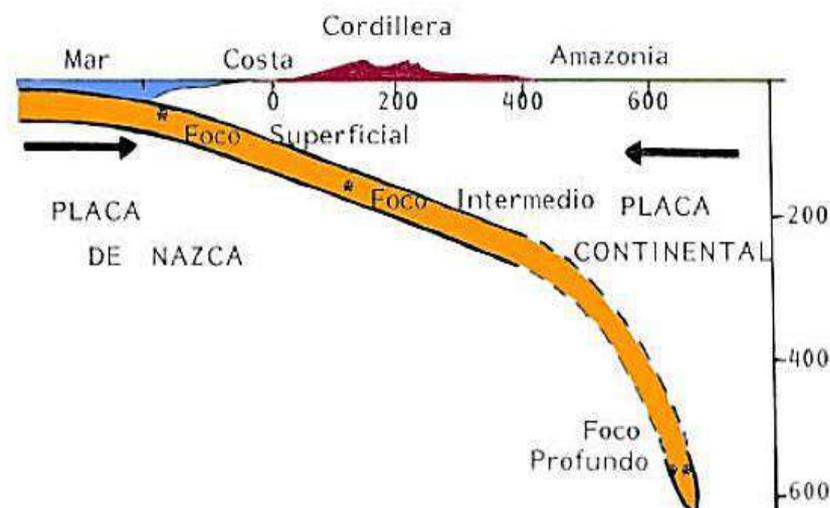


Figura 14. Proceso de subducción y su relación con la distribución sísmica

Tomado de (Tavera , *La tierra Tectonica y sismicidad*, 1993)

▪ Fuentes Continentales

Las fuentes sísmicas continentales están asociadas a deformaciones corticales, presentan agrupaciones de registros sísmicos de diversos sistemas de fallas debido a la actividad sísmica superficial de la corteza. (Alva Hurtado, 2020)

- Fuentes Sísmicas del territorio peruano

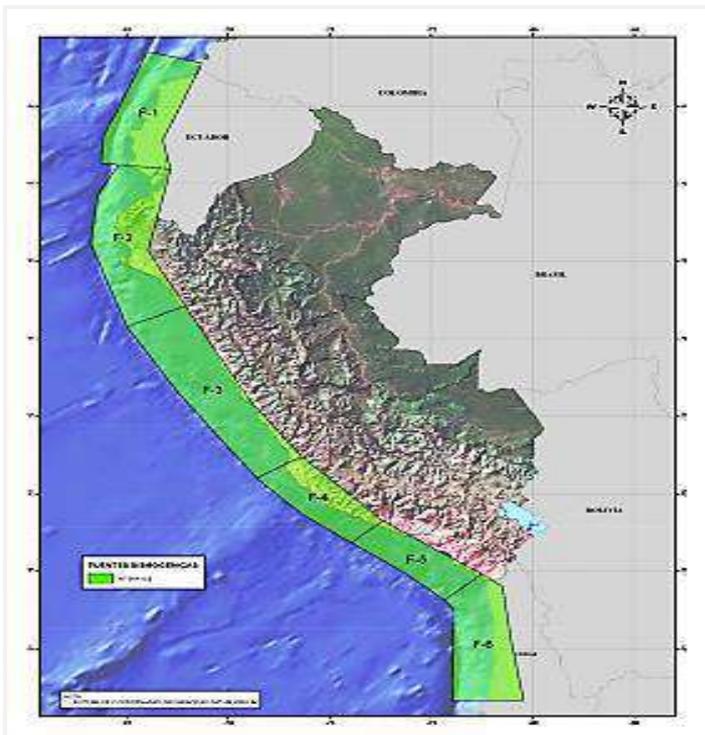


Figura 15. Fuentes Sísmicas de subducción interfase
Tomado de (Sencico, 2016)

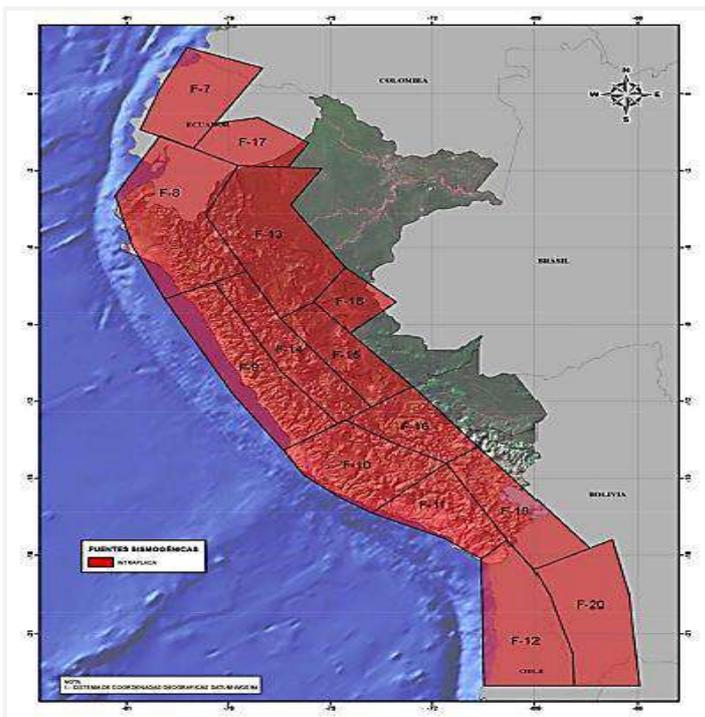


Figura 16. Fuentes Sísmicas de subducción intraplaca

Tomado de (Sencico, 2016)

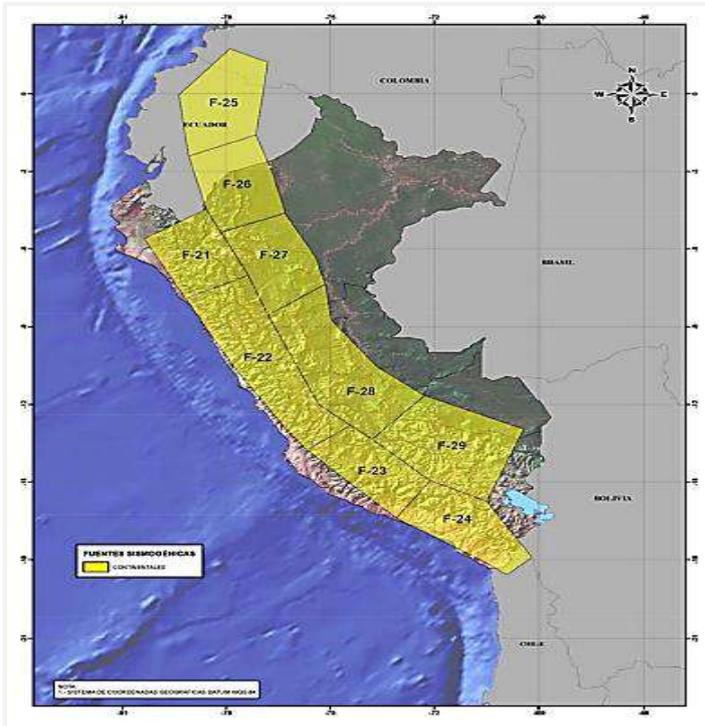


Figura 17. Fuentes Sísmicas de subducción Continentales

Tomado de (Sencico, 2016)

1.3.6.2 Parámetros de recurrencia sísmica

Los parámetros de recurrencia sísmica para diferentes periodos de observación y diferentes magnitudes se obtienen a partir del método propuesto por (Weichert, 1980), cuya metodología se basa en la estimación de la máxima probabilidad N_0 y β ; de la relación

$$\log(N) = N_0 \exp(-\beta m) \quad (5)$$

los parámetros N_0 y β , de un terremoto en esta relación se extienden al caso de eventos agrupados en magnitud con cada grupo observado en períodos de tiempo individuales. Para un número suficientemente grande de eventos, pueden estimarse a partir de la curvatura de la función de logaritmo-verosimilitud. Para cuantificar el riesgo, la información básica son los catálogos de terremotos a partir de los cuales se obtiene una relación de recurrencia. Su forma más utilizada está dada por la relación log lineal de Gutenberg-Richter:

$$\log N = a - bm \quad (6)$$

que cuantifica el número de eventos iguales o mayores que una magnitud dada que queda definida por la pendiente de la curva (b), (Tavera, y otros, 2014)

▪ **Parámetros de recurrencia para Períodos de Observación Desiguales**

Un terremoto máximo regional se estima de forma independiente a partir de consideraciones geofísicas, como las longitudes máximas de las fallas, caída de la tensión regional y la historia sísmica. (Sencico, 2016). Si elegimos una ley de recurrencia sísmica de manera arbitraria y la truncamos, entonces la probabilidad de que un terremoto con una magnitud entre m y $m + dm$ está dada por:

$$p(m)dm = \text{const.} \beta e^{-\beta m} dm, \quad m_0 \leq m \leq m_x \quad (7)$$

Siendo: $p(m)dm = 0$

1.3.6.3 Ecuaciones de predicción de movimiento del terreno GMPE

Las ecuaciones GMPE también denominadas leyes de atenuación, son expresiones que establecen relaciones probabilísticas entre las características de un terremoto: Magnitud, posición, fuente, distancia e intensidad, consideradas como variables aleatorias necesarias para evaluar los efectos que produce cada fuente sísmica en el sitio de interés (Alva Hurtado, 2020) y cuya distribución de probabilidad está completamente fijada en el modelo matemático, esto significa que al menos los dos primeros momentos de probabilidad, la mediana y la desviación estándar del logaritmo natural deben definirse en dicho modelo (Ordaz & Salgado Galvez, 2017).

La selección apropiada de las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE) es un componente influyente del análisis probabilístico de peligro sísmico (PSHA). Para lidiar con el problema de la incertidumbre epistémica, el enfoque más común consiste en considerar múltiples ecuaciones GMPE en un marco de árbol lógico de decisión. En el que se seleccionan los pesos asignados a cada GMPE. Para reducir la subjetividad en la selección, recientemente se desarrollaron una serie de criterios estadísticos basados en mediciones apropiadas. como el uso del

análisis envolvente de datos (DEA) en un marco de evaluación del desempeño de criterios múltiples. Una de las ventajas del procedimiento DEA es que se puede determinar la eficacia e ineficacia de cada ecuación GMPE. (Eftekhari, Yazdani, Razmyan, & Shamohammadi, 2020). En esta investigación se utilizaron diversas ecuaciones de predicción GMPE y cuyos espectros de peligro uniforme se compararon con los espectros asociados a la (E.0.30, RNE, 2018).

Ecuaciones de atenuación de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016). Esta ecuación (GMPE) se desarrolló utilizando un conjunto de datos sísmicos que incluye 2.590 registros de 63 terremotos de intraplaca, de magnitudes ($5,0 \leq M_w \leq 7,9$) y 953 registros de 43 sismos de interfase de ($6,0 \leq M_w \leq 8,4$) a distancias ≥ 300 km. y Para $M_w > 8,0$, en este modelo se incluye una ruptura en la escala de magnitudes, basada en las simulaciones numéricas de terremotos de interfase. Los valores de aceleración y del movimiento del suelo están disponibles para el PGA y el espectro de respuesta amortiguado al 5% en seis períodos espectrales: 0,1, 0,2, 0,4, 1,0, 2,0 y 3,0 segundos, a continuación, se presentan las ecuaciones para sismos de interfase e intraplaca:

$$\ln(S_a \text{ interfase}) = \theta_1 + \theta_4 \Delta C_1 + (\theta_2 + \theta_3(M - 7.8)) \ln(R_{rup} + C_4 \exp(\theta_9(M - 6))) + \theta_6 R_{rup} + f_{mag}(M) + f_{FABA}(R_{rup}) + f_{site}(PGA1100, VS30) \quad (8)$$

$$\ln(S_a \text{ intraplaca}) = \theta_1 + \theta_4 \Delta C_1 + (\theta_2 + \theta_{14} F_{event} + \theta_3(M - 7.8)) \ln(R_{hypo} + C_4 \exp(\theta_9(M - 6))) + \theta_6 R_{hypo} + \theta_{10} F_{event} + f_{mag}(M) + f_{depth}(Z_h) + f_{FABA}(R_{hypo}) + f_{site}(PGA1100, VS30) \quad (9)$$

Donde: S_a = aceleración espectral en g. para un amortiguamiento del suelo del 5%
 M = Magnitud de M_w , Z_h = Profundidad hipocentral (km), H = Profundidad focal(km)

$$F_{event} = \begin{cases} 0, & \text{para interfase} \\ 1, & \text{para intraplaca} \end{cases}$$

$$f_{FABA} = \begin{cases} 0, & \text{sitios de antearco y desconocidos} \\ 1, & \text{sitios tras arco} \end{cases}$$

$$f_{\text{Mag}}(M) = \begin{cases} \theta_4 (M - (C_1 + \Delta C_1)) + \theta_{13}(10 - M)^2; & \text{for } M \leq C_1 + \Delta C_1 \\ \theta_5(M - (C_1 + \Delta C_1)) + \theta_{13}(10 - M)^2; & \text{for } M > C_1 + \Delta C_1 \end{cases} \quad (10)$$

donde: $C_1 = 7.8$ y los valores de ΔC_1 capturan la incertidumbre epistémica en la ruptura de la escala de magnitud. Inicialmente, ΔC_1 se definió como 0,0, pero basándose en el análisis de los dos grandes terremotos recientes de interfase se recomiendan variaciones de este parámetro en función del periodo.

El modelo para la escala de profundidad viene dado por:

$$f_{\text{depth}}(Z_h) = \theta_{11}(\min(Z_h, 120) - 60) F_{\text{event}} \quad (11)$$

Modelo escalado para la respuesta de sitio:

- Para $V_{S30} < V_{\text{lin}}$

$$f_{\text{site}}(\text{PGA}_{1100}, V_{S30}) = \theta_{12} \ln\left(\frac{V_s}{V_{\text{lin}}}\right) - \text{bln}(\text{PGA}_{1100} + C) - \text{bln}(\text{PGA}_{1100} + C (V_s/V_{\text{lin}})^n) \quad (12)$$

- Para $V_{S30} \geq V_{\text{lin}}$

$$f_{\text{site}}(\text{PGA}_{1100}, V_{S30}) = \theta_{12} \ln\left(\frac{V_s}{V_{\text{lin}}}\right) + \text{bln}\left(\frac{V_s}{V_{\text{lin}}}\right) \quad (13)$$

Donde:

PGA_{1000} = Valor mediano de PGA para $V_{S30} = 1.000$ m/seg. Para $V_{S30} > 1.000$ m/seg. $V_s = 1000$. Para $V_{S30} \leq 1.000$, $V_s = V_{S30}$

Tabla 3.

Coefficientes constantes en el Modelo de subducción de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016)

Coefficiente	valor en todos los periodos
n	1.18
b	1.88
θ_3	0.1
θ_4	0.9
θ_5	0
θ_9	0.4
C4	10

Adaptado de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016)

Tabla 4.

Coefficientes para el modelo de subducción de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016)

Period (sec)	Vlin	b	θ_1	θ_2	θ_6	θ_7	θ_8	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{15}	θ_{16}
0.00	865.1	-1.186	4.2203	-1.35	-0.0012	1.0988	-1.420	3.12	0.0130	0.98	-0.014	-0.40	1.000	-1.00
0.02	865.1	-1.186	4.2203	-1.35	-0.0012	1.0988	-1.420	3.12	0.0130	0.98	-0.014	-0.40	1.000	-1.00
0.05	1053.5	-1.346	4.5371	-1.40	-0.0012	1.2536	-1.650	3.37	0.0130	1.29	-0.014	-0.40	1.103	-1.18
0.08	1085.7	-1.471	5.0733	-1.45	-0.0012	1.4175	-1.800	3.37	0.0130	1.48	-0.014	-0.40	1.273	-1.36
0.10	1032.5	-1.624	5.2892	-1.45	-0.0012	1.3997	-1.800	3.33	0.0130	1.61	-0.015	-0.40	1.304	-1.36
0.15	877.6	-1.931	5.4563	-1.45	-0.0014	1.3582	-1.690	3.25	0.0130	1.88	-0.015	-0.40	1.260	-1.30
0.20	748.2	-2.188	5.2684	-1.40	-0.0018	1.1648	-1.490	3.03	0.0129	2.08	-0.016	-0.35	1.223	-1.25
0.25	654.3	-2.381	5.0594	-1.35	-0.0023	0.9940	-1.300	2.80	0.0129	2.25	-0.017	-0.31	1.160	-1.17
0.30	587.1	-2.518	4.7945	-1.28	-0.0027	0.8821	-1.180	2.59	0.0128	2.35	-0.018	-0.28	1.050	-1.06
0.40	503.0	-2.657	4.4644	-1.18	-0.0035	0.7046	-0.980	2.20	0.0127	2.43	-0.021	-0.23	0.800	-0.78
0.50	456.6	-2.669	4.0181	-1.08	-0.0044	0.5799	-0.820	1.92	0.0125	2.4	-0.023	-0.19	0.662	-0.62
0.60	430.3	-2.599	3.6055	-0.99	-0.0050	0.5021	-0.700	1.70	0.0124	2.27	-0.026	-0.16	0.580	-0.50
0.75	410.5	-2.401	3.2174	-0.91	-0.0058	0.3687	-0.540	1.42	0.0120	1.99	-0.030	-0.12	0.480	-0.34
1.00	400.0	-1.955	2.7981	-0.85	-0.0062	0.1746	-0.340	1.10	0.0114	1.47	-0.036	-0.07	0.330	-0.14
1.50	400.0	-1.025	2.0123	-0.77	-0.0064	-0.0820	-0.050	0.70	0.0100	0.41	-0.049	0.00	0.310	0.00
2.00	400.0	-0.299	1.4128	-0.71	-0.0064	-0.2821	0.120	0.70	0.0085	-0.4	-0.061	0.00	0.300	0.00
2.50	400.0	0.000	0.9976	-0.67	-0.0064	-0.4108	0.250	0.70	0.0069	-0.7	-0.071	0.00	0.300	0.00
3.00	400.0	0.000	0.6443	-0.64	-0.0064	-0.4466	0.300	0.70	0.0054	-0.7	-0.080	0.00	0.300	0.00
4.00	400.0	0.000	0.0657	-0.58	-0.0064	-0.4344	0.300	0.70	0.0027	-0.6	-0.094	0.00	0.300	0.00
5.00	400.0	0.000	-0.4624	-0.54	-0.0064	-0.4368	0.300	0.70	0.0005	-0.6	-0.098	0.00	0.300	0.00

Adaptado de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016)

Nota: este modelo de atenuación presenta valores para periodos de hasta 10 segundos, en este trabajo solo se considera hasta periodos de 3 s debido a la ubicación geográfica del sitio de interés en el que las estructuras predominantes obedecen a periodos cortos.

Ecuaciones de Atenuación de (Zhao, y otros, 2006). Este modelo de atenuación de la aceleración espectral para los mecanismos de subducción fue desarrollado a partir de un total de 4726 registros sísmicos de movimientos fuertes del suelo de Japón incluido el terremoto principal de Off Tokach sus réplicas del año 2003. Irán y EE. UU. (Sencico, 2016). Para lograr predicciones plausibles de los eventos interfase e intraplaca de la zona de subducción se utiliza un factor de modificación de la distancia. se utilizan cuatro clases de sitios, SC I, II, III y IV, que corresponden

aproximadamente a las cuatro clases roca, suelo duro, suelo medio y suelo blando definidas en la siguiente tabla por (Zhao, y otros, 2006)

Tabla 5. clases de emplazamiento utilizadas en el modelo de (Zhao, y otros, 2006)

Clase -sitio	Descripción	Periodo Natural	V ₃₀ Calculado a partir del período del sitio	Clases de sitios
Hard rock			V ₃₀ > 1100 m/s	A
SC I	Roca	T < 0.2 sec	V ₃₀ > 600 m/s	A+B
SC II	Suelos duros	0.2 ≤ T ≤ 0.4 sec	300 ≤ V ₃₀ ≤ 600 m/s	S
SC III	Suelos medios	0.4 ≤ T ≤ 0.6 ec	200 ≤ V ₃₀ ≤ 300 m/s	D
SC IV	Suelos blandos	T = 0.6 sec	V ₃₀ = 200 m/s	E+F

Adaptado de (Zhao, y otros, 2006)

Ecuación de predicción GMPE de Zhao et al

$$\log_e(sa) = aM_{wi} + bx_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) + e(h - hc)\delta_h + F_R + S_I - S_S + S_{SL} \log(x_{i,j}) + C_k + \xi_{i,j} + n_i \quad (14)$$

siendo $r_{i,j} = x_{i,j} + c + \exp(dM_{wi})$

Donde:

Sa= aceleración espectral en gals, para un amortiguamiento del suelo del 5%, M= Momento sísmico, X= distancia más corta a la zona de ruptura (km), H= Profundidad focal(km)

Tabla 6.

Coeficientes utilizados en el modelo de (Zhao, y otros, 2006)

Periodo (sec)	a	b	c	d	e	Sr	SL	SS	SSL
PGA	1.1010	-0.0056	0.0055	1.0800	0.0141	0.2510	0.0000	2.6070	-0.5280
0.05	1.0760	-0.0067	0.0075	1.0600	0.0146	0.2510	0.0000	2.7640	-0.5510
0.1	1.1180	-0.0079	0.0090	1.0830	0.0142	0.2400	0.0000	2.1560	-0.4200
0.15	1.1340	-0.0072	0.0100	1.0530	0.0151	0.2510	0.0000	2.1610	-0.4310
0.2	1.1470	-0.0066	0.0120	1.0140	0.0146	0.2600	0.0000	1.9010	-0.3720
0.25	1.1490	-0.0059	0.0140	0.9660	0.0146	0.2690	0.0000	1.8140	-0.3600
0.3	1.1630	-0.0052	0.0150	0.9340	0.0146	0.2590	0.0000	2.1810	-0.4500
0.4	1.2000	-0.0042	0.0100	0.9590	0.0126	0.2480	-0.0410	2.4320	-0.5060
0.5	1.2500	-0.0034	0.0060	1.0080	0.0111	0.2470	-0.0530	2.6290	-0.5540
0.6	1.2930	-0.0028	0.0030	1.0880	0.0102	0.2330	-0.1030	2.7020	-0.5750
0.7	1.3360	-0.0026	0.0025	1.0840	0.0098	0.2200	-0.1460	2.6540	-0.5700

0.8	1.3860	-0.0024	0.0022	1.0880	0.0094	0.2320	-0.1640	2.4800	-0.5400
0.9	1.4330	-0.0023	0.0020	1.1090	0.0097	0.2200	-0.2060	2.3320	-0.5220
1.0	1.4790	-0.0022	0.0020	1.1150	0.0101	0.2110	-0.2390	2.2330	-0.5090
1.25	1.5510	-0.0021	0.0020	1.0830	0.0100	0.2510	-0.2560	2.0290	-0.4690
1.5	1.6210	-0.0022	0.0020	1.0910	0.0093	0.2480	-0.3060	1.5890	-0.3790
2.0	1.6940	-0.0020	0.0025	1.0550	0.0083	0.2630	-0.3210	0.9660	-0.2480
2.5	1.7480	-0.0019	0.0028	1.0520	0.0078	0.2620	-0.3370	0.7890	-0.2210
3.0	1.7590	-0.0015	0.0032	1.0250	0.0064	0.3070	-0.3310	1.0370	-0.2630
4.0	1.8260	-0.0020	0.0040	1.0440	0.0059	0.3530	-0.3900	0.5610	-0.1690

Adaptado de (Zhao, y otros, 2006)

Ecuaciones de Atenuación de (Youngs, Chiou, Silva, & Humphrey, 1997)

estas ecuaciones se desarrollaron en base a los sismos de interfase e intraplaca registrados en Alaska, Chile Cascadia, Japón, México y 14 registros del Perú (Sencico, 2016), para obtener la a_{max} del suelo y la aceleración espectral de respuesta de interfaz de la zona de subducción para terremotos de magnitud de momento $M_w \geq 5$ y para distancias desde 10 a 500 km. Estas relaciones de respuesta horizontal corresponden al 5% de amortiguación del suelo, a continuación, se presentan las ecuaciones GMPE para roca y para suelos

Ecuación de predicción GMPE para roca

$$\ln(sa) = 0.2418 + 1.414M + C1 + C2(10 - M)^3 + C3 \ln(R + 1.718e^{0.554M}) + 0.000607H + 0.3486Z_T \quad (15)$$

Ecuación de predicción GMPE para suelos

$$\ln(sa) = 0.6687 + 1.438M + C1 + C2(10 - M)^3 + C3 \ln(R + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_T \quad (16)$$

Desviacion estandar= $C4+C5M$

Donde:

Sa= aceleracion espectral en g, M= Momento sismico, R= distancia más corta a la ruptura (km), H= Profundidad (km), Z_T = Tipo de fuente, Z_T interfase =0; Z_T intraplaca=1

Tabla 7.

Coefficientes de atenuación de Youngs et al para aceleraciones espectrales en la roca

Periodo(s)	C1	C2	C3	C4"	C,5
PGA	0.000	0.0000	-2.552	1.45	-0.10
0.075	1.275	0.0000	-2.707	1.45	-0.10
0.100	1.188	-0.0011	-2.655	1.45	-0.10
0.200	0.722	-0.0027	-2.528	1.45	-0.10
0.300	0.246	-0.0036	-2.454	1.00	-0.10

0.400	-0.115	-0.0043	-2.401	1.45	-0.10
0.500	-0.400	-0.0048	-2.360	1.45	-0.10
0.750	-1.149	-0.0057	-2.286	1.45	-0.10
1.000	-1.736	-0.0064	-2.234	1.45	-0.10
1.500	-2.634	-0.0073	-2.160	1.50	-0.10
2.000	-3.328	-0.0080	-2.107	1.55	-0.10
3.000	-4.511	-0.0089	-2.033	1.65	-0.10

Adaptado de (Youngs, Chiou, Silva, & Humphrey, 1997)

Tabla 8. Coeficientes de atenuación de Youngs et al para aceleraciones espectrales en suelos

Periodo(s)	C1	C2	C3	C4"	C,5
PGA	0.000	0.0000	-2.329	1.450	-0.100
0.075	2.400	0.0000	-2.697	1.450	-0.100
0.100	2.516	-0.0019	-2.697	1.450	-0.100
0.200	1.549	-0.0019	-2.644	1.450	-0.100
0.300	0.793	-0.0020	-2.327	1.000	-0.100
0.400	0,144	-0.0020	-2.230	1.450	-0.100
0.500	-0.438	-0.0035	-2.140	1.450	-0.100
0.750	-1.704	-0.0048	-1.952	1.450	-0.100
1.000	-2.870	-0.0066	-1.785	1.450	-0.100
1.500	-5.101	-0.0114	-1.470	1.500	-0.100
2.000	-6.433	-0.0164	-1.290	1.550	-0.100
3.000	-6.672	-0.0221	-1.347	1.650	-0.100
4.000	-7.618	-0.0235	-1.272	1.650	-0.100

Adaptado de (Youngs, Chiou, Silva, & Humphrey, 1997)

Ecuaciones de Atenuación de (Sadigh, Chang, Egan, Makdisi, & Youngs, 1997). Estas relaciones se basan en datos de movimiento fuerte principalmente de los terremotos de California. para terremotos de deslizamiento y fallas inversas, depósitos de roca y suelo profundo y firme, de magnitud de momento $4 \leq M_w \leq 8+$ y distancias de hasta 100 km. Son aplicables para predecir los movimientos del suelo en campo libre de terremotos de la corteza terrestre poco profundos que ocurren en fallas dentro de los 20 a 25 km superiores de la corteza continental.

Ecuación de predicción GMPE para aceleraciones espectrales en roca con 5% de amortiguamiento

$$\ln(y) = C_1 + C_2M + C_3(8.5 - M)^{2.5} + C_4\ln(R + \exp(C_5 + C_6M)) + C_7\ln(R + 2) \quad (17)$$

Ecuación de predicción GMPE para aceleraciones espectrales en depósitos de suelo profundo

$$\ln(y) = C_1 + C_2M - \ln(R + C_4e^{C_5M}) + C_6 + C_7(8.5 - M)^{2.5} \quad (18)$$

Donde:

y= aceleracion espectral en g

M= Momento sismico

R= distancia más corta a la ruptura (km)

Tabla 9.

Coefficientes de atenuación de (Sadigh, et al 1997) en roca, para $M \leq 6.5$

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PGA	-0.624	1.000	0.0000	-2.100	1.2965	1.2965	0.250
0.07	0.110	1.000	0.0060	-2.128	1.2965	0.2500	-0.082
0.10	0.275	1.000	0.0060	-2.148	1.2965	0.2500	-0.041
0.20	0.153	1.000	-0.0040	-2.080	1.2965	0.2500	0.000
0.30	-0.057	1.000	-0.0170	-2.028	1.2965	0.2500	0.000
0.40	-0.298	1.000	-0.0280	-1.990	1.2965	0.2500	0.000
0.50	-0.588	1.000	-0.0400	-1.945	1.2965	0.2500	0.000
0.75	-1.208	1.000	-0.0500	-1.865	1.2965	0.2500	0.000
1.00	-1.705	1.000	-0.0550	-1.800	1.2965	0.2500	0.000
1.50	-2.407	1.000	-0.0650	-1.725	1.2965	0.2500	0.000
2.00	-2.945	1.000	-0.0700	-1.670	1.2965	0.2500	0.000
3.00	-3.700	1.000	-0.0800	-1.610	1.2965	0.2500	0.000

Adaptado de (Sadigh, Chang, Egan, Makdisi, & Youngs, 1997)

Nota: C2 y C5 se mantienen constantes para todos los periodos espectrales

Tabla 10.

Coefficientes de atenuación de (Sadigh, et al 1997) en roca, para $M > 6.5$

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PGA	-1.274	1.100	0.0000	-2.100	-0.4845	-0.4845	0.524
0.07	-0.540	1.100	0.0060	-2.128	-0.4845	0.5240	-0.082
0.10	-0.375	1.100	0.0060	-2.148	-0.4845	0.5240	-0.041
0.20	-0.497	1.100	0.0040	-2.080	-0.4845	0.5240	0.000
0.30	-0.707	1.100	-0.0170	-2.028	-0.4845	0.5240	0.000
0.40	-0.948	1.100	-0.0280	-1.990	-0.4845	0.5240	0.000
0.50	-1.238	1.100	-0.0400	-1.945	-0.4845	0.5240	0.000

0.75	-1.858	1.100	-0.0500	-1.865	-0.4845	0.5240	0.000
1.00	-2.355	1.100	-0.0550	-1.800	-0.4845	0.5240	0.000
1.50	-3.057	1.100	-0.0650	-1.725	-0.4845	0.5240	0.000
2.00	-3.595	1.100	-0.0700	-1.670	-0.4845	0.5240	0.000
3.00	-3.595	1.100	-0.0700	-1.670	-0.4845	0.5240	0.000

Adaptado de (Sadigh, Chang, Egan, Makdisi, & Youngs, 1997)

Tabla 11.

Coefficientes de atenuación de (Sadigh, et al 1997) para sitios de suelo profundo

Period (s)	C6 Deslizamiento	C6 Retroceso	C7	Error estandar
PGA	0.000	0.000	0.0000	1.52- 0.16M
0.08	0.457	0.457	0.0050	1.54- 0.16M
0.10	0.640	0.640	0.0050	1.54- 0.16M
0.20	0.919	0.919	-0.0040	1.565- 0.16M
0.30	0.955	0.955	-0.0140	1.58- 0.16M
0.40	0.925	0.901	-0.0240	1.595- 0.16M
0.50	0.849	0.829	-0.0330	1.61- 0.16M
0.75	0.701	0.680	-0.0510	1.635- 0.16M
1.00	0.567	0.508	-0.0650	1.66- 0.16M
1.50	0.324	0.222	-0.0900	1.69- 0.16M
2.00	0.100	-0.053	-0.1080	1.70- 0.16M
3.00	-0.280	-0.491	-0.1390	1.71- 0.16M
4.00	-0.627	-0.891	-0.1600	1.71- 0.16M

Adaptado de (Sadigh, Chang, Egan, Makdisi, & Youngs, 1997)

Nota: los coeficientes que no se incluyen en esta tabla se utilizan de la siguiente manera: C1 = -2,17 para los terremotos de deslizamiento, -1,92 para los terremotos de retroceso y de empuje, C2= 1.0, C3 = 1.70

C4 = 2,1863, C5 = 0,32 para $M < 6,5$

C 4 = 0,3825, C5 = 0,5882 para $M > 6,5$

1.3.6.4 Modelo de sismicidad Gutenberg-Richter modificado

Este modelo está asociado a ocurrencias poissonianas y, describe la probabilidad de superar el nivel de intensidad "a" en los próximos T_r años, a partir de un terremoto de magnitud M ocurrido a una distancia R del lugar de interés, (Sencico, 2016) y viene dado por:

$$Pe(a, T/M, R) = 1 - \exp(-\Delta\lambda(M)T \cdot p1(a/M, R)) \quad (19)$$

Dónde: $Pe(a, T|M, R)$ es la probabilidad de superación del nivel de intensidad del peligro "a", para un evento con magnitud M , ocurrido a una distancia R del sitio de interés. (M) es la tasa de superación de la magnitud Poissoniana asociada al intervalo de magnitudes caracterizado por la magnitud M .

Nota: $Pe(a|M, R)$ depende sólo de la magnitud y de la distancia entre el lugar y el hipocentro y por lo tanto, esta probabilidad no depende de las probabilidades de ocurrencia del terremoto, donde, (M) puede calcularse como

$$\Delta\lambda(M) = \lambda\left(\frac{M - \Delta M}{2}\right) - \lambda\left(\frac{M + \Delta M}{2}\right) \quad (20)$$

Nota: la magnitud M cubre el rango entre $M-M/2$ y $M+M/2$. Para el modelo Gutenberg-Richter modificado por Cornell y Vanmarke en 1969, la tasa de superación de la magnitud del terremoto está dada por:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \left(\frac{\exp(-\beta M) - \exp(-\beta M_U)}{\exp(-\beta M_0) - \exp(-\beta M_U)} \right), M_0 \leq M \leq M_U \quad (21)$$

donde λ_0 es la tasa de superación de la magnitud umbral, M_0 ; β , es un parámetro equivalente al "valor b" de la fuente en términos de su logaritmo natural y M_U es la magnitud máxima asociada a la fuente sísmica.

El Algoritmo del software R-crisis desarrollado por (Ordaz & Salgado Galvez, 2017) permite tener en cuenta la incertidumbre en ambos términos β y M_U , con el fin de manejar la incertidumbre en el parámetro β .

1.3.7 Evaluación de los peligros de la licuación de suelos

La evaluación completa de los peligros de licuación requiere que se aborde el potencial de falla de cada uno. Cuando se enfrenta a un problema de este tipo, el ingeniero geotécnico de terremotos puede evaluar sistemáticamente los peligros potenciales de licuación al abordar las siguientes interrogantes: ¿El suelo es susceptible? (1), Si es susceptible, ¿se activará la licuación? (2), Si se activa la

licuación, ¿se producirán daños? (3). Si la respuesta a la primera pregunta es no, la evaluación del peligro de licuación puede finalizar con la conclusión de que no existen los peligros de licuación. Si la respuesta es sí, se debe abordar la siguiente pregunta. En algunos casos, puede ser más eficiente invertir el orden de la segunda y tercera preguntas, particularmente cuando el daño parece improbable. Si las respuestas a las tres son sí, existe un problema; si el nivel anticipado de daño es inaceptable, el sitio debe abandonarse o mejorarse o las estructuras del sitio deben fortalecerse. Estas preguntas pertenecen a los tres aspectos más críticos de la evaluación del peligro de licuación: susceptibilidad, activación y efectos. Que deben considerarse en una evaluación integral de los peligros de licuación. (Kramer S. L., 1996)

1.3.8 Susceptibilidad a la Licuación de Suelos

No todos los suelos son propensos a licuarse; por lo tanto, el primer paso en una evaluación del peligro consiste en evaluar la susceptibilidad de los suelos. Si el suelo de un sitio en particular no es susceptible, entonces los peligros por licuación no existen y la evaluación puede darse por finalizada. En cambio, si el suelo es susceptible, se deben abordar las cuestiones de inicio y efectos de la licuación. La susceptibilidad a la licuación puede estimarse por varios criterios, entre ellos tenemos: criterios históricos, geológicos, composicionales y de estado. (Kramer S. L., 1996).

▪ Criterios históricos

las historias de casos de licuación se pueden utilizar para identificar sitios específicos, o condiciones de sitios, que pueden ser susceptibles de licuarse en futuros terremotos. (Youd T. L., 2003) describió varios casos en los que se ha utilizado evidencia histórica de licuación para mapear la susceptibilidad de los suelos. Las investigaciones de campo posteriores al terremoto también han demostrado que los efectos de la licuación se limitan históricamente a una zona dentro de una distancia particular de la fuente sísmica. La licuación generalmente vuelve a ocurrir en el mismo lugar cuando las condiciones de nivel freático permanecen similares.

▪ Criterios geológicos

Los sedimentos jóvenes del Holoceno, los rellenos construidos y los suelos que se licuaron previamente en particular son susceptibles a la licuación (Youd & Perkins, 1978) La mayoría de las fallas inducidas por licuación y casi todos los datos de antecedentes compilados en gráficos empíricos para la evaluación de la licuación se encontraban en depósitos del Holoceno o rellenos construidos (Idriss & Boulanger, 2008)

Tabla 12. Susceptibilidad de los depósitos sedimentarios

Tipo de deposito	Distribución de los sedimentos	Probabilidad de susceptibilidad			
		<500 yr	Holoceno	Pleistoceno	Pre-pleistoceno
(a) Depósitos continentales					
Ríos/Canales fluviales	Variable a nivel local	Muy Alto	Alto	bajo	Muy bajo
Llanura aluvial		Alto	Moderado		
Abanico aluvial y planicies	Extendido	Moderado	bajo	Muy bajo	Muy bajo
Terrazas marinas					
Delta y abanico-delta					
Lacustres y Playas Coluvial	Variable	Alto	Moderado	bajo	Muy bajo
Conos acumulados	Extendido	bajo	bajo	Muy bajo	Muy bajo
Dunas		Alto	Moderado	bajo	
Limos de origen eólico	Variable	bajo	Alto	Alto	desconocido
sedimentos glaciares					
toba volcánica	Raro	bajo	bajo	Muy bajo	Muy bajo
material fragmentado volcánico	Extendido	Alto	Alto	?	?
Suelos Residuales	Raro	bajo	bajo	Muy bajo	Muy bajo
depósitos salares	Variable a nivel local	Alto	Moderate	bajo	
(b) Zona costera					
Delta (accidente geográfico convexo)	Extendido	Muy Alto	Alto	bajo	Muy bajo
Playas en estuarios y bahías	Variable a nivel local	Alto	Moderate		
Alta energía del oleaje	Extendido	Moderado	bajo	Muy bajo	Muy bajo
Baja energía del oleaje					
Lagunas	Variable a nivel local	Alto	Moderado	bajo	Muy bajo
Orilla de proa					
(c) Rellenos artificiales					
Rellenos no compactados	variable	Muy Alto	-	-	-
Rellenos compactados	variable	bajo	-	-	-

Tomado de (Youd & Perkins, 1978)

▪ **Criterios de composición**

El tamaño de partícula, forma y características jerárquicas influyen en las propiedades del suelo durante el cambio de volumen. En el pasado, se pensaba que la licuefacción se limitaba a la arena y los suelos de grano más fino se consideraron incapaces de generar altas presiones intersticiales asociadas con la licuefacción. Recientemente, se han ampliado los límites de los criterios de

clasificación para la susceptibilidad a la licuefacción. La licuefacción de limos no plásticos se ha observado en el laboratorio y en el campo (Ishihara, Stability of natural deposits during earthquakes, 1985) sugiere que las propiedades plásticas y no solo el tamaño de las partículas, afectan la susceptibilidad a la licuefacción del suelo de grano fino. Los limos gruesos en forma de gránulos voluminosos, no plásticos y no cohesivos se licúan con bastante facilidad. Los limos con partículas finas o placas que a menudo exhiben suficiente cohesión para evitar la licuefacción. Las arcillas siguen siendo insensibles, aunque en una condición no drenada pueden exhibir un comportamiento de ablandamiento similar al de los suelos licuados pero no licúan (Brenes Quesada, 2008) . Los suelos de grano fino que cumplen con cada uno de los siguientes estándares chinos pueden considerarse susceptibles a una pérdida significativa de la resistencia del suelo a la licuefacción. (Wang & Yun, 1979)

- a) Fracción más fina que 0,005 mm \leq 15%
- b) Límite líquido, LL: \leq 35%
- c) Contenido de agua natural \leq 0.9 LL
- d) Índices de liquidez \leq 0,75

▪ **Rango de suelos licuables**

La gradación del suelo afecta la susceptibilidad del suelo a la licuefacción. Un suelo bien clasificado es menos propenso a la licuefacción que un suelo mal clasificado. El relleno de los espacios entre partículas más grandes con partículas más pequeñas, en suelos planos, reduce la posibilidad de cambio de volumen en condiciones de drenaje y, por lo tanto, reduce el exceso de presión intersticial en condiciones de buen drenaje. (Brenes Quesada, 2008).

La forma de las partículas también puede afectar la susceptibilidad a la licuefacción. Es más fácil que se licue un suelo con granos redondos que uno de granos angulares.

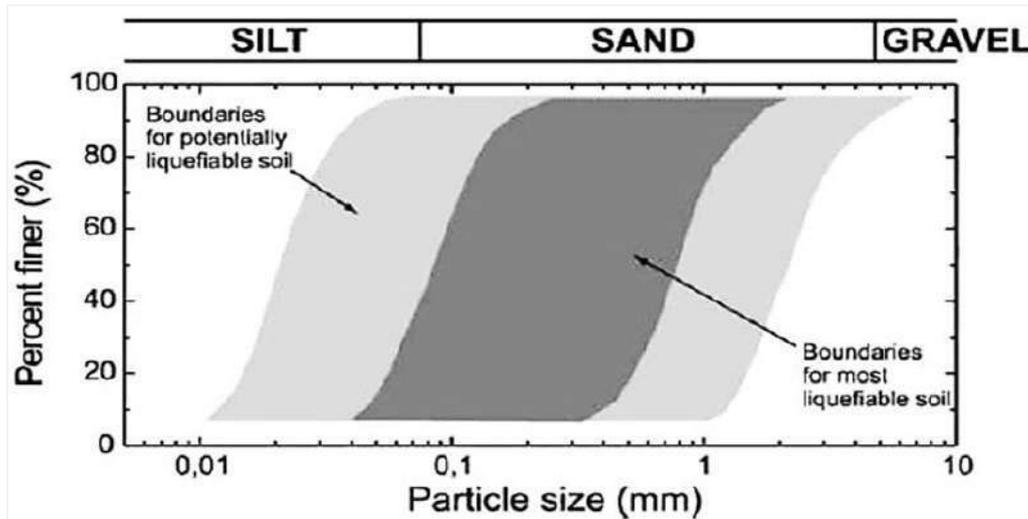


Figura 18. Rango de suelos susceptibles a la licuación

- **Criterios de estado**

La susceptibilidad de un suelo también depende de su estado inicial de tensión y densidad en el momento del terremoto. Dado que la tendencia a generar una presión intersticial excesiva en un suelo en particular está fuertemente influenciada tanto por la densidad como por las condiciones de tensión de estrés inicial. La duración del estado de la licuación depende de las condiciones de drenaje del depósito y de la cantidad de tensión cíclica inmediatamente después del inicio de la licuefacción. (Kramer S. L., 1996)

1.3.9 Análisis Determinístico

- **Enfoque de estrés cíclico**

Este procedimiento consiste en expresar la carga inducida por el terremoto en términos de esfuerzos cortantes cíclicos, donde los esfuerzos actuantes (**CSR**) se comparan con los esfuerzos resistentes (**CRR**). Cuando la carga excede la resistencia, se espera que ocurra la licuación. (Kramer, Sideras, & Greenfield, 2016)

1.3.9.1 Caracterización de la carga sísmica.

Las cargas sísmicas se pueden predecir de dos formas: mediante un análisis detallado de la respuesta del suelo (1) o utilizando un enfoque simplificado (2).

- **Análisis de respuesta del suelo**

Se utilizan para predecir las historias de tiempo de estrés a diferentes profundidades dentro de un depósito de suelo, con los resultados se construyen historias de tiempo con las características de los movimientos reales. Los datos de laboratorio a partir de los cuales estima la resistencia a la licuación generalmente se obtienen de pruebas en las que los esfuerzos cortantes cíclicos tienen amplitudes uniformes (Camargo Garcia & Yana Paucar, 2017) . para realizar la comparación de la carga inducida por un terremoto con la resistencia determinada en el laboratorio se requiere convertir el historial de esfuerzos cortantes irregulares en una serie equivalente de períodos de esfuerzos homogéneos en la que se considera el número de ciclos de esfuerzo uniforme, N_{eq} a una amplitud del 65% del esfuerzo cortante cíclico pico, es decir, $T_{cyc} = 0.65 T_{max}$.) el número equivalente de ciclos de tensión uniforme aumenta proporcionalmente con la Magnitud del terremoto al igual que la duración del movimiento (Russell Green & Gregory Terri, 2005)

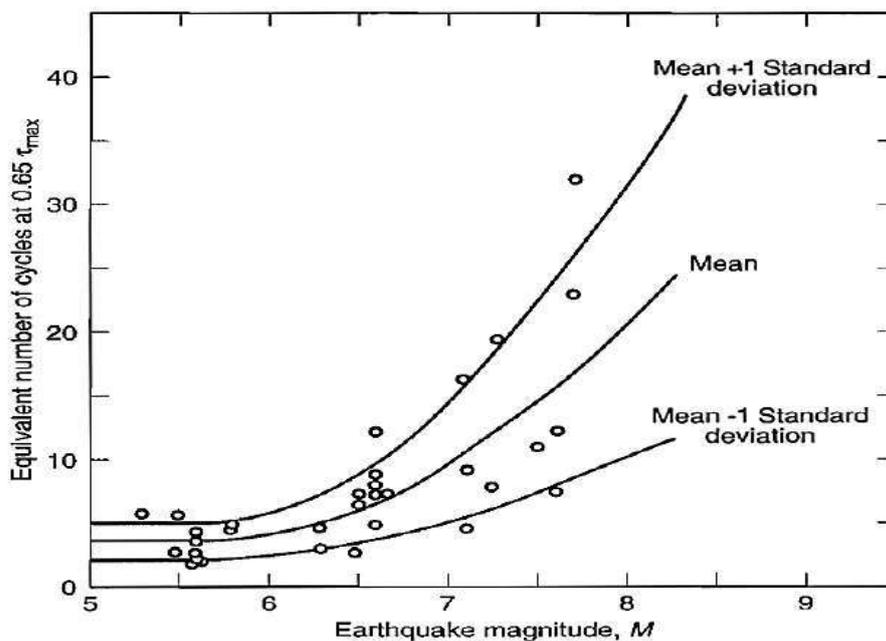


Figura 19. Número de ciclos de esfuerzos uniformes equivalentes. N_{eq} . Para terremotos de diferente magnitud.

Tomado de geotechnical Earthquakes (Kramer S. L., 1996)

- **Metodologías simplificadas**

Los Métodos simplificados relacionan el esfuerzo cortante necesario para activar la licuación del suelo y el esfuerzo inducido por los terremotos; por lo que se requiere el cálculo de los parámetros relacionados con los eventos sísmicos y los parámetros del depósito del suelo basados en ensayos o pruebas en situ. Ya sean: **SPT**, **CPT** y **Vs**, Por lo que la resistencia del depósito a la licuefacción se estima mediante un coeficiente de resistencia.

- **Método simplificado de Seed e Idriss**

Para determinar el esfuerzo cortante causado por los terremotos, (Idriss & Boulanger, 2008) proponen un procedimiento simple basado en la suposición de un suelo homogéneo. Asumiendo que la onda sísmica se propaga verticalmente, donde una columna de suelo de altura “z” se mueve rígidamente en la dirección horizontal y por ende tiene el mayor esfuerzo cortante en la profundidad z, como se muestra en la **Figura 20**, el procedimiento se describe a continuación.

1.3.9.2 Determinación de la carga sísmica (CSR)

La carga sísmica impuesta por un terremoto está asociada al movimiento del terreno, por lo que puede representarse como una función del mismo, los parámetros necesarios para considerar esta simplificación son: la amplitud, frecuencia y duración del movimiento sísmico. Para desarrollar el procedimiento simplificado en primer lugar se calcula la relación de tensiones cíclicas de corte **CSR**, término también conocido como proporción de esfuerzos sísmicos **SSR** (Seismic Stress Ratio). La simplificación física para el cálculo del **CSR** para un terremoto, consiste en considerar un bloque de suelo como columna de longitud y ancho unitarios que se mueve como un cuerpo rígido en respuesta a una aceleración horizontal máxima inducida por un sismo (Kramer S. L., 1996), tal como se muestra a continuación.

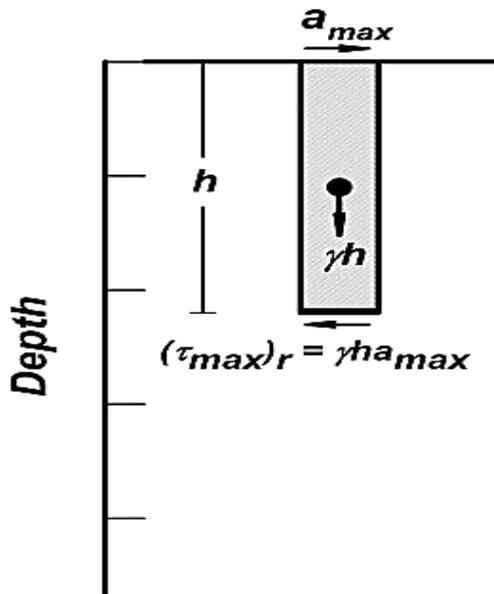


Figura 20. simplificación de bloque de suelo como un cuerpo rígido
Tomado de (Idriss & Boulanger, 2008)

▪ **Deducción de la ecuación de relación de estrés cíclico actuante (CSR)**

A partir de la **Figura 20**, planteamos la ecuación general de la primera ley del movimiento de Newton: $F = m\ddot{a}$

Reemplazando la masa en función del peso de un sólido, obtenemos: $m = W/g$

El peso de un suelo viene dado en función de su peso específico: $W = \gamma h$

Dónde: W es el peso de la columna de un suelo de ancho y longitud unitarios y solo existen variaciones de peso en función de la altura de la columna de suelo, teniéndose que el peso de una columna de suelo varía con la profundidad (z): $W = \gamma h$

La reacción en el terreno respecto a la carga vertical W , viene dada por el esfuerzo vertical, σ_v , de igual magnitud, y en sentido contrario al esfuerzo vertical en la masa de un suelo: $\sigma_v = \gamma h$, reemplazando términos en la ecuación general de movimiento, obtenemos la expresión del movimiento de una masa de suelo en términos de esfuerzos verticales.

$$F = \frac{\sigma_v}{g} \ddot{a} \tag{22}$$

Ordenando y separando productos escalares y vectoriales y habiendo señalado que para emplear el método determinista una de las variables más importantes es la

aceleración del sitio por lo tanto se requiere que esta sea la aceleración "a" sea la máxima a_{max} . Con lo que obtiene la ecuación del movimiento en función de la aceleración máxima de sitio como:

$$F = \sigma_v \frac{a_{max}}{g} \quad (23)$$

Donde:

F = Fuerza sísmica horizontal

m = Masa del bloque del suelo

W = peso del bloque de suelo

γ = peso específico del suelo

z = profundidad del análisis, medida desde la superficie

σ_v = esfuerzo vertical total en la profundidad del análisis para un estrato de suelo

$a_{Max.}$ = aceleración máxima horizontal

habiendo asumido una columna de suelo de ancho unitario, podemos asumir que la fuerza cortante máxima F es igual a la tensión máxima de corte $t_{max.}$

Sustituyendo términos tenemos:

$$t_{max.} = \sigma_v \frac{a_{max}}{g} \quad (24)$$

Si dividimos a ambos miembros de la igualdad por la tensión efectiva vertical tenemos:

$$\frac{t_{max.}}{\sigma'_v} = \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} * \frac{a_{max}}{g} \quad (25)$$

Al tratarse de una simplificación y realmente el bloque de suelo no se comporta como un cuerpo rígido cuando es sometido a la vibración de un sismo, los profesores (Idriss & Boulanger, 2008) agregaron un factor de reducción de estrés cíclico (rd), que está en función de la profundidad, y se incorpora a continuación

$$\frac{t_{max.}}{\sigma'_v} = \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} * \frac{a_{max}}{g} rd \quad (26)$$

Los métodos deterministas permiten tratar un registro sísmico irregular como una función uniforme equivalente de tensión cíclica, de una serie temporal de ciclos individuales y por lo general se toma el 65% del valor máximo de PGA.

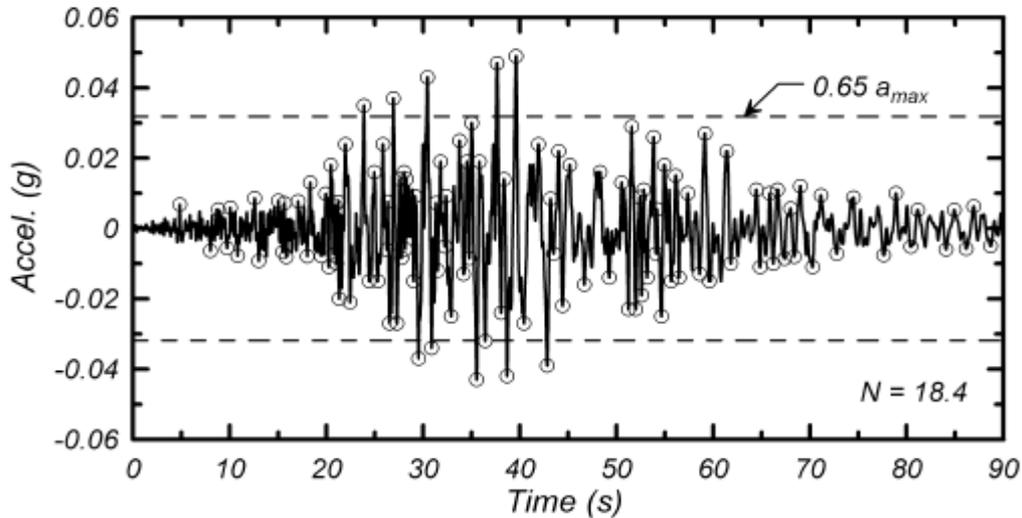


Figura 21. serie temporal, de ciclos individuales y el número equivalente de ciclos uniformes

Tomado de (Idriss & Boulanger, 2008)

puede expresarse como:

$$t_{cyc.} = 0.65 t_{max.} \quad (27)$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{t_{cyc}}{0.65\sigma'_v} = \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} * \frac{a_{max}}{g} rd \quad (28)$$

Ordenando y dejando el miembro de la izquierda en términos de relación de esfuerzo cíclico y esfuerzo efectivo vertical obtenemos: la ecuación de relación de esfuerzo cíclico CSR (Cyclic Stress Ratio) inducido por el terremoto

$$\frac{t_{cyc}}{\sigma'_v} = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} * \frac{a_{max}}{g} rd \quad (29)$$

Sustituyendo términos obtenemos la ecuación de relación tensiones cíclicas de corte inducidas por el sismo CSR (Cyclic Stress Ratio)

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} * \frac{a_{max}}{g} rd \quad (30)$$

Nota: en esta investigación usaremos los términos de esfuerzos cíclicos actuantes (ECA) para Referirnos también a los esfuerzos inducidos por el terremoto (CSR)

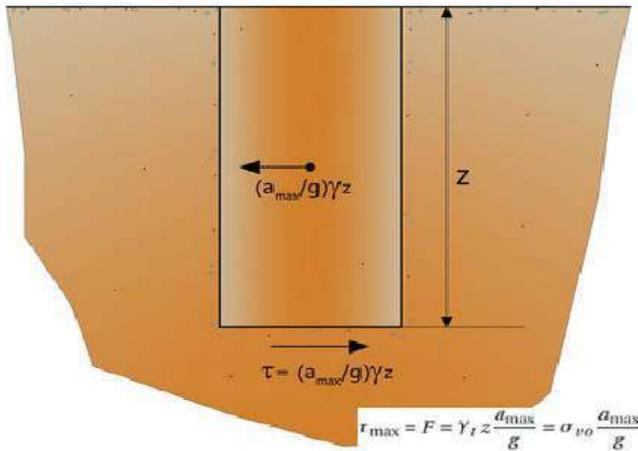


Figura 22. Respuesta dinámica unidimensional del depósito de suelo
Tomado de (GEOESTRU, Software, 2020)

1.3.9.3 Caracterización de la resistencia a la licuación de los Suelos

La resistencia a la licuación de los suelos depende de la distancia entre el estado inicial del suelo y el estado de "falla". Se requiere de una carga para producir el estado de falla, que es diferente para la licuación del flujo y la movilidad cíclica, para la licuación de flujo se define fácilmente usando el parámetro **FLS**, y su inicio se reconoce fácilmente en el campo, en tanto la definición de falla para la movilidad cíclica es imprecisa. puesto que no existe un punto específico en el que se pueda determinar la "falla" por movilidad cíclica. Generalmente se considera que ocurre cuando las presiones de los poros se vuelven lo suficientemente grandes como para producir oscilación del suelo, propagación lateral u otra evidencia de daño en la superficie; en la práctica, la generación de volcanes de arena se toma con frecuencia como evidencia de movilidad cíclica. sin embargo, depende no solo de las características de la arena licuable sino también de las características de espesor, permeabilidad y homogeneidad de los estratos suprayacentes. El enfoque de estrés cíclico, hace poca distinción entre los diferentes tipos de la licuación del suelo. (Kramer S. L., 1996).

La caracterización de la resistencia cíclica del suelo se ha desarrollado en dos líneas de investigación: métodos fundamentados en resultados de pruebas de laboratorio (1) y métodos desarrollados a partir de pruebas de campo (2) en base a observaciones del comportamiento de la licuefacción en eventos sísmicos pasados.

1.3.9.4 Resistencia a la licuación basada en pruebas in situ.

Este enfoque, descrito por (Whitman, 1971) consiste en utilizar historias de casos de licuación de suelos para caracterizar la resistencia a la licuación en términos de los parámetros de prueba medidos in situ. Los historiales de casos anteriores se pueden caracterizar por la combinación de un parámetro de carga, **L**, y un parámetro de resistencia, **R**, que puede representarse con un símbolo que indica si se observó o no licuación. Entonces se puede trazar un límite entre las combinaciones de (**L**) y (**R**) que han producido y no han producido licuación en terremotos pasados. Este límite generalmente se dibuja de manera conservadora de modo que todos los casos en los que se ha observado licuación se encuentran por encima de él. En este enfoque, la relación de tensión cíclica τ_c se usa generalmente como el parámetro de carga **L**, y los parámetros de prueba in situ que reflejan las características de generación de densidad y presión de poros del suelo se usan como parámetros de resistencia a la licuación "**R**" (Kramer S. L., 1996) donde:

$$\tau_c = \frac{2}{3} \sigma_v a_p / g \quad (31)$$

Dónde:

a_p = aceleración máxima en la superficie del suelo

σ_v = tensión vertical total en la profundidad crítica

g = aceleración de la gravedad

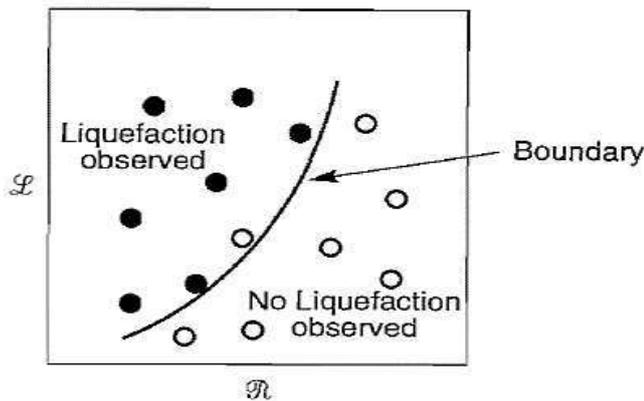


Figura 23. Combinaciones de los parámetros de carga y resistencia **L** y **R** tomado de (Kramer S. L., 1996)

1.3.9.5 Resistencia dinámica a la penetración estándar.

La prueba de penetración estándar (SPT) es la prueba in situ más comúnmente utilizada para caracterizar la resistencia a la licuación del suelo (Illacutipa Perez & Illacutipa Perez, 2019); puesto que los factores que tienden a aumentar la resistencia a la licuación (densidad, esfuerzo sísmico previo, relación de sobre consolidación), están relacionados directamente con el incremento de la resistencia a la penetración dinámica.

Las Investigaciones recientes realizadas por (Boulanger & Idriss, 2014), compararan la resistencia SPT corregida y la relación de esfuerzo cíclico para arenas limpias. Figura 24 y sitios de arena limosa Figura 25, en los que se observó si se presenta o no licuación en terremotos de $M_w = 7.5$, para determinar la relación de esfuerzos cíclicos mínimos en los que se puede esperar licuación en una arena limpia.

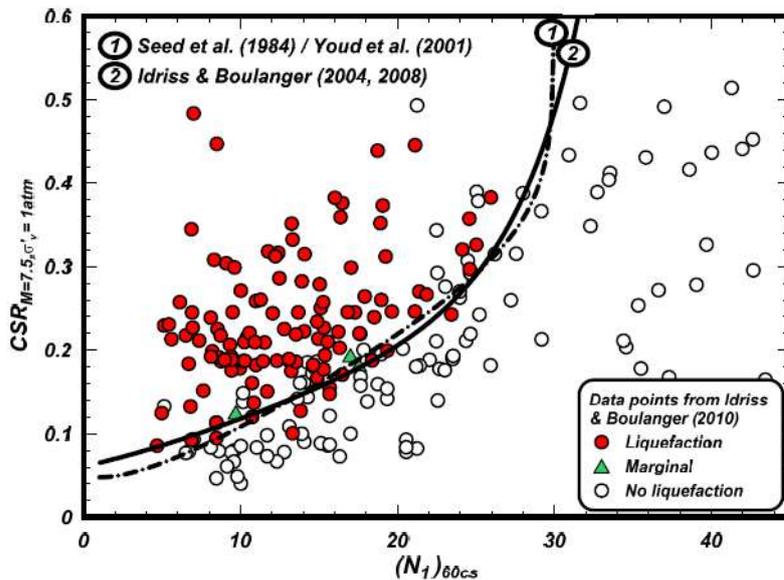


Figura 24. Relaciones de estrés cíclico que determinan la licuación del suelo en arenas limpias en base a pruebas SPT.

Nota: Base de datos de casos procesados por Idriss y Boulanger en 2004-2008 referenciados en (Boulanger & Idriss, 2014)

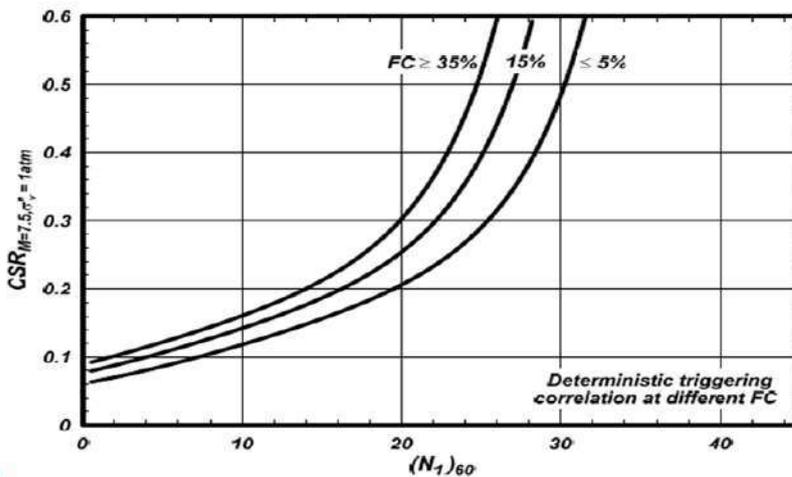


Figura 25. Curvas de estrés cíclico para arenas limosas, obtenidas a partir de pruebas SPT

Tomado de (Idriss & Boulanger, 2008)

▪ **Influencia del contenido de finos**

la resistencia de la arena a la licuefacción solo se ve afectada por las partículas de arena si estas constituyen más del 5% de la mezcla del suelo. Un alto contenido de finos tiende a limitar el proceso de licuefacción. La ductilidad de grano fino también puede afectar la resistencia a la licuefacción

▪ **Influencia de la plasticidad del suelo**

La adhesión de limos plásticos delgados tiende a contrarrestar el movimiento relativo de las partículas individuales del suelo y, por lo tanto, reduce la generación excesiva de presión intersticial durante los terremotos. Índices de plasticidad superiores a 10, representan un incremento gradual en la resistencia a la licuación, (Ishihara, 1993) sugirió que los efectos de la plasticidad podrían explicarse multiplicando el **CSR** por el factor de corrección. Dado que la mayoría de los suelos arenosos en depósitos aluviales y rellenos artificiales tienen índices de plasticidad $IP < 15$, el efecto de la plasticidad de los finos suele ser reducido. Debido a la duración del movimiento fuerte, por lo tanto, el número equivalente de ciclos de tensión uniforme aumenta con la Magnitud del terremoto, la relación de tensión cíclica mínima requerida para iniciar la licuación disminuye al aumentar la Magnitud del sismo. La relación de tensión cíclica mínima para otras magnitudes se puede obtener multiplicando la relación de esfuerzos cíclicos para sismos de $M = 7.5$ por los factores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13.

Factores de corrección de Magnitud para el enfoque de esfuerzo cíclico

Magnitud, M	$CSR_M / CSR_{M=7.5}$
5.25	1.50
6.0	1.32
6.75	1.13
7.5	1.00
8.5	0.89

Obtenido de (Kramer S. L., 1996)

En sitios con terrenos inclinados, que soportan estructuras pesadas, la presencia de esfuerzos cortantes estáticos iniciales influirá en la resistencia a la licuación. cuando el esfuerzo cortante estático sea mayor que la resistencia en estado estable, las condiciones iniciales están más cerca de **FLS** y la resistencia a la licuación se reduce. Seed (1983) propuso contabilizar el esfuerzo cortante inicial y las altas presiones de confinamiento efectivas, modificando la relación de esfuerzos cíclicos de la siguiente manera:

$$(CSR \text{ campo})_{\alpha, \sigma} = (CSR \text{ campo}) = 0, \alpha < 1 \text{ ton/ft } KaK\sigma \quad (32)$$

donde $\alpha = \tau_{h, \text{estático}} / \sigma'_{v0}$, y K_{α} a y K_{σ} son factores de corrección para el esfuerzo cortante inicial y la presión de sobrecarga efectiva respectivamente.

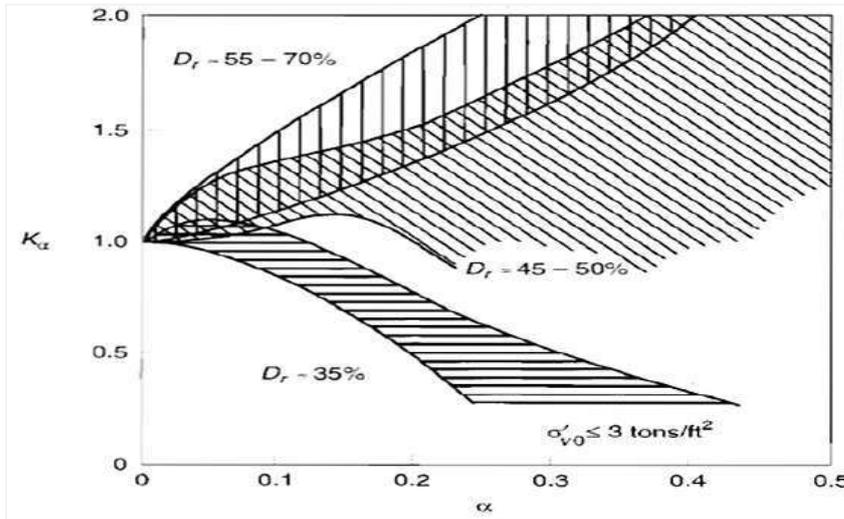


Figura 26. Variación del factor de corrección K_{α} con la relación de esfuerzo cortante inicial

Tomado de (Kramer S. L., 1996)

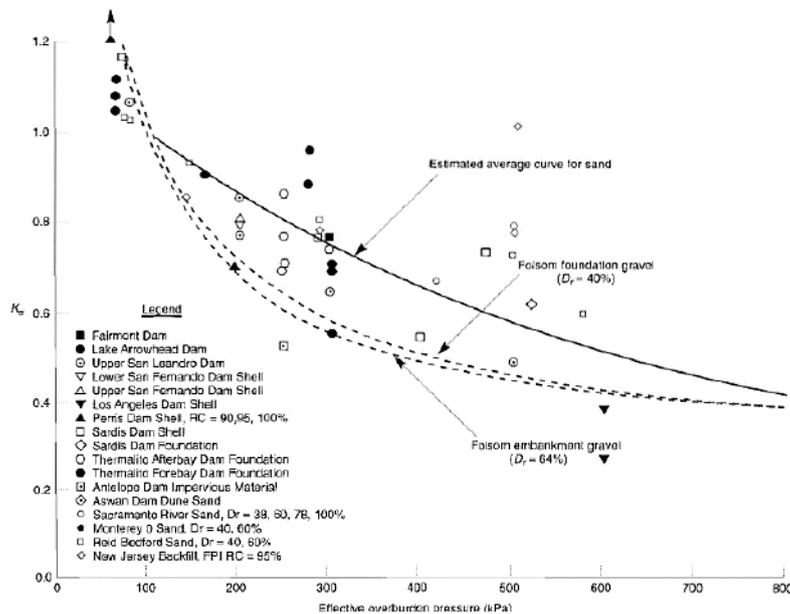


Figura 27. Variación del factor de corrección, K_{σ} , con presión de sobrecarga efectiva.

Tomado de (Kramer S. L., 1996)

1.3.9.6 Determinación de la Resistencia cíclica (CRR)

La resistencia cíclica **CRR** indica el valor del esfuerzo cortante cíclico resistente mínimo, normalizado por la presión de sobrecarga efectiva σ'_{v0} que produce la

licuefacción del suelo en relación con un valor dado de $(N_1)_{60SPT}$, para un momento sísmico de $7.5(M_W)$. (E.0.50,RNE, 2018), donde N_{160} se estima a partir de los parámetros de sobrecarga efectiva C_N y N_{60} que corresponde al número de golpes/pie corregidos por longitud de barra, diámetro del pozo de perforación, tipo de muestreador y energía y estos se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones:

$$C_N = \left(\frac{100 \text{ kpa}}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \quad (33)$$

La resistencia cíclica del suelo **CRR**, se correlaciona con el parámetro de sitio N_m -**SPT** (# golpes/pie), la resistencia de punta del CPT o la velocidad de ondas de corte **Vs**. (Boulanger & Idriss, 2014). Por lo tanto, la correlación a **CRR** se basa en la resistencia de penetración corregida, por lo que la expresión puede reescribirse como:

$$(N_1)_{60} = N_m C_E C_R C_B C_S C_N \quad (34)$$

donde C_N es un factor de corrección de sobrecarga, $C_E = ER_m / 60\%$, ER_m es el valor medido de la energía entregada como un porcentaje de la energía teórica de la caída libre del martillo, C_R es un factor de corrección de la barra para tener en cuenta que las relaciones de energía son más pequeñas con longitudes de varilla más cortas, C_B es un factor de corrección para diámetros de pozo no estándar, C_S es un factor de corrección para el uso de cucharas partidas, con espacio para revestimientos pero con los revestimientos ausentes, y N_m Es el recuento de golpes SPT medido. Los factores C_B y C_S son iguales a la unidad si se siguen los procedimientos estándar.

La resistencia cíclica del suelo **CRR** del suelo también se ve afectada por la duración de la agitación que se correlaciona con el factor de Magnitud escalada del terremoto, **MSF**) y el esfuerzo de sobrecarga eficaz que se expresa a través de un factor **K_σ** . Por lo tanto, la correlación para **CRR** se desarrolla para una referencia de momento sísmico $M_w = 7.5$ y $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$, (Boulanger & Idriss, 2014) y luego se ajusta a otros valores de M_w y σ'_v usando la siguiente expresión:

$$CRR_M = CRR_{7.5} * K_\sigma * MSF \quad (35)$$

El efecto de las tensiones de corte estáticas sostenidas, que pueden expresarse a través de un factor K_α , es generalmente pequeño para terrenos nivelados

La resistencia cíclica modificada CRR_M se define como el valor de **CRR** modificado por el valor de la Magnitud de momento (M_W) diferente de 7.5

$$CRR_M = FSM * CRR_{7.5} \quad (36)$$

Coeficiente de reducción de la tensión de corte, r_d

(Idriss & Boulanger, 2008) al extender el trabajo de Golesorkhi (1989), realizaron cientos del análisis de respuesta de sitios paramétricos y concluyeron que, con el propósito de desarrollar procedimientos de evaluación de licuación, el parámetro r_d podría expresarse como.

$$r_d = \exp \exp [\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (37)$$

Los parámetros $\alpha(z)$ y $\beta(z)$ se obtienen con:

$$\alpha(z) = -1.012 - 11.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \quad (38)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \quad (39)$$

Dónde: z es la profundidad bajo de la superficie del terreno en medida metros y sin (x) está en radianes. Las variaciones resultantes de r_d con profundidad y Magnitud se muestran a continuación.

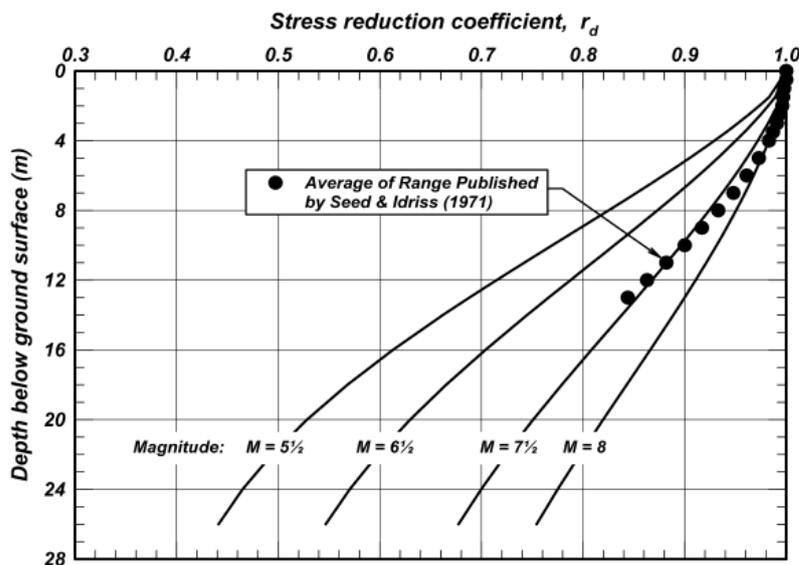


Figura 28. Relación del factor de reducción de resistencia de corte r_d
Tomado de (Idriss & Boulanger, 2008)

Se han propuesto otras relaciones r_d , que incluyen las relaciones probabilísticas de Cetin et al. (2004) y Kishida et al. (2009). que se fundamentan en el análisis de respuesta de sitio para diferentes condiciones y movimientos del terreno, e incluyen los efectos de la velocidad de onda de corte. (Boulanger & Idriss, 2014) compararon estas relaciones alternativas r_d y demostraron que su uso en la interpretación de la base de datos del historial de casos de licuación SPT produciría diferencias relativamente pequeñas en la correlación desencadenante derivada; sin embargo, las diferencias pueden ser importantes para las evaluaciones para profundidades mayores que las cubiertas por la base de datos (aproximadamente 10 o 12 m). donde la incertidumbre de r_d aumenta para profundidades superiores a estas.

Factor de corrección de sobrecarga, C_N

(Boulanger & Idriss, 2014) recomiendan que la dependencia de la relación D_R - C_N puede estimarse en términos de $(N_1)_{60cs}$ tal como sigue:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \quad (40)$$

Nota: condición los $(N_1)_{60cs} \leq 46$

Los valores de C_N calculados usando esta ecuación se presentan en la figura (a) para un rango de valores de $(N_1)_{60cs}$ y para sobrecargas efectivas de hasta 10 atm, y se comparan con la relación de Liao y Whitman (1986) en la parte (b) para cargas de sobrecarga efectivas de hasta 2 atm. Por lo que se impone como límite $C_N = 1.7$ que se alcanza a un esfuerzo efectivo de (35 kPa), que corresponde a una profundidad máxima entre 2 a 4 m, dependiendo de la profundidad del agua subterránea.

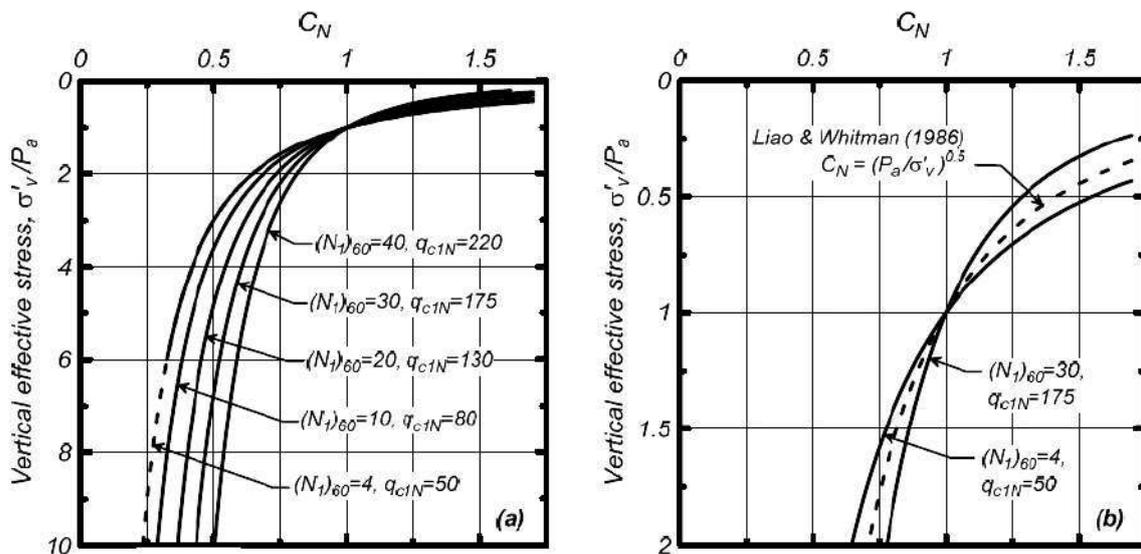


Figura 29. Relación del factor de corrección de sobrecarga (C_N) para las resistencias de penetración de CPT y SPT

Tomado de (Idriss & Boulanger, 2008)

de lo contrario, la relación y la forma funcional asumida producirán valores de C_N no demasiado grandes a medida que la σ'_v se acerca a cero. Varios investigadores han recomendado usar límites de 1.7 a 2.0. Por ejemplo, Robertson y Wride 1998, (Youd T. L., 2003). Otras formas funcionales para C_N producen valores finitos en $\sigma'_v = 0$.

1.3.9.7 Potencial de licuación de los suelos.

La evaluación del potencial de licuación de un suelo se reduce a una comparación de esfuerzos cíclicos actuantes y resistentes en todo el depósito del perfil del suelo. La profundidad de la activación de licuación se puede realizar a partir de la gráfica, donde la carga sísmica supere la resistencia cíclica del terreno, es decir cuando el

factor de seguridad contra la licuación sea menor de uno, el que se obtiene de la siguiente expresión:

$$FS_L = \frac{\text{Esfuerzo cortante cíclico resistente.}}{\text{Esfuerzo cortante cíclico actuante inducido por el sismo}} = \frac{\tau_{cycl}}{\tau_{cyc}} = \frac{CRR}{CSR}$$

Si: $FS_L < 1$ se activa la licuación del suelo, este término también es conocido como factor de resistencia a la licuación de suelos en adelante lo llamamos **FR_L**

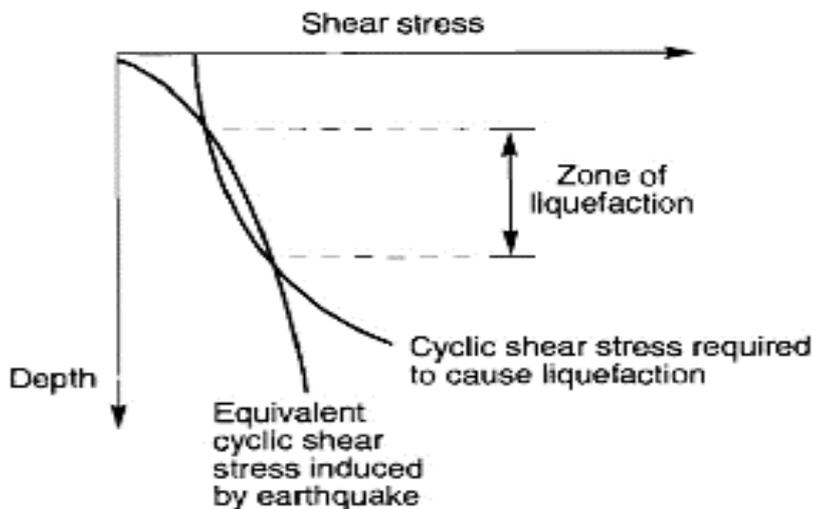


Figura 30. Identificación de la licuación de suelos en función del esfuerzo cortante cíclico y la profundidad del análisis

Tomado de (Kramer S. L., 1996)

1.3.9.8 Resistencia residual de los suelos licuados

La resistencia residual de los suelos licuados se puede utilizar en la evaluación de la estabilidad posterior a la licuación del suelo, para estimar el riesgo de fallas en las estructuras y los desplazamientos laterales, inducidos por la licuación. La experiencia de terremotos anteriores y estudios experimentales sobre modelos reducidos indican que la resistencia residual de los suelos licuados puede ser mucho menor que la resistencia inicial de los suelos. Puede presentarse una pérdida casi completa por estrés efectivo, que se mantiene durante la redistribución de la presión del agua de los poros, el flujo de agua subterránea y el posible aflojamiento de los suelos licuados. La redistribución y expansión de la relación de vacíos, debido al flujo ascendente de agua, son las razones principales de la baja resistencia residual de los suelos licuados.

Actualmente tenemos varias relaciones empíricas disponibles para estimar la resistencia cortante residual de los suelos licuados, a continuación, se mencionan las siguientes:

- La correlación empírica de Seed and Harder (1990) presenta la resistencia residual S_r en función del recuento de golpes SPT de arena equivalente, $(N_1)_{60cs-S_r}$, la corrección por contenido de finos de la prueba SPT para estimar la resistencia residual difiere de la corrección del contenido de finos utilizada en la evaluación de activación de licuación.
- Olson y Stark (2002) proporcionan correlaciones empíricas basadas tanto en el recuento normalizado de golpes spt $(N_1)_{60}$ como en la resistencia normalizada donde la fuerza residual normalizada se define en términos de una relación (S_r/σ'_{vo})
- Idriss y Boulanger (2008) recomiendan relaciones en términos de S_r/σ'_{vo} basadas en $(N_1)_{60cs-S_r}$ para dos condiciones separadas:
 - a) Donde se espera que los efectos de redistribución de la relación de vacío sean insignificantes (este caso no debe usarse a menos que se pueda demostrar que la redistribución del vacío no es posible).
 - b) Donde los efectos de redistribución de la relación de vacío podrían ser significativos.

Estas relaciones se han extrapolado más allá del rango de datos disponibles, lo que indica incertidumbres y falta de evidencia sobre el rango extrapolado. La ausencia de antecedentes en los que los $(N_1)_{60cs-S_r} > 15$, es decir, suelos más densos apoya el concepto de que los depósitos de suelo sueltos que son los principales candidatos para la inestabilidad inducida por licuación, pero esto no elimina la posibilidad de que los suelos más densos dentro del rango extrapolado son inmunes a las fallas de flujo inducidas por licuación. En general, los suelos densos pueden licuar, pero es más probable que experimenten movilidad cíclica con un potencial de deformación limitado en lugar de fallas de flujo. De acuerdo con la forma normalizada de la fuerza residual, S_r/σ'_{vo} refleja mejor la pérdida de fuerza potencial debido a la redistribución de vacíos y los efectos de la profundidad de la

licuación, o ubicación de la capa licuada dentro del perfil y la tensión de sobrecarga efectiva.

1.3.10 Análisis Probabilístico para la estimación de daños en la superficie

▪ Método de Iwasaki y Tatsuoka

Los procedimientos simplificados de evaluaciones de la licuación del suelo predicen la activación de la licuación en estratos particulares, mas no predicen la severidad de la manifestación de daños en la superficie del terreno, más relacionado directamente con el daño potencial que representa la respuesta acumulativa de un depósito de suelo. Para atender esta necesidad, (Iwasaki, Arakawa, & Tokida, 1984) actualizaron la propuesta de (Iwasaki, Tokida , & Tatsuoka, 1982). basada en el factor de seguridad **FsL** calculado por los métodos simplificados, donde el índice de daño en la superficie **LPI** se puede estimar simplemente utilizando los N-valores de la prueba de penetración estándar SPT, mediante la siguiente expresión

$$LPI = \int_{z_1}^{z_2} F(z). W(z) dz \quad (41)$$

Donde:

$F(z) = 1 - FL(z)$, cuando $FL(z) \leq 1$, $F(z) = 0$, cuando $FL(z) > 1$, $w(z)$ es una función de ponderación de profundidad dada por: $w(z) = 10 - 0.5 z$, “z” en metros

La severidad de la manifestación de la licuación del suelo es proporcional al espesor de una capa licuada, la proximidad de la capa a la superficie (z) y la cantidad por la cual F_{sL} es menor que 1.0. Dada esta definición, el **LPI** puede variar de 0 a 100, dicho esto se debe esperar una licuefacción severa en sitios donde **LPI > 15** pero no donde **LPI < 5**.

La forma básica de la ecuación presentada por (Iwasaki, Tokida , & Tatsuoka, 1982) fue la siguiente:

$$LPI = \int_0^{z=20\ m} F(z). W(z) dz \quad (42)$$

Donde los límites de la integración son válidos hasta la profundidad $z = 20$ m.

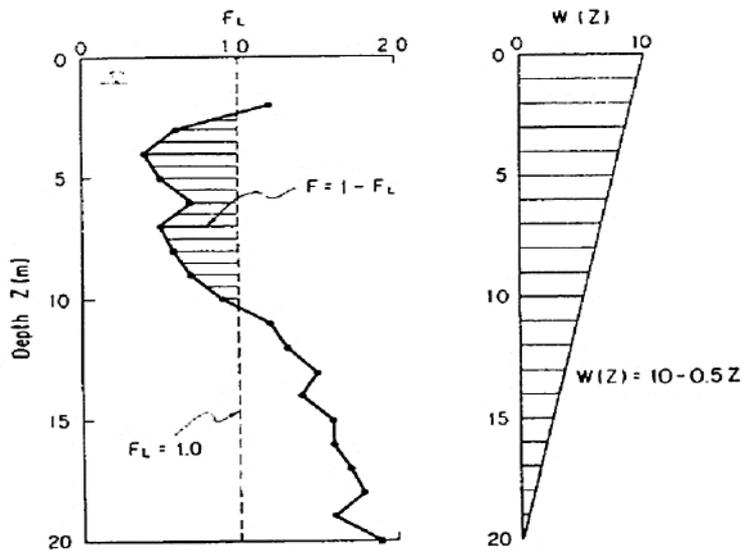


Figura 31. Integración de la función $w(z)$ en base al factor de resistencia $FL(z)$
Tomado de (Iwasaki, Tokida, & Tatsuoka, 1982)

En el caso de encontrarse capas de suelo no licuable por encima de capas licuables donde existe licuación entre las capas Z_1 y Z_2 , Z_3 y Z_4 y no entre las capas Z_2 y Z_3 . como se muestra en la siguiente gráfica

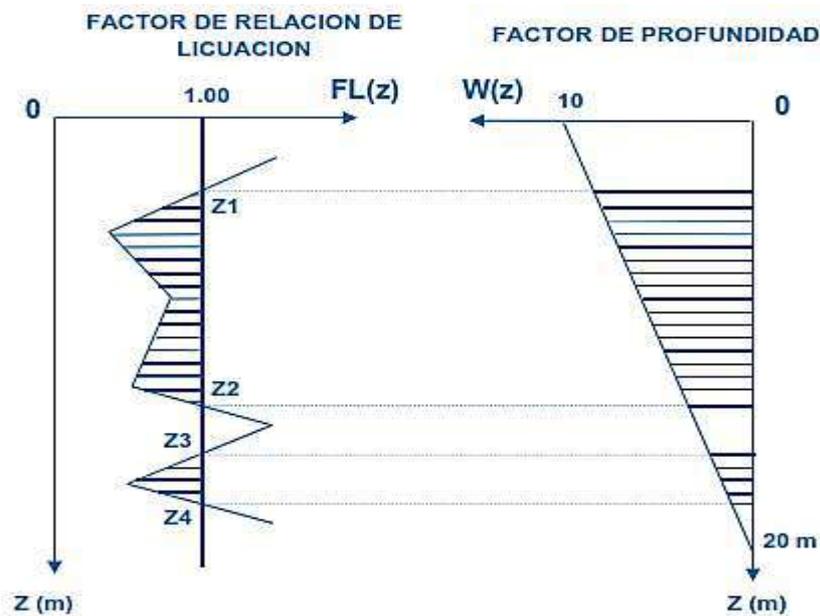


Figura 32. Forma lineal de $w(z)$ cuando $FL(z)$ considera capas de suelo no licuables
Tomado de (Parra Murrorraga, 2011)

Este caso se puede evaluar con la siguiente expresión

$$LPI = \int_{Z_1}^{Z_2} F(z) \cdot W(z) dz + \int_{Z_3}^{Z_4} F(z) \cdot W(z) dz \quad (43)$$

Nota: sin embargo este criterio se debe actualizar con la versión más reciente publicada por (Maurer, Green, & S. Taylor, 2015) que en su análisis y formulación contempla la propuesta por el profesor (Ishihara, 1985) respecto a la influencia de la presencia de una capa superficial no licuable en la manifestación superficial de los daños por licuefacción y en su honor lo denominaron como **LPI_{ISH}**,

$$LPI_{ISH} = \int_{H_1}^{H_1+H_2} Fw'(z) dz \quad (44)$$

Donde los límites de la capa licuable propuestos por (Ishihara, 1985) se expresan en términos de H_1 y H_2 y se presentan en la siguiente figura

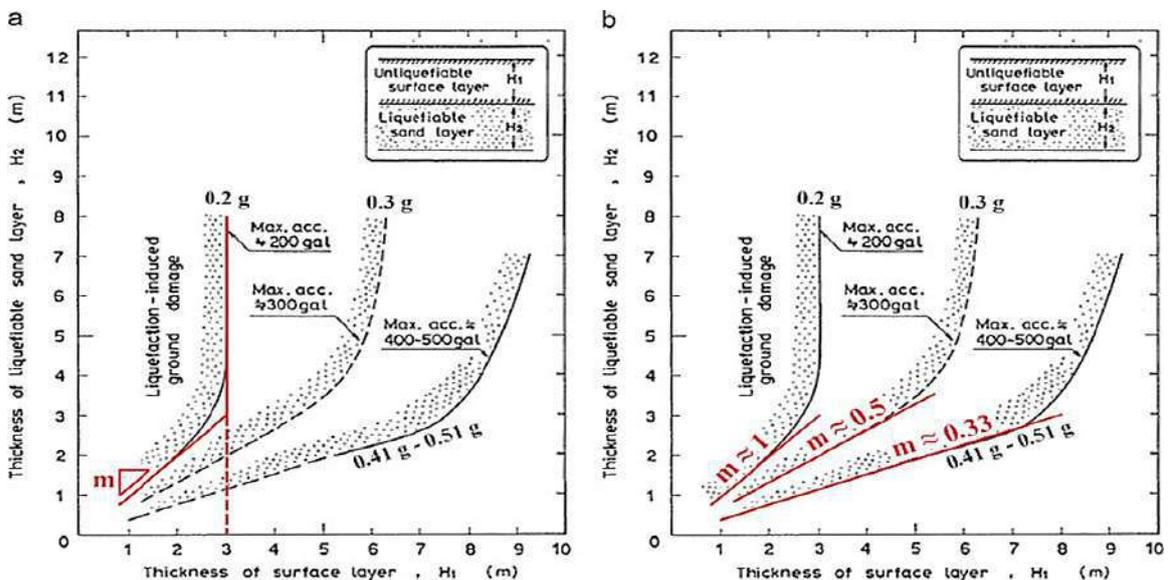


Figura 33. Curvas límite para evaluar efectos de la capa superficial no licuable para diferentes valores de PGA.

Comentario: Estas curvas para diferentes valores de **PGA** indican que existe un límite H_1 más allá del cual no se generan efectos superficiales independientemente de H_2 . Tomado de (Maurer, Green, & S. Taylor, 2015)

Dónde: el espesor de los estratos licuables, H_2 y el espesor de la capa superficial no licuable, H_1 , pueden relacionarse a través de la pendiente (m) que es única para cada curva límite.

Tabla 14. Niveles de LPI para definir el riesgo y efectos en la superficie del terreno

Índice de potencial de licuación LPI	Niveles de riesgo y efectos en la Superficie del terreno
LPI =0	Riesgo muy bajo, no hay efectos
0 < LPI ≤ 5	Riesgo bajo, No hay efectos
5 < LPI ≤ 15	Riesgo alto Puede existir efectos severos
15 < LPI ≤ 100	Riesgo muy alto Efectos severos

Adaptado de (Iwasaki, Arakawa, & Tokida, 1984)

1.3.11 mejoramiento de suelos licuables

1.3.11.1 Consideraciones de sitio

La eficacia de las técnicas de mejoramiento del terreno depende del contenido de finos presente en los suelos granulares y de la variabilidad de las condiciones del suelo a tratar, para evaluar las condiciones del suelo in situ, es necesario, determinar el contenido de finos, la ubicación y la extensión de limos y arcillas en las muestras del suelo. Las Pruebas de penetración realizadas in situ constituyen la base para evaluar el grado de tratamiento alcanzado, ya que existe un alto nivel de incertidumbre en la relación entre el contenido de finos y el índice de comportamiento del suelo (I_c), se recomienda calibrar el contenido de finos calculado a partir de las pruebas de penetración con el contenido de finos de las pruebas de granulometría obtenido en laboratorio. (Keepa & Murashev, 2017)

1.3.12 Métodos de Mejora del Terreno

Los métodos empleados para mejorar el suelo y aumentar su resistencia a la licuación, son: Método de Reemplazo (1), Método de Densificación (2), Método de Solidificación (3), Método de Refuerzo (4), y Método de Drenaje (5), se puede utilizar uno o una combinación de estos mecanismos para mejorar la resistencia de los terrenos a la licuación y mejorar el rendimiento sísmico. (Keepa & Murashev, 2017). Los mecanismos de mejora del terreno se describen brevemente y se resumen en la Tablas que se presentan a continuación

1.3.12.1 Métodos de reemplazo

El método de sustitución consiste en retirar el suelo licuable in situ y reemplazarlo por un material no licuable. Es útil para el tratamiento de capas licuables poco profundas. (Keepa & Murashev, 2017)

1.3.12.2 Métodos de densificación

El mejoramiento de un terreno implica reacomodar las partículas del suelo en una configuración más estrecha, incrementando su densidad. Esto a su vez influye en la mejora de la resistencia al corte, la rigidez y la resistencia a la licuación del suelo. (Keepa & Murashev, 2017)

1.3.12.3 Métodos de solidificación

La solidificación implica efectuar la mezcla in situ de aditivos cementantes o de otro tipo para el llenado de los vacíos presentes en el suelo. Este tratamiento genera que las partículas del suelo se unan entre sí, generando un enlace molecular más estrecho, para prevenir el desarrollo de una presión intersticial excesiva. Se puede aplicar como medida de prevención de la licuación. Se pueden utilizar para tratar toda la gama de suelos susceptibles, incluidos los limos de baja plasticidad y hasta profundidades de 30 m o más, (Keepa & Murashev, 2017)

1.3.12.4 Métodos de refuerzo

Los métodos de refuerzo implican la construcción de muros subterráneos que generalmente se cruzan para formar una celosía. Las paredes subterráneas se pueden formar usando técnicas de solidificación de terreno o pilotes de hormigón contiguos. (Keepa & Murashev, 2017)

1.3.12.5 Métodos de drenaje

Los sistemas de drenaje para minimizar la posibilidad de licuefacción a menudo requieren la instalación de drenes verticales, estos son típicamente instalados a intervalos de 1-2 m de distancia para permitir la rápida disipación de las presiones intersticiales excesivas generadas durante los terremotos con el fin de evitar que la licuefacción se expanda o se sature en los suelos potencialmente licuables, reduciendo así permanentemente agua subterránea. A continuación, se resumen los principales métodos en las siguientes tablas

Tabla 15. *Mejoramiento del terreno con métodos de reemplazo.*

Técnica	Descripción	Tipo de Suelo	Prof. (m)	Ventajas	Limitaciones	Costo
		Todos				Bajo

Reemplazo de grava densa	Excavación de suelos licuables y reposición con grava densa		2-6 m	Equipos y métodos de construcción convencionales. Alta confianza en el nivel de tratamiento	Requiere La deshidratación y apuntalamiento temporal de propiedades vecinas	
Reemplazo de suelo estabilizado	Excavación de suelos licuables y reposición con suelo estabilizado	Todos	2-6 m	Se puede tratar el suelo excavado y reutilizarlo. Alta confianza en el nivel de tratamiento	Vibración y ruido moderados con compactación de materiales de reemplazo	bajo a moderado

Adaptado de (Keepa & Murashev, 2017)

Tabla 16. Mejoramamiento del terreno con métodos de densificación.

Técnica	Descripción	Tipo de Suelo	Prof. (m)	Ventajas	Limitaciones	Costo
Compactación dinámica	Compactación de suelos por caída repetida de una masa de 5-20 T de una grúa en una rejilla de 2-6 m	SM GM SM	4-7	Rápido y económico Eficacia comprobada en terremotos Fácilmente verificable	Alta vibración y ruido, no adecuado en zonas urbanas Holgura para grúa requiere ensayo a gran escala para confirmar la efectividad	Bajo
Reemplazo dinámico	Construcción de muelles de grava de 2-3 m de diámetro en una rejilla de 6-12 m con equipos de compactación dinámica	SP, GS SM	4-7	Rápido y económico Fácilmente verificable	Requiere equipo especializado Profundidad limitada de mejora, especialmente para sitios con capas intercaladas de limo. Alta vibración.	Bajo
Compactación del rodillo de impacto	Compactación de suelos superficiales con un rodillo de alta energía de lado cuadrado tirado detrás de un tractor	SM GM	2-4	Rápido y económico Fácilmente verificable	Equipo especializado Profundidad limitada especial para sitios con capas intercaladas de limo. Alta vibración	moderado

Adaptado de (Keepa & Murashev, 2017)

Tabla 17. Mejoramamiento del terreno con métodos de densificación continuación.

Técnica	Descripción	Tipo de Suelo	Prof. (m)	Ventajas	Limitaciones	Costo
Vibro-compactación Vibro-reemplazo	Densificación por vibración en una Construcción de columnas granulares densas utilizando un vibroflot en una cuadrícula cuadrada o triangular de 1,8-3,0 m	SM-GM GM- SM	6–25	aumento del estrés lateral. Alto nivel de control de calidad de la construcción disponible. Puede tratar a grandes profundidades. Eficacia fácilmente verificable y probada en terremotos	equipo especializado. Vibración moderada, no adecuada cerca de estructuras existentes. Requiere Contención y tratamiento de los sedimentos producidos durante la construcción, Holgura para grúa	moderado
Pilas de compactación granulares	Densificación por vibración y desplazamiento o con grava para formar columnas en una cuadrícula de 1,5–2,5 m	SP, SM, SP-SM	Hast a 16 m	Drenaje y aumento del estrés lateral.	vibración moderada, no adecuada cerca de las estructuras existentes	moderado
Pilas de barrena de desplazamiento	Construcción de columnas granulares o de hormigón en una cuadrícula de 1,5 a 2,5 m con una barrena de desplazamiento	SP, SM, SP-SM	Hast a 16 m	Eficacia comprobada en terremotos. Se puede construir utilizando equipos convencionales . Método seco, menos sedimento para manejar en comparación con vibro-reemplazo	Requiere despacho para equipos	moderado
Compactation grouting	Lechada altamente viscosa actúa como gato hidráulico radial cuando se bombea a alta presión	SP, SM	25 m	Planta compacta de baja vibración, se puede utilizar para tratar suelo debajo de las estructuras existentes	No es adecuado para el tratamiento a profundidades poco profundas donde hay bajas presiones de confinamiento.	moderado

Tabla 18. Mejoramiento del terreno con métodos de solidificación

Técnica	Descripción	Tipo de Suelo	Prof. (m)	Ventajas	Limitaciones	Costo
Estabilización de masas	Cal, cemento o betún introducidos a través de la batidora giratoria in situ	SP, SP-SM, SM	2-6 m	Baja vibración y ruido en Adecuado para sitios con cohesión intercalada y suelos cohesivos o suelos con alto contenido de finos	equipo especializado. No es adecuado para suelos con cantos rodados, adoquines, capas de grava densas intercaladas. No adecuado para suelos orgánicos	Moderado a alto
Deep soil mixing	Cal, cemento o betún introducidos a través de sinfines giratorios verticales o mezcladores patentados para formar columnas estabilizadas	SP, SM	2-20 m	Baja vibración y ruido Adecuado para sitios con suelos intercalados sin cohesión y cohesivos o suelos con alto contenido de finos que no responden al apisonamiento o la vibración	equipo especializado. No es adecuado para suelos con cantos rodados, adoquines, capas de grava densas intercaladas. No adecuado para suelos orgánicos	Alto
Jet Grouting	Los chorros de alta velocidad a profundidad se excavan, inyectan y mezclan un estabilizador con suelo para formar columnas o paneles	SP SM	2-25 m	Planta compacta de baja vibración, se puede tratar el suelo debajo de las estructuras existentes. Adecuado para sitios con suelos intercalados sin y con cohesión y suelos con alto contenido de finos	El equipo especializado. No apto para suelos con cantos rodados, adoquines u otras inclusiones que puedan enmascarar chorros. No apto para suelos orgánicos	Alto
Permeación Grouting	Mezcla de Cemento de baja viscosidad o lechada química bombeado en el suelo en un patrón de cuadrícula. La lechada impregna a través de los poros del suelo.	SP SM	Hasta 20 m	No genera un exceso de presiones de agua de poro. Se puede localizar el tratamiento a las capas seleccionadas. Requiere planta compacta de baja vibración, se puede tratar el suelo debajo de las estructuras existentes. No produce desechos	Los suelos finos intercalados pueden dificultar la dispersión de la lechada. Más adecuado para arenas permeables homogéneas. Puede ser difícil de contener en capas de alta permeabilidad, riesgo moderado de contaminación	Moderado

Tabla 19. Mejoramiento del terreno con métodos de drenaje

Técnica	Descripción	Tipo de Suelo	Prof. (m)	Ventajas	Limitaciones	Costo
Desecación permanente	descenso del nivel freático por drenaje sea por gravedad o bombeo	GP SP SM	2–8 m	Método simple y de bajo costo para tratar grandes áreas si la deshidratación permanente se puede lograr mediante drenaje por gravedad	Costo de funcionamiento y mantenimiento de bombas. Riesgo de fallo de la bomba Subsidencia asociada al aumento del estrés efectivo	Alto
vertical Drenaje Prefabricado	Alivio del exceso de presión del agua de los poros para prevenir la licuefacción. pueden ser prefabricados o contruidos a partir de arena/grava	GP SP SM	5–25 m	Las técnicas de construcción simples y de baja vibración pueden ser relativamente baratas de construir	El diseño efectivo requiere un muy buen conocimiento de las condiciones del suelo y la permeabilidad. Si se activa, los efectos de la licuefacción no se reducen en gran medida	Moderado a alto

Adaptado de (Keepa & Murashev, 2017)

1.3.13 Criterios de selección del método de mejoramiento de suelos

1.3.13.1 Requisitos de rendimiento

Para seleccionar y diseñar el sistema de mejoramiento del terreno y así mitigar los efectos de la licuación de un sitio, es necesario comprender los requisitos de rendimiento de los suelos mejorados y conocer el sistema estructural que se utilizará en la superestructura.

1.3.13.2 Objetivo del mejoramiento de los suelos licuables

La filosofía general para el diseño de mejoramiento de los suelos es eliminar la licuación y la dispersión lateral (Lateral Spreading) o mitigar sus efectos para cumplir con los criterios de desempeño de la estructura. El mejoramiento del suelo debe evaluarse dentro del marco basado en desempeño, estimando la reducción de los efectos de la licuación, en relación con un suelo sin tratamiento, evaluando la respuesta sísmica del terreno, en relación con objetivos de rendimiento específicos para cargas sísmicas asociadas a diferentes períodos de retorno.

1.3.13.3 Criterios de rendimiento para la estimación de daños

No es económico, ni necesario eliminar por completo la licuación del suelo, los métodos que solidifican completamente o reemplazan todo el estrato licuable del suelo con material no licuable, tienden a desarrollar exceso de presiones de agua de los poros dentro de la zona mejorada. Se debe tener en cuenta la resistencia del tratamiento en el suelo y la respuesta general debe ser dúctil. El peso y la rigidez de la estructura y sus cimientos; el tipo, extensión y rigidez del terreno mejorado; las condiciones del suelo, las características de la sacudida sísmica y el alcance de la licuación desencadenada en un terremoto afectan el rendimiento sísmico. Existe un alto nivel de incertidumbre en muchos de los parámetros que afectan a la respuesta sísmica del suelo por lo que es necesario evaluar la sensibilidad de la respuesta del sistema a cada parámetro, se recomienda aplicar un nivel adecuado de redundancia en el diseño. La evaluación de la sensibilidad debe llevarse a cabo como parte de cualquier diseño de mejora del terreno y discutirse dentro de las opciones de fundación y los informes de diseño. Las medidas estructurales que pueden incorporarse para reducir la susceptibilidad a los daños por licuación, mejorar la resistencia y reducir o eliminar la necesidad de mejorar el terreno pueden ser: Utilización de mallas robustas o de un entramado rígido de vigas de cimentación en lugar de zapatas independientes. Hacer conexiones de los elementos estructurales entre estructuras flexibles y dúctiles para hacer frente a los asentamientos totales y diferenciales o la dispersión lateral. Construir sistemas de cimentación que aíslen sísmicamente el edificio del suelo y permitan que se pueda volver a allanar. Apoyar los cimientos en un suelo competente que no esté subyacente por suelos licuables (Keepa & Murashev, 2017)

1.4 Formulación del Problema.

¿Cuál es el efecto de las inyecciones de mortero en el comportamiento de los suelos potencialmente licuables?

1.5 Justificación e importancia del estudio.

Esta investigación tiene como propósito ampliar y detallar el conocimiento acerca de la licuación de un suelo y sus efectos en la superficie del terreno y determinar el efecto de las inyecciones de mortero en la resistencia cíclica del

terreno, a través de este conocimiento se busca reducir los efectos de la licuación de los depósitos de suelos arenosos del distrito de Santa Rosa

1.6 Hipótesis.

Si las inyecciones de mortero pueden mejorar el comportamiento de los suelos potencialmente licuables, entonces se pueden mitigar los efectos de la licuación en la superficie del terreno.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo general.

- Evaluar el efecto de las inyecciones de mortero en el comportamiento de los suelos potencialmente licuables

1.7.2 Objetivos específicos.

- 1) Determinar la resistencia del terreno a la penetración dinámica a partir de pruebas de penetración estándar (SPT).
- 2) Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos a partir de ensayos de laboratorio y procedimientos de cálculo.
- 3) Determinar los parámetros de aceleración máxima de sitio y Magnitud de momento sísmico a partir del análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA).
- 4) Efectuar el análisis y evaluación de la licuación de los suelos y sus efectos en la superficie, a partir de las metodologías de Seed e Idriss, Iwasaki, Tokida y Tatsuoka
- 5) Efectuar el diseño experimental de un mortero de inyección en suelos arenosos para mejorar el terreno y verificar la activación de la licuación del suelo y sus efectos en la superficie

2 MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Tipo y Diseño de Investigación.

- **Tipo:**

La presente investigación es un experimento cuantitativo, su propósito es explicar la relación de causalidad entre las variables independiente y dependiente durante la ocurrencia de la licuefacción del suelo, la variable independiente fue intencionalmente aislada y modificada mediante pruebas de laboratorio y aplicaciones en situ.

- **Diseño:**

Se eligió el diseño con prueba de pre-test, post test con grupo de control se tienen en cuenta dos grupos de estudio, uno experimental y el otro de control, la selección de los grupos es aleatoria y se realizan observaciones y mediciones a ambos grupos al iniciar el estudio y al finalizar el mismo.

Tabla 20. *Diseño de Investigación*

Diseño de Investigación				
Grupo experimental	GE	O1	X	O2
Grupo de control	GC	O1		O2

Donde:

Variable independiente (X) : Inyecciones de mortero

Variable dependiente (y) : Potencial de Licuación de Suelos

Observaciones al iniciar el estudio : O1

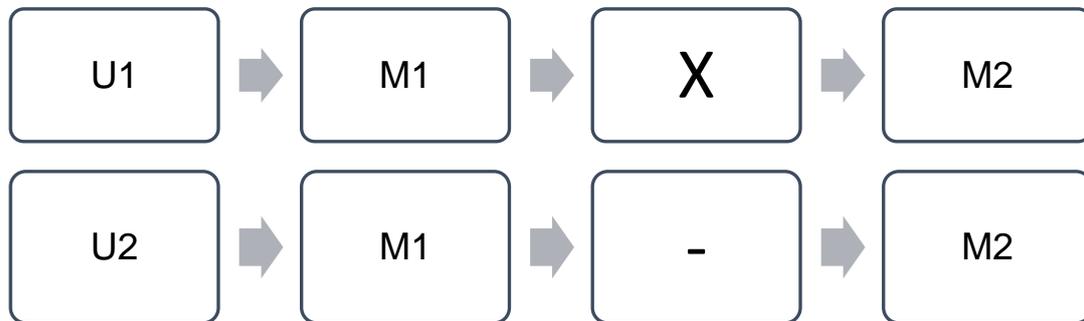
Observaciones al finalizar el Estudio: O2

- **Tipo de Experimento**

- **Diseño con pos prueba y grupo de control**

Se utilizaron dos grupos del suelo potencialmente licuable (variable dependiente) a uno de ellos se le aplicaron inyecciones de mortero (variable independiente) y

para verificar el efecto en la variable dependiente se compararon los resultados de la resistencia a la licuación del suelo y sus efectos en la superficie.



Unidad del análisis: U

Variable independiente (estímulo): X

Ausencia de la variable independiente: -

Medición de la Muestra : M

2.2 Variables, Operacionalización

- **Variables**

Variable Independiente: Inyecciones de Mortero

Variable Dependiente: Suelos Potencialmente Licuables

- **Operacionalización**

En este proceso, la variable independiente se traslada de lo abstracto a lo empíricamente observable y medible, en esta etapa se establecen indicadores en términos de cantidad y calidad de un atributo que representa una unidad y una forma de medida

Tabla 21. Operacionalización de la Variable Suelos potencialmente Licuables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Sub Indicadores	unidad de medida	Ítem	Técnica e instrumentos de recolección de datos		
							Técnicas	Instrumentos	Escala
Potencial de Licuación de los Suelos	transformación de un suelo granular de un estado sólido a una fase licuada, debido al aumento de la presión de agua intersticial y la reducción del esfuerzo efectivo, produce la pérdida temporal de la capacidad resistente del esfuerzo cortante de un suelo (Youd T. L., 2003)	Propiedades básicas físicas	Peso específico	$\gamma_d, \gamma_{sat}, \gamma_m$	kg/cm ³ , ton/m ³ , KN/m ³	$\gamma = W/V$	observación	formatos de Registro	Razón
			Gravedad específica de los sólidos	Gs	Adimensional	$\gamma_{sat} = (G_s \cdot \gamma_w + e \cdot \gamma_w) / (1 + e)$	observación	formatos de Registro	Razón
			Contenido de humedad	w%	Porcentaje	$\gamma_d = \gamma_m / (1 + w\%)$	observación	formatos de Registro	Razón
		Propiedades índice	Distribución granulométrica	contenido de finos	Porcentaje	% Pasa #200 = 100 - %Ret Acum#200	observación	hoja de calculo	Razón
			Límites de consistencia	índice de plasticidad	Adimensional	IP = LL - LP	observación	formatos de Registro	Razón
		Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Penetración dinámica	Numero de golpes SPT (N160)	#Golpes/pie	Nm = N30 + N45	observación	hoja de calculo	Razón
			Esfuerzo total	s_v	Kg/cm ²	$s_v = \gamma_m \cdot z$	observación	hoja de calculo	Razón
			presión de poro	U	Kg/cm ²	$U = \gamma_w \cdot z$			
			Esfuerzo efectivo	s'_v	Kg/cm ²	$s'_v = \gamma_m \cdot z - u$			
			Esfuerzo Cíclico actuante	CSR	Kg/cm ²	$CSR = 0.65 \cdot (s_v / s'_v) \cdot (a_{max} / g) \cdot r_d$	observación	hoja de calculo	Razón
Esfuerzo Cíclico Resistente	CRR	Kg/cm ²	$CRR = \emptyset 1 + (\emptyset 2 \cdot N1SPT) + (\emptyset 3 \cdot N1SPT^2) + (\emptyset 4 \cdot N1SPT^3) + (\emptyset 5 \cdot N1SPT^4)$	observación	hoja de calculo	Razón			
Factor de Resistencia a la licuación	FRL	Adimensional	$FRL = CRR / CSR$	observación	hoja de calculo	Razón			

2.3 Población y muestra

▪ Población

La población la constituyen los suelos arenosos de la franja costera de la localidad de Santa Rosa, en esta investigación la población se seleccionó en base a dos criterios de susceptibilidad a la licuación de suelos, criterio de composición (1) y criterio de formación geológica (2), debido a que los depósitos de suelo más recientes que corresponden al periodo del holoceno en su composición presentan granulometrías uniformes y bajo contenido de finos, por lo que estos tienden a experimentar mayor susceptibilidad a la licuación.

▪ Muestra

La muestra se obtuvo mediante la exploración geotécnica in situ, a partir de 9 puntos de investigación ubicados dentro de un área de estudio de tres hectáreas de superficie, que pertenece a la franja costera del distrito de Santa Rosa, por cuestiones de representatividad se eligió ubicar este terreno a ambos márgenes del dren 4000, entre la rivera del mar y la calle Túpac Amaru, sector José Olaya, distrito.

▪ Tipo de muestreo

Se efectuó un muestreo no probabilístico, por conveniencia debido a que en este caso los investigadores elegimos las unidades que conforman la muestra, sin tomar en cuenta el error en la misma, seleccionamos estas unidades de manera arbitraria y no fortuita según las características que resulten más relevantes para la investigación, en la presente determinamos la ubicación de la muestra en función del nivel de peligro, según el mapa de peligros realizado por (Indeci, 2003)



Figura 34. Ubicación de la zona de muestreo

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

2.4.1 Técnicas de Recolección de Datos

▪ **observación:**

se empleó la técnica de observación estructurada, aplicando herramientas de medición y registro de las características más representativas de los suelos durante las pruebas de campo y laboratorio, de manera sistemática y ordenada en formatos estandarizados previamente preparados.

Análisis documental: efectuamos el procesamiento analítico sintético de la información bibliográfica disponible, proveniente de artículos científicos e investigaciones de proyectos de tesis relacionados a la dinámica de suelos, como la revisión y análisis de la normativa vigente, el procesamiento se refiere a la extracción, traducción y confección de reseñas, que mantiene los objetivos de la fuente original pero que soslaya los nuevos mensajes en este documento.

2.4.2 Instrumentos de recolección de datos

▪ **Guías de observación:**

Registró de pruebas de penetración estándar
hoja de cálculo para ensayo de gravedad específica
hoja de cálculo para ensayo de granulometría

hoja de cálculo para ensayo de límites de consistencia
 hoja de cálculo para ensayo de corte directo
 hoja de cálculo para pruebas de fluidez en el cono de marsh
 hoja de cálculo del ensayo de resistencia a la compresión de morteros de concreto

Guías del análisis documental

Artículos científicos
 Revistas indexadas
 Trabajos de tesis
 Normativa vigente

▪ **Análisis y procesamiento de la información mediante programas computacionales**

Microsoft Excel
 Software R-Crisis v 20. 3.0
 Software AutoCAD civil 3d
 Software Geo 5, módulo Estratigrafía
 Software Liquefy pro
 Software Geostru, módulo Liquiter

Tabla 22. Normativa utilizada en esta Investigación

Especificación estándar	ASTM	NPT
Descripción Visual manual	D2486	339.150
Método de ensayo de Penetración estándar(SPT)	D1586	339.133
Contenido de humedad	D2216	339.127
Análisis Granulométrico por tamizado	D422	339.128
Limite líquido y Limite plástico	D4318	339.129
Peso específico relativo de los Solidos	D854	339.131
Clasificación unificada de los suelos (SUCS)	D2487	339.134
Ensayo de corte Directo	D3080	339.171
Especificación estándar para fluidificador de mezclas de grout	C937	-
Practica estándar para dosificar mezclas de Grout	C938	-
Método de ensayo estándar para flujo de Grout	C939	-
Método de ensayo para obtener la resistencia a la compresión de morteros de cemento en especímenes de 50 mm por lado	C109	334.051

2.5 Procedimiento del análisis de Datos

2.5.1 Flujo de procesos

Mediante el diagrama de flujo se indica la secuencia de la investigación.

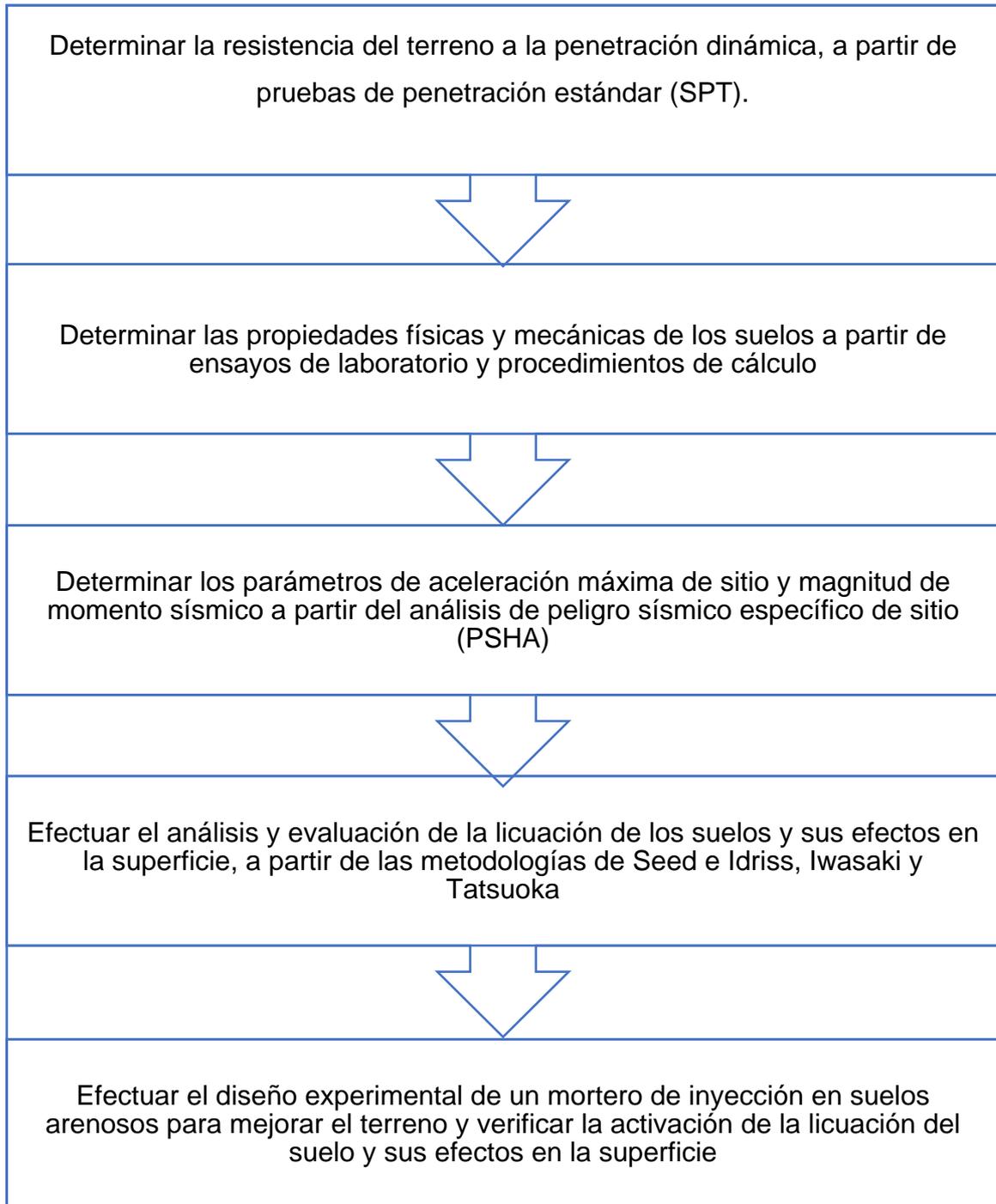


Figura 35. Diagrama de Flujo de Procesos

2.5.2 Descripción de los Procesos

- Preliminares
- Identificación del área de estudio

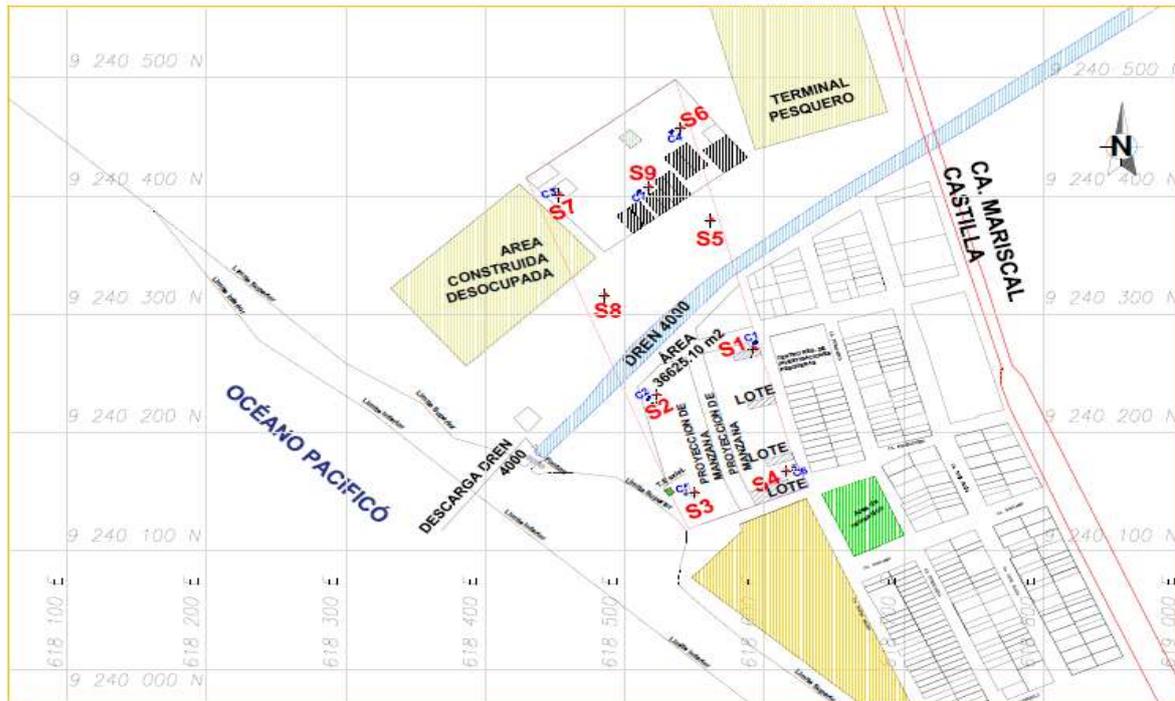


Figura 36. Plano de Ubicación y localización del área de estudio

Tabla 23. Dimensiones del área de estudio

Punto	Coordenadas UTM		Lado	Distancia (m)	Área (m ²)	(Ha)
	Este	Norte				
P-1	618626	9239752	1-2	77.2	30321.79	3.04
P-2	618555	9239723	3-1	313.85		
P-3	618548	9240056	4-2	298.62		
P-4	618438	9240006	4-3	120.83		
Perímetro			810.50 m			

2.5.2.1 Procedimiento para la determinación de los parámetros de resistencia del terreno a partir de pruebas estándar (SPT)

Las pruebas de penetración estándar se realizan utilizando perforaciones dinámicas por avance, para obtener una medida aproximada de la resistencia dinámica a la penetración del suelo. Los procedimientos para SPT se realizaron de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D 1586 y la NTP peruana

equivalente. 339.133, para la evaluación de la licuefacción se utilizó como referencia la norma de ensayo ASTM D 6066.

▪ **Ubicación y distribución de los puntos de investigación geotécnica, mediante sondajes SPT**

Se seleccionaron 09 puntos de exploración in situ. Para más precisión en la ubicación de los puntos se utilizó como base de referencia los mapas de Peligros de la ciudad de Santa Rosa (Mapa de peligros geológicos), así como la zona vulnerable por efectos de inundación elaborados por (Indeci, 2003).

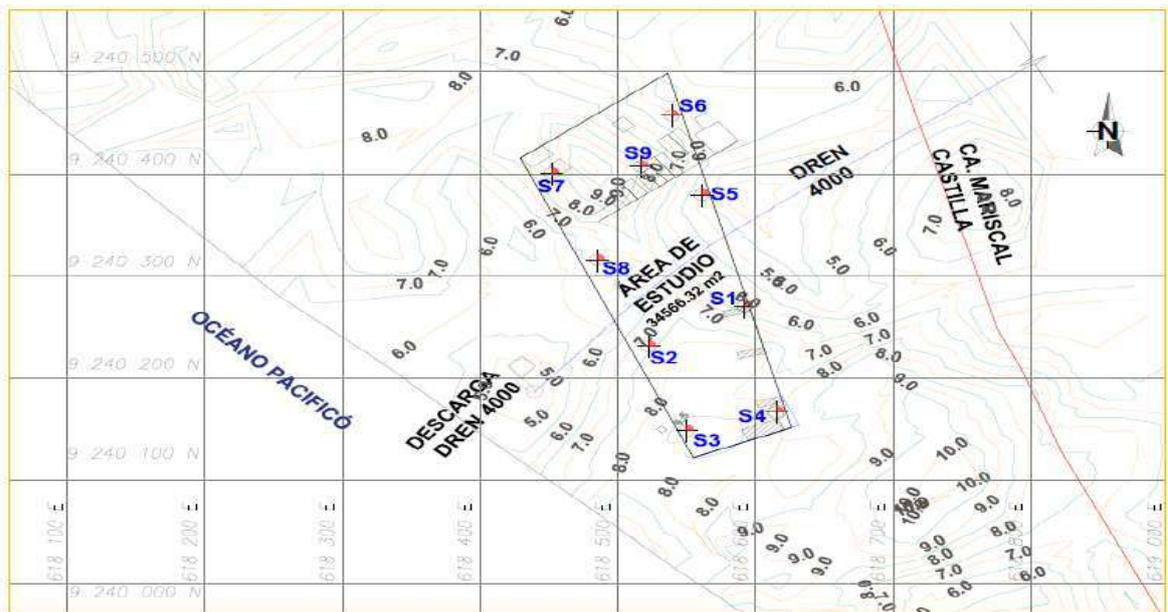


Figura 37. Plano topográfico del Área de Investigación con curvas de nivel

Tabla 24. Ubicación de los puntos de investigación

Número de sondaje	Coordenadas UTM		
	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
SPT-01	618592.00	9239871.00	6.50
SPT-02	618522.21	9239820.00	7.50
SPT-03	618549.59	9239749.04	8.50
SPT-04	618615.09	9239767.30	8.00
SPT-05	618561.04	9239979.69	5.70
SPT-06	618539.05	9240057.06	6.00

SPT-07	618451.75	9240000.75	8.00
SPT-08	618484.94	9239916.06	6.50
SPT-09	618516.76	9240007.50	8.50

▪ **Procedimiento de perforación, ensayo de penetración estándar (SPT)**

Se sigue este procedimiento donde se avanza la perforación en incrementos de cada 15 cm, para mantener periodos de muestreo continuo para muestreos intermitentes los intervalos pueden ser de 1.00 a 1.50 m, con ensayos y muestras en cada cambio estratigráfico. El procedimiento de perforación es aceptable si se proporciona una cavidad limpia y estable. Antes de insertar el muestreador se debe asegurar que la prueba se realice en un suelo no perturbado, evitando taludes descontrolados. En esta investigación se utilizó perforación continua con eje sólido. Tomando cada ciclo de avance del ensayo a cada 45 cm, y para cada tramo se reporta un único valor de Nm-SPT

A continuación, se describe paso a paso la secuencia de perforación en concordancia con la (Inacal Ntp 339.133, 1999), cuando se ensambla el equipo en el sitio de levantamiento, se conecta el muestreador de caña partida a las varillas de muestreo y luego se baja en el sondaje, se coloca el martillo por encima y se conecta el yunque a la parte superior de las varillas de muestreo antes de bajarlo a la perforación. el martillo se coloca sobre él y el yunque se conecta a los extremos de las varillas de muestreo antes de bajar en el agujero. Los pesos del muestreador, del yunque y del impulsor se colocan en el fondo del pozo y se aplica un golpe amortiguador. Las barras de perforación se marcan en tres pasos consecutivos con una separación de 15 cm.

El muestreador fue impulsado por golpes de caída libre con un martillo de 63,5 kg y se anotó el número de golpes realizados en incrementos de 15 cm. Hasta que ocurra una de estas condiciones: Se han aplicado un total de 50 pasadas en uno de los tres incrementos de 15 cm (1). Se aplicaron un total de 100 golpes en tres incrementos de 15 cm (2) cada uno. Que, durante la aplicación de diez golpes consecutivos del martillo, no se observó avance (3), cuyas tres circunstancias constituyen las limitaciones para concluir que la prueba indica rechazo, si no se cumplen las condiciones indicadas, el muestreador avanza los 45 cm. Completos. Se registra el número de golpes requerido para alcanzar los primeros 15 cm. Y se

anota como asientos de acomodamiento. La suma de golpes requeridos en el segundo y tercer incremento de 15 cm cada uno es la que se considera como la resistencia a la penetración estándar valor conocido como Nm-SPT que corresponde al número de golpes /pie de penetración. El malacate para jalar la soga conectada al martillo debe estar libre de oxidación, aceite y grasa debe tener entre 6 a 10 pulg. La velocidad mínima de rotación es de 100 rpm, se requiere un motor de 5,5 a 7,5 caballos de fuerza, no hacer más de dos cuartos de vuelta del cable en cabrestante, la operación de tracción y caída del cable debe realizarse de manera suave y continua.

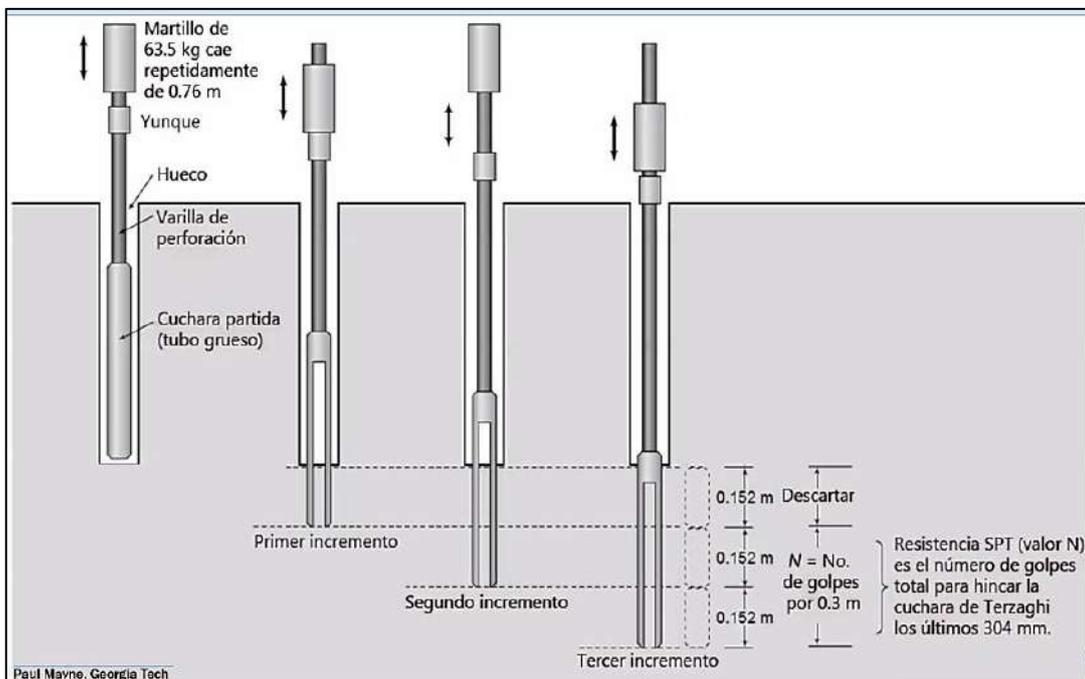


Figura 38. Secuencia de perforación dinámica SPT

Tomado de (Mayne, Barry R., & DeJong, 2002)

La energía aplicada teóricamente en el ensayo corresponde a: $E = W * h$.

Dónde: El peso W y la altura h son valores estándar en el SPT. Por lo tanto:

$$E = 63,5kg * 9.81m/s^2 * 0,762m = 475J \quad (45)$$



Figura 39. Ejecución de Ensayos de Penetración Estándar



Figura 40. Obtención y recuperación de las muestras alteradas

- **Visualización de los perfiles estratigráficos mediante calicatas a cielo abierto**

Con la finalidad de observar y corroborar el perfil estratigráfico obtenido mediante el muestreador del SPT, se efectuaron calicatas a cielo abierto ubicándolas a un costado de algunos de los sondajes SPT ejecutados, con el propósito de obtener muestras alteradas en bolsa e inalteradas a diferentes profundidades, así como determinar la densidad natural del suelo in situ.



Figura 41. Ejecución de Calicatas a cielo abierto



Figura 42. Toma de registro de densidad natural en las calicatas ejecutadas



Figura 43. Obtención de muestras inalteradas



Figura 44. Procedimiento de Identificación visual manual

- **Procedimientos de toma de datos mediante Registros de perforación**

Los registros se preparan para proporcionar una documentación completa sobre las operaciones de perforación, muestreo y extracción de núcleos y sobre los materiales y otros aspectos del subsuelo encontrados, incluidas las condiciones de las aguas subterráneas. Proporcionan la base para el análisis y el diseño y, por lo tanto, es necesaria una documentación completa y una presentación clara y precisa de todos los datos. Normalmente, se requieren dos conjuntos de registros: registros de campo y registros de informe, cada uno de los cuales tiene un propósito diferente.

- **Registro de campo**

El registro de campo está destinado a realizar las anotaciones de los datos básicos y la información significativa relativa a la operación de perforación. El contenido es bastante detallado e incluye la descripción de la muestra y observaciones sobre las operaciones de perforación. El registro de campo está diseñado para describir en detalle cada muestra, así como otras condiciones encontradas. Toda la información es necesaria para que el ingeniero evalúe la validez de los datos obtenidos.

2.5.2.2 Procedimiento para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos mediante Ensayos de laboratorio

2.5.2.3 Contenido de Humedad

La humedad se determinó siguiendo el procedimiento estándar dado en la NTP. 339.127. que se refiere a la determinación del peso del agua mediante el secado de una muestra de un suelo húmedo (humedad natural) en un horno con temperatura controlada de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. donde el peso de la muestra del material secado al horno se toma como el peso de las partículas sólidas y la pérdida de masa en la muestra seca, se toma como el peso del agua existente en la muestra de un suelo, para calcular esta humedad, se utiliza la siguiente expresión:

$$w(\%) = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo seco}} \times 100 \quad (46)$$

2.5.2.4 Granulometría

La distribución cuantitativa del tamaño de las partículas de cada muestra de suelo. se determinó Usando una serie de tamices estandarizados Esta prueba se realizó tanto con muestras obtenidas del muestreador de caña partida, como con muestras procedentes de las calicatas realizadas en la zona de estudio.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera: utilizando las muestras secadas al horno del ensayo de contenido de humedad de las cuales ya tenemos de dato su peso seco, se toma aproximadamente entre 250 y 500 gramos esta sería la muestra original se procede a machacar los terrones de material usando un rodillo o un martillo de goma se pulveriza el material, seguidamente se remoja la muestra con agua por un periodo de 12 horas luego se realiza el lavado de las partículas por la malla N° 200 este proceso se da por concluido cuando el agua del lavado pasa la malla se mantiene limpia y transparente, realizamos este proceso con la finalidad de Obtener el peso de los finos presentes en la muestra luego se lleva la muestra al horno y se deja secando por un periodo de 12 horas, luego se saca la muestra seca del horno se deja enfriar y se pesa, esta será la muestra de ensayo a la que se debe sumar la pérdida de finos por lavado para obtener el total de la muestra de ensayo, a continuación se lleva la muestra al juego de tamices normalizados ordenándolos de mayor a menor abertura colocando la cazoleta en

el fondo, se procede a agitar con un movimiento rotatorio horizontal por un periodo de tiempo estimado, luego se retiran los tamices pesando la muestra que queda retenida en cada uno de ellos y registrando en el formato de ensayo de laboratorio. Para calcular el porcentaje retenido se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido en el tamiz}}{\text{peso total}} * 100 \quad (47)$$

Donde:

El porcentaje que pasa en cada malla se obtiene de la diferencia entre el 100% - el % retenido acumulado en dicha malla

Para determinar el porcentaje que pasa la malla N° 200 Se Utiliza la Siguiete Expresión:

$$\% \text{ pasa } 0.075 = \frac{\text{peso total} - \text{peso retenido } 0.075}{\text{peso total}} * 100 \quad (48)$$

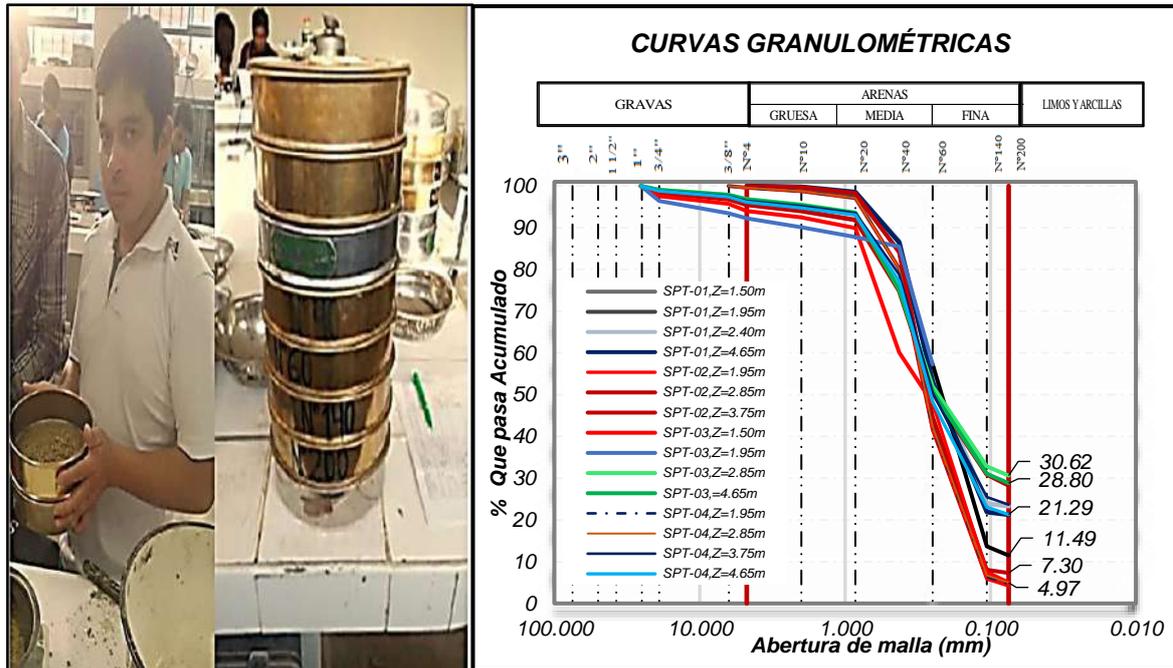
Tabla 25. Serie de Tamices Estandarizados de Malla Cuadrada

Tamices	Abertura (mm)
3"	75.00
2"	50.80
1 ½"	38.10
1"	25.40
¾"	19.00
3/8"	9.500
N° 4	4.760
N° 10	2.000
N° 20	0.840
N° 40	0.425

N° 60	0.260
N° 140	0.106
N° 200	0.075

Fuente: Extraído del (Manual de ensayo de Materiales, 2016) del ministerio de transportes y comunicaciones

Figura 45. Procedimiento para efectuar el análisis granulométrico por tamizado



▪ **Coefficiente de uniformidad (Cu)**

La uniformidad del tamaño de grano de un suelo se determinó expresándose mediante la relación entre los diámetros D₆₀ y el D₁₀, Que Corresponden al 60% y al 10% del tamaño de las partículas de la muestra de suelo, tal cual se muestra en la siguiente expresión:

$$Cu = \frac{D_{60} \text{ suelo}}{D_{10} \text{ suelo}} \quad (49)$$

▪ **Coefficiente de Curvatura (Cc)**

Se expresa de la siguiente manera:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2 \text{ suelo}}{D_{10} * D_{60} \text{ suelo}} \quad (50)$$

2.5.2.5 Límites de consistencia

▪ **Límite líquido.**

Se realizó mediante el procedimiento de multipunto utilizando una porción de suelo secada a temperatura ambiente y tamizada por la malla N° 40, utilizándose una de las muestras más representativas del procedimiento de fraccionamiento por cuarteo, este procedimiento se inicia colocando en la copa de Casagrande una muestra de suelo preparado con diferentes proporciones de agua destilada, luego se procede a hacer una ranura en el centro de la copa dividiendo en dos partes la muestra, se dan los golpes necesarios para cerrar la ranura a razón de dos golpes por segundo, se detiene el ensayo cuando se cierre la ranura en 1.27 cm, registrando el dato de número de golpes, luego se retira una parte de la muestra de ensayo mediante una paleta tomando aproximadamente 10 gr de material de la parte central del surco y se coloca al horno a una temperatura de 110° C por 12 horas para obtener el contenido de humedad, realizamos tres ensayos por tipo de muestra que presente plasticidad.

- **Límite Plástico**

Los especímenes de las pruebas de límite líquido se dejaron secar hasta que alcancen una consistencia tal que el material pega a la mano, pero se puede enrollar en barras de 3,2 mm sin desmoronarse, se tomaron dos ensayos por cada muestra, luego se coloca al horno y se deja secar por 12 horas a una temperatura de 110° C



Figura 46. Procedimientos de Ensayos de límites de consistencia

Nota: procedimientos de límite líquido (a), límite plástico (b)

2.5.2.6 Peso específico relativo de las partículas sólidas

Esta prueba consiste en obtener la densidad relativa de las partículas sólidas del suelo, utilizando una probeta de 250 cm³ de capacidad, previamente calibrado y anotando su masa seguidamente se le agrega agua destilada y se anota su peso tomando la temperatura de la prueba, este procedimiento se repite por un periodo de 5 veces. este ensayo se realizó por duplicado, colocamos cada muestra en el picnómetro y se llena con agua destilada hasta la línea marcada en el picnómetro está a razón de ¾ partes de su capacidad, se eliminó el aire atrapado conectando el picnómetro directamente a la bomba de vacío.



Figura 47. Ensayo de peso específico relativo de sólidos

2.5.2.7 Resistencia al esfuerzo cortante

- Prueba de corte directo consolidada drenada, ejecutada en suelos arenosos



Figura 48. Ensayos de corte directo

2.5.2.8 Procedimiento para determinar los parámetros de aceleración máxima y Magnitud de momento sísmico

El análisis probabilístico de amenaza sísmica consiste en evaluar la probabilidad de que se produzca un movimiento sísmico de Magnitud igual o superior a un cierto valor fijo en un lugar determinado, el término de Magnitud puede ser: amplitud, aceleración máxima, valores espectrales de velocidad y desplazamiento en el suelo. Las predicciones de eventos futuros se pueden hacer a partir de modelos estadísticos basados en datos pasados, el modelo de Poisson es el más utilizado es, que asume que los eventos sísmicos son independientes del espacio y el tiempo, y la probabilidad de que dos eventos sísmicos ocurran en el mismo lugar al mismo tiempo es cero. (Universidad Complutense, 1989)

Nota: estas suposiciones se ajustan mejor para la ocurrencia de movimientos sísmicos grandes, no siendo muy acertados para la ocurrencia de sismos de baja magnitud

2.5.2.9 Análisis de peligro sísmico específico de sitio

▪ Ubicación y Localización

el análisis de peligro sísmico se efectuó en el distrito de Santa Rosa provincia de Chiclayo, ubicada a partir de las coordenadas geográficas: Latitud: -6.85, Longitud: -80.1, que pertenece al departamento de Lambayeque- Perú

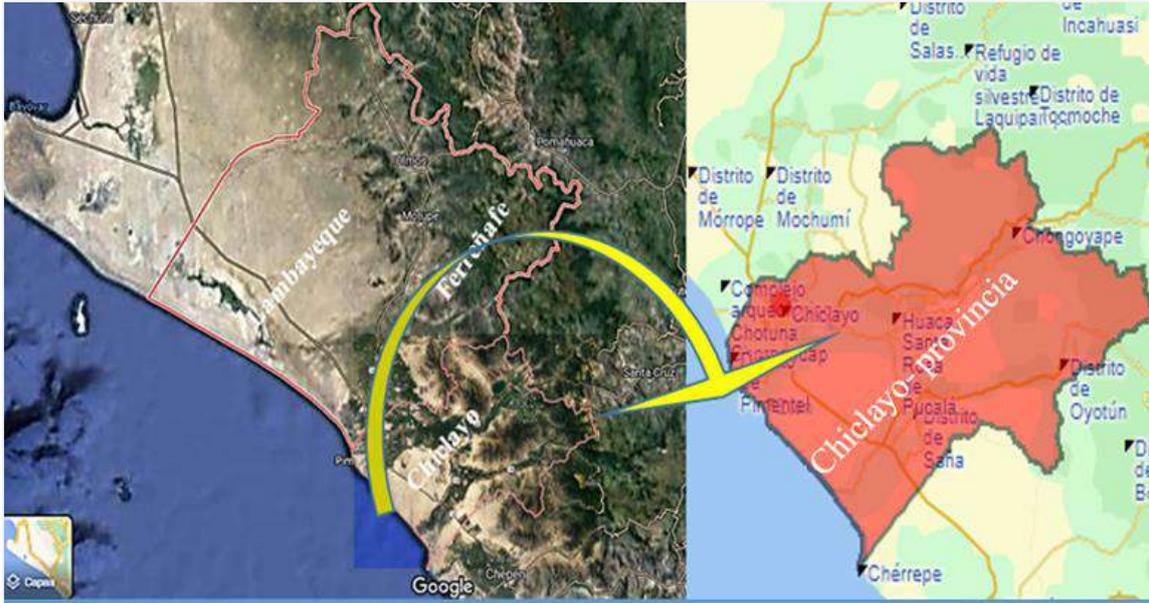


Figura 49. Mapa físico de la provincia de Chiclayo



Figura 50. Localización de las coordenadas geográficas para el análisis de peligro sísmico

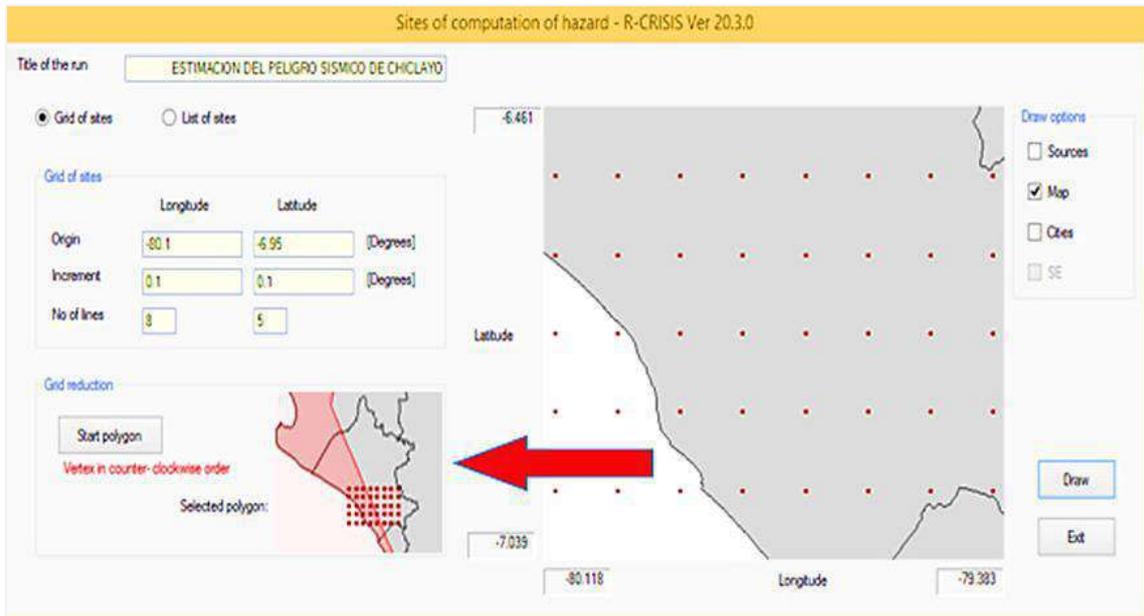


Figura 51. Definición de las coordenadas espectrales en R-Crisis

- **Data sísmica**

En este trabajo se toma como fuente la data sísmica de (Sencico, 2016) que a su vez está fundamentada en el catálogo de peligro sísmico del Perú compilado a partir de los catálogos del (Instituto Geofísico del Perú, 2021), entre otros catálogos internacionales como: Catálogo (International Seismological Centre, 2019), Catálogo del (National Earthquake Information Center (NEIC), 2019), Catálogo del (Global CMT Web Page, 2019)

- **Mapa Sísmico del Perú**

El Mapa Sísmico nos muestra que un alto nivel de peligro sísmico en el Perú, donde se puede apreciar una importante actividad sísmica en las Regiones Centro y Sur, y ligeramente más moderada en el Norte. Esta información permite delimitar zonas sísmicas en el Perú, lo cual es la base de diversos estudios que conducen a la prevención sísmica. (Instituto Geofísico del Perú, 2021) Es imposible predecir cuándo ocurrirá un sismo, pero se debe considerar que un sismo ha ocurrido en el pasado, en cierto lugar y escala, en el futuro debe repetirse con igual o mayor intensidad.. (Tavera, 2014)

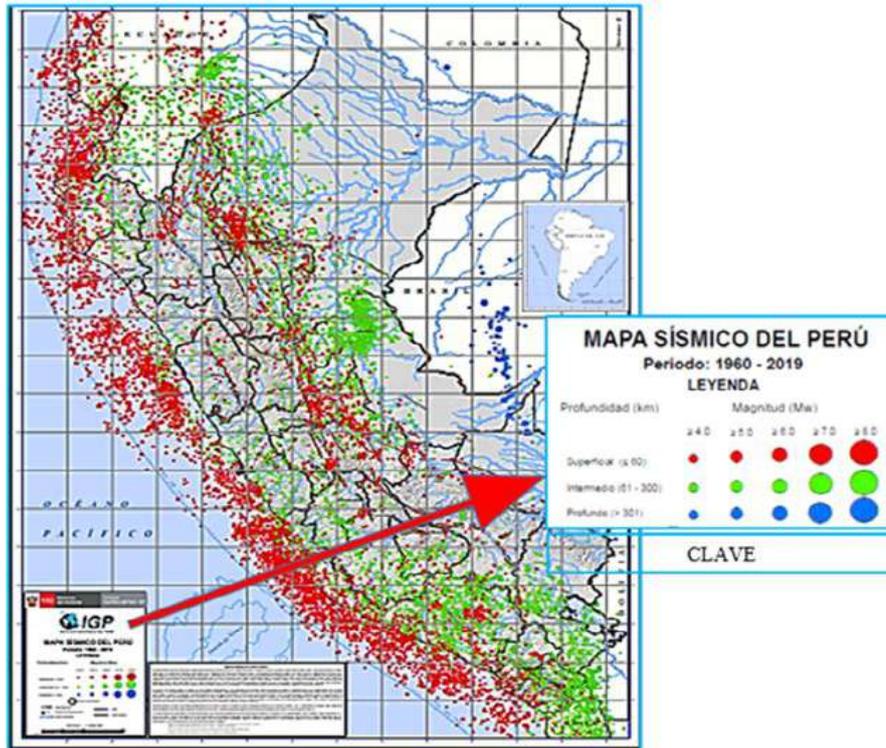


Figura 52. Mapa sísmico del Perú

▪ **Fuentes Sísmicas Analizadas**

En este trabajo se analizaron diez fuentes sismogénicas las siguientes fuentes, seis fuentes de subducción tres de ellas fuentes de interface (fuentes 2 y 3), cuatro fuentes de intraplaca (fuentes 8, 9, 13,14) y cuatro fuentes continentales (fuentes 21, 22, 26 y 28)

Tabla 26.

Fuentes Sísmicas Analizadas

fuentes sísmicas	Tipo de Sismos	tipo de fuente
F-2	de subducción	interfase
F-3		
F-8		
F-9		
F-13		
F-14	de corteza superficial	intraplaca
F-21		
F-22		

F-26

F-27

Tabla 27.*Coordenadas geográficas de las fuentes sísmicas de interface*

Tipo de fuente	Fuente	coordenadas Geográficas		Profundidad
		Longitud °W	Latitud °S	km
Interfase	fuente 2	-81.851	-3.458	25
		-82.054	-5.322	25
		-80.991	-8.528	25
		-79.267	-7.74	50
		-80.368	-5.595	50
		-79.699	-2.439	50
		-81.236	-2.274	25
	fuente 3	-80.991	-8.528	25
		-80.022	-10.322	25
		-77.184	-14.412	25
		-75.856	-13.563	60
		-77.824	-10.464	60
		-79.267	-7.74	60

Tabla 28.*Coordenadas geográficas de las fuentes sísmicas de intraplaca*

Tipo de fuente	Fuente	coordenadas Geográficas		Profundidad
		Longitud °W	Latitud °S	km
Intraplaca	fuente 8	-81.334	-3.969	50
		-80.84	-5.926	50
		-79.881	-8.015	50
		-77.474	-6.92	120
		-78.667	-4.725	120
		-77.716	-2.798	200
		-80.017	-1.63	90
	fuente 9	-78.423	-7.352	100
		-79.881	-8.015	60
		-78.003	-11.728	60

		-76.381	-13.899	60
		-74.775	-12.871	120
		-76.441	-10.831	130
		-77.716	-2.798	200
		-78.667	-4.725	120
		-76.472	-8.763	130
	fuelle 13	-75.489	-8.12	140
		-74.558	-6.771	150
		-76.164	-4.332	130
		-75.255	-2.911	150
		-76.441	-10.831	130
		-74.775	-12.871	120
	fuelle 14	-73.794	-12.219	130
		-76.472	-8.763	130
		-77.474	-6.92	120
		-78.423	-7.352	120

Tabla 29. *Coordenadas geográficas de las fuentes sísmicas de intraplaca*

Tipo de fuente	Fuente	coordenadas Geográficas		Profundidad
		Longitud °W	Latitud °S	km
Continetales	fuente 21	-79.173	-7.916	30
		-77.365	-7.009	30
		-78.581	-4.449	30
		-80.368	-5.595	30
	fuente 22	-79.173	-7.916	30
		-77.824	-10.464	30
		-76.318	-12.881	30
		-75.677	-13.764	30
		-74.411	-12.807	30

	-75.315	-12.019	30
	-76.798	-8.551	30
	-77.365	-7.009	30
<hr/>			
	-79.083	-2.408	30
	-78.581	-4.449	30
fuelle 26	-78.152	-5.348	30
	-76.293	-4.598	30
	-76.661	-3.088	30
	-77.139	-1.595	30
<hr/>			
	-78.152	-5.348	30
	-77.365	-7.009	30
fuelle 27	-76.798	-8.551	30
	-75.145	-7.359	30
	-75.43	-6.292	30
	-76.304	-4.61	30

▪ **Modelación de Fuentes sísmicas en R-Crisis**

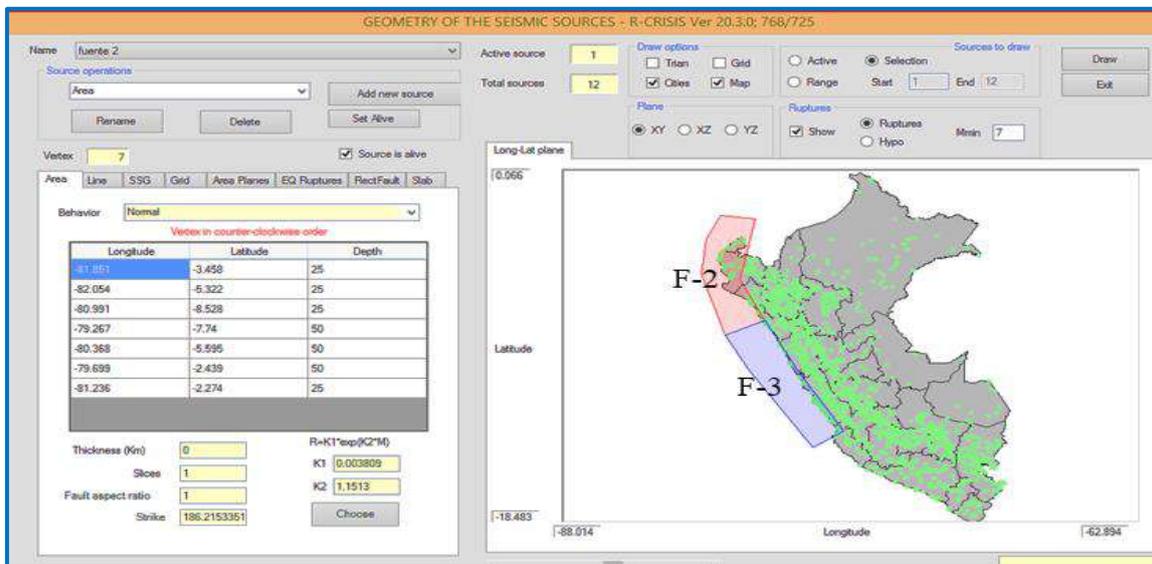


Figura 53. Modelación de Fuentes de subducción Interface

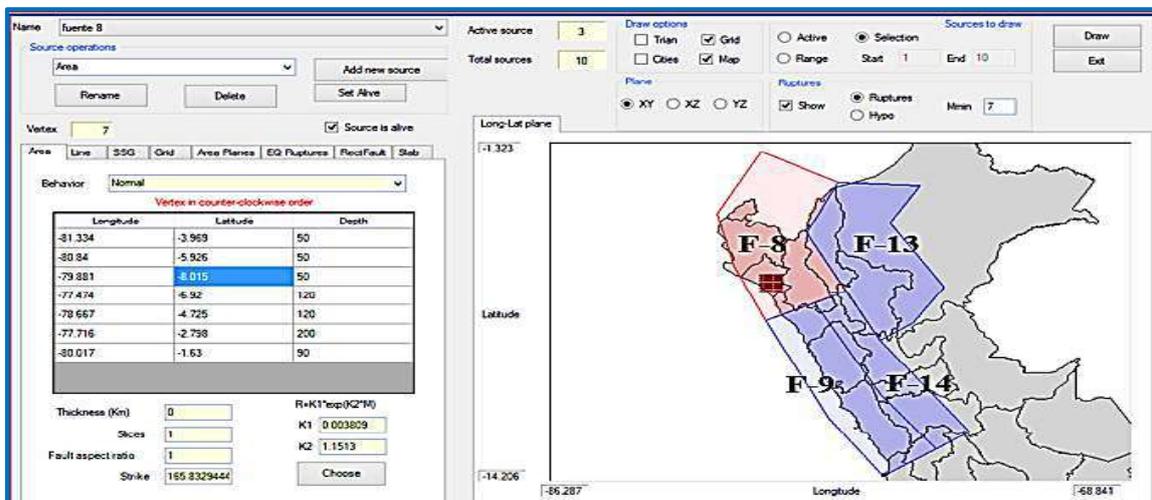


Figura 54. Modelación de Fuentes de subducción Intraplaca

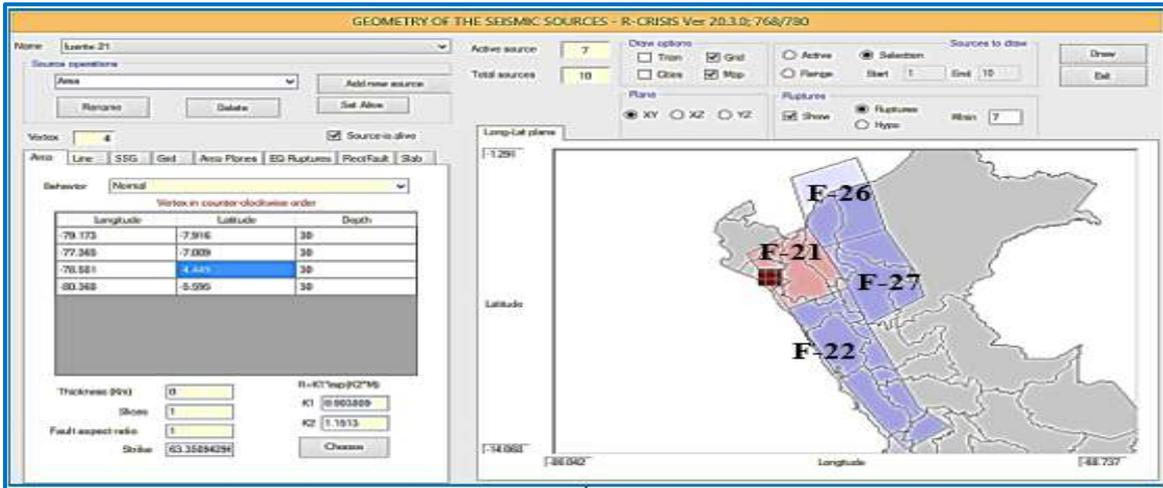


Figura 55. Modelación de Fuentes continentales

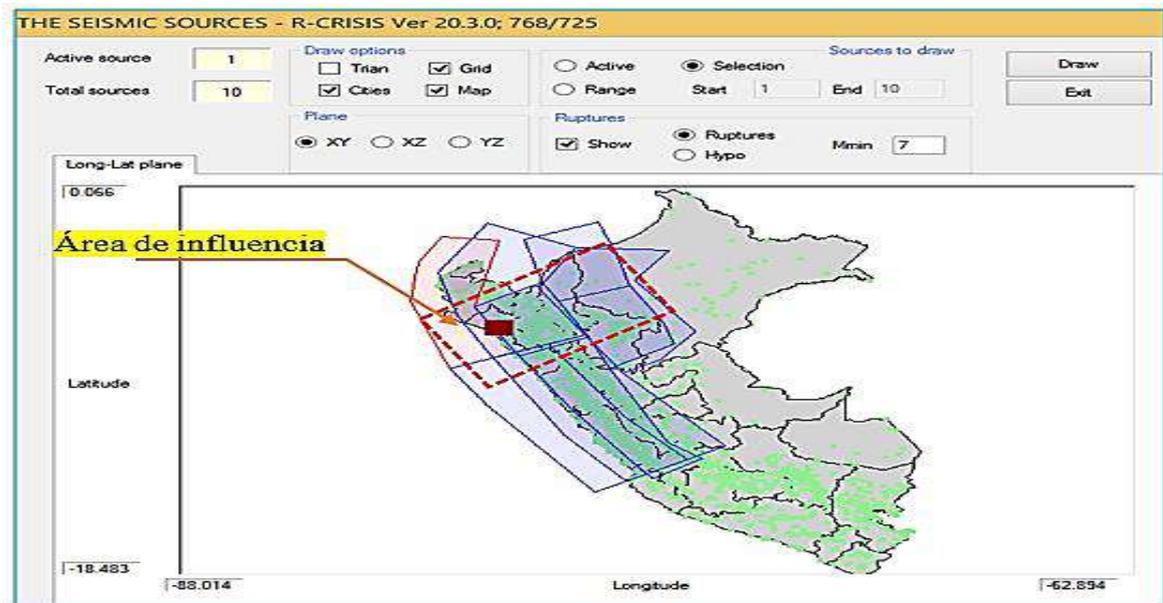


Figura 56. Geometría de las fuentes sísmicas en R-Crisis

2.5.2.10 Procedimiento del análisis y Evaluación del potencial de licuación del suelo mediante métodos simplificados

2.5.2.11 Método simplificado de Seed Idriss

En esta investigación se Adopta el método Seed e Idriss, método basado en la prueba de penetración estándar SPT. por lo que se requiere conocer los siguientes parámetros de sitio: Resistencia a la penetración dinámica (1), perfil estratigráfico (2), tipo de suelo (3), aceleración máxima del sitio (4), Magnitud de momento sísmico M_w (5). En cuanto a los datos experimentales de laboratorio, se deben conocer las siguientes variables: contenido de partículas finas (1), peso específico del suelo en su estado natural (2), peso específico saturado (3). El procesamiento

de esta información y el análisis y evaluación de la licuación del suelo se efectuó en hojas de cálculo de Microsoft Excel, la aplicación del cálculo por este método se inicia a partir del cálculo de los esfuerzos verticales totales y efectivos, aplicando los procedimientos conocidos de esfuerzos verticales en la masa de un suelo, un procedimiento preliminar consiste en la corrección de los N_m valores SPT obtenido de los registros en campo, en este trabajo efectuamos las correcciones por energía, profundidad de longitud de barra, diámetro de perforación para obtener el valor de N_{60} SPT. y para obtener los valores N_{1SPT} se aplicó la corrección por presión efectiva de sobrecarga, la corrección por contenido de finos, no se aplicó directamente, sino que se extrapolo a partir de un algoritmo para hallar los valores de los esfuerzos cíclicos resistentes y poder construir la curva de resistencia cíclica del terreno, una obtenido los valores de N_{1SPT} se aplicó la corrección por factores de modificación sísmica M_s . El propósito de todo este procedimiento es comparar las relaciones de esfuerzos cíclicos resistentes (**ECR**) contra los esfuerzos cíclicos actuantes (**ECA**) por lo que puede resumirse o expresarse mediante un factor de seguridad o de resistencia a la licuación del suelo (**F_{SL}** ó **F_{RL}**), que también puede expresarse como la relación de la demanda vs la capacidad resistente del terreno. Este método nos permite obtener la profundidad y altura de los estratos licuables (Parra Murrugarra & Alva Hurtado , 1991).

2.5.2.12 Factor de seguridad a la licuación de suelos

para evaluar el factor de resistencia a la licuación del suelo se tomó en cuenta las recomendaciones de la norma (E.0.50,RNE, 2018) suelos y cimentación es, la que nos indica los valores estimados a usar en la evaluación, de acuerdo con la categoría de edificación definida en la norma (E.0.30, RNE, 2018)

Tabla 30. Factor de seguridad a usar en la evaluación de la licuación de suelos

Categoría de las Edificaciones	F_{SL} mínimo
RNE. (E-0.30)	RNE. (E-0.50)
A	1.25
B	1.15
C	1.00

Tomado de (E.0.50,RNE, 2018)

2.5.2.13 Procedimiento Experimental de Diseño de Inyecciones de Mortero

▪ Selección de los materiales

Cemento Portland: es el material más común y ampliamente utilizado en la dosificación de morteros de tipo grouting. El cemento Portland de tipo I se utiliza en la gran mayoría de las aplicaciones de lechada cuando no se requieren las propiedades especiales de otros tipos. En esta investigación se efectuaron las pruebas de fluidez y decantación de dos subtipos de cemento tipo I: Cemento tipo MS de la marca Pacasmayo (1) y cemento Tipo I de la marca mochica (2) para determinar el tiempo de fluidez y la compatibilidad con el aditivo de para conocer las relaciones de inyectabilidad de la mezcla en el terreno.

Bentonita: La bentonita es un filosilicato de aluminio y una arcilla compuesta principalmente de montmorillonita. Debido a la propiedad tixotrópica de dispersar la bentonita en agua, es muy efectivo cuando se usa para mejorar el desempeño de arenas sueltas como líquidos porosos. La bentonita es fácil de conseguir, barata y respetuosa con el medio ambiente. Durante la fase de pruebas de fluidez se utilizaron diversas dosificaciones de bentonita en proporciones de 2, 5 y 10% con respecto al peso del cemento. Ya que la adición de dosis más altas desencadena la floculación de las partículas de bentonita, desestabilizando la suspensión.

Aditivo Superplastificante: con el propósito de mejorar las propiedades de los materiales de la lechada de permeación, en estado fresco, es decir, fluidez, capacidad de esparcimiento, sangrado y tiempo de fraguado y sus propiedades mecánicas, es decir, resistencia a la compresión, se utilizó el aditivo Sikament N-290 en proporciones de 0.2, 0.4, 0.7, 1.0, 1.5 y 2.0 % del peso del cemento, con lo que se pudo reducir la relación agua/cemento a 0.7, para pueda lograr un tiempo de fluidez adecuado sin perder resistencia por usar relaciones de agua/cemento mayores



Figura 57. Fase de pruebas de selección de materiales, dosificación y preparación del mortero

- **Evaluación del mortero mediante Pruebas de fluidez**



Figura 58. Fase de pruebas de fluidez y compatibilidad del mortero



Figura 59. Ensayo de resistencia a la penetración en penetrometro ACMÉ

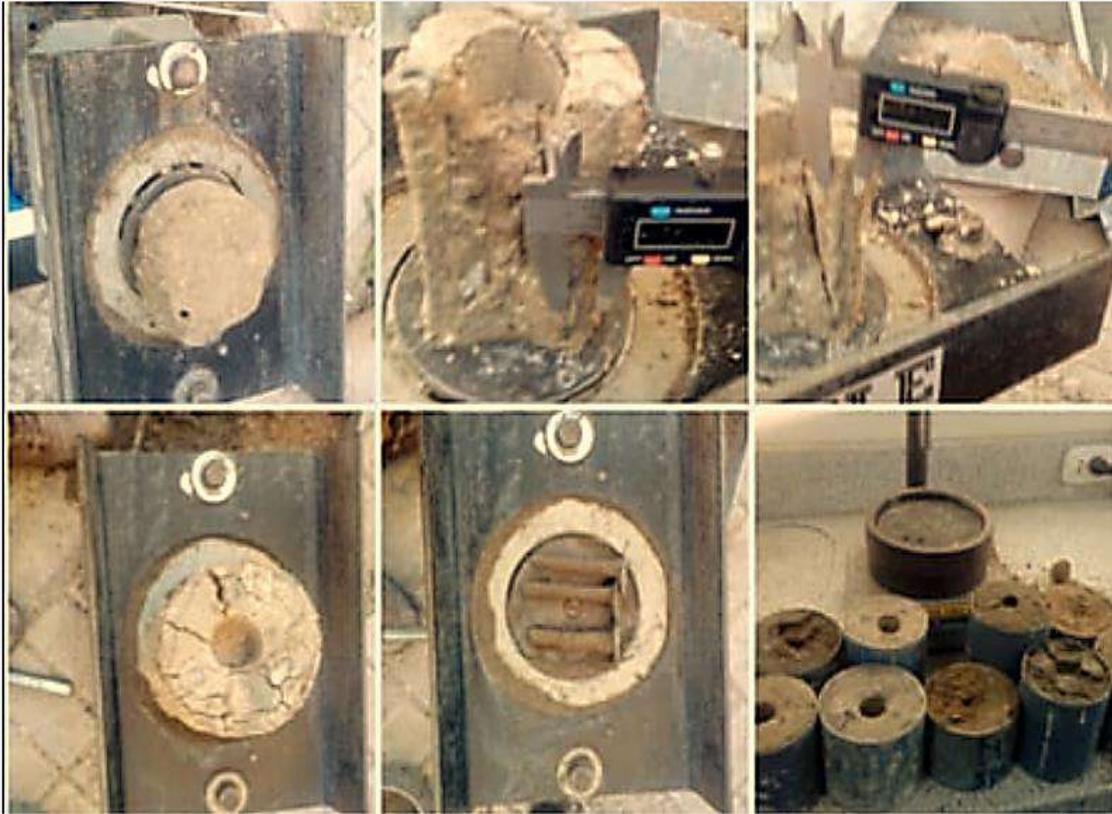


Figura 60. Control y medición de especímenes de suelo mejorado



Figura 61. Preparación y curado de especímenes cúbicos y cilíndricos de mortero para los ensayos de compresión



Figura 62. Rotura de moldes cilíndricos en máquina universal de compresión

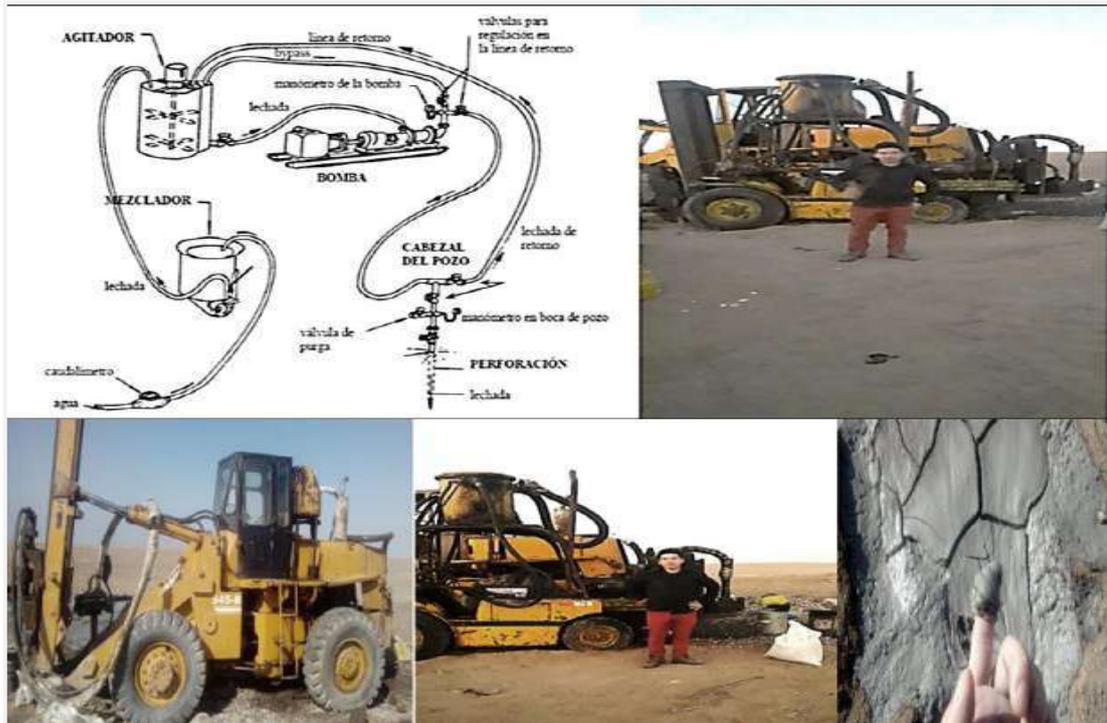


Figura 63. Aplicación de inyecciones en campo

2.6 Criterios Éticos

En esta investigación se establecieron pautas de conducta que se siguieron durante todo el proceso puesto que estas consideraciones éticas se presentan en diferentes momentos del proceso de investigación, entre los cuales enumeramos los siguientes: selección de los métodos para obtener resultados (1), procedimientos utilizados en la selección de la muestra (2), manejo de los resultados obtenidos (3). (Salazar Raymond, Icaza Guevara, & Alejo Machado, 2018)

2.7 Criterios de Rigor científico

▪ Validez

Los instrumentos utilizados para medir variables se basan en técnicas de observación utilizadas de acuerdo con la normativa aplicable en ensayos de campo y laboratorio.

▪ Confiabilidad

En esta investigación se aplican las correlaciones y controles necesarios para que los resultados reflejen las características del objeto de estudio, tanto en las pruebas de campo y laboratorio, los resultados del análisis y evaluación de la licuación de suelos se compararon con los obtenidos por el software geotécnico Liquefy pro

3 RESULTADOS

3.1 Resultados de Tablas y figuras

3.1.1 Resistencia del terreno a la Penetración Dinámica a partir de Pruebas de Campo (SPT)

3.1.1.1 Registros de Pruebas de Campo

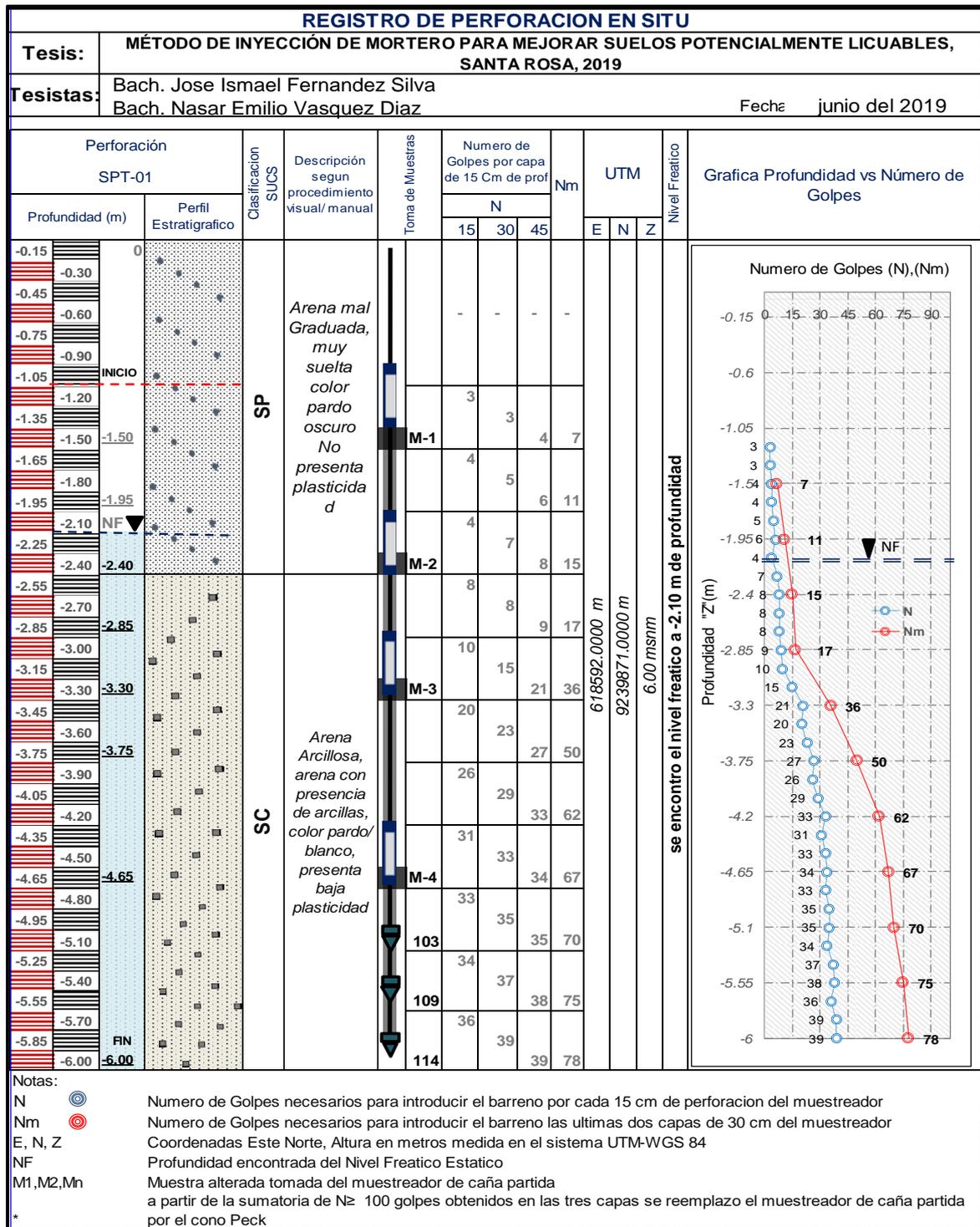


Figura 64. Registró de prueba de campo, SPT -01

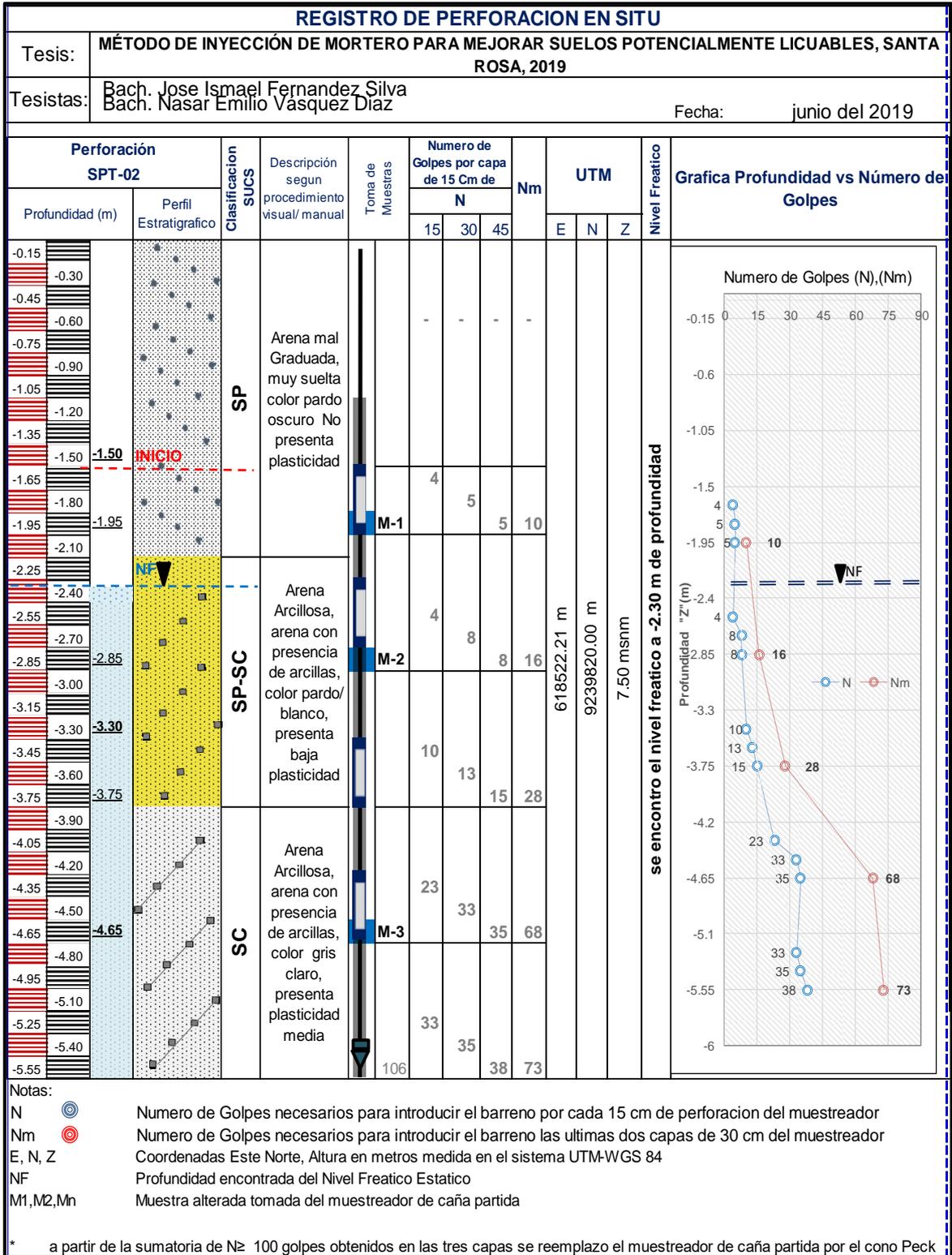


Figura 65. Registro de prueba de campo, SPT -02

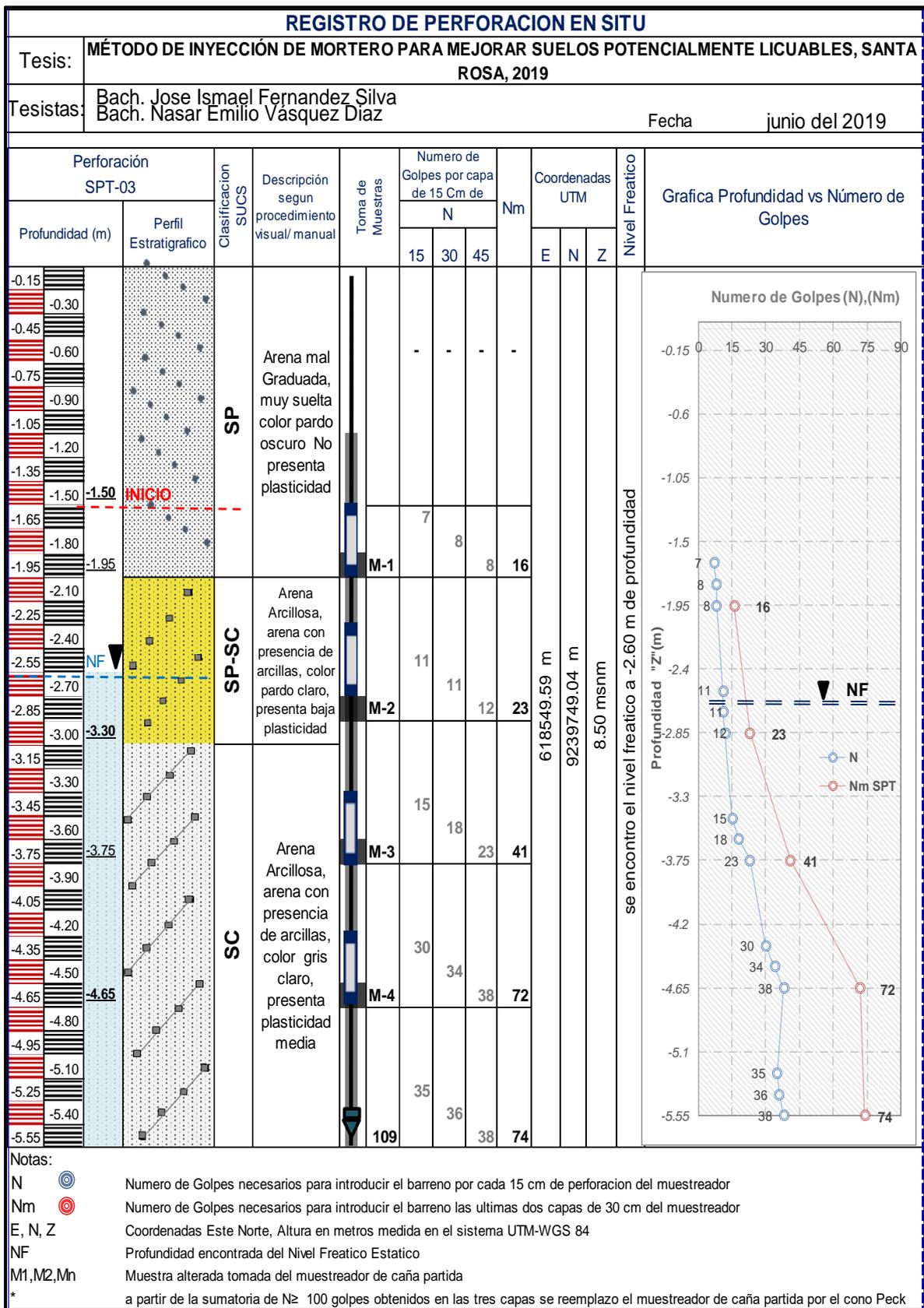


Figura 66. Registro de prueba de campo, SPT -03

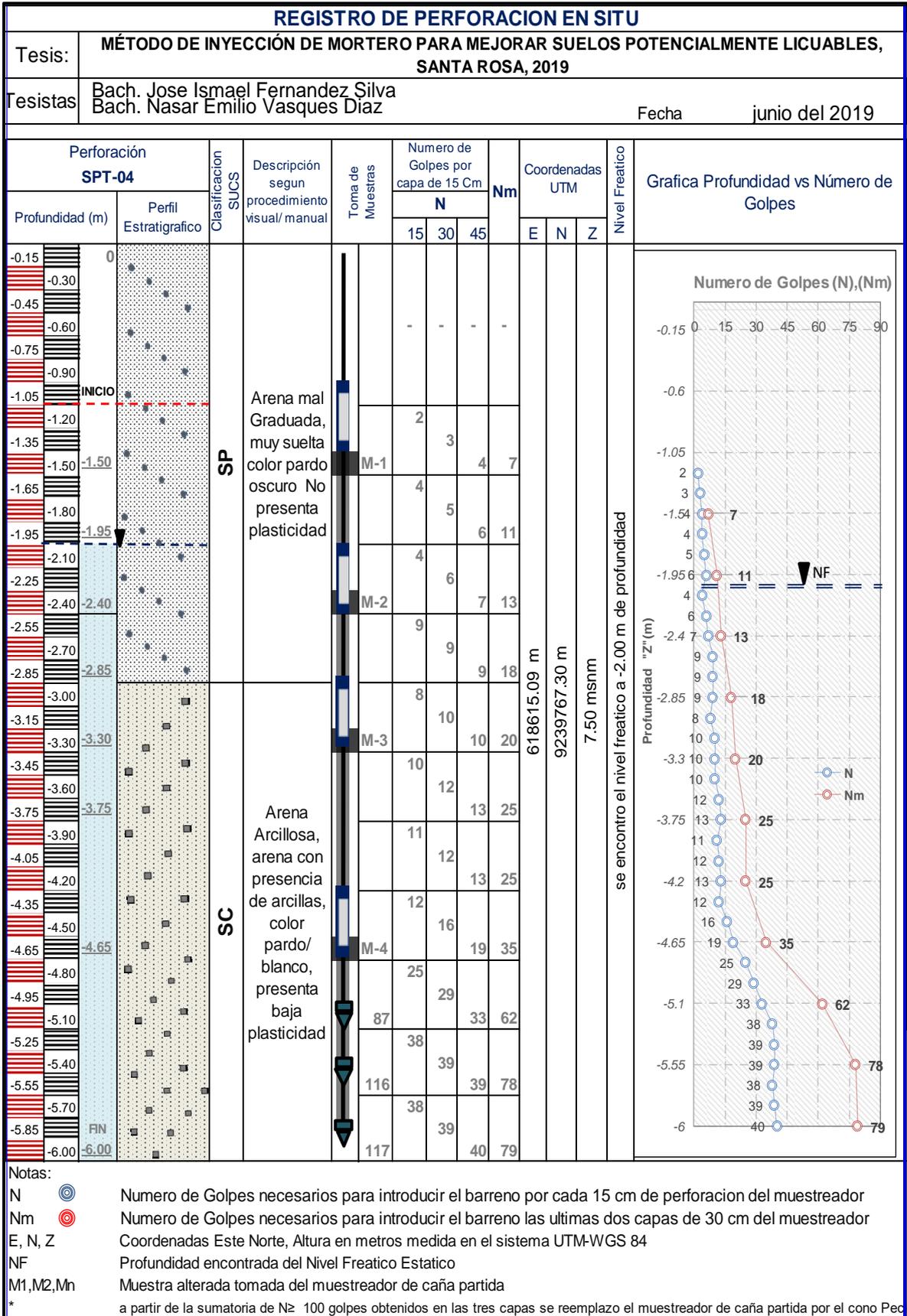


Figura 67. Registro de prueba de campo, SPT -04

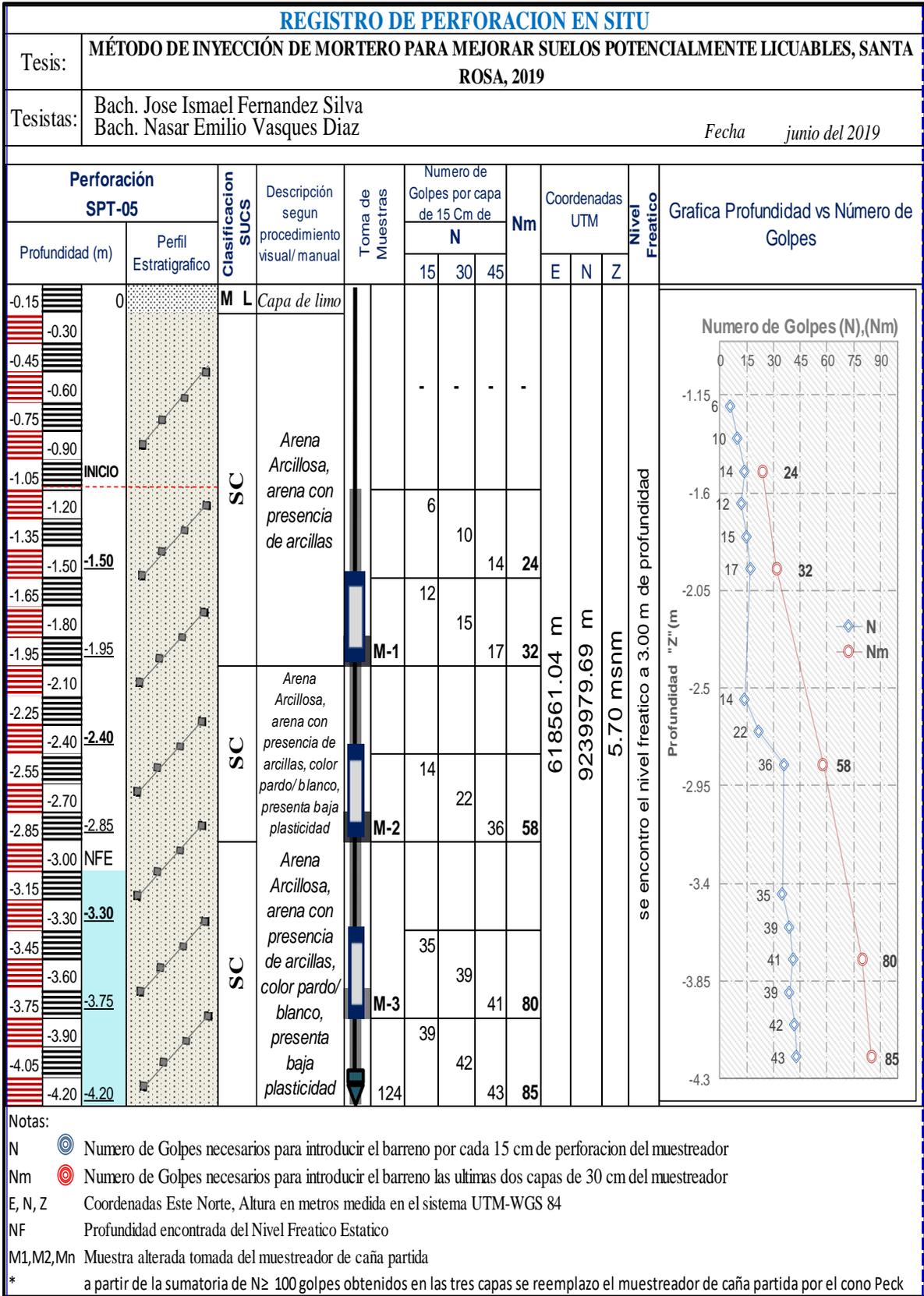


Figura 68. Registro de prueba de campo, SPT -05

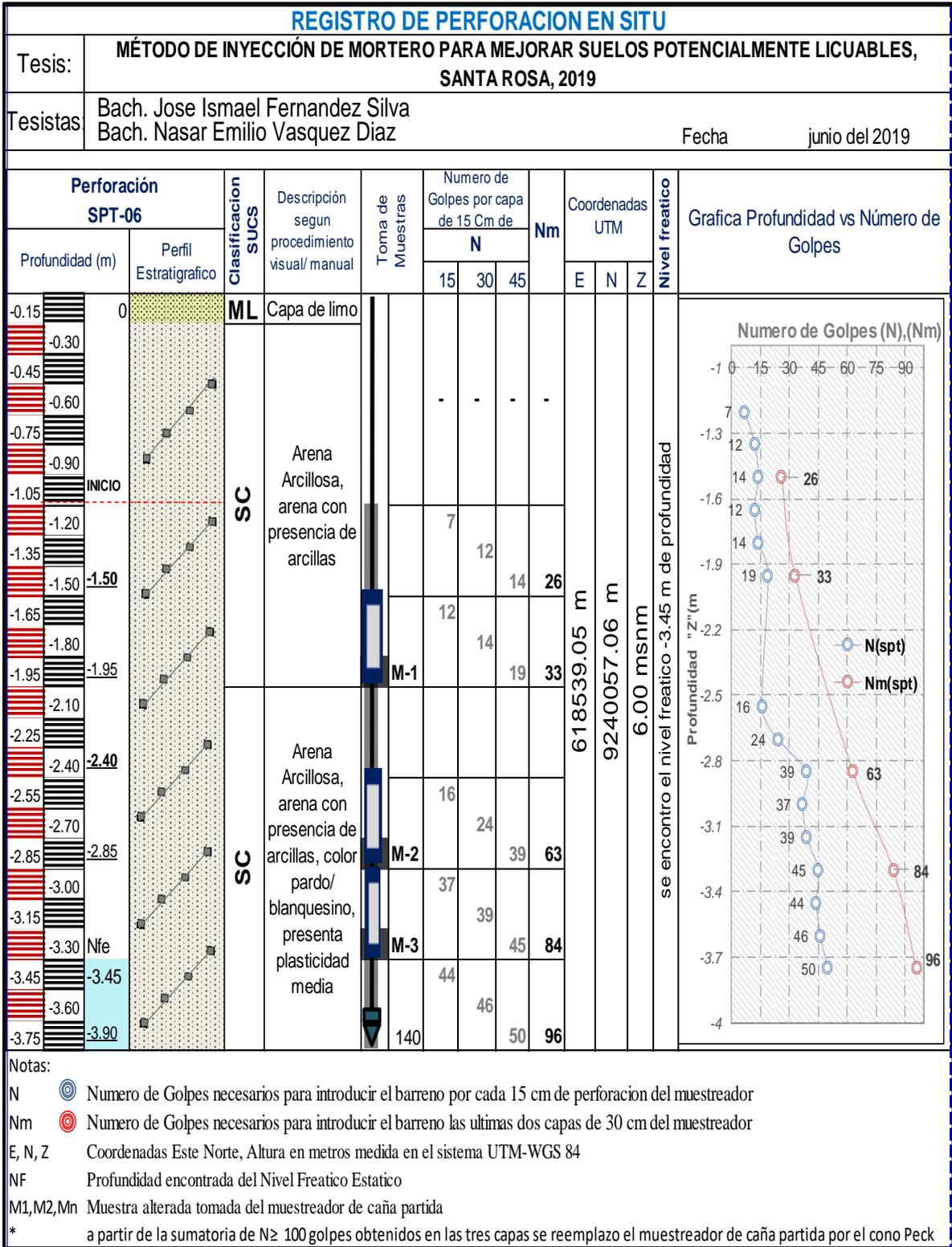


Figura 69. Registro de prueba de campo, SPT -06

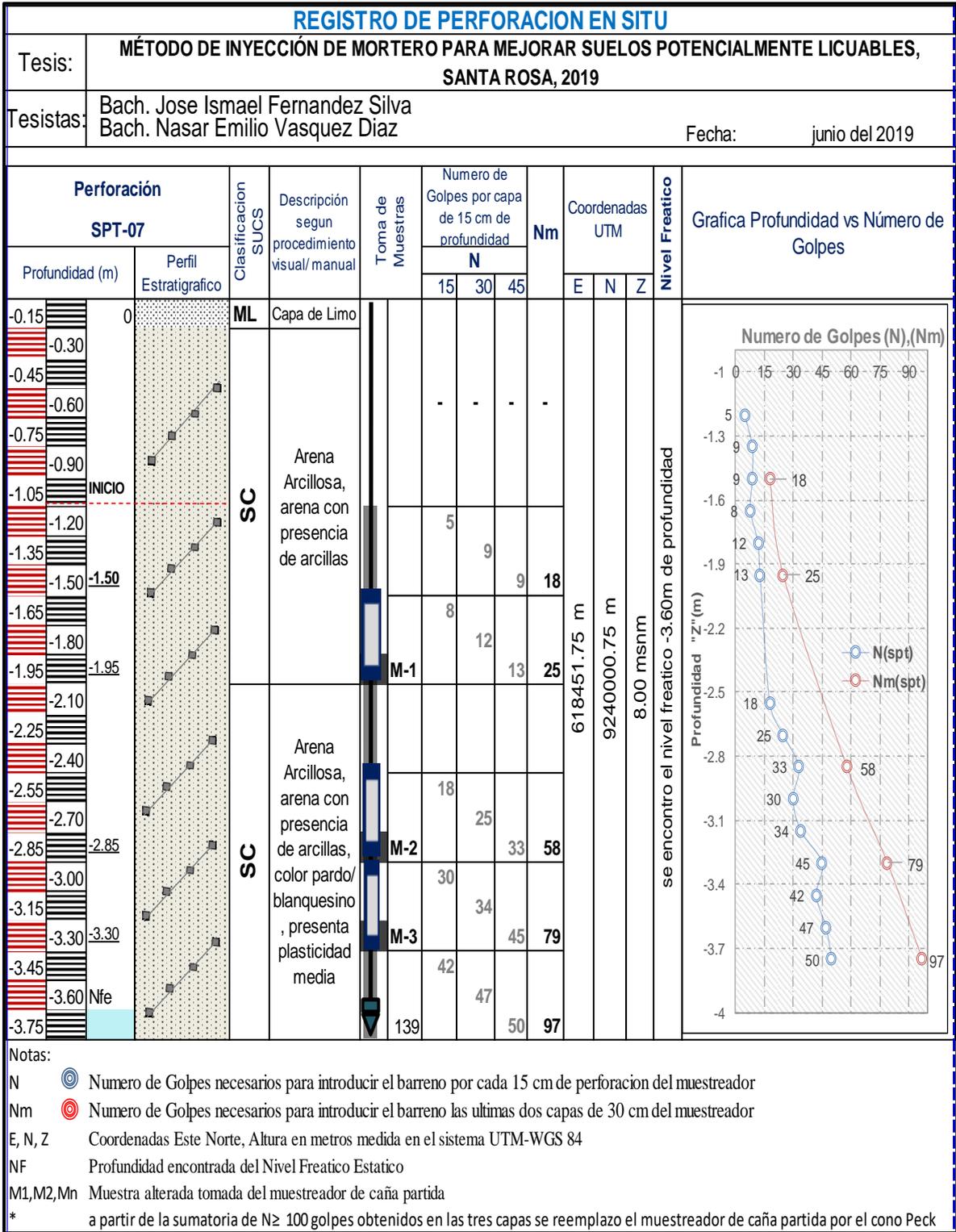


Figura 70. Registro de prueba de campo, SPT -07

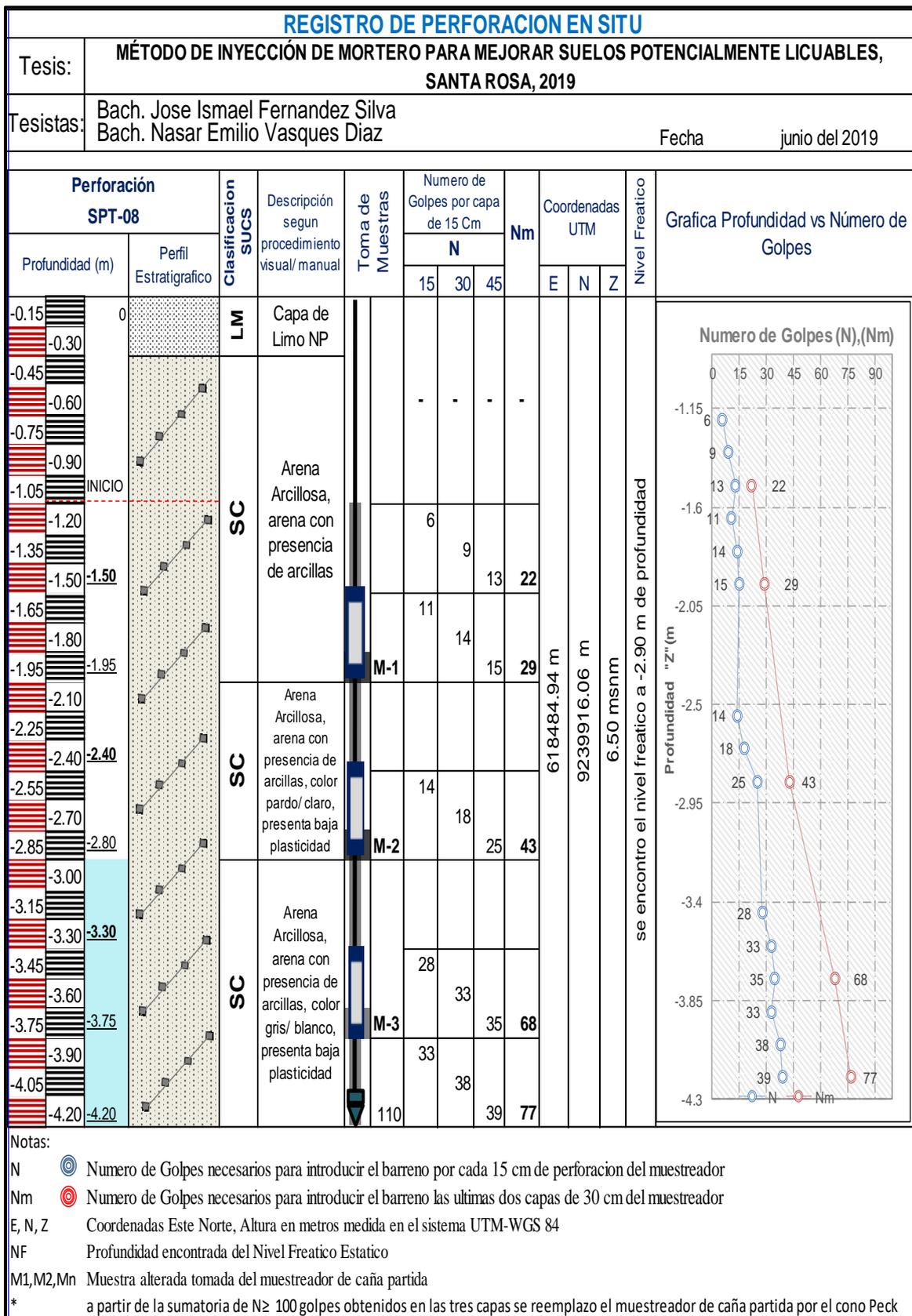


Figura 71. Registro de prueba de campo, SPT -08

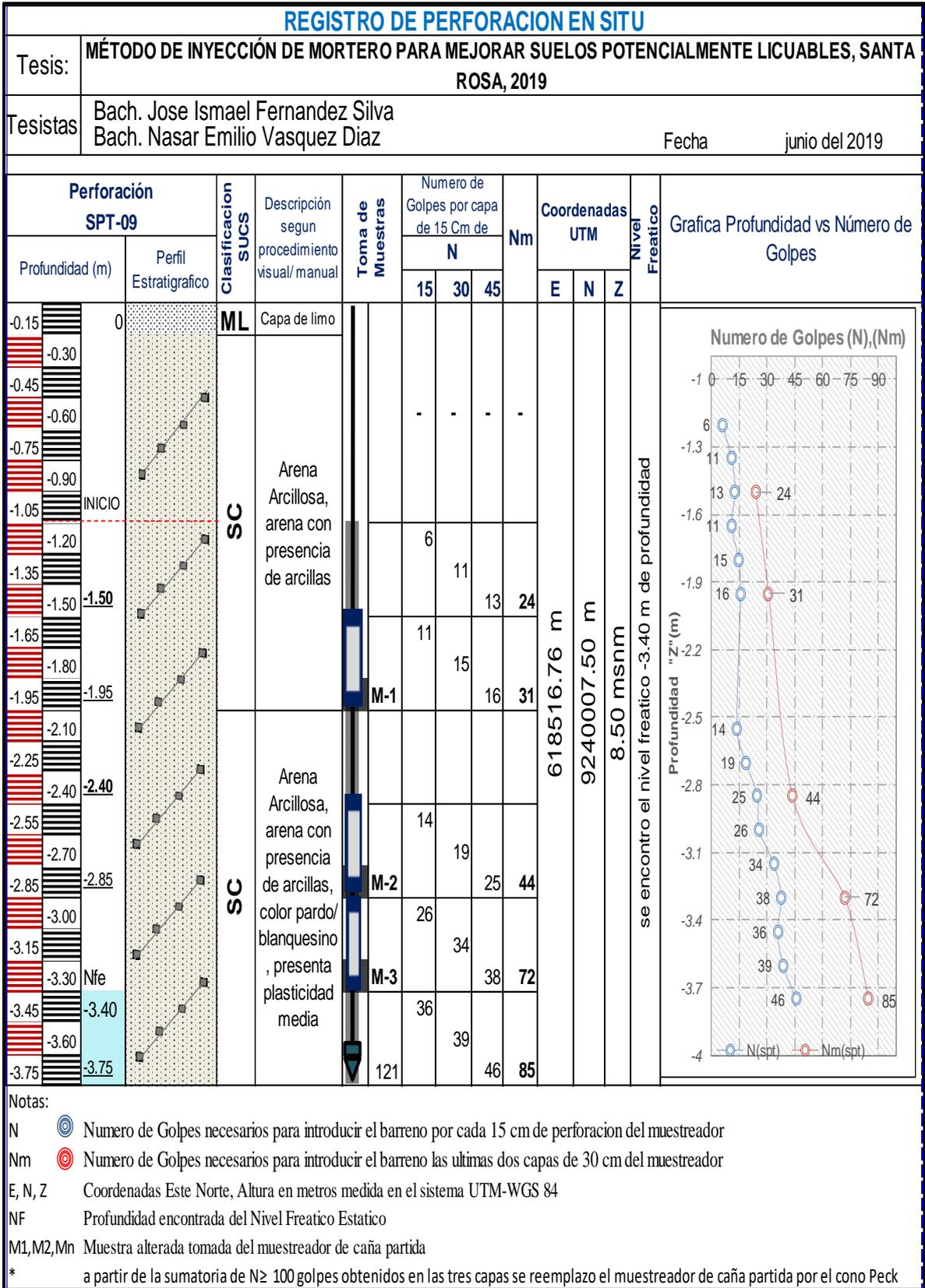


Figura 72. Registro de prueba de campo, SPT -09

▪ RESUMEN

Tabla 31. Resistencia del terreno a la penetración dinámica Nm-SPT pruebas SPT (01-09)

Prof. (m)	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
-1.50	7	-	-	7	24	26	18	22	24
-1.95	11	10	16	11	32	33	25	29	31
-2.40	15	-	-	13	-	-	-	-	-
-2.85	17	16	23	18	58	63	58	43	44
-3.30	36	-	-	20	-	-	79	-	72
-3.75	50	28	42	25	80	96	97	68	85
-4.20	62	-	-	25	85	-	-	77	-
-4.65	67	68	72	35	-	-	-	-	-
-5.10	70	-	-	62	-	-	-	-	-
-5.55	75	73	74	78	-	-	-	-	-
-6.00	78	-	-	79	-	-	-	-	-

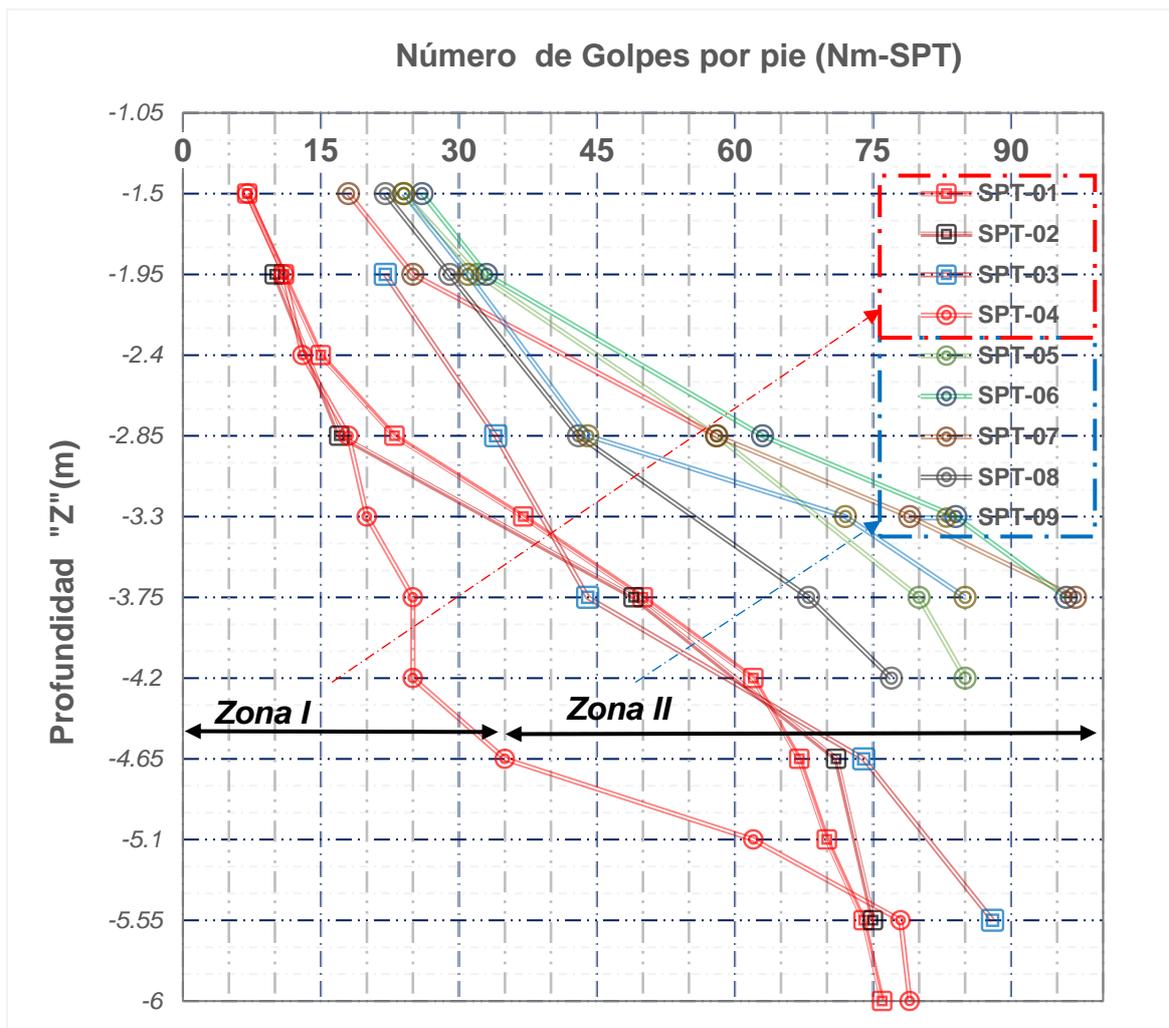


Figura 73. Resumen grafico de resultados de la variación de la resistencia a la penetración dinámica en las pruebas SPT (01-09)

Comentario: en las pruebas efectuadas en la Zona II (SPT 05-09) se alcanzó una resistencia a la penetración Mayor a **30** golpes/pie a profundidades próximas a los 2.00 m, mientras que en las pruebas efectuadas en la Zona I (SPT 01-04) estos valores se alcanzan por debajo de los 3.00 m, en el caso más desfavorable se ubica en la perforación SPT-04, donde se alcanzó los **30** golpes/pie a los 4.65 m.

3.1.2 Propiedades físicas y mecánicas de los suelos

3.1.2.1 Contenido de humedad

Tabla 32. *Contenido de Humedad, Sondaje SPT-01*

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.05-1.50		M-1	1.50	3.758
1.50-2.40	E-1	M-2	2.40	13.508
2.40-3.30	E-2	M-3	3.30	20.181
3.30-4.65		M-4	4.65	20.909

Tabla 33. *Contenido de Humedad, Sondaje SPT-02*

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.95-2.85	E-1	M-1	1.95	3.304
2.85-4.65	E-2	M-2	2.85	5.369
3.30-4.65	E-3	M-3	4.65	10.033

Tabla 34. *Contenido de Humedad, Sondaje SPT-03*

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.50-1.95	E-1	m-1	1.95	4.140
1.95-2.85	E-2	m-2	2.85	4.948

2.85-3.75	E-3	m-3	3.75	8.359
3.75-4.65		m-4	4.65	9.655

Tabla 35. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-04

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.05-1.50		m-1	1.50	4.802
1.50-2.85	E-1	m-2	2.40	5.451
2.85-3.30	E-2	m-3	3.30	14.085
3.30-4.65		m-4	4.65	19.822

Tabla 36. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-05

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.05-1.95	E-1	m-1	1.95	12.15
1.95-2.85	E-2	m-2	2.85	21.58
2.85-4.20	E-3	m-3	3.75	23.37

Tabla 37. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-06

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.05-1.95	E-1	m-1	1.95	7.70
1.95-2.85	E-2	m-2	2.85	10.63
2.85-3.75	E-2	m-3	3.75	12.59

Tabla 38. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-07

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.05-1.95	E-1	m-1	1.95	8.87
1.95-2.85	E-2	m-2	2.85	11.55

2.85-3.75	E-2	m-3	3.75	16.08
-----------	-----	-----	------	-------

Tabla 39. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-08

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.05-1.95	E-1	m-1	1.95	12.52
1.95-2.85	E-2	m-2	2.85	22.46
2.85-4.20	E-3	m-3	3.75	24.68

Tabla 40. Contenido de Humedad, Sondaje SPT-09

Prof. (m)	Estrato	Muestra	Prof. de muestra	contenido de humedad %
1.05-1.95	E-1	m-1	1.95	9.66
1.95-2.85	E-2	m-2	2.85	14.53
2.85-3.75	E-2	m-3	3.75	18.23

▪ **Resumen**

Tabla 41. Resumen de resultados contenido de humedad vs profundidad de estratos

Prof. (m)	Contenido de Humedad								
	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
1.00 - 1.50	3.76			4.80					
1.50 - 1.95		3.30	4.14		12.15	7.70	8.87	12.52	9.66
1.95 - 2.40	13.51			5.45					
2.40 - 2.85		5.37	4.95		21.58	10.63	11.55	22.46	14.53
2.85 - 3.30	20.18			14.09					
3.30 - 3.75			8.36		23.37	12.59	16.08	24.68	18.23
3.75 - 4.20									
4.20 - 4.65	20.91	10.03	9.66	19.82					
4.65 - 5.10									
5.10 - 5.55									
5.55 - 6.00									

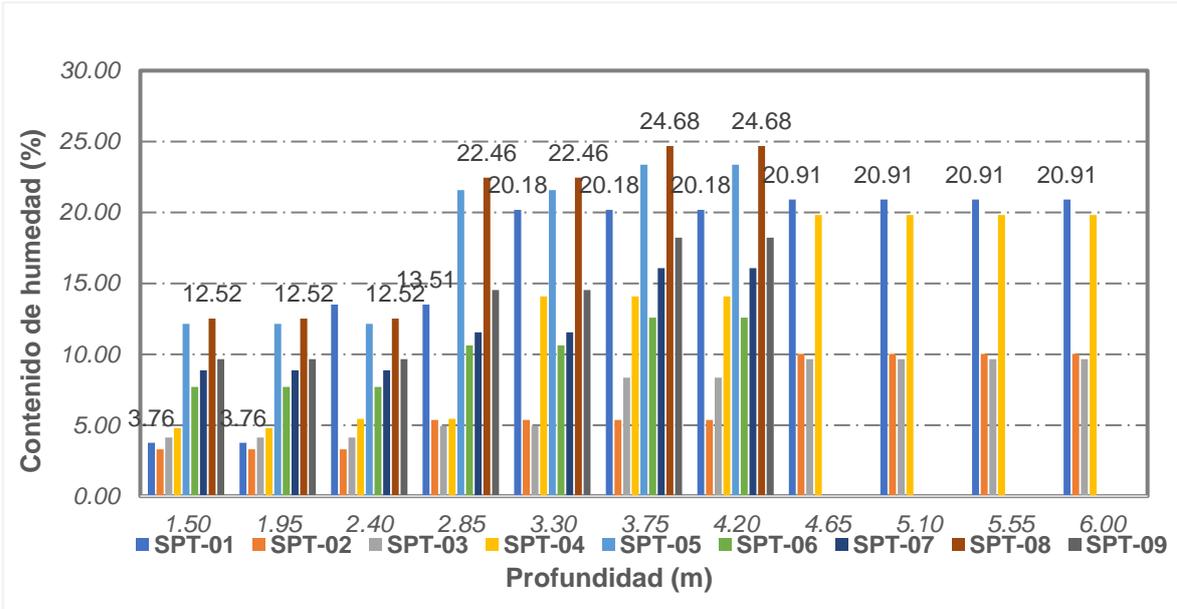


Figura 74. Resumen de resultados contenido de humedad vs profundidad de estratos

3.1.2.2 Granulometría

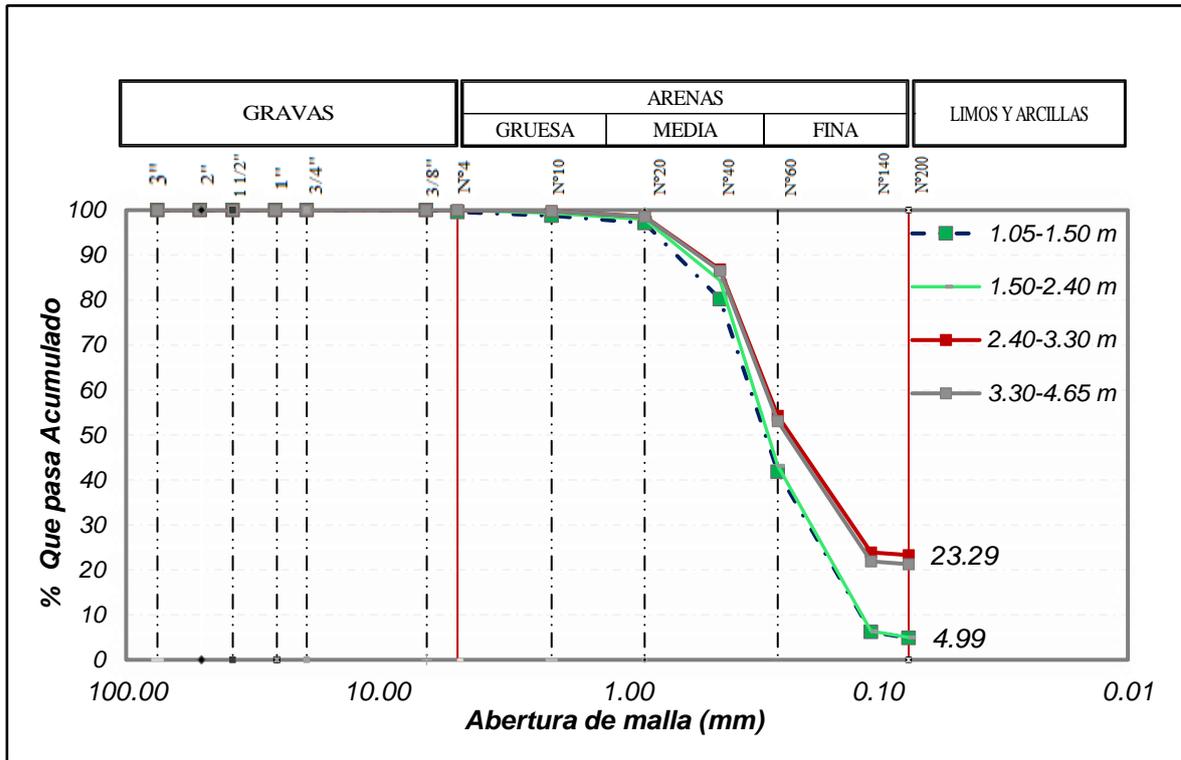


Figura 75. Curvas Granulométricas, Sondaje SPT -01

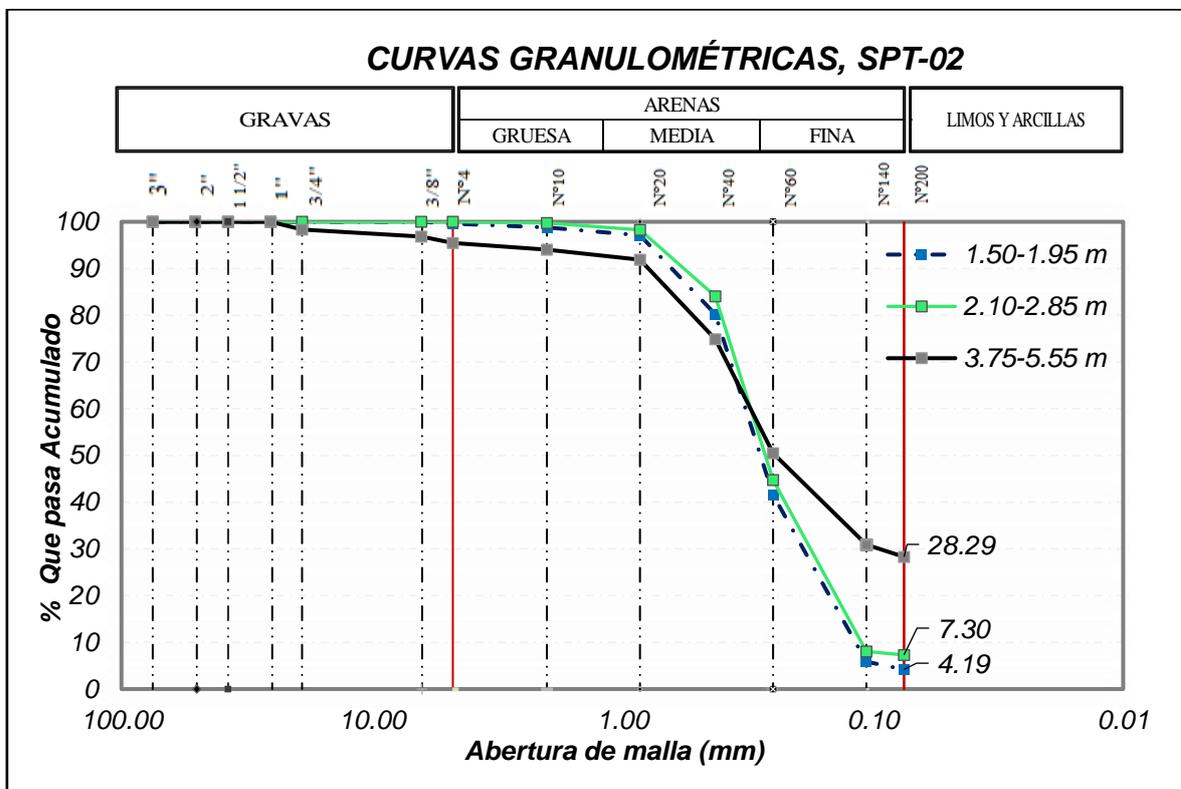


Figura 76. Curvas granulométricas Sondaje SPT-02

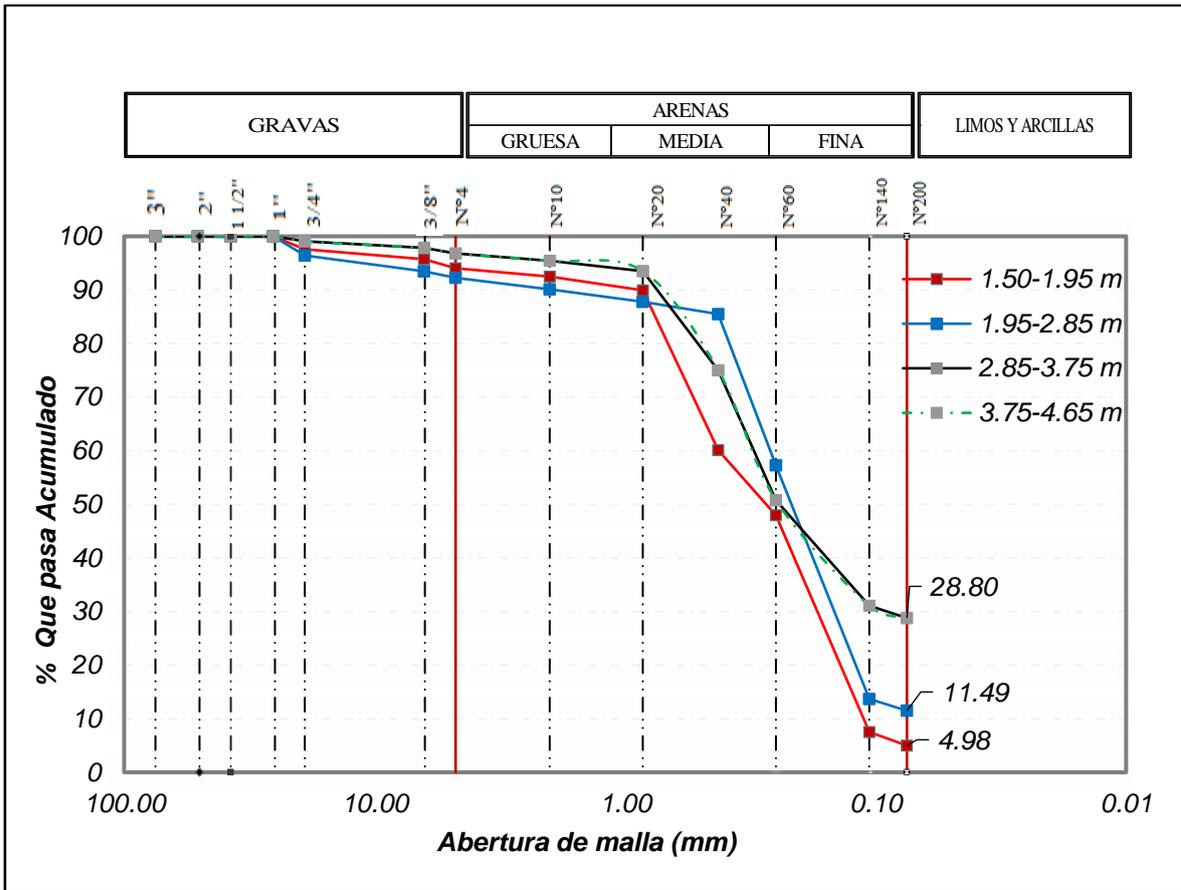


Figura 77. Curvas granulométricas Sondaje SPT-03

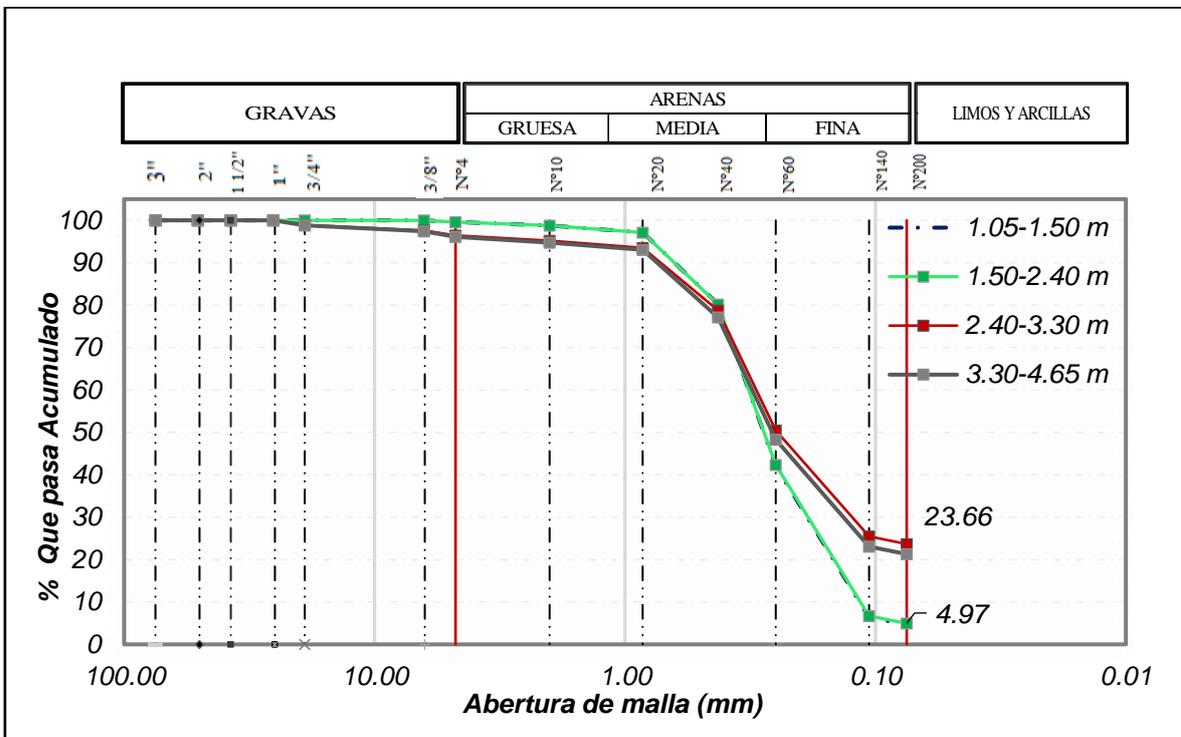


Figura 78. Curvas granulométricas Sondaje SPT-04

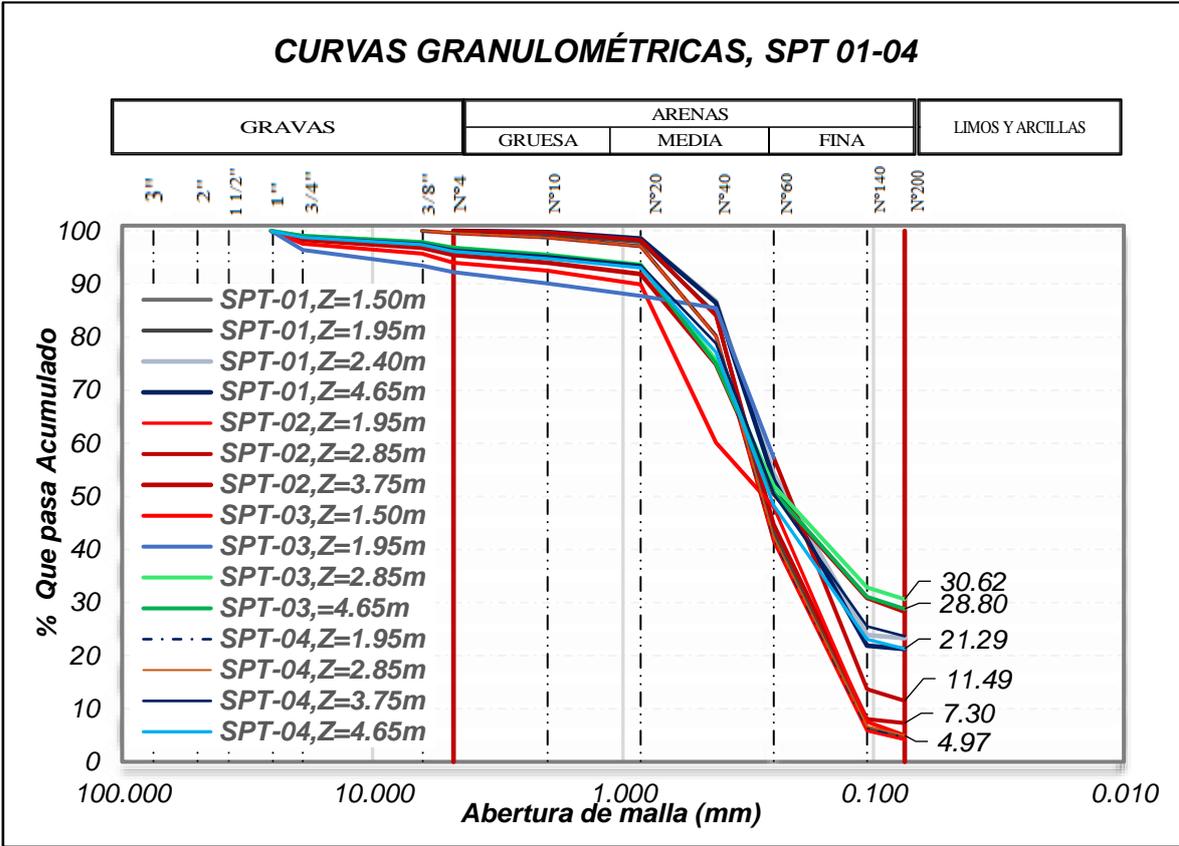


Figura 79. Distribución granulométrica del suelo Sondajes SPT 01-04

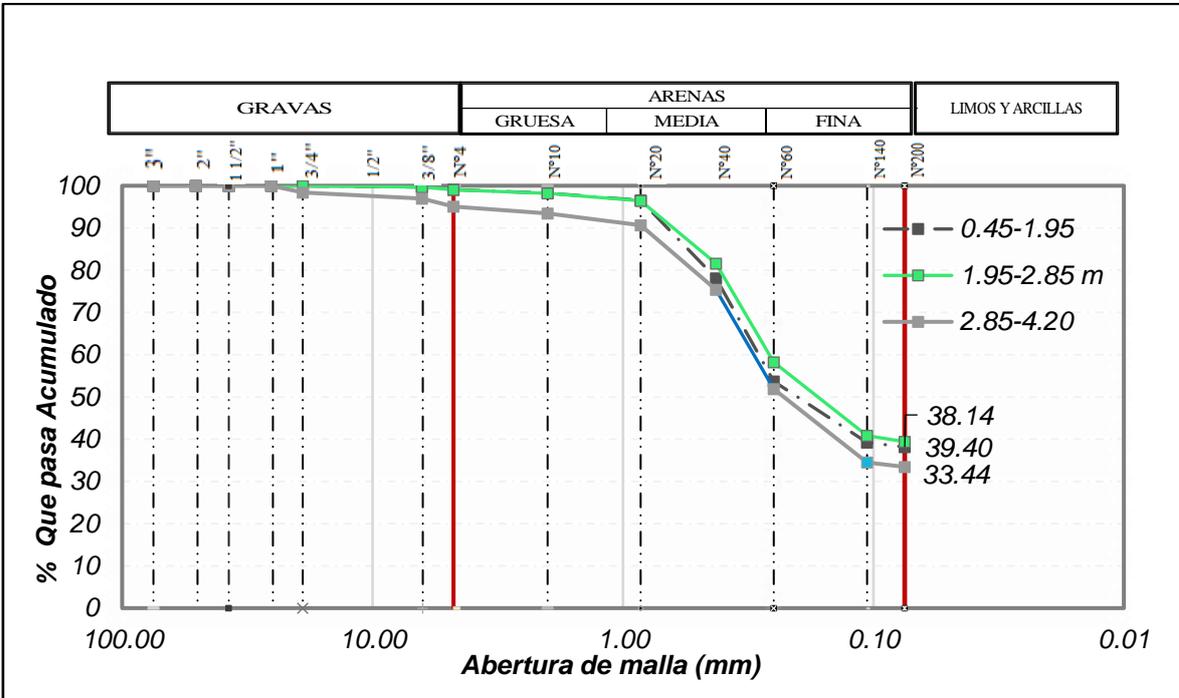


Figura 80. Curvas granulométricas Sondaje SPT-05

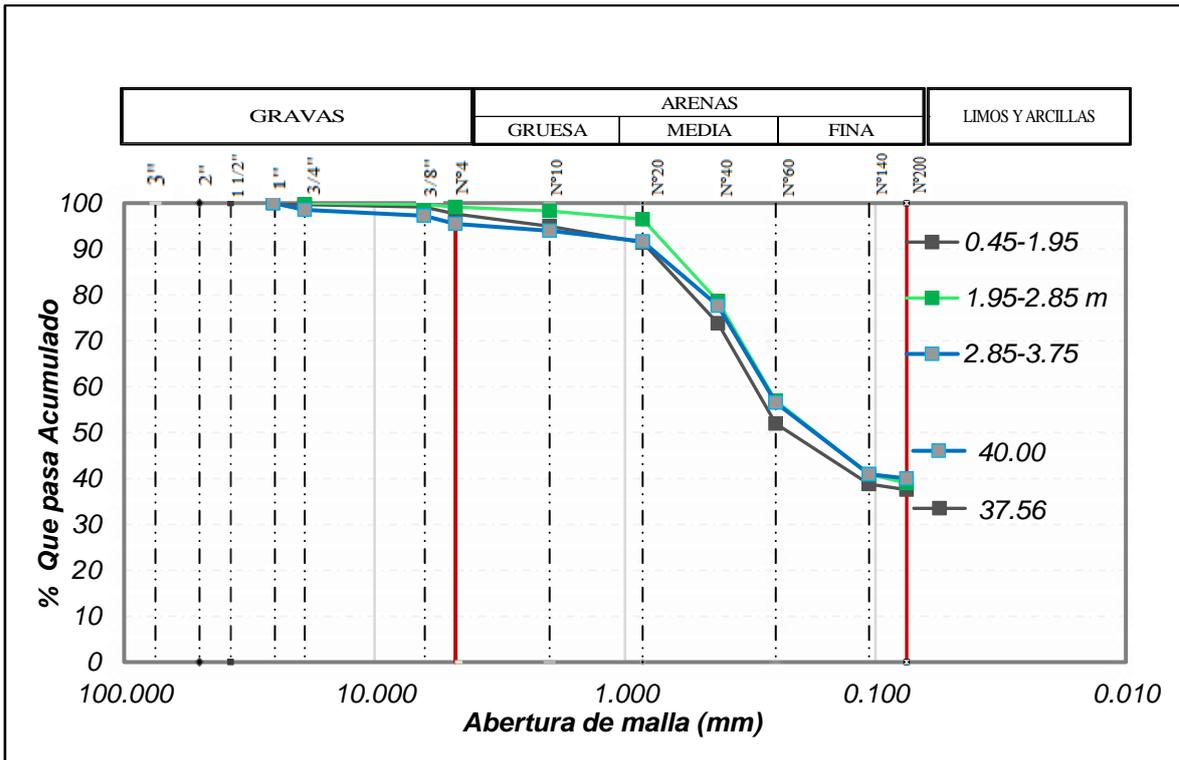


Figura 81. Curvas granulométricas Sondaje SPT-06

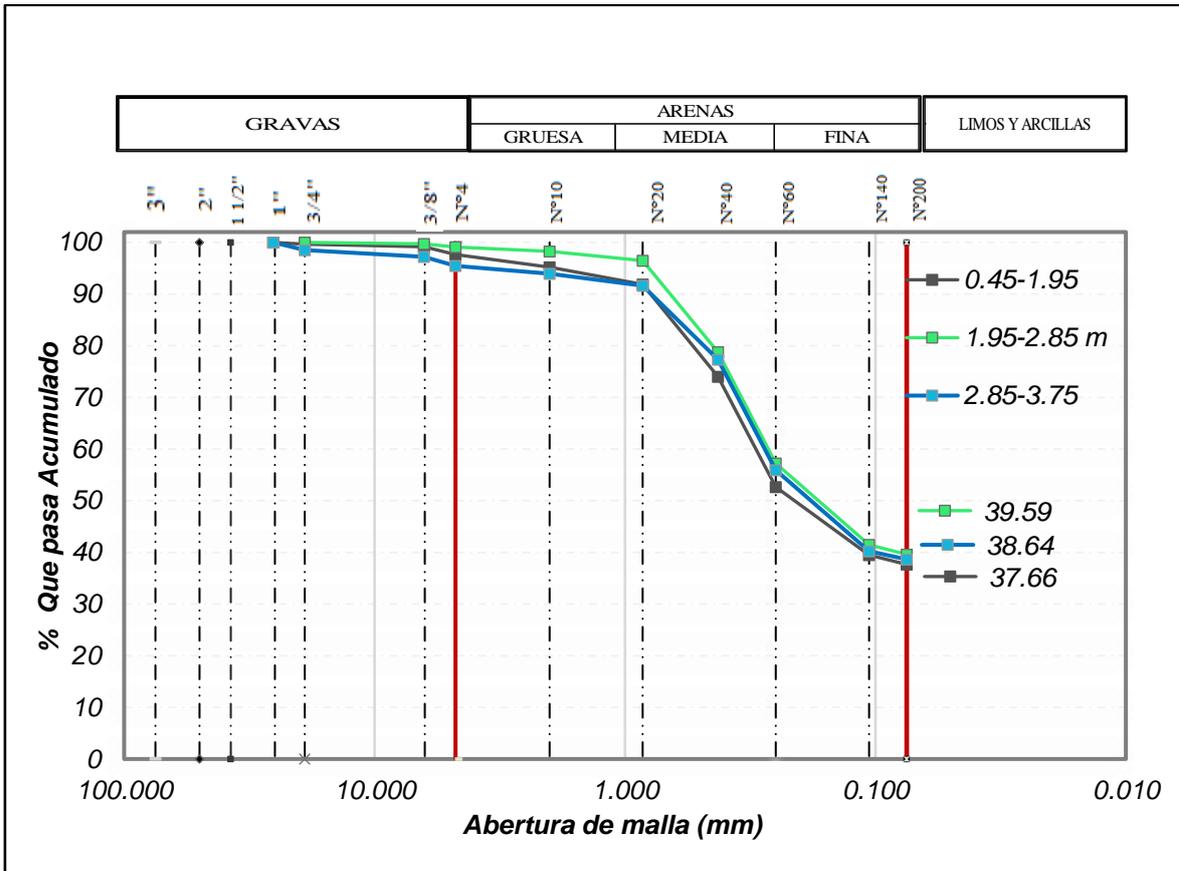


Figura 82. Curvas granulométricas Sondaje SPT-07

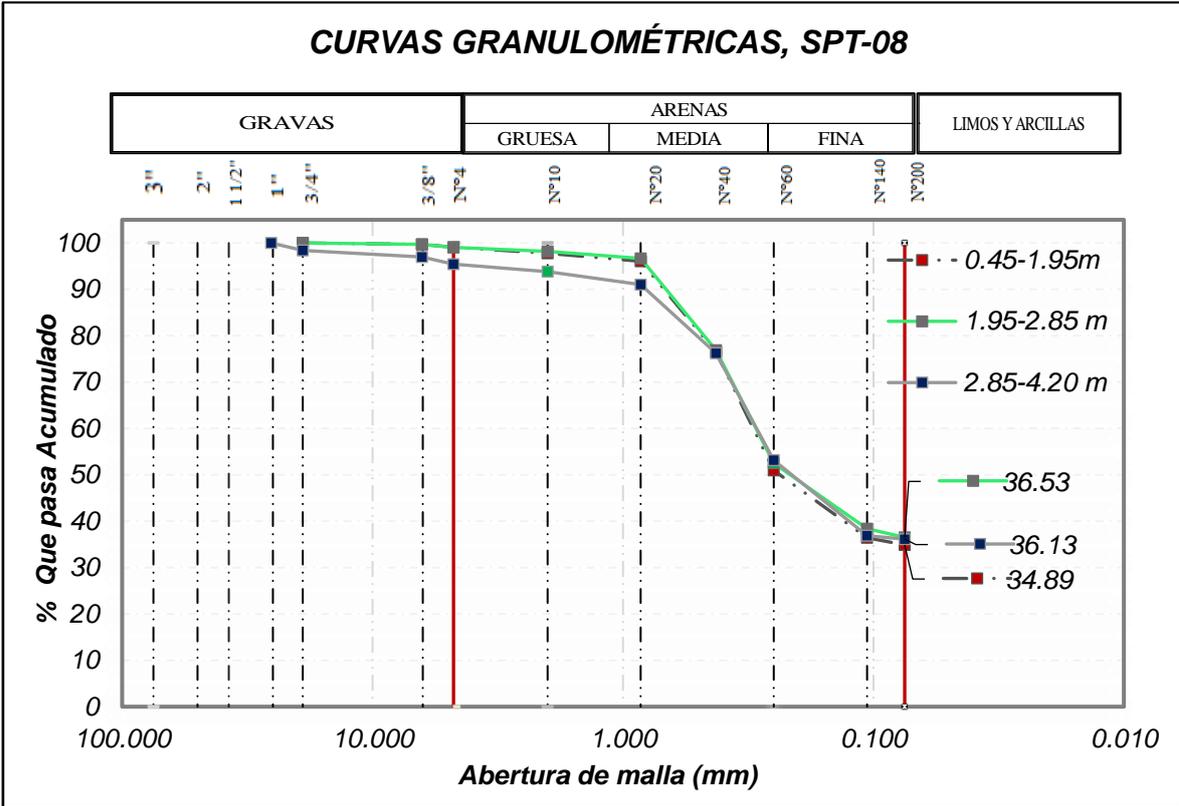


Figura 83. Curvas granulométricas Sondaje SPT-08

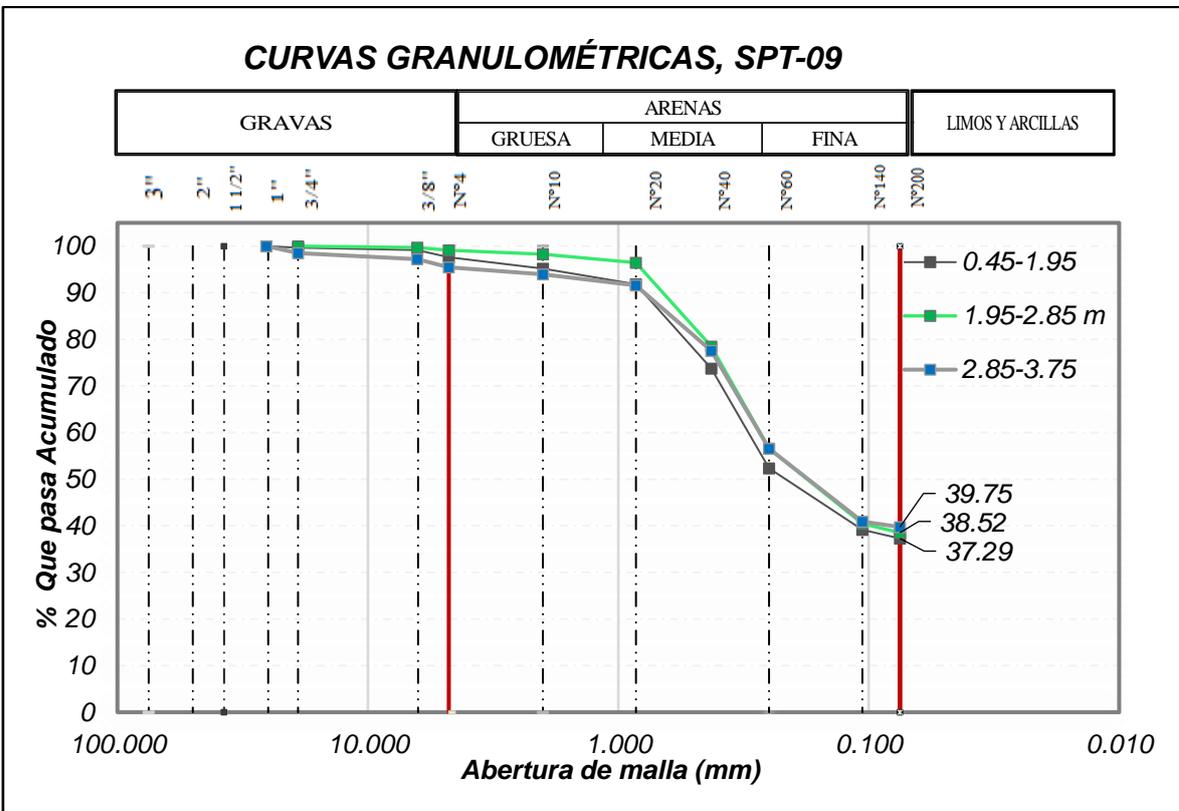


Figura 84. Curvas granulométricas Sondaje SPT-09

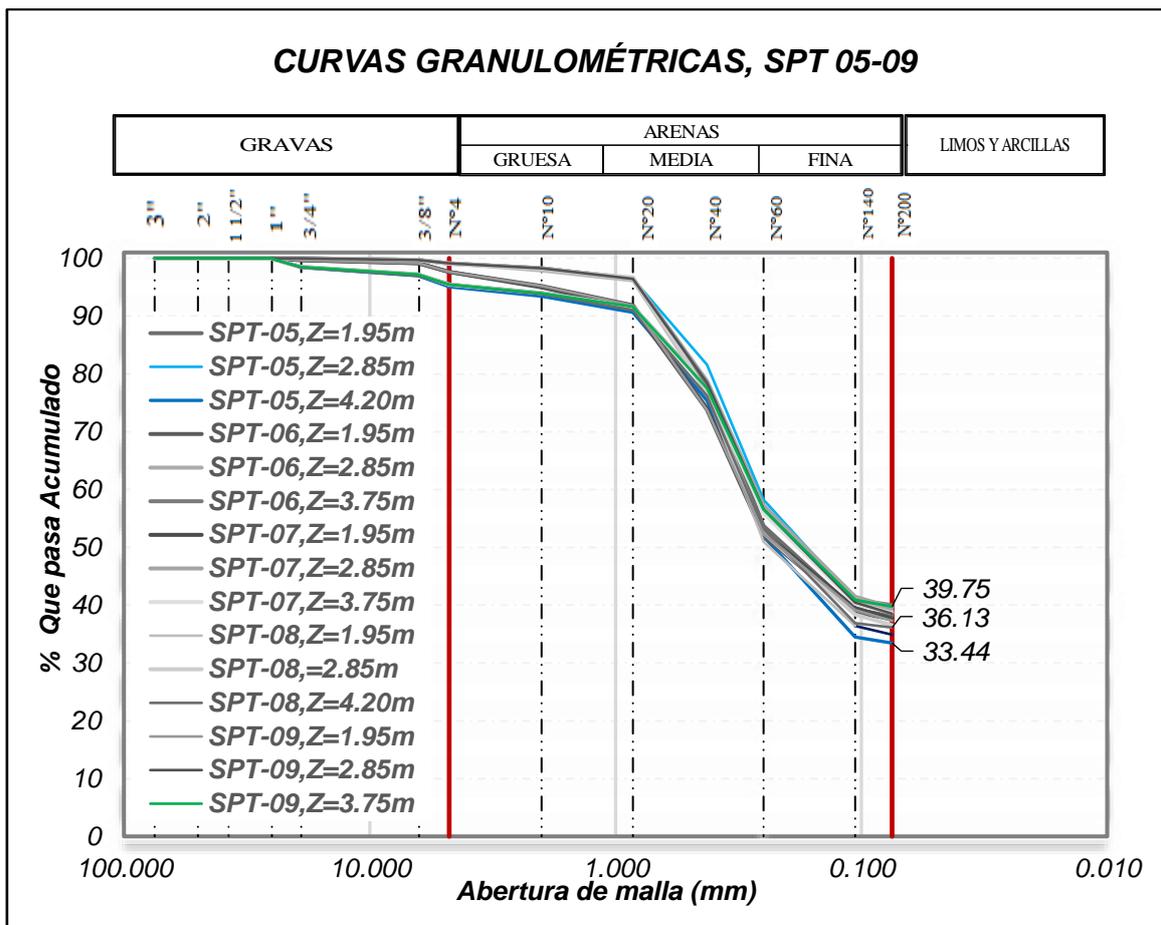


Figura 85. Distribución granulométrica del suelo a partir de Sondajes SPT 05-09

Tabla 42. Variación del contenido de finos con la profundidad, a partir de sondajes SPT 01-09

Prof. (m)	Sondaje								
	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
1.00 - 1.50	4.84	4.19	4.98	4.64	38.14	37.56	31.17	34.89	37.29
1.50 - 1.95	4.99	4.19	4.98	4.64	38.14	20.30	19.90	34.89	37.29
1.95 - 2.40	4.99	7.30	11.49	4.97	39.40	39.00	30.20	36.53	38.52
2.40 - 2.85	23.29	7.30	11.49	4.97	39.40	39.00	30.20	36.53	38.52
2.85 - 3.30	23.29	28.29	30.62	23.66	33.44	40.00	31.68	36.13	39.75
3.30 - 3.75	28.02	28.29	30.62	21.29	33.44	40.00	31.68	36.13	39.75
3.75 - 4.20	28.02	28.29	28.80	21.29	33.44	-	31.68	36.13	-
4.20 - 4.65	28.02	28.29	28.80	21.29	-	-	-	-	-
4.65 - 5.10	28.02	28.29	28.80	21.29	-	-	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

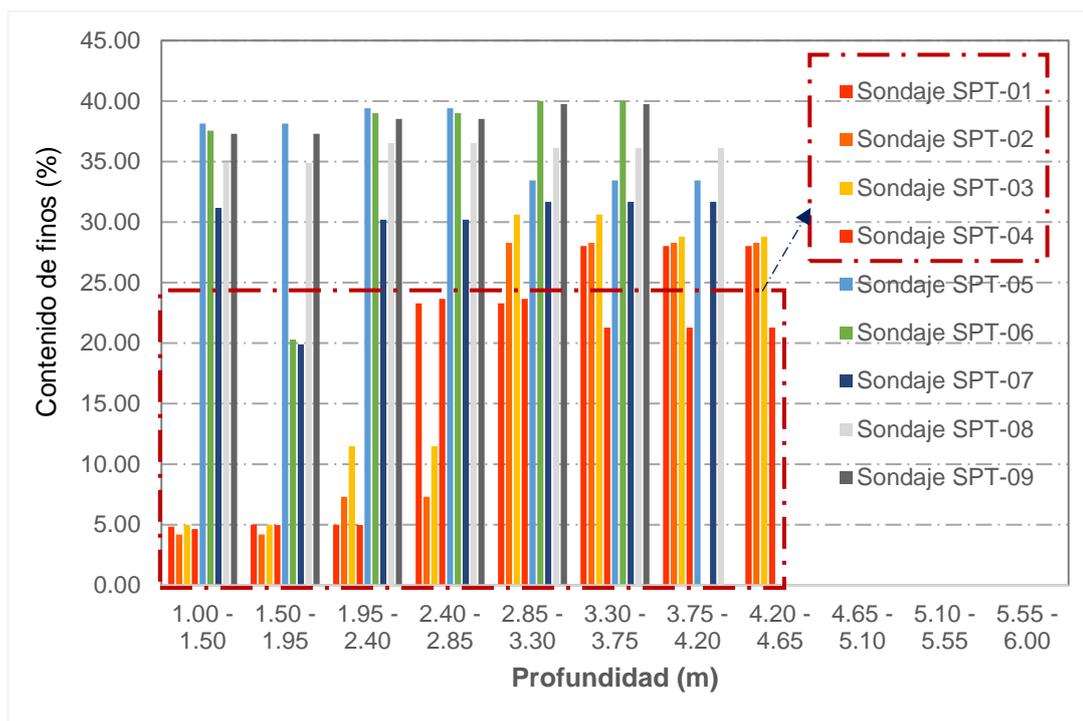


Figura 86. Variación del contenido de finos con la profundidad, a partir de sondajes SPT 01-09

Comentario: esta gráfica permite observar que las muestras del suelo obtenidas a partir de los ensayos SPT 01-04, presentan contenido de finos menores a **15 %** hasta profundidades de 2.40-2.85 m, el contenido de finos es un parámetro que nos permite conocer previo al análisis de la licuación, que suelos son susceptibles de licuarse a partir de su composición granulométrica.

3.1.2.3 Límites y Plasticidad

Tabla 43. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-01

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	NP	NP	NP
1.50 - 1.95	NP	NP	NP
1.95 - 2.40	NP	NP	NP
2.40 - 2.85	20.95	14.29	6.66
2.85 - 3.30	20.95	14.29	6.66
3.30 - 3.75	24.29	14.29	10.00
3.75 - 4.20	24.29	14.29	10.00
4.20 - 4.65	24.29	14.29	10.00
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-

Tabla 44. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-02

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	NP	NP	NP
1.50 - 1.95	NP	NP	NP
1.95 - 2.40	26.43	17.63	8.80
2.40 - 2.85	26.43	17.63	8.80
2.85 - 3.30	25.50	15.71	9.79
3.30 - 3.75	25.50	15.71	9.79
3.75 - 4.20	25.50	15.71	9.79
4.20 - 4.65	25.50	15.71	9.79
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-

Tabla 45. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-03

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	NP	NP	NP
1.50 - 1.95	NP	NP	NP
1.95 - 2.40	24.71	15.00	9.71
2.40 - 2.85	24.71	15.00	9.71
2.85 - 3.30	25.17	14.70	10.47
3.30 - 3.75	25.17	14.70	10.47
3.75 - 4.20	26.08	15.05	11.03
4.20 - 4.65	26.08	15.05	11.03
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-

Tabla 46. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-04

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	NP	NP	NP
1.50 - 1.95	NP	NP	NP
1.95 - 2.40	NP	NP	NP
2.40 - 2.85	24.85	15.12	9.73
2.85 - 3.30	24.85	15.12	9.73
3.30 - 3.75	26.08	14.16	11.92
3.75 - 4.20	26.08	14.16	11.92
4.20 - 4.65	26.08	14.16	11.92
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-

Tabla 47. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-05

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	31.10	20.10	11.00
1.50 - 1.95	31.10	20.10	11.00
1.95 - 2.40	35.20	21.80	13.40
2.40 - 2.85	35.20	21.80	13.40
2.85 - 3.30	36.90	21.50	15.40
3.30 - 3.75	36.90	21.50	15.40
3.75 - 4.20	36.90	21.50	15.40
4.20 - 4.65	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-

Tabla 48. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-06

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	31.40	20.30	11.10
1.50 - 1.95	31.40	20.30	11.10
1.95 - 2.40	35.30	22.30	13.00
2.40 - 2.85	35.30	22.30	13.00
2.85 - 3.30	35.90	21.50	14.40
3.30 - 3.75	35.90	21.50	14.40
3.75 - 4.20	-	-	-
4.20 - 4.65	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-

Tabla 49. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-07

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	31.00	19.90	11.10
1.50 - 1.95	31.00	19.90	11.10
1.95 - 2.40	35.20	22.30	12.90
2.40 - 2.85	35.20	22.30	12.90
2.85 - 3.30	33.30	21.40	11.90
3.30 - 3.75	33.30	21.40	11.90
3.75 - 4.20	33.30	21.40	11.90
4.20 - 4.65	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-

Tabla 50. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-08

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	32.00	20.40	11.60
1.50 - 1.95	32.00	20.40	11.60
1.95 - 2.40	35.40	21.90	13.50
2.40 - 2.85	35.40	21.90	13.50
2.85 - 3.30	37.90	21.50	16.40
3.30 - 3.75	37.90	21.50	16.40
3.75 - 4.20	37.90	21.50	16.40
4.20 - 4.65	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-

Tabla 51. Límites y Plasticidad del suelo, a partir de perforación SPT-09

Profundidad (m)	Límites		
	LL	LP	IP
1.00 - 1.50	32.40	20.20	12.20
1.50 - 1.95	32.40	20.20	12.20
1.95 - 2.40	35.30	22.30	13.00
2.40 - 2.85	35.30	22.30	13.00
2.85 - 3.30	38.40	21.70	16.70
3.30 - 3.75	38.40	21.70	16.70
3.75 - 4.20	-	-	-
4.20 - 4.65	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-

Resumen de resultados

Tabla 52. Resumen Límite Líquido vs Profundidad según sondaje

Prof. (m)	Sondaje								
	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
1.00 - 1.50	NP	NP	NP	NP	31.10	31.40	31.00	32.00	32.40
1.50 - 1.95	NP	NP	NP	NP	31.10	31.40	31.00	32.00	32.40
1.95 - 2.40	NP	26.43	24.71	NP	35.20	35.30	35.20	35.40	35.30
2.40 - 2.85	20.95	26.43	24.71	24.85	35.20	35.30	35.20	35.40	35.30
2.85 - 3.30	20.95	25.10	25.17	24.85	36.90	35.90	33.30	37.90	38.40
3.30 - 3.75	24.29	25.10	25.17	26.08	36.90	35.90	33.30	37.90	38.40
3.75 - 4.20	24.29	25.10	26.08	26.08	36.90	-	33.30	37.90	-
4.20 - 4.65	24.29	25.10	26.08	26.08	36.90	-	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.55 - 6.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

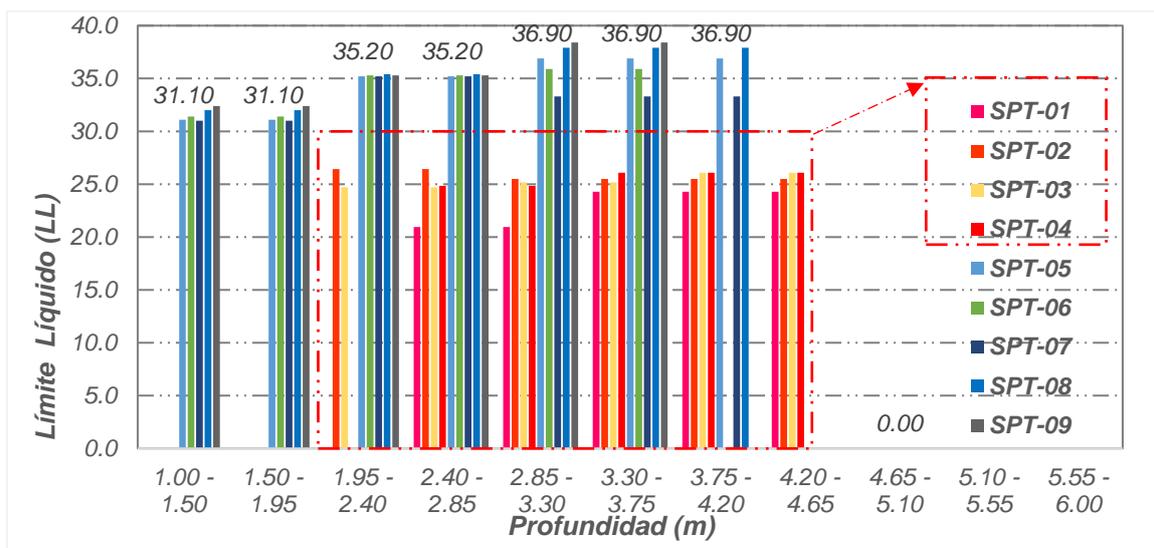


Figura 87. Límite Líquido vs Profundidad según sondaje

Tabla 53. Resumen Límite Plástico vs Profundidad según sondaje

Prof. (m)	Sondaje								
	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
1.00 - 1.50	NP	NP	NP	NP	20.10	20.30	19.90	20.40	20.20
1.50 - 1.95	NP	NP	NP	NP	20.10	20.30	19.90	20.40	20.20
1.95 - 2.40	NP	17.63	15.00	NP	21.80	22.30	22.30	21.90	22.30
2.40 - 2.85	14.29	17.63	15.00	15.12	21.80	22.30	22.30	21.90	22.30
2.85 - 3.30	14.29	15.71	14.70	15.12	21.50	21.50	21.40	21.50	21.70
3.30 - 3.75	14.29	15.71	14.70	14.16	21.50	21.50	21.40	21.50	21.70
3.75 - 4.20	14.29	15.71	15.05	14.16	21.50	-	21.40	21.50	-
4.20 - 4.65	14.29	15.71	15.05	14.16	-	-	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 54. Resumen Índice de plasticidad vs Profundidad según sondaje

Prof. (m)	Sondaje								
	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
1.00 - 1.50	NP	NP	NP	NP	11.00	11.10	11.10	11.60	12.20
1.50 - 1.95	NP	NP	NP	NP	11.00	11.10	11.10	11.60	12.20
1.95 - 2.40	NP	8.80	9.71	NP	13.40	13.00	12.90	13.50	13.00
2.40 - 2.85	6.66	8.80	9.71	9.73	13.40	13.00	12.90	13.50	13.00
2.85 - 3.30	6.66	9.79	10.47	9.73	15.40	14.40	11.90	16.40	16.70
3.30 - 3.75	10.00	9.79	10.47	11.92	15.40	14.40	11.90	16.40	16.70
3.75 - 4.20	10.00	9.79	11.03	11.92	15.40	-	11.90	16.40	-
4.20 - 4.65	10.00	9.79	11.03	11.92	-	-	-	-	-
4.65 - 5.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.10 - 5.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-

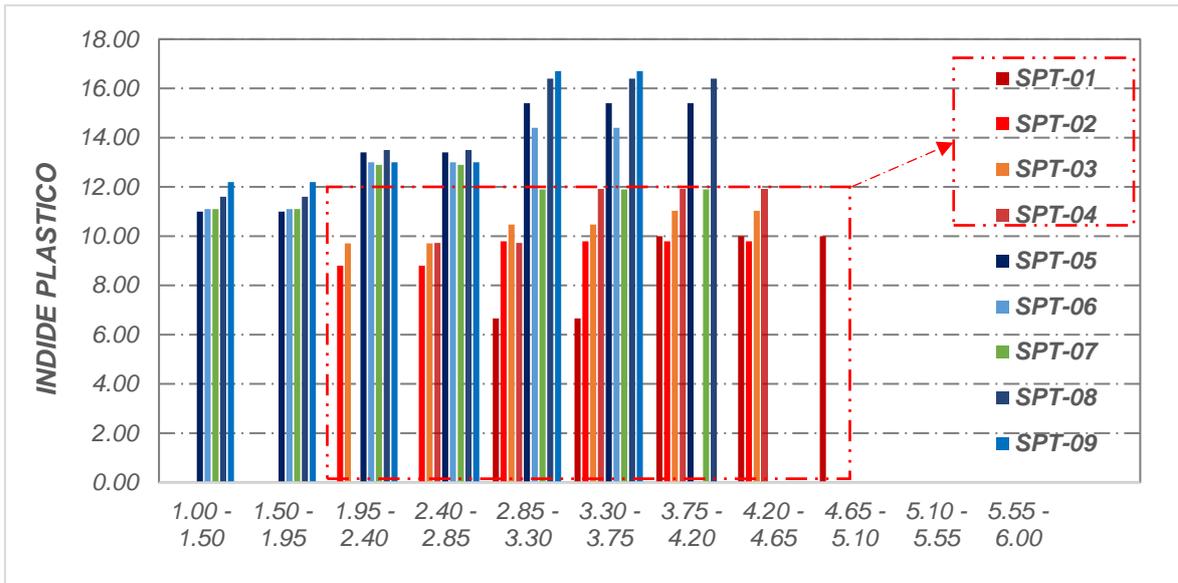


Figura 88. Índice Plástico vs Profundidad según sondaje

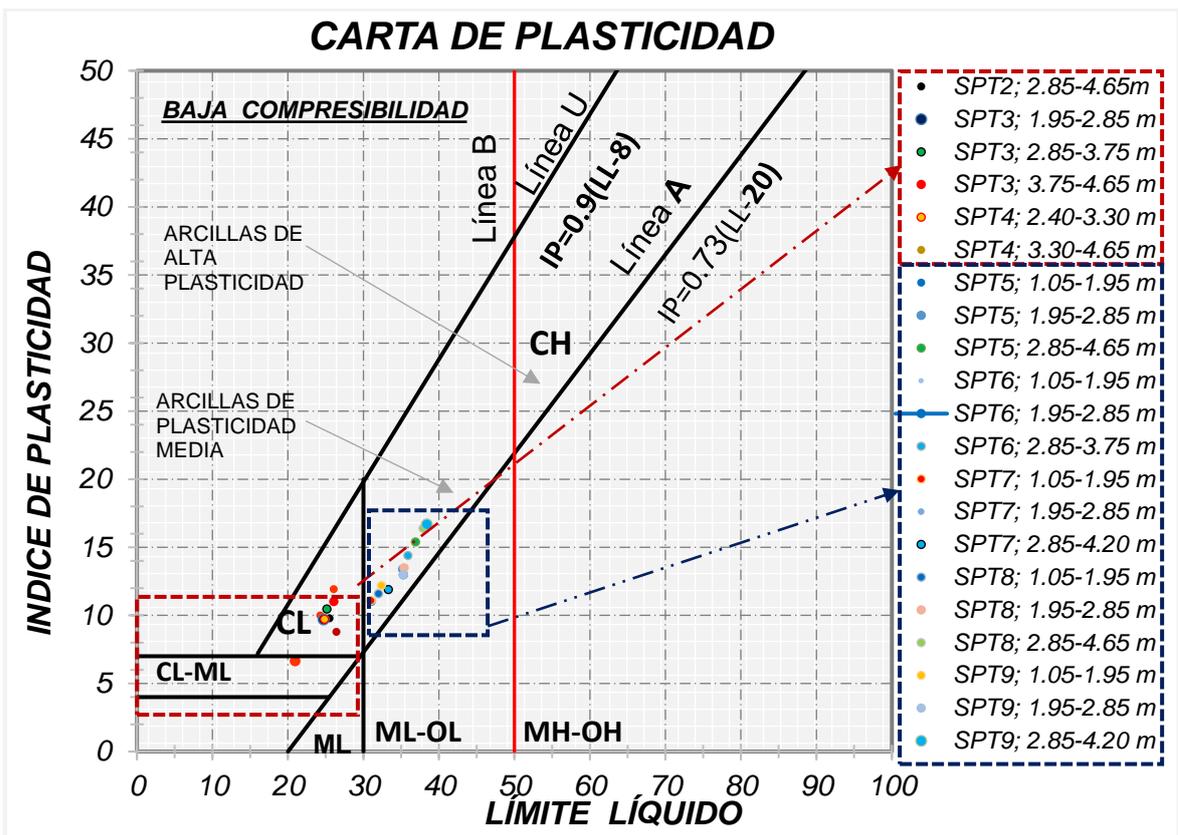


Figura 89. Plasticidad de los suelos a partir de sondajes SPT 01-09

Comentario: Esta gráfica nos permite identificar previo al análisis, que los suelos de la Zona I (SPT 01-04) son susceptibles de licuarse, debido a que presentan límites líquidos menores de 30, e índices de plasticidad menores de 12, mientras que la Zona II (SPT 05-09) presentan límites líquidos > 30 .

3.1.2.4 Clasificación de suelos

Tabla 55. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 01

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100- F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.05-1.50	M-1	0.42	95.16	4.84	47.58	2.77	0.95	NP	NP	NP	SP	Arena Mal graduada	98.76	80.23	A-3	-	Arena Fina
1.50-2.40	M-2	0.00	95.03	4.97	47.51	2.69	0.94	NP	NP	NP	SP	Arena Mal graduada	99.33	84.34	A-3	-	Arena Fina
2.40-3.30	M-3	0.00	78.75	20.63	39.68	3.74	0.86	20.95	14.29	6.66	SC	Arena Arcillosa	99.77	86.35	A-2	A-2-4	Arena Arcillosa
3.30-4.65	M-4	0.00	325.80	21.25	39.37	3.72	0.84	24.29	14.29	10.00	SC	Arena Arcillosa	99.77	86.46	A-2	A-2-4	Arena Arcillosa

Tabla 56. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 02

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100- F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa la #10	% Pasa la #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.50-1.95	M-1	0.41	95.81	4.19	47.90	2.75	0.95	NP	NP	NP	SP	Arena Mal graduada	99.29	83.31	A-3	-	Arena Fina
1.95-2.85	M-2	0.00	92.70	7.30	46.35	2.77	0.92	26.43	17.63	8.80	SP-SC	Arena Mal graduada con Arcilla	99.33	84.34	A-2	A-2-4	Arena con presencia de arcilla
2.85-4.65	M-3	4.51	71.71	28.29	35.86	4.10	0.38	25.10	15.71	9.39	SC	Arena Arcillosa	99.78	86.81	A-2	A-2-4	Arena Arcillosa

Tabla 57. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 03

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100-F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.50-1.95	M-1	5.98	95.02	4.98	47.51	3.78	0.62	NP	NP	NP	SP	Arena Mal graduada	92.50	60.11	A-3	-	Arena fina
1.95-2.85	M-2	7.75	88.51	11.49	44.25	3.51	1.08	24.71	15.00	9.71	SP-SC	Arena Mal graduada con Arcilla	90.10	85.47	A-3	-	Arena fina
2.85-3.75	M-3	3.13	69.38	30.62	34.69	3.99	0.25	25.17	14.70	10.47	SC	Arena Arcillosa	95.55	75.66	A-2	A-2-4	Arena Arcillosa
3.75-4.65	M-4	3.21	71.20	28.80	35.60	5.67	0.25	26.08	15.05	11.03	SC	Arena Arcillosa	95.43	75.02	A-2	A-2-6	Arena Arcillosa

Tabla 58. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 04

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100-F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.05-1.50	M-1	0.41	95.36	4.64	47.68	2.77	0.94	NP	NP	NP	SP	Arena Mal graduada	98.77	80.24	A-3	-	Arena Fina
1.50-2.85	M-2	0.41	95.03	4.97	47.52	2.89	0.91	NP	NP	NP	SP	Arena Mal graduada	98.77	80.16	A-3	-	Arena Fina
2.85-3.30	M-3	3.57	76.34	23.66	38.17	3.98	0.68	24.85	15.12	9.74	SC	Arena Arcillosa	95.20	78.79	A-2	A-2-4	Arena Arcillosa
3.30-4.65	M-4	3.89	78.71	21.29	39.36	4.13	0.77	26.08	14.16	11.92	SC	Arena Arcillosa	94.75	77.14	A-2	A-2-6	Arena Arcillosa

Tabla 59. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 05

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100-F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.05-1.95	M-1	0.90	61.86	38.14	30.93	3.82	0.26	31.10	20.10	11.00	SC	Arena Arcillosa	98.26	78.12	A-6	-	Suelo Arcilloso
1.95-2.85	M-2	0.96	60.60	39.40	30.30	3.47	0.29	35.20	21.80	13.40	SC	Arena Arcillosa	98.20	81.59	A-6	-	Suelo Arcilloso
2.85-4.20	M-3	4.94	66.56	33.44	33.28	4.00	0.25	36.90	21.50	15.40	SC	Arena Arcillosa	93.43	75.38	A-2	A-2-6	Arena Arcillosa

Tabla 60. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 06

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100-F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.05-1.95	M-1	2.36	62.44	37.56	31.22	4.05	0.25	31.40	20.30	11.10	SC	Arena Arcillosa	94.96	73.79	A-6	-	Suelo Arcilloso
1.95-2.85	M-2	0.88	61.00	39.00	30.50	3.59	0.28	35.30	22.30	13.00	SC	Arena Arcillosa	98.28	78.64	A-6	-	Suelo Arcilloso
2.85-3.90	M-3	4.53	60.00	40.00	30.00	3.64	0.27	35.90	21.50	14.40	SC	Arena Arcillosa	93.98	77.63	A-6	-	Suelo Arcilloso

Tabla 61. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 07

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100- F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.05-1.95	M-1	2.36	62.34	37.66	31.17	4.00	0.25	31.00	19.90	11.10	SC	Arena Arcillosa	95.21	74.01	A-6	-	Suelo Arcilloso
1.95-2.85	M-2	0.89	60.41	39.59	30.20	3.57	0.28	35.20	22.30	12.90	SC	Arena Arcillosa	98.26	78.76	A-6	-	Suelo Arcilloso
2.85-3.75	M-3	4.55	61.36	38.64	30.68	3.69	0.27	33.30	21.40	11.90	SC	Arena Arcillosa	93.95	77.33	A-6	-	Suelo Arcilloso

Tabla 62. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 08

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100- F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.05-1.95	M-1	0.94	65.11	34.89	32.55	4.02	0.25	32.00	20.40	11.60	SC	Arena Arcillosa	97.78	76.49	A-2	A-2-6	Suelo Arcilloso
1.95-2.85	M-2	0.96	63.47	36.53	31.74	3.92	0.25	35.40	21.90	13.50	SC	Arena Arcillosa	98.20	76.89	A-6	-	Suelo Arcilloso
2.85-4.20	M-3	4.56	63.87	36.13	31.93	3.90	0.26	37.90	21.50	16.40	SC	Arena Arcillosa	93.81	76.21	A-6	-	Suelo Arcilloso

Tabla 63. Clasificación del Suelo, sondaje SPT- 09

Prof. (m)	Muestra	% de Grava	% de Arena	% Finos	100-F/2	Cu	Cc	Plasticidad			Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO				
		Ret. #4	Ret. #200	Pasa #200				LL	LP	IP	Simb.	Descripción	% Pasa #10	% Pasa #40	Grupo	Sub Grupo	Descripción
1.05-1.95	M-1	2.37	62.71	37.29	31.36	4.03	0.25	32.40	20.20	12.20	SC	Arena Arcillosa	95.20	73.75	A-6	-	Suelo Arcilloso
1.95-2.85	M-2	0.89	61.48	38.52	30.74	3.62	0.28	35.30	22.30	13.00	SC	Arena Arcillosa	98.26	78.48	A-6	-	Suelo Arcilloso
2.85-3.75	M-3	4.55	60.25	39.75	30.12	3.64	0.27	38.40	21.70	16.70	SC	Arena Arcillosa	93.95	77.53	A-6	-	Suelo Arcilloso

Tabla 64. Tabla resumen clasificación SUCS con fines de evaluación de licuación del suelo

Prof. (m)	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
0.00 - 1.00	SP	SP	SP	SP	SC	SC	SC	SC	SC
1.00 - 1.50	SP	SP	SP	SP	SC	SC	SC	SC	SC
1.50 - 1.95	SP	SP	SP	SP	SC	SC	SC	SC	SC
1.95 - 2.40	SP	SP-SC	SP-SC	SP	SC	SC	SC	SC	SC
2.40 - 2.85	SC	SP-SC	SP-SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
2.85 - 3.30	SC								
3.30 - 3.75	SC								
3.75 - 4.20	SC								
4.20 - 4.65	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	-
4.65 - 5.10	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	-
5.10 - 5.55	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	-
5.55 - 6.00	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	-

3.1.2.5 Resistencia del terreno al esfuerzo cortante

Tabla 65. *Parámetros de resistencia del terreno al Esfuerzo cortante*

Z. (m)	SPT-01		SPT-02		SPT-03		SPT-04		SPT-05		SPT-06		SPT-07		SPT-08		SPT-09	
	Ø	C'																
0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	15.98	0.37	18.44	0.39	-	-	13.27	0.27	14.38	0.27
-2.0	9.28	0.04	10.46	0.09	13.20	0.09	9.27	0.06	-	-	-	-	13.79	0.25	-	-	-	-
-2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.4	10.70	0.10	-	-	-	-	11.06	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.9	-	-	11.64	0.13	13.34	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.2	17.39	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.6	-	-	17.85	0.23	-	-	17.09	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 66. Relación entre el Ángulo de fricción con el número de golpes N-SPT

Z. (m)	SPT-01		SPT-02		SPT-03		SPT-04		SPT-05		SPT-06		SPT-07		SPT-08		SPT-09		
	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	
0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	15.98	14	18.44	14	-	-	13.27	13	14.38	13	-
-2.0	9.28	6	10.46	5	13.20	8	9.27	6	-	-	-	-	13.79	13	-	-	-	-	-
-2.4	10.70	8	-	-	-	-	11.06	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.9	-	-	11.64	8	13.34	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.2	17.39	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.6	-	-	17.85	13	-	-	17.09	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

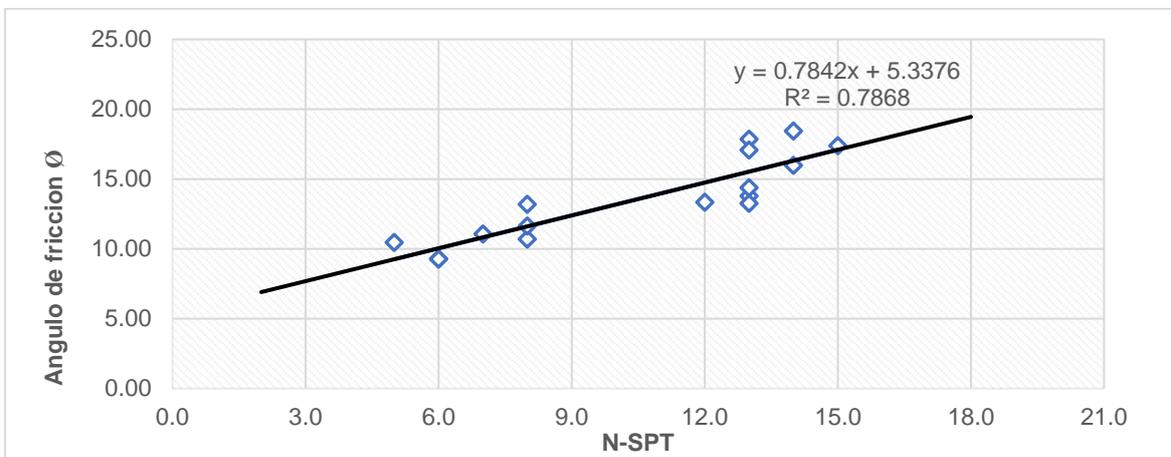


Figura 90. Relación entre el Ángulo de fricción y el número de golpes N-SPT

Tabla 67. Ángulos de fricción obtenidos en base a la relación entre NSPT-Ø

Z. (m)	SPT-01		SPT-02		SPT-03		SPT-04		SPT-05		SPT-06		SPT-07		SPT-08		SPT-09		
	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	Ø	N	
0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1.5	8.47	4	-	-	-	-	8.47	4	15.98	14	18.44	14	12.40	9	13.27	13	14.38	13	-
-2.0	9.28	6	10.46	5	13.20	8	9.27	6	18.67	17	20.24	19	13.79	13	17.10	15	17.88	16	-
-2.4	10.70	8	-	-	-	-	11.06	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.9	12.40	9	11.64	8	13.34	12	12.40	9	33.57	36	35.92	39	31.22	33	24.94	25	24.94	25	-
-3.2	17.39	15	-	-	-	-	-	-	-	-	35.92	39	32.00	34	-	-	32.00	34	-
-3.6	23.37	23	17.85	13	-	-	17.09	13	35.92	39	-	-	-	-	31.22	33	35.92	39	-
-3.8	26.51	27	17.10	15	23.37	23	-	-	37.49	41	32.78	35	-	-	32.78	35	-	-	-
-3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-4.1	28.08	29	-	-	-	-	-	-	38.27	42	-	-	-	-	35.14	38	-	-	-
-4.2	31.22	33	-	-	-	-	15.53	13	-	-	-	-	-	-	35.92	39	-	-	-
-4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-4.5	31.22	33	31.22	33	32.00	34	17.88	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.1.3 Análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA)

3.1.3.1 Aceleración máxima de sitio a_{max}

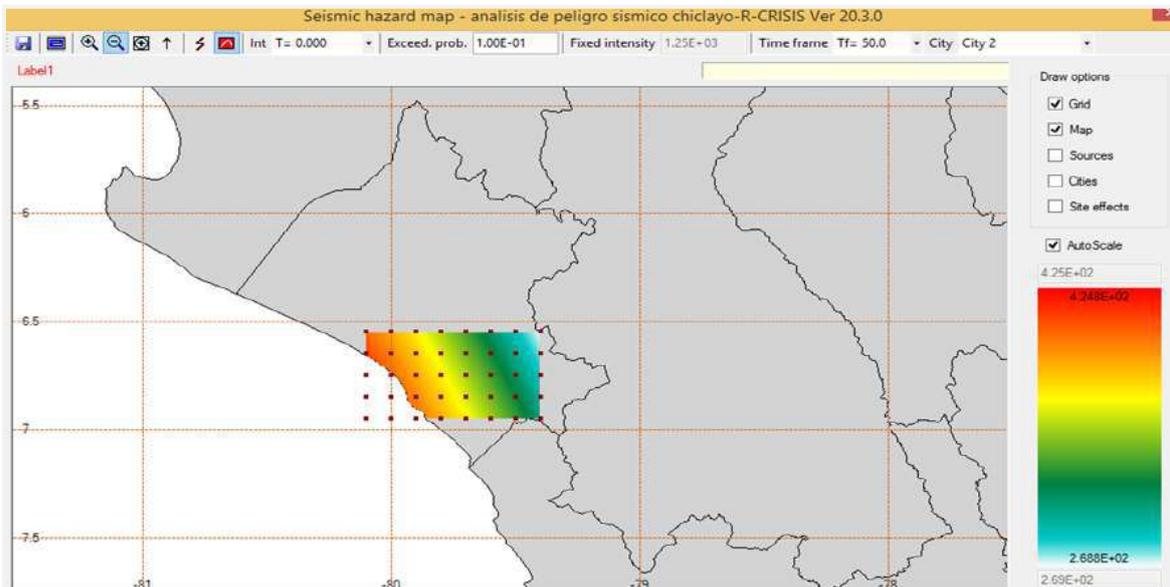


Figura 91. Mapa de peligro sísmico de sitio, para la provincia de Chiclayo

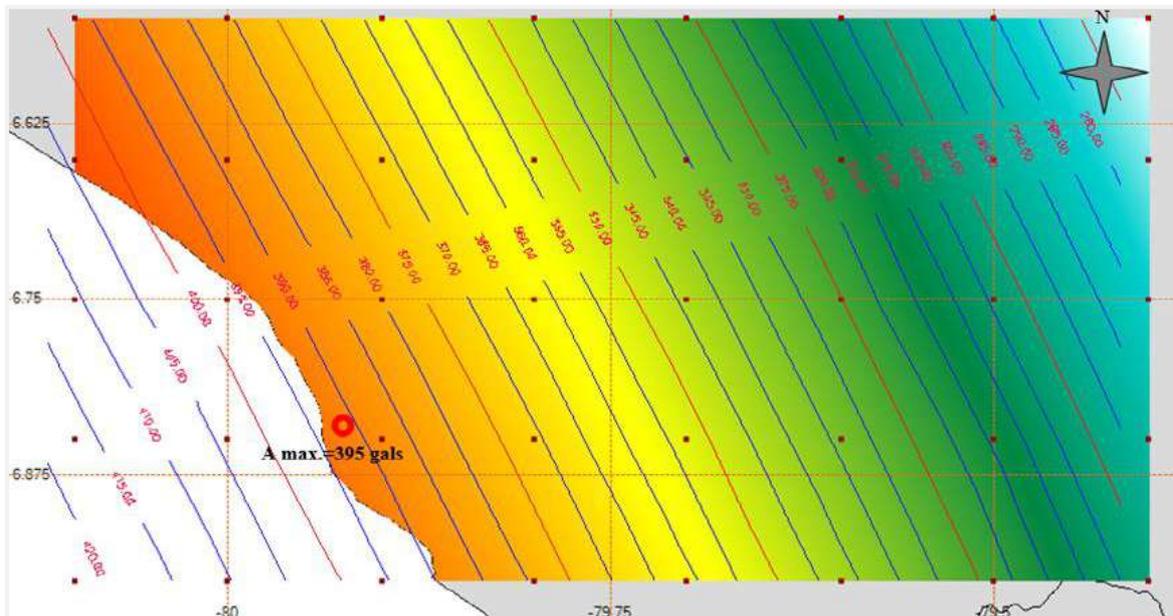


Figura 92. aceleraciones máximas específicas de sitio, para la provincia de Chiclayo

Comentario: Se puede observar que la aceleración máxima específica de sitio para las coordenadas geográficas de Santa Rosa es de 395 gals equivalente a 0.40 g. lo que se demuestra con la siguiente gráfica de intensidades máximas

Tabla 68. Intensidades máximas a partir del análisis de peligro sísmico PSHA para la Provincia de Chiclayo

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM		Aceleración	
W	S	Este	Norte	Gals	g
-80.1	-6.95	599420.46	9231683.97	424.80	0.43
-80.1	-6.85	599441.33	9242739.91	419.59	0.43
-80.1	-6.75	599461.89	9253795.80	413.64	0.42
-80.1	-6.65	599482.16	9264851.66	406.96	0.41
-80.1	-6.55	599502.12	9275907.46	399.64	0.41
-80.0	-6.95	610468.22	9231661.80	413.25	0.42
-80.0	-6.85	610491.41	9242718.05	406.83	0.41
-80.0	-6.75	610514.26	9253774.26	399.66	0.41
-80.0	-6.65	610536.77	9264830.43	391.84	0.40
-80.0	-6.55	610558.96	9275886.55	383.49	0.39
-79.9	-6.95	621516.31	9231637.30	399.05	0.41
-79.9	-6.85	621541.82	9242693.90	391.56	0.40
-79.9	-6.75	621566.90	9999862.83	383.40	0.39
-79.9	-6.65	621591.67	9999864.82	374.74	0.38
-79.9	-6.55	621616.07	9999866.82	365.73	0.37
-79.8	-6.95	632564.70	9999832.00	382.53	0.39
-79.8	-6.85	632592.52	9999834.37	374.26	0.38
-79.8	-6.75	632619.95	9999836.75	365.49	0.37
-79.8	-6.65	632646.97	9999839.12	356.40	0.36
-79.8	-6.55	632673.59	9999841.50	347.17	0.35
-79.7	-6.95	643613.53	9999802.83	364.31	0.37
-79.7	-6.85	643643.67	9999805.61	355.70	0.36
-79.7	-6.75	643673.38	9999808.40	346.74	0.35
-79.7	-6.65	643702.66	9999811.19	337.61	0.34
-79.7	-6.55	643731.50	9999813.98	328.45	0.33
-79.6	-6.95	654662.78	9999771.32	345.18	0.35
-79.6	-6.85	654695.25	9999774.55	336.62	0.34
-79.6	-6.75	654727.24	9999777.78	327.82	0.33
-79.6	-6.65	654758.77	9999781.01	318.98	0.33
-79.6	-6.55	654789.84	9999784.25	308.01	0.31
-79.5	-6.95	665712.49	9999737.48	325.85	0.33
-79.5	-6.85	665747.28	9999741.18	317.31	0.32
-79.5	-6.75	665781.56	9999744.89	306.89	0.31
-79.5	-6.65	665815.35	9999748.60	296.80	0.30
-79.5	-6.55	665848.63	9999752.32	287.17	0.29
-79.4	-6.95	676762.69	9999701.30	303.87	0.31
-79.4	-6.85	676799.80	9999705.51	294.73	0.30
-79.4	-6.75	676836.38	9999709.73	285.75	0.29
-79.4	-6.65	676872.41	9999713.95	277.04	0.28
-79.4	-6.55	676907.92	9999718.18	268.80	0.27



Figura 93. Intensidades máximas para el distrito de Santa Rosa.

Nota: los valores de aceleraciones máximas son para un periodo de retorno de 475 años con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, periodo espectral de 0.00 segundos vista izquierda y espectro de peligro uniforme a la derecha

Tabla 69. Intensidades máximas a partir del análisis de peligro sísmico PSHA para Santa Rosa

Aceleración Max. de sitio (Gals)	Prob. de Excedencia 1/tr, tr= 50 años, p= 10%	
	En la roca	En el suelo
1.00	1.00	1.00
1.51	1.00	1.00
2.28	1.00	1.00
3.44	1.00	1.00
5.19	1.00	1.00
7.84	1.00	1.00
11.80	1.00	1.00
17.90	1.00	1.00
27.00	1.00	1.00
40.70	1.00	1.00
61.40	0.99	0.99
92.70	0.94	0.94
140.00	0.75	0.78
211.00	0.45	0.52
319.00	0.19	0.27
481.00	0.06	0.11
727.00	0.01	0.04
1100.00	0.00	0.01
1660.00	0.00	0.00
2500.00	0.00	0.00

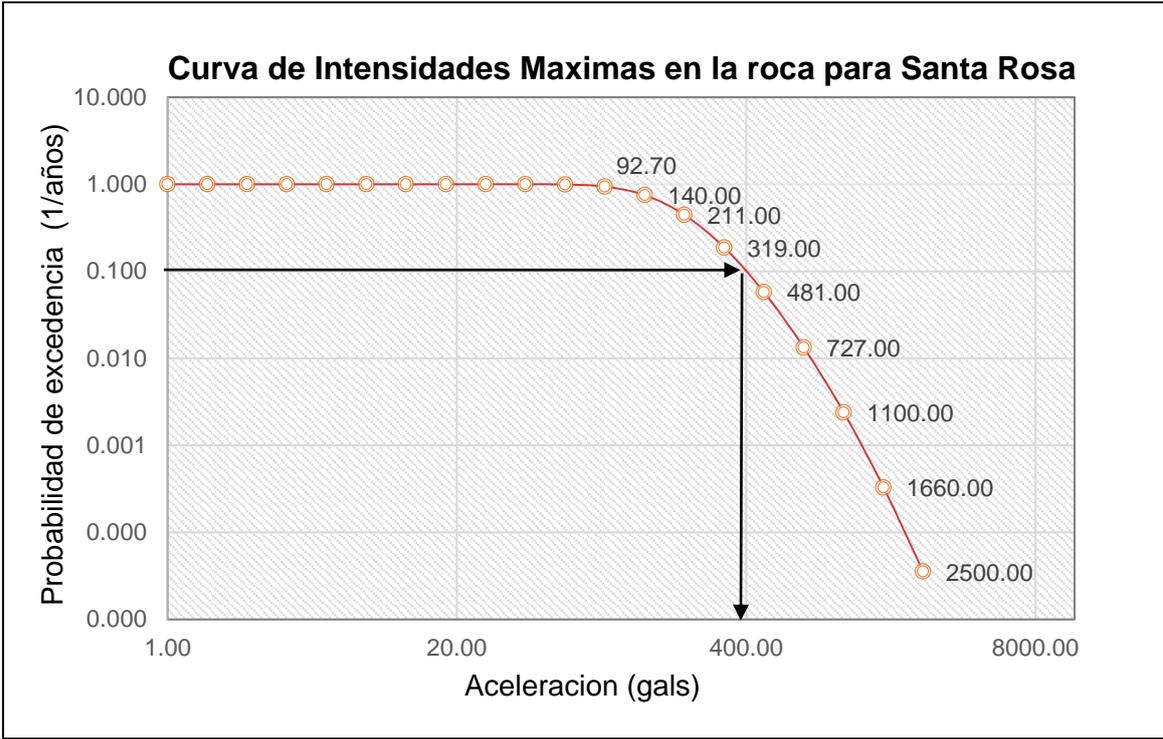


Figura 94. Aceleraciones máximas en la roca para Santa Rosa, Chiclayo

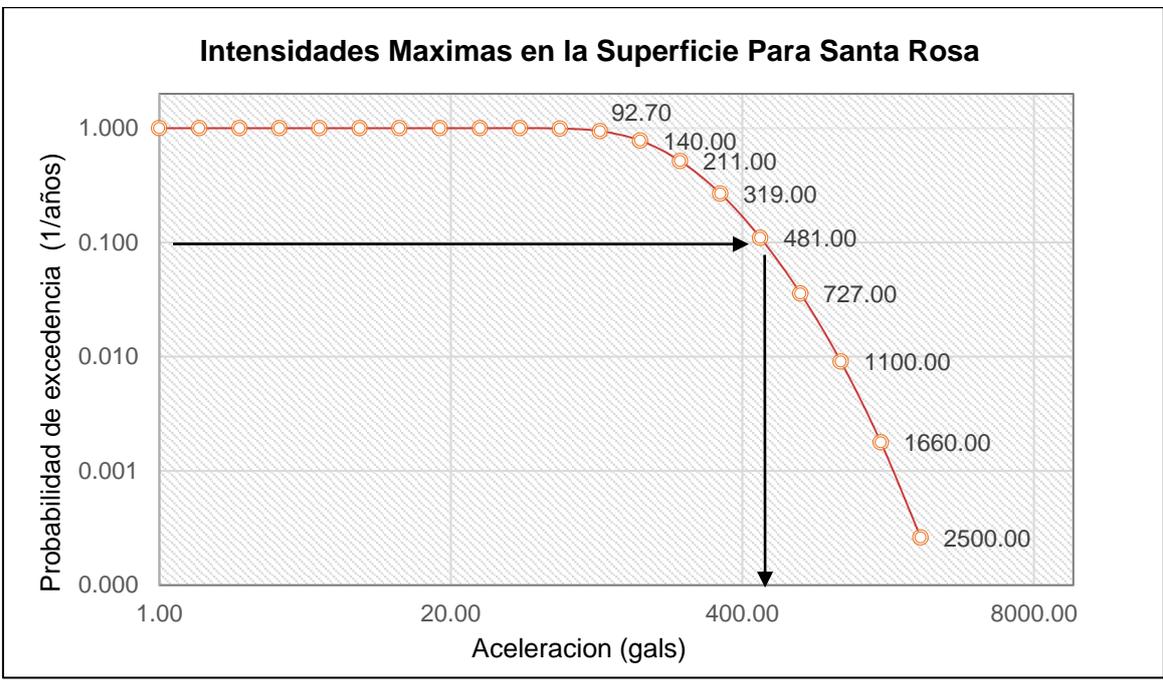


Figura 95. Aceleraciones máximas en la superficie del suelo para Santa Rosa, Chiclayo

Nota: $T_r = 475$ años con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, para un periodo espectral de 0.00 segundos

3.1.3.2 Espectros de Respuesta de peligro sísmico específico de sitio

Tabla 70. Aceleraciones espectrales obtenidas del análisis de peligro sísmico

T (S)	Subducción- Intraplaca			Subducción- Interfase			corteza	respuesta de sitio en roca
	Abrahamson et al. (2016)	Zhao et al 2006	Youngs et al. (1997)	Abrahamson et al. (2016)	Zhao et al 2006	Youngs et al. (1997)	Sadigh et al 1997	
0.00	0.72	0.20	0.31	0.22	0.11	0.21	0.28	0.40
0.05	1.07	0.31	0.47	0.26	0.16	0.32	0.38	0.59
0.10	1.83	0.55	0.62	0.46	0.31	0.42	0.52	0.76
0.15	1.98	0.61	0.64	0.54	0.37	0.44	0.58	0.81
0.20	1.83	0.58	0.67	0.52	0.35	0.45	0.65	0.86
0.25	1.58	0.53	0.62	0.49	0.34	0.42	0.64	0.80
0.30	1.36	0.49	0.57	0.47	0.31	0.39	0.63	0.75
0.35	1.22	0.47	0.53	0.47	0.28	0.36	0.58	0.71
0.45	0.94	0.42	0.47	0.43	0.24	0.32	0.50	0.67
0.50	0.81	0.40	0.45	0.40	0.22	0.30	0.46	0.64
0.55	0.72	0.37	0.41	0.37	0.20	0.28	0.43	0.62
0.60	0.63	0.34	0.38	0.35	0.18	0.26	0.40	0.57
0.65	0.58	0.32	0.35	0.33	0.17	0.24	0.38	0.53
0.70	0.53	0.30	0.32	0.31	0.16	0.22	0.35	0.49
0.75	0.47	0.28	0.29	0.30	0.15	0.20	0.32	0.45
0.80	0.44	0.27	0.27	0.28	0.14	0.18	0.31	0.41
0.85	0.41	0.24	0.25	0.27	0.13	0.17	0.29	0.39
0.90	0.38	0.22	0.24	0.25	0.13	0.16	0.28	0.36
1.00	0.32	0.19	0.20	0.22	0.11	0.14	0.25	0.29
1.10	0.28	0.17	0.18	0.20	0.10	0.12	0.23	0.28
1.20	0.25	0.15	0.17	0.18	0.09	0.11	0.21	0.25
1.30	0.22	0.14	0.15	0.16	0.08	0.10	0.19	0.23
1.40	0.18	0.12	0.13	0.14	0.07	0.09	0.17	0.21
1.50	0.15	0.11	0.11	0.12	0.07	0.08	0.16	0.19
1.60	0.14	0.10	0.10	0.11	0.06	0.07	0.15	0.18
1.70	0.13	0.09	0.10	0.10	0.06	0.07	0.14	0.17
1.80	0.12	0.08	0.09	0.09	0.05	0.06	0.13	0.15
1.90	0.11	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.12	0.14
2.00	0.10	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.11	0.13
2.10	0.09	0.06	0.07	0.07	0.04	0.05	0.11	0.13
2.20	0.09	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.10	0.12
2.30	0.08	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.10	0.12
2.40	0.08	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.09	0.11
2.50	0.07	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.09	0.11
2.60	0.07	0.04	0.05	0.05	0.03	0.03	0.08	0.10
2.70	0.07	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.08	0.09
2.80	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.09
2.90	0.06	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02	0.07	0.09
3.00	0.06	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.06	0.09

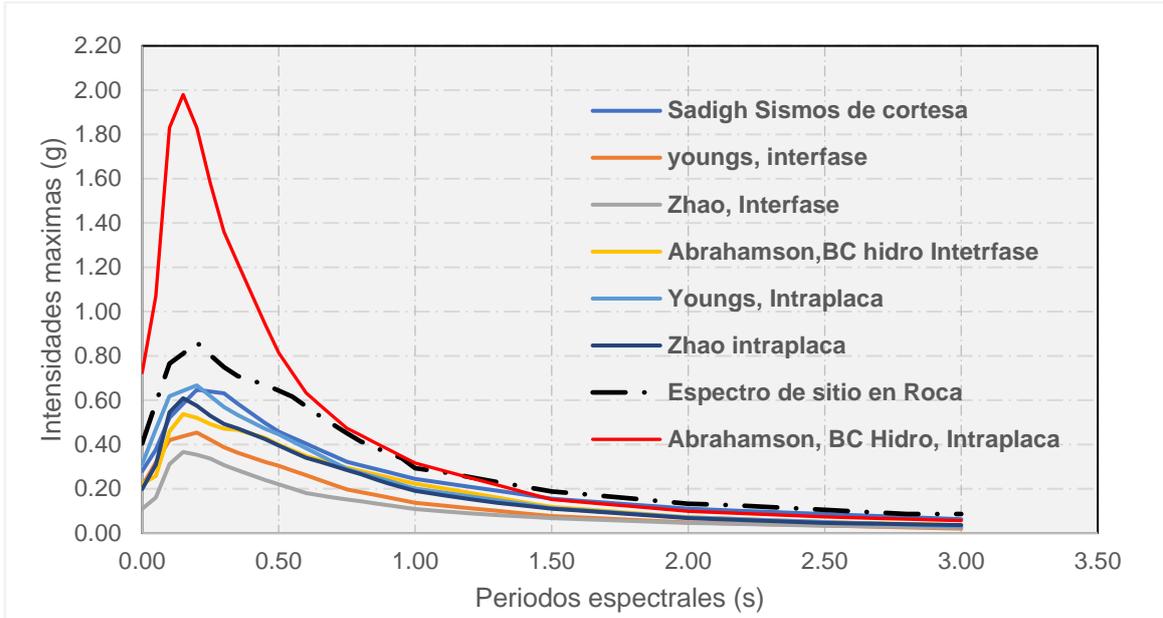


Figura 96. Espectros de respuesta de sitio de Santa Rosa en la roca, con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años para un sismo de $T_r=475$ años

Nota: Los espectros presentados se obtuvieron a partir de las ecuaciones de predicción de movimiento del Suelo “GMPE” cuyos valores se presentan en la Tabla 70, en esta grafica se observa que la ecuación de Abrahamson y Bc Hidro 2016-intraplaca presenta un desfase para periodos cortos.

▪ **Espectros de Peligro uniforme**

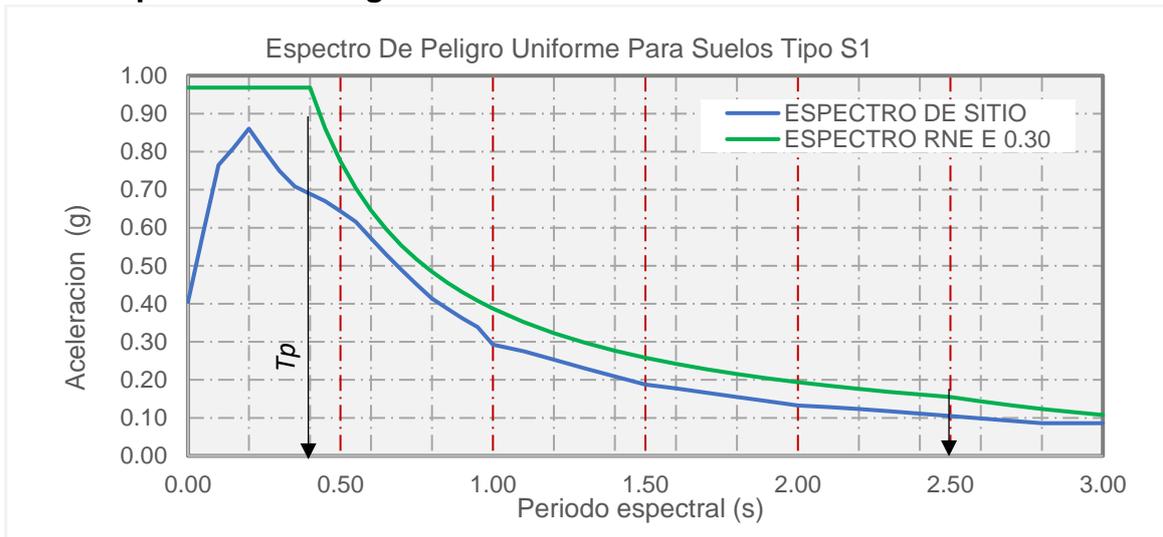
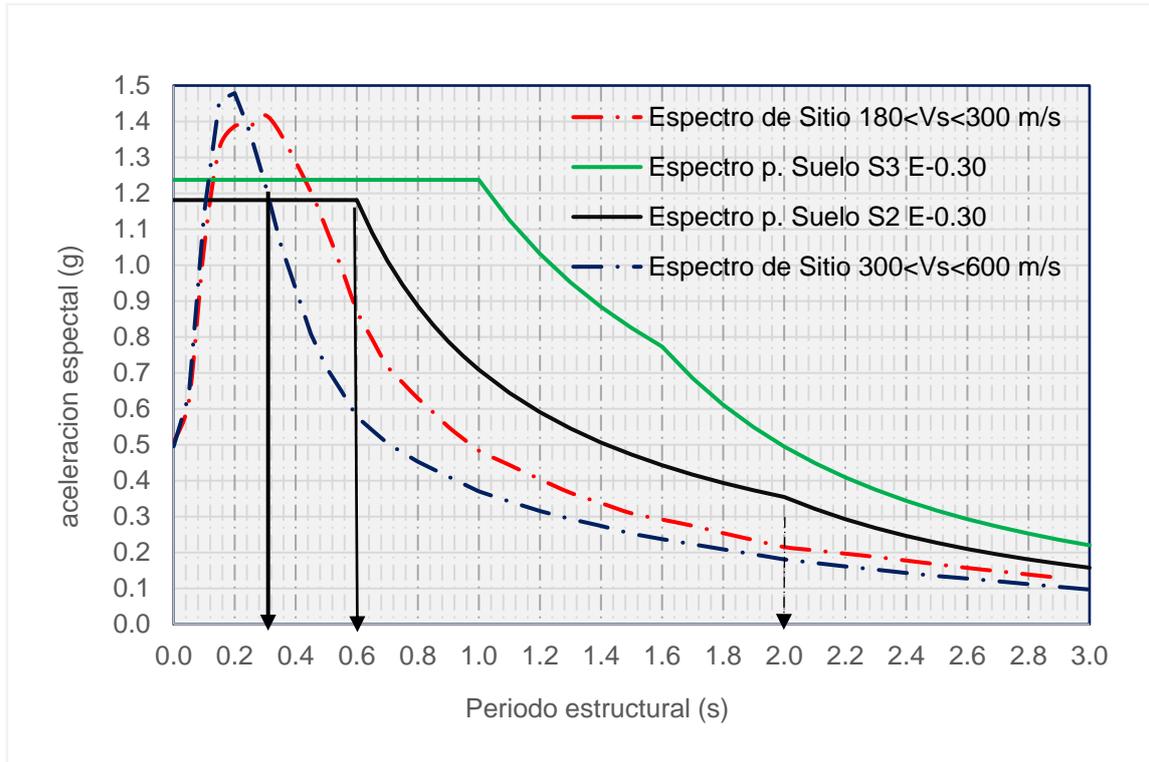


Figura 97. Espectros de Peligro Uniforme en la roca para Santa Rosa.

Comentario: Se puede observar que las aceleraciones máximas corresponden a un suelo tipo S1, los periodos espectrales están dentro de los valores de T_p y T_L indicados en la norma e 0.30

Figura 98. Espectros de peligro uniforme para suelos



Comentario: se presenta un periodo fundamental de vibración cuando $0.2 < T < 0.3$ s que indica una amplificación de la aceleración pico PGA. Por lo que se recomienda evaluar el coeficiente de amplificación sísmica “C” de la norma e 0.30, mediante análisis tiempo historia para el diseño sísmico de estructuras de dos y tres niveles que por lo general corresponden a periodos cortos, los valores de T_p y T_L cumplen con los requisitos para un suelo tipo S2,

3.1.3.3 Magnitud máxima de momento sísmico M_w

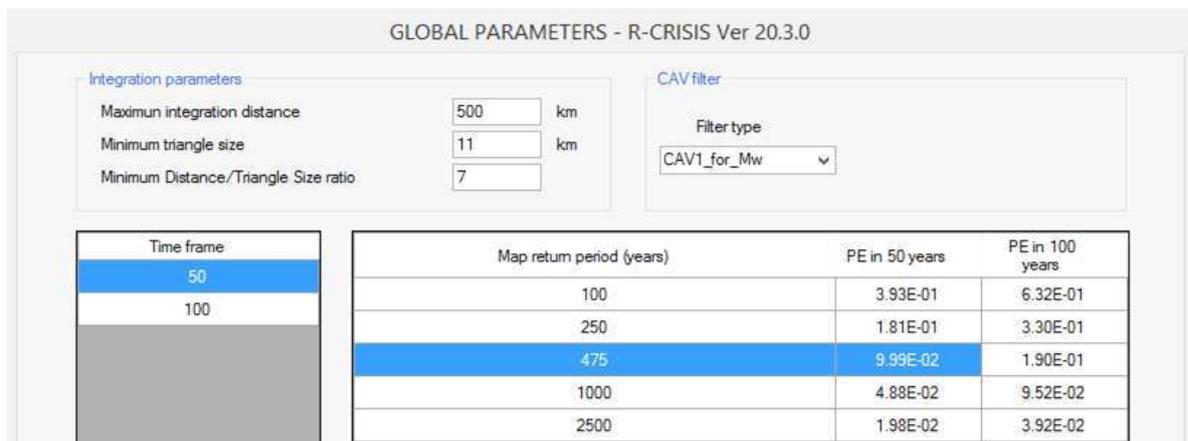


Figura 99. Parámetros globales para el análisis de Magnitud máxima a de momento sísmico M_w

Comentario: los parámetros globales se definieron en función de las fuentes sísmicas además se consideró hacer el análisis para un sismo de tipo raro que corresponde a un periodo de retorno de 475 años con una probabilidad de ser excedido en 10 % por cada 50 años. Se consideró una distancia máxima de 500 km de radio.

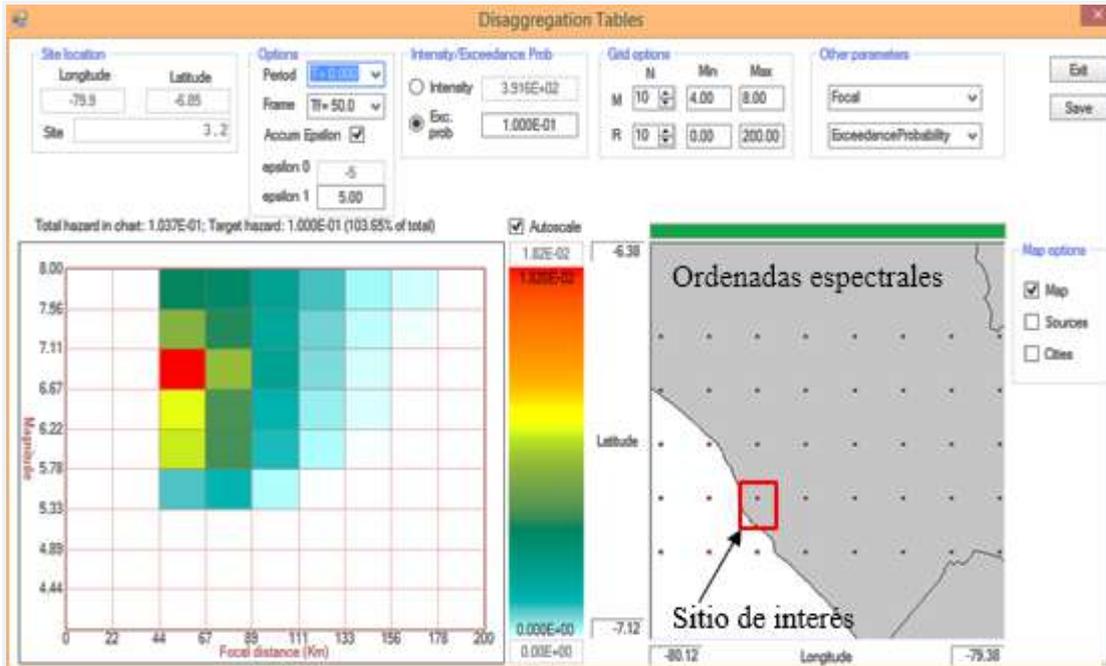


Figura 100. Magnitud máxima de momento sísmico probable para un sismo de tipo raro periodo de retorno de 475 años con una probabilidad de ser excedido en 10% cada 50 años.

Tabla 71. Probabilidad de superación de un evento sísmico específico de sitio

R-CRISIS	Version	20.3.0.0								
Desagregacion Sismica a partir de la Estimacion del Peligro Sismico de Santa Rosa, Chiclayo										
Site:	-79.9	-6.85								
Period	No.	:								
Period	:	0.00	Sec.							
Time	frame	No:	1							
Intensity	level:	391.60 gals								
Probability	level:	0.10								
<i>Probabilidad de superacion del evento sismico por distancia Focal en Km</i>										
Magnitud Mw	0.0000	22.2200	44.4400	66.6700	88.8900	111.1000	133.3000	155.6000	177.8000	200.0000
4.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4.44	0.00E+00	0.00E+00	1.49E-06	3.13E-07	1.93E-08	1.67E-09	2.05E-10	2.65E-11	4.27E-12	0.00E+00
4.89	0.00E+00	0.00E+00	4.05E-05	1.51E-05	1.50E-06	1.90E-07	3.17E-08	5.94E-09	2.02E-09	0.00E+00
5.33	0.00E+00	0.00E+00	1.51E-03	2.05E-03	4.70E-04	1.16E-04	3.09E-05	8.25E-06	3.67E-06	0.00E+00
5.78	0.00E+00	0.00E+00	9.99E-03	6.26E-03	1.76E-03	4.71E-04	1.24E-04	3.40E-05	1.48E-05	0.00E+00
6.22	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-02	6.36E-03	2.14E-03	6.84E-04	2.12E-04	7.02E-05	3.49E-05	0.00E+00
6.67	0.00E+00	0.00E+00	1.82E-02	8.73E-03	3.18E-03	9.94E-04	2.50E-04	8.43E-05	1.99E-05	0.00E+00
7.11	0.00E+00	0.00E+00	8.19E-03	5.76E-03	2.85E-03	1.14E-03	3.51E-04	1.41E-04	3.85E-05	0.00E+00
7.56	0.00E+00	0.00E+00	5.47E-03	5.10E-03	3.22E-03	1.58E-03	5.70E-04	2.67E-04	8.18E-05	0.00E+00
8.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Comentario: según esta tabla de desagregación sísmica se puede predecir la probabilidad de superación de un evento sísmico para las coordenadas espectrales de la zona de estudio dando como resultado eventos sísmicos de magnitudes entre 5.78 y 7.11 Mw, y una distancia focal de 44.4 km.

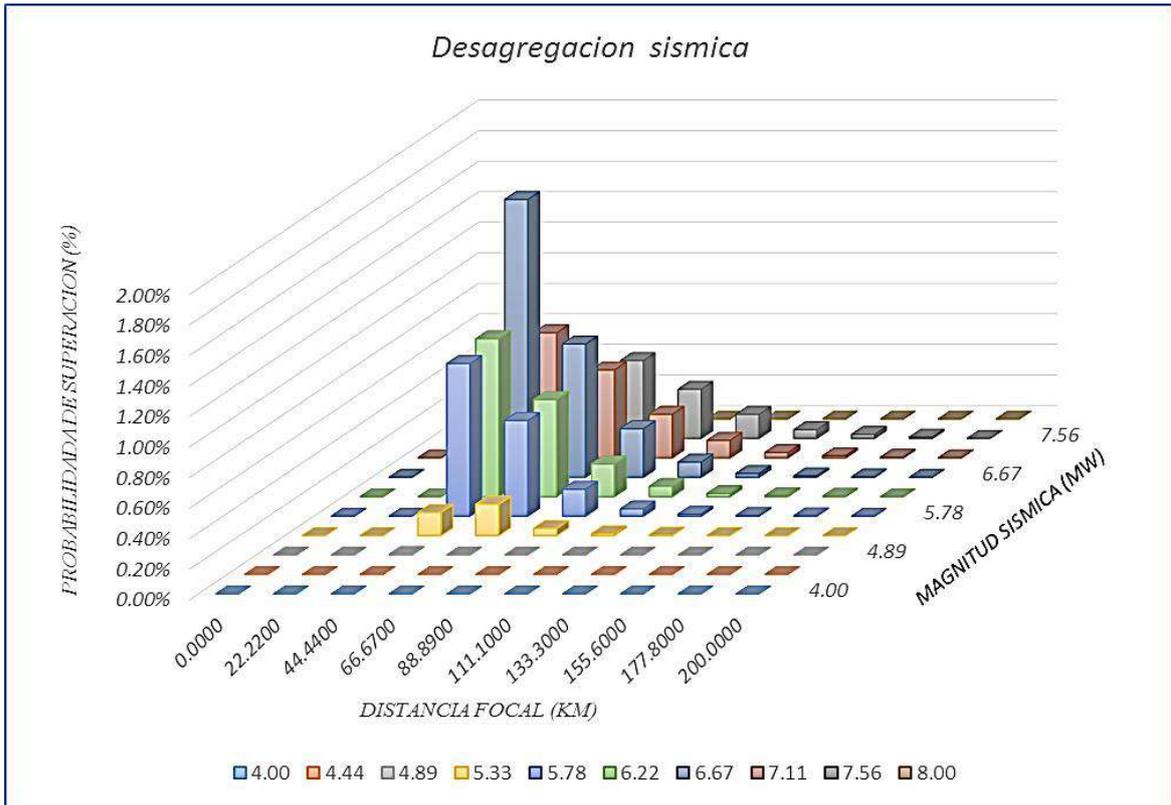


Figura 101. Desagregación del peligro sísmico específico de sitio

Comentario: la desagregación sísmica nos permite predecir la probabilidad de superación de un evento sísmico, en este caso se evaluó las coordenadas espectrales de la zona de estudio dando como resultado un evento sísmico de Magnitud entre 6.67 y 7.11 Mw, para una distancia focal de 44.4 km. Con respecto al análisis y evaluación de la licuación de suelos se tomará como referencia los valores próximos entre 6.0 y 7.5 Mw, por criterios conservadores

3.1.4 Análisis y Evaluación de la licuación de suelos y sus efectos en la superficie

3.1.4.1 Análisis determinístico por el Método simplificado Seed e Idriss

Tabla 72.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf= 2.10 m.

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.00		0.000					0.000					0.050	0.277	0.18	
1.50	4.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.84	3.9	0.243	0.243	1.700	6.69	0.996	0.065	0.277	0.23	LICUA
1.95	4.05	0.45	6.398		1.62	4.97	6.2	0.315	0.315	1.700	10.52	0.996	0.123	0.277	0.44	LICUA
2.40	3.60	0.45	7.874		1.89	4.97	7.9	0.400	0.355	1.678	13.21	0.995	0.157	0.312	0.50	LICUA
2.85	3.15	0.45	9.350		1.89	20.63	9.6	0.485	0.395	1.591	15.21	0.994	0.177	0.340	0.52	LICUA
3.30	2.70	0.45	10.827	SC	1.89	20.63	21.6	0.570	0.435	1.516	32.75	0.991	1.500	0.362	4.15	NO LICUA
3.75	2.25	0.45	12.303		1.86	21.25	30.0	0.654	0.474	1.453	43.59	0.988	1.500	0.380	3.95	NO LICUA
4.20	1.80	0.45	13.780		1.86	21.25	39.5	0.737	0.512	1.397	55.23	0.984	1.500	0.394	3.80	NO LICUA
4.65	1.35	0.45	15.256		1.86	21.25	42.7	0.821	0.551	1.347	57.54	0.980	1.500	0.406	3.69	NO LICUA
5.10	0.90	0.45	16.732		1.86	21.25	44.6	0.905	0.590	1.302	58.10	0.975	1.500	0.416	3.60	NO LICUA
5.55	0.45	0.45	18.209		1.86	21.25	47.8	0.989	0.629	1.261	60.30	0.969	1.500	0.424	3.53	NO LICUA
6.00	0.00	0.45	19.685	1.86	21.25	49.7	1.073	0.668	1.224	60.86	0.963	1.500	0.431	3.48	NO LICUA	

Notas: cota del terreno =6.00 msnm, a_{max} = 0.43 g, Ms= 7.5 Mw, nivel freático estático Z=-2.10 m, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 73. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf= 1.50 m.

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.00		0.000					0.000					0.050	0.277	0.18	
1.50	4.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.84	3.9	0.243	0.243	1.700	6.69	0.996	0.065	0.277	0.23	LICUA
1.95	4.05	0.45	6.398		1.62	4.97	6.2	0.315	0.315	1.700	10.52	0.996	0.123	0.277	0.44	LICUA
2.40	3.60	0.45	7.874		1.89	4.97	7.9	0.400	0.355	1.678	13.21	0.995	0.157	0.312	0.50	LICUA
2.85	3.15	0.45	9.350		1.89	20.63	9.6	0.485	0.395	1.591	15.21	0.994	0.177	0.340	0.52	LICUA
3.30	2.70	0.45	10.827	SC	1.89	20.63	21.6	0.570	0.435	1.516	32.75	0.991	1.500	0.362	4.15	NO LICUA
3.75	2.25	0.45	12.303		1.86	21.25	30.0	0.654	0.474	1.453	43.59	0.988	1.500	0.380	3.95	NO LICUA
4.20	1.80	0.45	13.780		1.86	21.25	39.5	0.737	0.512	1.397	55.23	0.984	1.500	0.394	3.80	NO LICUA
4.65	1.35	0.45	15.256		1.86	21.25	42.7	0.821	0.551	1.347	57.54	0.980	1.500	0.406	3.69	NO LICUA
5.10	0.90	0.45	16.732		1.86	21.25	44.6	0.905	0.590	1.302	58.10	0.975	1.500	0.416	3.60	NO LICUA
5.55	0.45	0.45	18.209		1.86	21.25	47.8	0.989	0.629	1.261	60.30	0.969	1.500	0.424	3.53	NO LICUA
6.00	0.00	0.45	19.685		1.86	21.25	49.7	1.073	0.668	1.224	60.86	0.963	1.500	0.431	3.48	NO LICUA

Tabla 74. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, sondaje SPT-01, Nf=1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.00		0.000					0.000	0				0.080	0.277	0.29	
1.50	4.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.84	3.9	0.243	0.243	2.031	6.69	0.996	0.085	0.277	0.31	LICUA
1.95	4.05	0.45	6.398		1.62	4.97	6.2	0.315	0.315	1.781	10.52	0.996	0.161	0.277	0.58	LICUA
2.40	3.60	0.45	7.874		1.89	4.97	7.9	0.400	0.355	1.678	13.21	0.995	0.206	0.312	0.66	LICUA
2.85	3.15	0.45	9.350		1.89	20.63	9.6	0.485	0.395	1.591	15.21	0.994	0.233	0.340	0.69	LICUA
3.30	2.70	0.45	10.827	SC	1.89	20.63	21.6	0.570	0.435	1.516	32.75	0.991	1.500	0.362	4.15	NO LICUA
3.75	2.25	0.45	12.303		1.86	21.25	30.0	0.654	0.474	1.453	43.59	0.988	1.500	0.380	3.95	NO LICUA
4.20	1.80	0.45	13.780		1.86	21.25	39.5	0.737	0.512	1.397	55.23	0.984	1.500	0.394	3.80	NO LICUA
4.65	1.35	0.45	15.256		1.86	21.25	42.7	0.821	0.551	1.347	57.54	0.980	1.500	0.406	3.69	NO LICUA
5.10	0.90	0.45	16.732		1.86	21.25	44.6	0.905	0.590	1.302	58.10	0.975	1.500	0.416	3.60	NO LICUA
5.55	0.45	0.45	18.209		1.86	21.25	47.8	0.989	0.629	1.261	60.30	0.969	1.500	0.424	3.53	NO LICUA
6.00	0.00	0.45	19.685		1.86	21.25	49.7	1.073	0.668	1.224	60.86	0.963	1.500	0.431	3.48	NO LICUA

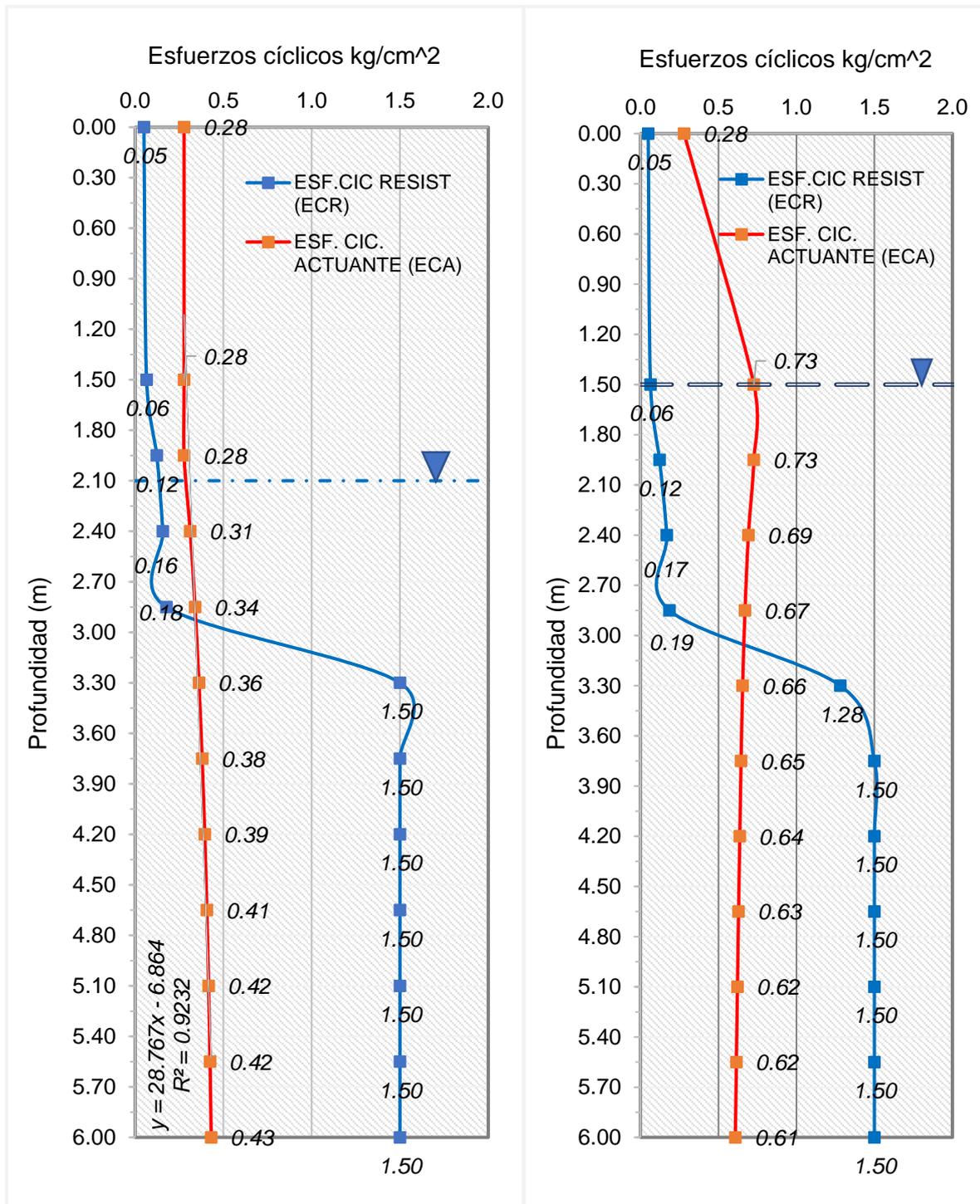
Tabla 75. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf=2.10 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	Y (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ_v (Kg/cm ²)	σ'_v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.000		0.000			4.84		0.000	0.00				0.180	0.277	0.65	
1.50	4.500	1.500	4.921	SP	1.62	4.84	3.9	0.243	0.243	2.031	6.69	0.996	0.109	0.277	0.39	LICUA
1.95	4.050	0.450	6.398		1.62	4.97	6.8	0.315	0.315	1.781	11.57	0.996	0.230	0.277	0.83	LICUA
2.40	3.600	0.450	7.874		1.89	4.97	8.7	0.400	0.355	1.678	14.53	0.995	0.287	0.312	0.92	LICUA
2.85	3.150	0.450	9.350	SC	1.89	20.63	12.0	0.485	0.395	1.591	19.01	0.994	0.347	0.340	1.02	NO LICUA
3.30	2.700	0.450	10.827		1.89	20.63	21.6	0.570	0.435	1.516	32.75	0.991	1.500	0.362	4.15	NO LICUA
3.75	2.250	0.450	12.303		1.86	21.25	30.0	0.654	0.474	1.453	43.59	0.988	1.500	0.380	3.95	NO LICUA
4.20	1.800	0.450	13.780		1.86	21.25	39.5	0.737	0.512	1.397	55.23	0.984	1.500	0.394	3.80	NO LICUA
4.65	1.350	0.450	15.256		1.86	21.25	42.7	0.821	0.551	1.347	57.54	0.980	1.500	0.406	3.69	NO LICUA
5.10	0.900	0.450	16.732		1.86	21.25	44.6	0.905	0.590	1.302	58.10	0.975	1.500	0.416	3.60	NO LICUA
5.55	0.450	0.450	18.209		1.86	21.25	47.8	0.989	0.629	1.261	60.30	0.969	1.500	0.424	3.53	NO LICUA
6.00	0.000	0.450	19.685	1.86	21.25	49.7	1.073	0.668	1.224	60.86	0.963	1.500	0.431	3.48	NO LICUA	

Tabla 76. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-01, Nf=1.50 m

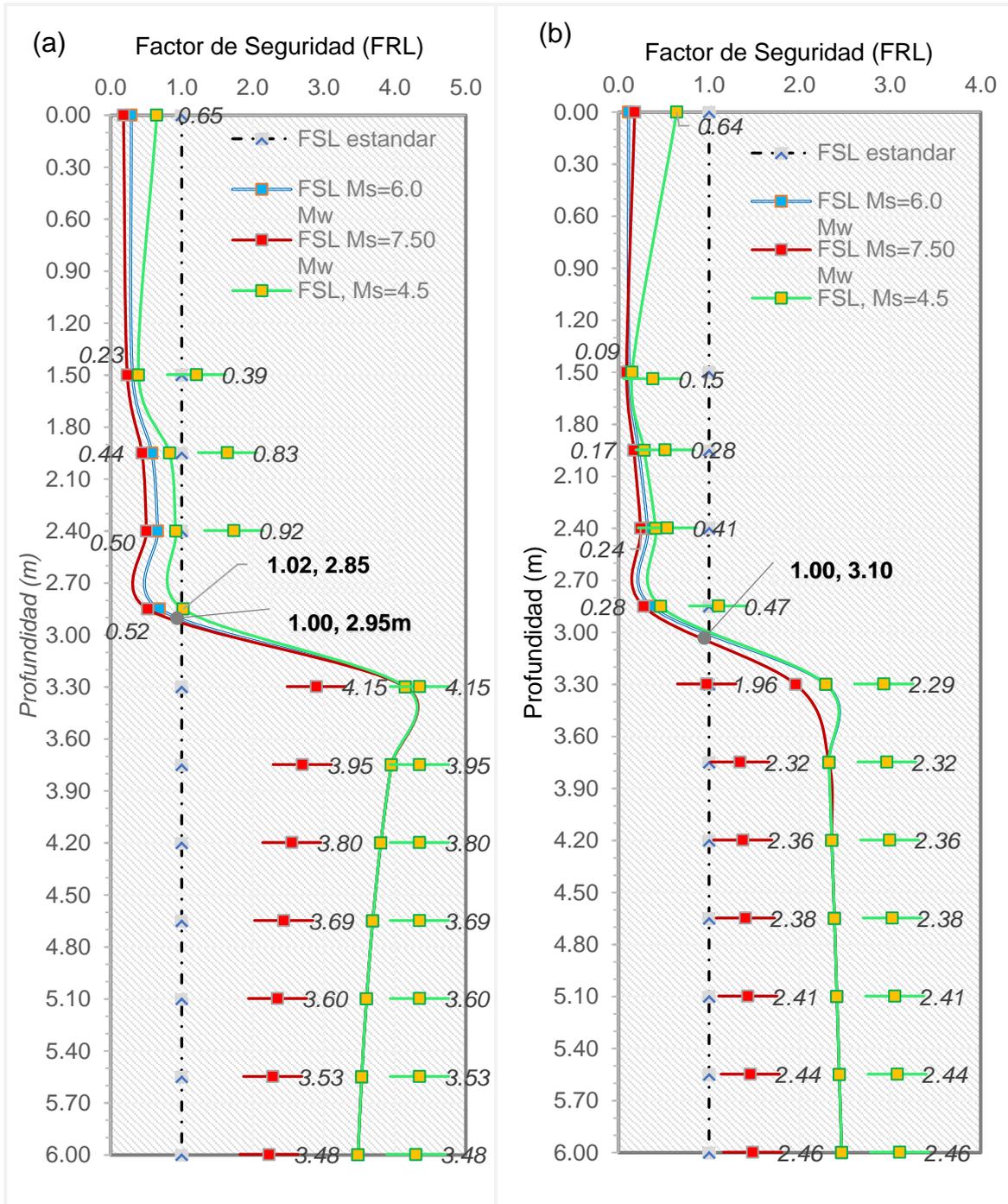
Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	Y (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ_v (Kg/cm ²)	σ'_v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.00		0.000					0.000					0.180	0.280	0.64	
1.50	4.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.84	3.9	0.243	0.093	3.288	6.69	0.996	0.109	0.727	0.15	LICUA
1.95	4.05	0.45	6.398		1.62	4.99	6.2	0.315	0.120	2.884	10.52	0.996	0.206	0.727	0.28	LICUA
2.40	3.60	0.45	7.874		1.89	4.99	8.4	0.400	0.160	2.498	14.34	0.995	0.283	0.692	0.41	LICUA
2.85	3.15	0.45	9.350	SC	1.89	23.29	9.6	0.485	0.200	2.235	16.26	0.994	0.312	0.670	0.47	LICUA
3.30	2.70	0.45	10.827		1.89	23.29	21.6	0.570	0.240	2.041	36.72	0.991	1.500	0.655	2.29	NO LICUA
3.75	2.25	0.45	12.303		1.86	28.02	30.0	0.654	0.279	1.894	51.00	0.988	1.500	0.645	2.32	NO LICUA
4.20	1.80	0.45	13.780		1.86	28.02	39.5	0.737	0.317	1.776	67.19	0.984	1.500	0.637	2.36	NO LICUA
4.65	1.35	0.45	15.256		1.86	28.02	42.7	0.821	0.356	1.676	71.58	0.980	1.500	0.629	2.38	NO LICUA
5.10	0.90	0.45	16.732		1.86	28.02	44.6	0.905	0.395	1.591	71.02	0.975	1.500	0.622	2.41	NO LICUA
5.55	0.45	0.45	18.209		1.86	28.02	47.8	0.989	0.434	1.518	72.60	0.969	1.500	0.615	2.44	NO LICUA
6.00	0.00	0.45	19.685	1.86	28.02	49.7	1.073	0.473	1.455	72.34	0.963	1.500	0.609	2.46	NO LICUA	

Figura 102. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-01, escala de momento sísmico 7.5 Mw.



Comentario: las curvas de esfuerzos cíclicos nos muestran el incremento de los esfuerzos actuantes (ECA), debido a la elevación del agua subterránea en condiciones dinámicas. Así mismo indican que el factor de seguridad capaz de sostener la demanda cíclica se encontraría por debajo de los 3.10 m de profundidad

Figura 103. Profundidades de activación de la licuación del suelo, estado inicial (a) y dinámico de esfuerzos (b), sondaje SPT-01



Comentario: en (b) se puede observar la reducción de los factores de resistencia del terreno, a medida que se eleva el nivel del agua subterránea en condiciones dinámicas, la zona segura para cimentar se encontraría por debajo de los 3.20 m, por lo que se requiere mejorar el terreno para disponer de cimentación es superficiales.

Tabla 77.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 2.30 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.500		0.000					0.000					0.050	0.277	0.18	
1.95	5.550	1.950	6.398	SP	1.60	4.19	5.6	0.312	0.312	1.791	9.56	0.996	0.109	0.277	0.39	LICUA
2.85	4.650	0.900	9.350	SP-SC	1.95	7.30	9.0	0.488	0.398	1.586	14.27	0.994	0.181	0.339	0.53	LICUA
3.75	3.750	0.900	12.303	SC	1.95	28.29	16.8	0.663	0.483	1.438	24.16	0.988	0.767	0.378	2.03	NO LICUA
4.65	2.850	0.900	15.256	SC	1.99	28.29	43.4	0.842	0.572	1.322	57.30	0.980	1.500	0.402	3.74	NO LICUA
5.55	1.950	0.900	18.209	SC	1.99	28.29	49.6	1.021	0.661	1.230	61.05	0.969	1.500	0.417	3.60	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 7.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=7.5 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 78.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.50		0.000					0.000					0.050	0.280	0.18	
1.95	5.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.19	5.6	0.312	0.117	2.926	9.56	0.996	0.109	0.740	0.15	LICUA
2.85	4.65	0.90	9.350	SP-SC	1.95	7.30	9.0	0.488	0.203	2.222	15.30	0.994	0.190	0.666	0.29	LICUA
3.75	3.75	0.90	12.303	SC	1.95	28.29	16.8	0.663	0.288	1.862	28.56	0.988	1.500	0.633	2.37	NO LICUA
4.65	2.85	0.90	15.256	SC	1.99	28.29	43.4	0.842	0.377	1.628	70.58	0.980	1.500	0.609	2.46	NO LICUA
5.55	1.95	0.90	18.209	SC	1.99	28.29	43.8	1.021	0.466	1.465	64.15	0.969	1.500	0.591	2.54	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 7.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms= 7.5 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 79.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 2.30 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.500		0.000					0.000					0.080	0.277	0.29	
1.95	5.550	1.950	6.398	SP	1.60	4.19	5.6	0.312	0.312	1.791	10.07	0.996	0.153	0.277	0.55	LICUA
2.85	4.650	0.900	9.350	SP-SC	1.95	7.30	9.0	0.488	0.398	1.586	14.27	0.994	0.237	0.339	0.70	LICUA
3.75	3.750	0.900	12.303	SC	1.95	28.29	16.8	0.663	0.483	1.438	24.16	0.988	1.008	0.378	2.67	NO LICUA
4.65	2.850	0.900	15.256	SC	1.99	28.29	43.4	0.842	0.572	1.322	57.30	0.980	1.500	0.402	3.74	NO LICUA
5.55	1.950	0.900	18.209	SC	1.99	28.29	49.6	1.021	0.661	1.230	61.05	0.969	1.500	0.417	3.60	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 7.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=6.0 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S**Tabla 80.**

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.50		0.000					0.000					0.080	0.280	0.29	
1.95	5.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.19	5.6	0.312	0.117	2.926	11.25	0.996	0.174	0.740	0.24	LICUA
2.85	4.65	0.90	9.350	SP-SC	1.95	7.30	9.0	0.488	0.203	2.222	18.00	0.994	0.279	0.666	0.42	LICUA
3.75	3.75	0.90	12.303	SC	1.95	28.29	16.8	0.663	0.288	1.862	31.29	0.988	1.500	0.633	2.37	NO LICUA
4.65	2.85	0.90	15.256	SC	1.99	28.29	43.4	0.842	0.377	1.628	70.58	0.980	1.500	0.609	2.46	NO LICUA
5.55	1.95	0.90	18.209	SC	1.99	28.29	43.8	1.021	0.466	1.465	64.15	0.969	1.500	0.591	2.54	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 7.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=6.0 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 81.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 2.30 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.50		0.000					0.000					0.180	0.277	0.65	
1.95	5.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.19	5.6	0.312	0.312	1.791	10.07	0.996	0.195	0.277	0.70	LICUA
2.85	4.65	0.90	9.350	SP-SC	1.95	7.30	11.3	0.488	0.398	1.586	17.84	0.994	0.354	0.339	1.04	NO LICUA
3.75	3.75	0.90	12.303	SC	1.95	28.29	16.8	0.663	0.483	1.438	24.16	0.988	1.287	0.378	3.41	NO LICUA
4.65	2.85	0.90	15.256	SC	1.99	28.29	43.4	0.842	0.572	1.322	57.30	0.980	1.500	0.402	3.74	NO LICUA
5.55	1.95	0.90	18.209	SC	1.99	28.29	49.6	1.021	0.661	1.230	61.05	0.969	1.500	0.417	3.60	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 7.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=4.5 Mw, N60-SPT=Nm*CE*CB*CR*CS

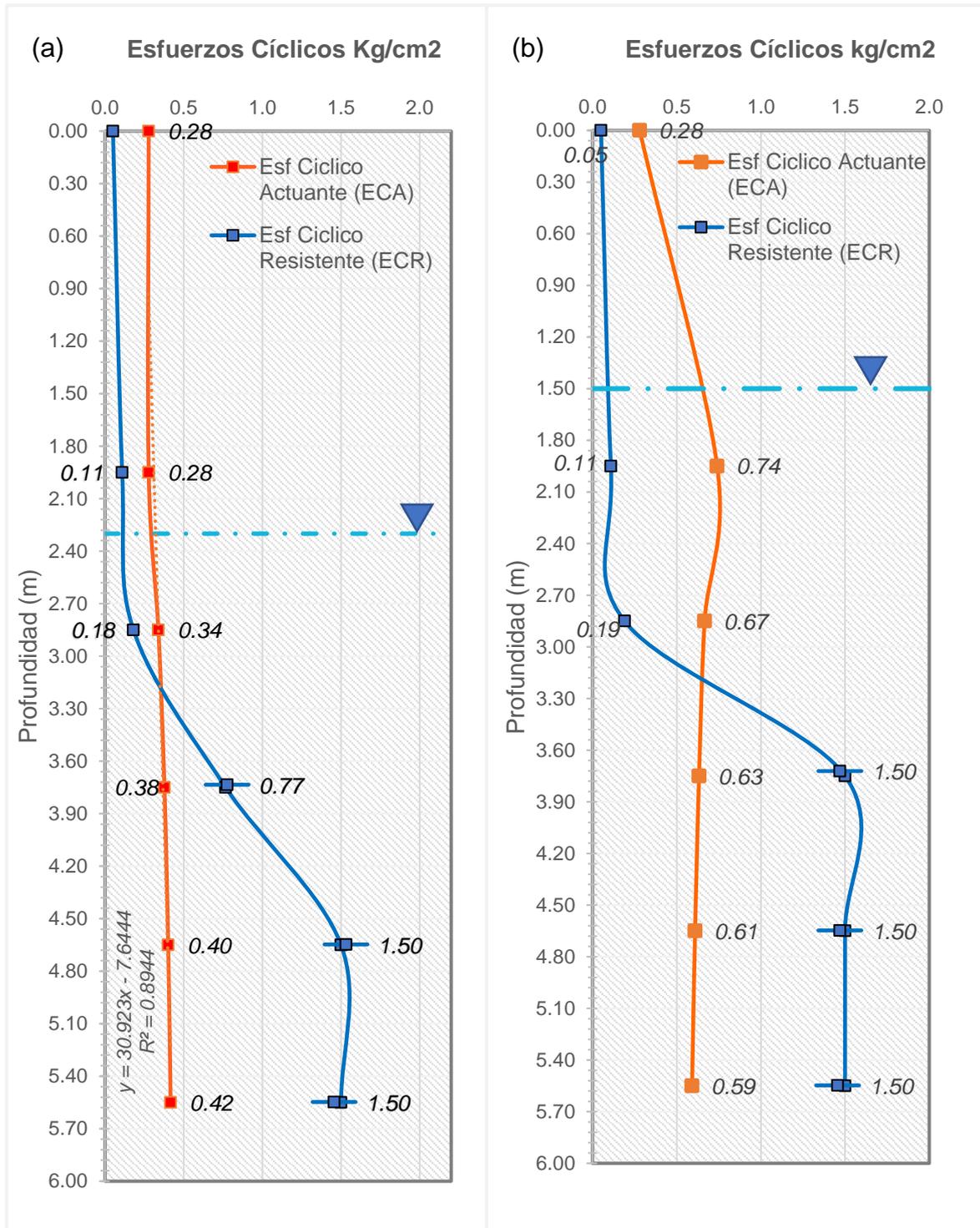
Tabla 82.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, sondaje SPT-02, Nf= 1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.50		0.000					0.000					0.180	0.280	0.64	LICUA
1.95	5.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.19	5.6	0.312	0.117	2.926	11.25	0.996	0.223	0.740	0.30	LICUA
2.85	4.65	0.90	9.350	SP-SC	1.95	7.30	9.0	0.488	0.203	2.222	18.00	0.994	0.356	0.666	0.54	LICUA
3.75	3.75	0.90	12.303	SC	1.95	28.29	19.3	0.663	0.288	1.862	35.98	0.988	1.500	0.633	2.37	NO LICUA
4.65	2.85	0.90	15.256	SC	1.99	28.29	43.4	0.842	0.377	1.628	70.58	0.980	1.500	0.609	2.46	NO LICUA
5.55	1.95	0.90	18.209	SC	1.99	28.29	43.8	1.021	0.466	1.465	64.15	0.969	1.500	0.591	2.54	NO LICUA

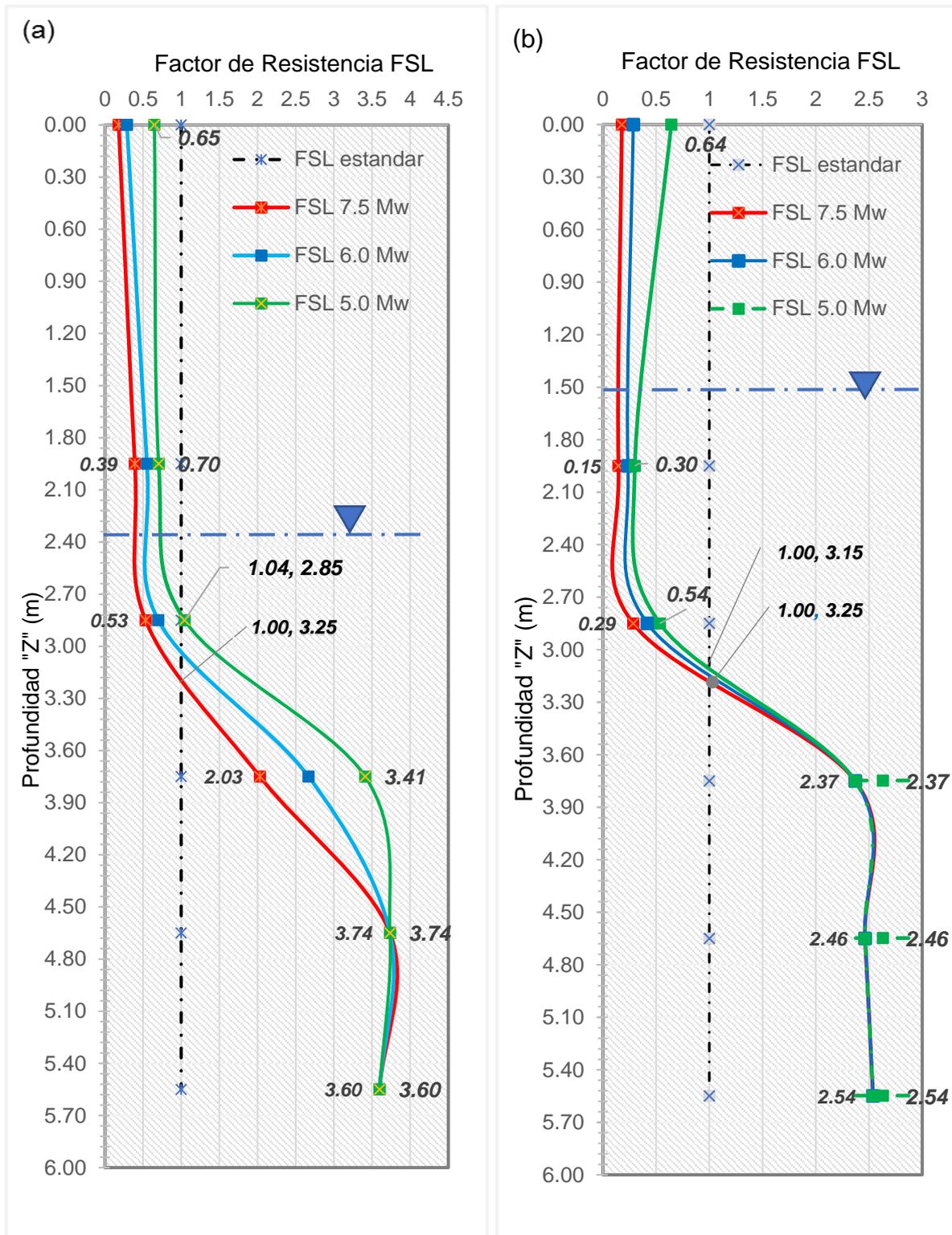
Notas: Cota del terreno= 7.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=4.5 Mw, N60-SPT=Nm*CE*CB*CR*CS

Figura 104. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-02, escala de momento sísmico 7.5 Mw.



Comentario: las curvas de los esfuerzos cíclicos muestran el efecto de la subida del nivel de agua subterránea en el incremento de los esfuerzos actuantes, aumentando la demanda (ECA), con respecto a la capacidad de resistencia del terreno (ECR).

Figura 105. Profundidades de activación de la licuación del suelo, estado inicial (a) y dinámico de esfuerzos (b), sondaje SPT-02



Comentario: Las curvas de resistencia del terreno (FSL), nos indican un incremento de la profundidad de la licuación del suelo, debido a la subida del nivel de agua subterránea pasando de una profundidad de 2.85 m a 3.15 m

Tabla 83.*Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-03, Nf=2.60 m*

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.50		0					0.000					0.050	0.280	0.18	LICUA
1.95	6.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.98	9.0	0.312	0.312	1.791	15.30	0.996	0.178	0.277	0.64	LICUA
2.85	5.65	0.90	9.350	SP-SC	1.94	11.49	12.9	0.486	0.396	1.588	20.55	0.994	0.268	0.339	0.79	LICUA
3.75	4.75	0.90	12.303	SC	1.94	30.62	25.2	0.661	0.481	1.442	36.34	0.988	1.500	0.378	3.97	NO LICUA
4.65	3.85	0.90	15.256	SC	1.96	30.62	45.9	0.837	0.567	1.328	60.93	0.980	1.500	0.403	3.73	NO LICUA
5.55	2.95	0.90	18.209	SC	1.96	28.80	50.3	1.014	0.654	1.237	62.23	0.969	1.500	0.418	3.58	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 8.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=7.5 Mw, N60-SPT=Nm*CE*CB*CR*Cs**Tabla 84.***Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, sondaje SPT-03, Nf=1.50 m*

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.50		0					0.000					0.050	0.277	0.18	
1.95	6.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.98	9.0	0.312	0.117	2.926	15.30	0.996	0.178	0.740	0.24	LICUA
2.85	5.65	0.90	9.350	SP-SC	1.94	11.49	12.9	0.486	0.201	2.228	21.99	0.994	0.301	0.668	0.45	LICUA
3.75	4.75	0.90	12.303	SC	1.94	30.62	24.6	0.661	0.286	1.870	41.82	0.988	1.500	0.636	2.36	NO LICUA
4.65	3.85	0.90	15.256	SC	1.96	30.62	45.9	0.837	0.372	1.639	75.22	0.980	1.500	0.613	2.45	NO LICUA
5.55	2.95	0.90	18.209	SC	1.96	28.80	50.3	1.014	0.459	1.476	74.29	0.969	1.500	0.596	2.52	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 8.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=7.5 Mw, N60-SPT=Nm*CE*CB*CR*Cs

Tabla 85.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, sondaje SPT-03, Nf= 2.60 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.50		0.000					0					0.080	0.280	0.29	
1.95	6.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.98	9.0	0.312	0.312	1.791	15.30	0.996	0.234	0.277	0.84	LICUA
2.85	5.65	0.90	9.350	SP-SC	1.94	11.49	12.9	0.486	0.396	1.588	20.55	0.994	0.352	0.339	1.04	NO LICUA
3.75	4.75	0.90	12.303	SC	1.94	30.62	25.2	0.661	0.481	1.442	36.34	0.988	1.500	0.378	3.97	NO LICUA
4.65	3.85	0.90	15.256	SC	1.96	30.62	45.9	0.837	0.567	1.328	60.93	0.980	1.500	0.403	3.73	NO LICUA
5.55	2.95	0.90	18.209	SC	1.96	28.80	50.3	1.014	0.654	1.237	62.23	0.969	1.500	0.418	3.58	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 8.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms=6.0 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 86.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, sondaje SPT-03, Nf= 1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.50		0.000					0					0.080	0.277	0.29	
1.95	6.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.98	9	0.312	0.117	2.926	15.30	0.996	0.234	0.740	0.32	LICUA
2.85	5.65	0.90	9.350	SP-SC	1.94	11.49	13	0.486	0.201	2.228	21.99	0.994	0.396	0.668	0.59	LICUA
3.75	4.75	0.90	12.303	SC	1.94	30.62	25	0.661	0.286	1.870	41.82	0.988	1.500	0.636	2.36	NO LICUA
4.65	3.85	0.90	15.256	SC	1.96	30.62	46	0.837	0.372	1.639	75.22	0.980	1.500	0.613	2.45	NO LICUA
5.55	2.95	0.90	18.209	SC	1.96	28.80	50	1.014	0.459	1.476	74.29	0.969	1.500	0.596	2.52	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 8.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms= 6.0 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 87.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, Sondaje SPT-03, Nf= 2.60 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.50		0.000					0.000					0.180	0.270	0.67	
1.95	6.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.98	9	0.312	0.312	1.791	15.30	0.996	0.299	0.277	1.08	NO LICUA
2.85	5.65	0.90	9.350	SP-SC	1.94	11.49	13	0.486	0.396	1.588	20.55	0.994	0.450	0.339	1.32	NO LICUA
3.75	4.75	0.90	12.303	SC	1.94	30.62	25	0.661	0.481	1.442	36.34	0.988	1.500	0.378	3.97	NO LICUA
4.65	3.85	0.90	15.256	SC	1.96	30.62	46	0.837	0.567	1.328	60.93	0.980	1.500	0.403	3.73	NO LICUA
5.55	2.95	0.90	18.209	SC	1.96	28.80	50	1.014	0.654	1.237	62.23	0.969	1.500	0.418	3.58	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 8.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms= 4.5 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

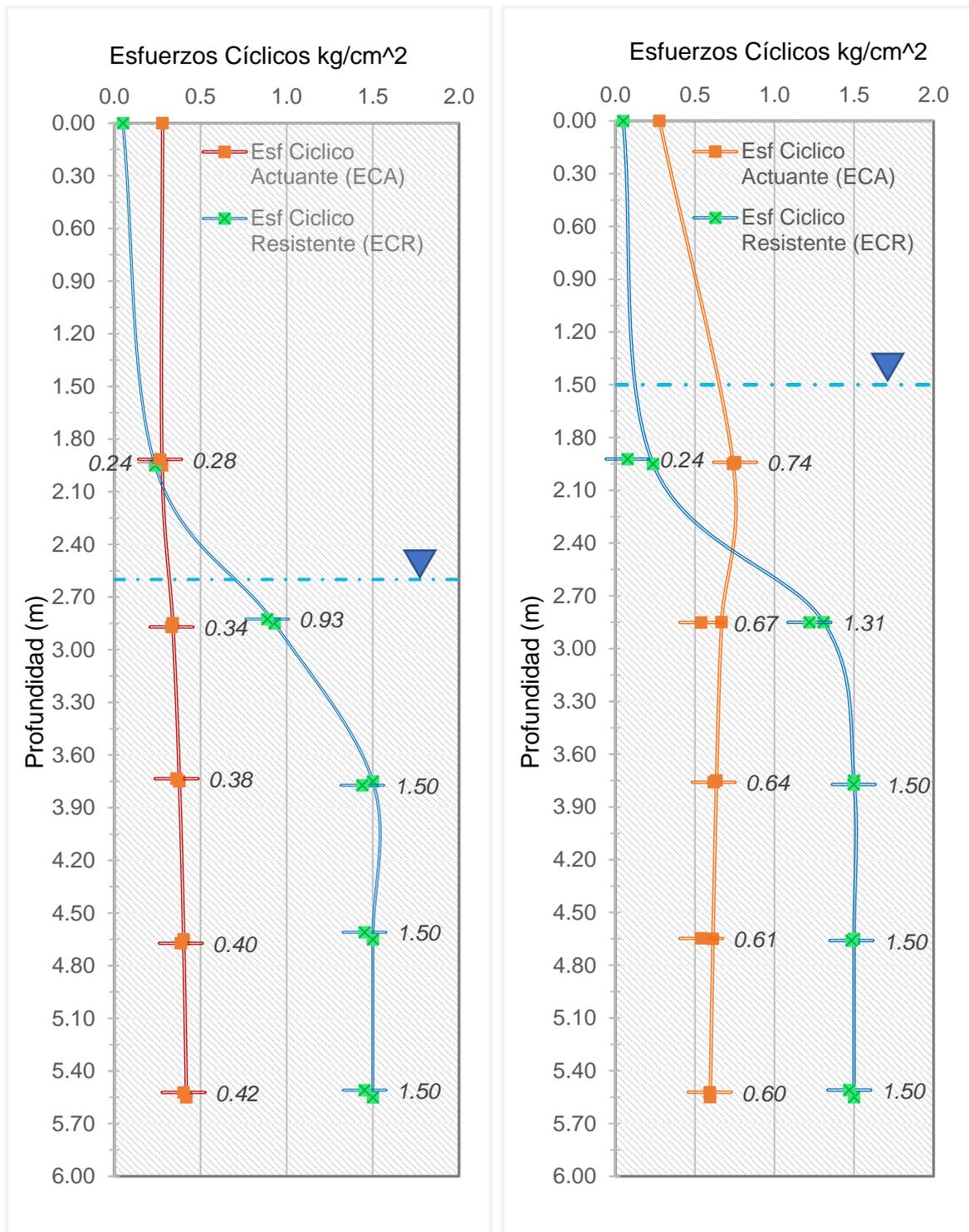
Tabla 88.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 4.5 Mw, Sondaje SPT-03, Nf= 1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.50		0.000					0.000					0.180	0.280	0.64	
1.95	6.55	1.95	6.398	SP	1.60	4.98	13	0.312	0.117	2.926	22.44	0.996	0.398	0.740	0.54	LICUA
2.85	5.65	0.90	9.350	SP-SC	1.94	11.49	19	0.486	0.201	2.228	32.26	0.994	1.500	0.668	2.25	NO LICUA
3.75	4.75	0.90	12.303	SC	1.94	30.62	34	0.661	0.286	1.870	57.50	0.988	1.500	0.636	2.36	NO LICUA
4.65	3.85	0.90	15.256	SC	1.96	30.62	62	0.837	0.372	1.639	101.76	0.980	1.500	0.613	2.45	NO LICUA
5.55	2.95	0.90	18.209	SC	1.96	28.80	64	1.014	0.459	1.476	94.23	0.969	1.500	0.596	2.52	NO LICUA

Notas: Cota del terreno= 8.5 msnm, a_{max}= 0.43 g, Ms= 4.5 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Figura 106. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-03, escala de momento sísmico 7.5 Mw.



Comentario: las curvas de los esfuerzos cíclicos muestran el efecto de la subida nivel de agua subterránea en incremento de los esfuerzos actuantes, aumentando la demanda (ECA), con respecto a la capacidad de resistencia del terreno (ECR).

Figura 107. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial, (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-03

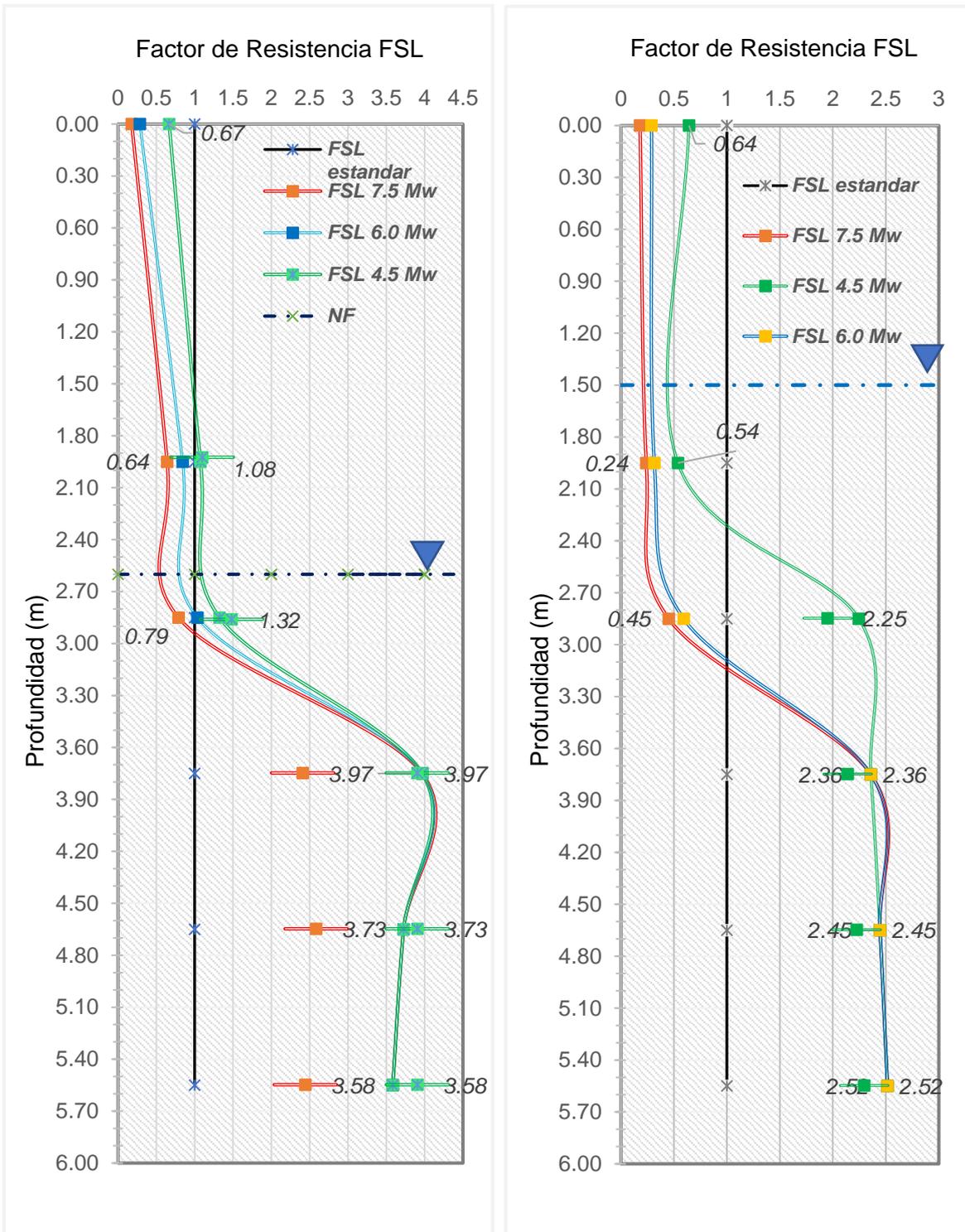


Tabla 89. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, Sondaje SPT-04, Nf=2.00 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm²)	σ'v (Kg/cm²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm²)	CSR (Kg/cm²)	FRL	Evaluación
0.00	8.00		0.000					0.000					0.050	0.277		
1.50	6.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.64	3.94	0.243	0.243	2.031	6.69	0.996	0.065	0.277	0.23	LICUA
1.95	6.05	0.45	6.398		1.62	4.64	6.19	0.315	0.315	1.781	10.52	0.996	0.123	0.277	0.44	LICUA
2.40	5.60	0.45	7.874		1.89	4.97	7.31	0.400	0.355	1.678	12.27	0.995	0.146	0.312	0.47	LICUA
2.85	5.15	0.45	9.350		1.89	4.97	10.13	0.485	0.395	1.591	16.11	0.994	0.185	0.340	0.54	LICUA
3.30	4.70	0.45	10.827	SC	1.89	23.66	12.00	0.570	0.435	1.516	18.19	0.991	0.274	0.362	0.76	LICUA
3.75	4.25	0.45	12.303		1.85	21.29	15.00	0.654	0.474	1.453	21.79	0.988	0.390	0.380	1.03	NO LICUA
4.20	3.80	0.45	13.780		1.85	21.29	15.94	0.737	0.512	1.397	22.27	0.984	0.418	0.394	1.06	NO LICUA
4.65	3.35	0.45	15.256		1.86	21.29	22.31	0.821	0.551	1.347	30.06	0.980	1.500	0.406	3.69	NO LICUA
5.10	2.90	0.45	16.732		1.86	21.29	39.53	0.905	0.590	1.302	51.46	0.975	1.500	0.416	3.60	NO LICUA
5.55	2.45	0.45	18.209		1.86	21.29	49.73	0.989	0.629	1.261	62.70	0.969	1.500	0.424	3.54	NO LICUA
6.00	2.00	0.45	19.685	1.86	21.29	50.36	1.073	0.668	1.224	61.63	0.963	1.500	0.431	3.48	NO LICUA	

Tabla 90. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.5 Mw, Sondaje SPT-04, Nf= 1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm²)	σ'v (Kg/cm²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm²)	CSR (Kg/cm²)	FRL	Evaluación
0.00	8.00		0.000					0.000					0.050	0.280	0.18	
1.50	6.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.64	3.94	0.243	0.093	3.288	6.69	0.996	0.065	0.727	0.09	LICUA
1.95	6.05	0.45	6.398		1.62	4.64	6.19	0.315	0.120	2.884	10.52	0.996	0.123	0.727	0.17	LICUA
2.40	5.60	0.45	7.874		1.89	6.40	7.31	0.400	0.160	2.498	12.43	0.995	0.156	0.692	0.23	LICUA
2.85	5.15	0.45	9.350		1.89	8.20	10.13	0.485	0.200	2.235	17.21	0.994	0.201	0.670	0.30	LICUA
3.30	4.70	0.45	10.827	SC	1.89	8.20	12.00	0.570	0.240	2.041	20.40	0.991	0.243	0.655	0.37	LICUA
3.75	4.25	0.45	12.303		1.86	23.66	13.80	0.654	0.279	1.894	23.46	0.988	0.550	0.645	0.85	LICUA
4.20	3.80	0.45	13.780		1.86	23.66	15.94	0.737	0.317	1.776	27.09	0.984	1.069	0.637	1.68	NO LICUA
4.65	3.35	0.45	15.256		1.86	23.66	21.68	0.821	0.356	1.676	36.33	0.980	1.500	0.629	2.38	NO LICUA
5.10	2.90	0.45	16.732		1.86	23.66	39.53	0.905	0.395	1.591	62.90	0.975	1.500	0.622	2.41	NO LICUA
5.55	2.45	0.45	18.209		1.86	23.66	49.73	0.989	0.434	1.518	75.51	0.969	1.500	0.615	2.44	NO LICUA
6.00	2.00	0.45	19.685	1.86	23.66	50.36	1.073	0.473	1.455	73.26	0.963	1.500	0.609	2.46	NO LICUA	

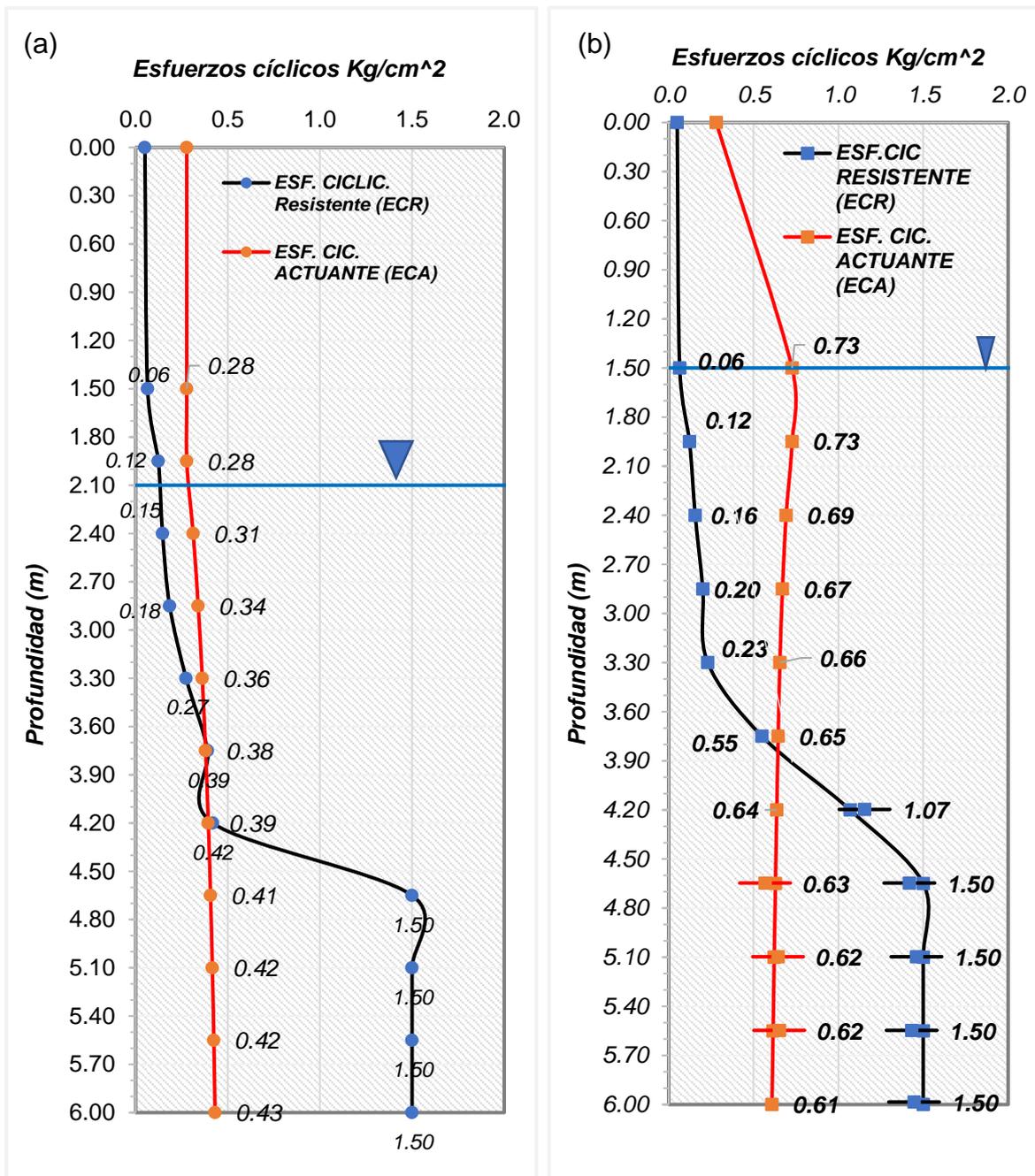
Tabla 91. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, Sondaje SPT-04, Nf= 2.00 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.00		0.000					0.000					0.080	0.277	0.29	
1.50	6.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.64	3.9	0.243	0.243	2.031	6.69	0.996	0.085	0.277	0.307	LICUA
1.95	6.05	0.45	6.398		1.62	4.64	6.2	0.315	0.315	1.781	10.52	0.996	0.161	0.277	0.581	LICUA
2.40	5.60	0.45	7.874		1.89	4.97	7.3	0.400	0.355	1.678	12.27	0.995	0.192	0.312	0.614	LICUA
2.85	5.15	0.45	9.350		1.89	4.97	10.1	0.485	0.395	1.591	16.11	0.994	0.243	0.340	0.715	LICUA
3.30	4.70	0.45	10.827		1.89	23.66	12.0	0.570	0.435	1.516	18.19	0.991	0.360	0.362	0.996	LICUA
3.75	4.25	0.45	12.303		1.85	21.29	15.0	0.654	0.474	1.453	21.79	0.988	0.513	0.380	1.351	NO LICUA
4.20	3.80	0.45	13.780	SC	1.85	21.29	15.9	0.737	0.512	1.397	22.27	0.984	0.549	0.394	1.392	NO LICUA
4.65	3.35	0.45	15.256		1.86	21.29	22.3	0.821	0.551	1.347	30.06	0.980	1.500	0.406	3.690	NO LICUA
5.10	2.90	0.45	16.732		1.86	21.29	39.5	0.905	0.590	1.302	51.46	0.975	1.500	0.416	3.603	NO LICUA
5.55	2.45	0.45	18.209		1.86	21.29	49.7	0.989	0.629	1.261	62.70	0.969	1.500	0.424	3.535	NO LICUA
6.00	2.00	0.45	19.685		1.86	21.29	50.4	1.073	0.668	1.224	61.63	0.963	1.500	0.431	3.482	NO LICUA

Tabla 92. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.0 Mw, Sondaje SPT-04, Nf= 1.50 m

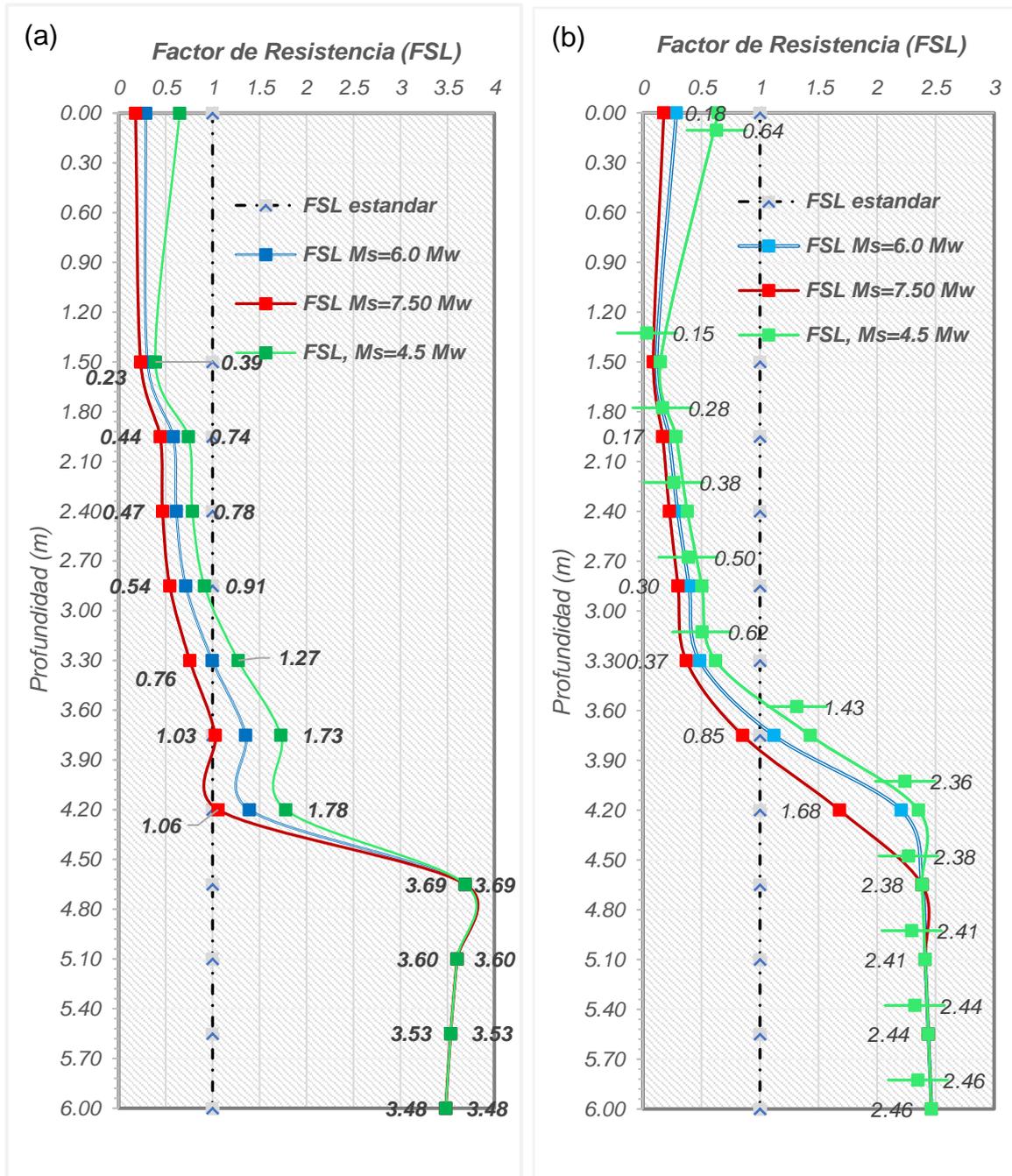
Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.00		0.000					0.000					0.080	0.280	0.29	
1.50	6.50	1.50	4.921	SP	1.62	4.64	3.9	0.243	0.093	3.288	6.69	0.996	0.085	0.727	0.12	LICUA
1.95	6.05	0.45	6.398		1.62	4.64	6.2	0.315	0.120	2.884	10.52	0.996	0.161	0.727	0.22	LICUA
2.40	5.60	0.45	7.874		1.89	6.40	7.3	0.400	0.160	2.498	12.43	0.995	0.206	0.692	0.30	LICUA
2.85	5.15	0.45	9.350		1.89	8.20	10.1	0.485	0.200	2.235	17.21	0.994	0.264	0.670	0.39	LICUA
3.30	4.70	0.45	10.827		1.89	8.20	12.0	0.570	0.240	2.041	20.40	0.991	0.319	0.655	0.49	LICUA
3.75	4.25	0.45	12.303		1.86	23.66	13.8	0.654	0.279	1.894	23.46	0.988	0.722	0.645	1.12	NO LICUA
4.20	3.80	0.45	13.780	SC	1.86	23.66	15.9	0.737	0.317	1.776	27.09	0.984	1.405	0.637	2.21	NO LICUA
4.65	3.35	0.45	15.256		1.86	23.66	21.7	0.821	0.356	1.676	36.33	0.980	1.500	0.629	2.38	NO LICUA
5.10	2.90	0.45	16.732		1.86	23.66	39.5	0.905	0.395	1.591	62.90	0.975	1.500	0.622	2.41	NO LICUA
5.55	2.45	0.45	18.209		1.86	23.66	49.7	0.989	0.434	1.518	75.51	0.969	1.500	0.615	2.44	NO LICUA
6.00	2.00	0.45	19.685		1.86	23.66	50.4	1.073	0.473	1.455	73.26	0.963	1.500	0.609	2.46	NO LICUA

Figura 108. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-04, escala de momento sísmico 7.5 Mw.



Comentario: en estas figuras se puede observar el efecto de la subida del agua subterránea en condiciones dinámicas (b), cuando el nivel de esta se aproxima a la superficie. Los esfuerzos Ciclicos actuantes se incrementan significativamente con respecto al estado inicial de esfuerzos (a), lo que ocasionaria una reducción de la capacidad resistente del terreno

Figura 109. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-04



Comentario: Las figuras (a y b) permiten observar que la profundidad de la licuación del suelo varía con respecto a Mw. En (b) Se observa la reducción de los factores de resistencia y un incremento en la profundidad del suelo licuado por efectos de la subida del agua subterránea, cuando se encuentra a 1.50 m de la superficie

Tabla 93.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -3.00 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	5.70		0.000					0.000	0							
1.50	4.20	1.50	4.921	SC	1.49	38.14	13.5	0.224	0.224	2.115	22.95	0.996	0.818	0.277	2.95	NO LICUA
1.95	3.75	0.45	6.398	SC	1.49	38.14	18.0	0.291	0.291	1.855	30.60	0.996	1.500	0.277	5.41	NO LICUA
2.85	2.85	0.90	9.350	SC	1.56	39.40	32.6	0.431	0.431	1.523	49.70	0.994	1.500	0.277	5.42	NO LICUA
3.75	1.95	0.90	12.303	SC	1.76	33.44	48.0	0.589	0.499	1.415	67.93	0.988	1.500	0.325	4.62	NO LICUA
4.20	1.50	0.45	13.780	SC	1.76	33.44	54.2	0.669	0.534	1.369	74.18	0.984	1.500	0.343	4.37	NO LICUA

Notas: cota 5.70 msnm, a_{max}= 0.43g, Magnitud 7.5 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 94. Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	5.700		0.000					0.000	0							
1.50	4.200	1.500	4.921	SC	1.49	38.14	13.5	0.224	0.074	1.700	22.95	0.996	0.818	0.843	0.97	LICUA
1.95	3.750	0.450	6.398	SC	1.49	38.14	18.0	0.291	0.096	1.700	30.60	0.996	1.500	0.843	1.78	NO LICUA
2.85	2.850	0.900	9.350	SC	1.56	39.40	32.6	0.431	0.146	2.618	55.46	0.994	1.500	0.817	1.84	NO LICUA
3.75	1.950	0.900	12.303	SC	1.76	33.44	48.0	0.589	0.214	2.160	81.60	0.988	1.500	0.756	1.98	NO LICUA
4.20	1.500	0.450	13.780	SC	1.76	33.44	54.2	0.669	0.249	2.006	92.12	0.984	1.500	0.737	2.04	NO LICUA

Comentario: ante una posible subida del nivel del agua subterránea, se puede observar la pérdida del esfuerzo efectivo vertical en comparación con la tabla anterior (Mw=7.5 en ambos casos), esto influye en el factor de resistencia del terreno, hasta en un 33%, cuando Nf= 1.50 m, en el fondo la disminución es del 47%, sin embargo no se genera la activación de la licuación de suelos por debajo de 1.50 m.

Tabla 95.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -3.00 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	5.70		0.000					0.000	0.00							
1.50	4.20	1.50	4.921	SC	1.49	38.14	14	0.224	0.224	2.115	22.95	0.996	1.07	0.277	3.87	NO LICUA
1.95	3.75	0.45	6.398	SC	1.49	38.14	18	0.291	0.291	1.855	30.60	0.996	1.50	0.277	5.41	NO LICUA
2.85	2.85	0.90	9.350	SC	1.56	39.40	33	0.431	0.431	1.523	49.70	0.994	1.50	0.277	5.42	NO LICUA
3.75	1.95	0.90	12.303	SC	1.76	33.44	48	0.589	0.499	1.415	67.93	0.988	1.50	0.325	4.62	NO LICUA
4.20	1.50	0.45	13.780	SC	1.76	33.44	54	0.669	0.534	1.369	74.18	0.984	1.50	0.343	4.37	NO LICUA

Notas: cota 5.70 msnm, a_{max}= 0.43g, Magnitud 6.0 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

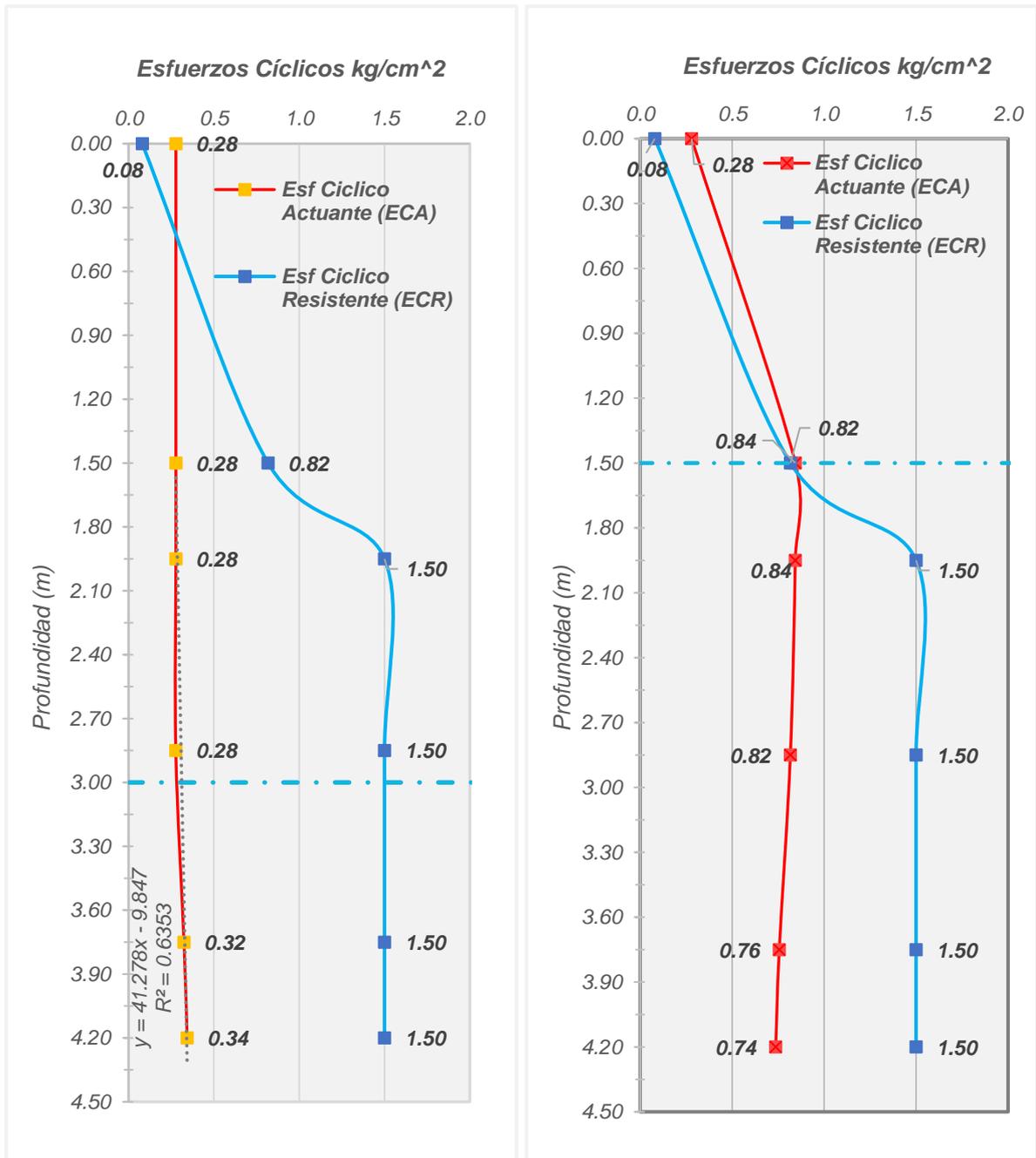
Tabla 96.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 6.00 Mw, sondaje SPT-05, Nf= -1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	5.70		0.000					0.000	0.00							
1.50	4.20	1.50	4.921	SC	1.49	38.14	14	0.224	0.074	1.70	22.95	0.996	1.07	0.843	1.27	NO LICUA
1.95	3.75	0.45	6.398	SC	1.49	38.14	18	0.291	0.096	1.70	30.60	0.996	1.50	0.843	1.78	NO LICUA
2.85	2.85	0.90	9.350	SC	1.56	39.40	33	0.431	0.146	1.70	55.46	0.994	1.50	0.817	1.84	NO LICUA
3.75	1.95	0.90	12.303	SC	1.76	33.44	48	0.589	0.214	1.70	81.60	0.988	1.50	0.756	1.98	NO LICUA
4.20	1.50	0.45	13.780	SC	1.76	33.44	54	0.669	0.249	1.70	92.12	0.984	1.50	0.737	2.04	NO LICUA

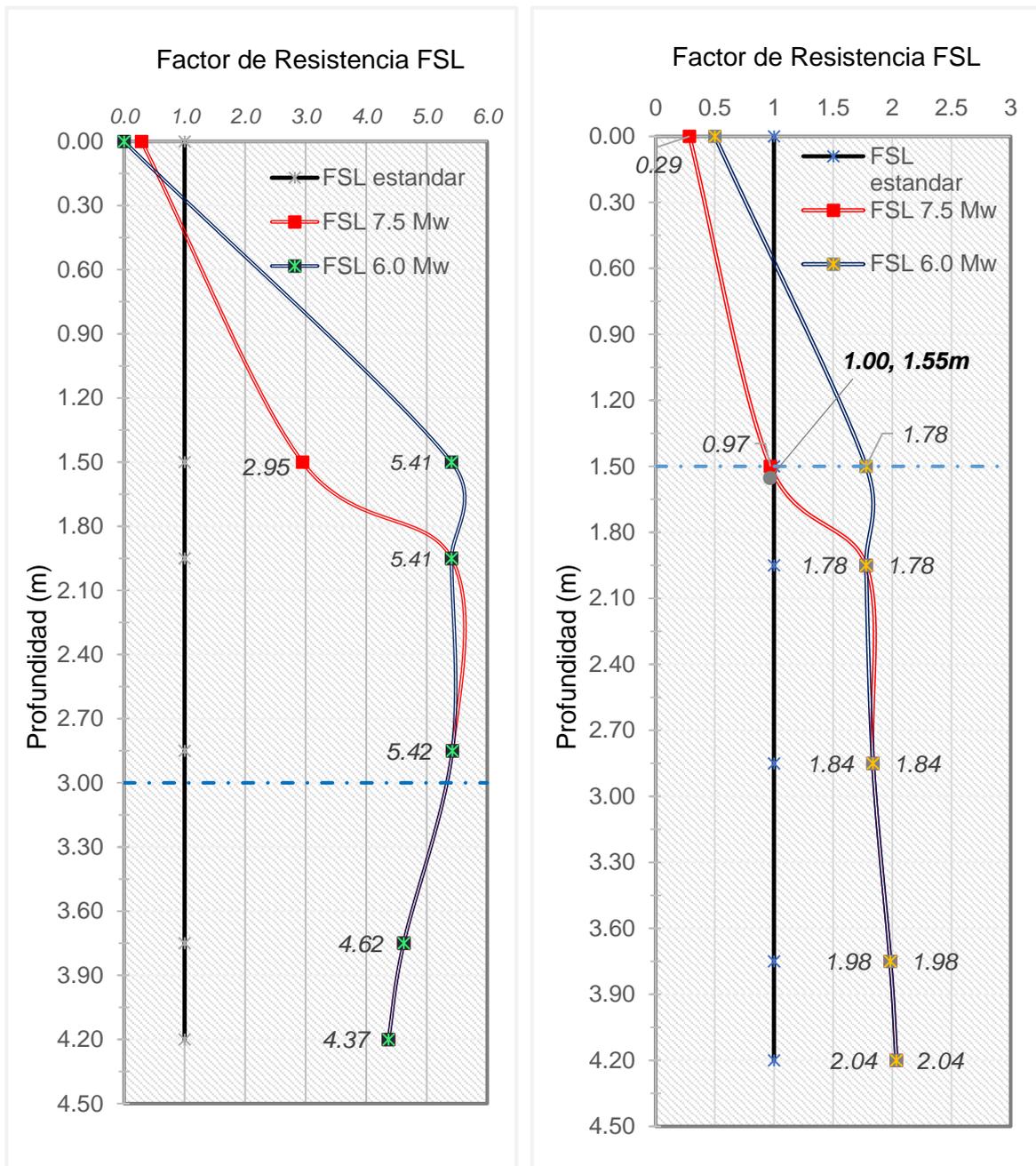
Comentario: la evaluación determinista del sondaje tomado en este perfil indica que no se produce la activación de la licuación del suelo. En ninguno de los dos estados de esfuerzos (inicial y dinámico)

Figura 110. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-05, escala de momento sísmico 7.5 Mw.



Comentario: en la parte izquierda (a) de esta gráfica se observa que los esfuerzos Cíclicos resistentes son mayores que los actuantes, por lo tanto no se genera la activación de la licuación del suelo por debajo de 0.50 m, mientras que en la parte derecha (b) se observa un incremento del esfuerzo actuante que supera al resistente hasta 1.50 m de profundidad .

Figura 111. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-05



Comentario: en esta gráfica se puede observar la degradación del factor de resistencia del terreno debido a la subida del nivel freático hacia la superficie, siendo la profundidad máxima de licuación hasta 1.50 m en condiciones dinámicas por lo que resulta suficiente como medida de seguridad plantear una profundidad de cimentación $D_f > 1.50$ m

Tabla 97.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-06, Nf= -3.45 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.00		0.000					0.000	0.00				0.000	0.000	0	
1.50	4.50	1.50	4.921	SC	1.53	37.56	19.5	0.230	0.230	1.700	33.15	0.996	1.500	0.277	5.41	NO LICUA
1.95	4.05	0.45	6.398	SC	1.55	37.56	24.8	0.299	0.299	1.700	42.08	0.996	1.500	0.277	5.41	NO LICUA
2.85	3.15	0.90	9.350	SC	1.55	39.00	47.3	0.439	0.439	1.510	71.33	0.994	1.500	0.277	5.42	NO LICUA
3.30	2.70	0.45	10.827	SC	1.76	40.00	63.0	0.518	0.518	1.389	87.54	0.991	1.500	0.276	5.44	NO LICUA
3.75	2.25	0.45	12.303	SC	1.76	40.00	72.0	0.597	0.597	1.294	93.17	0.988	1.500	0.275	5.45	NO LICUA

Notas: cota 6.00 msnm, a_{max}= 0.43g, Magnitud 7.5 Mw, N60-SPT=Nm*CE*CB*CR*Cs

Tabla 98.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-06, Nf= -1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.00		0.000					0.000	0.00							
1.50	4.50	1.50	4.921	SC	1.53	37.56	15	0.230	0.080	1.70	24.86	0.996	1.25	0.801	1.57	NO LICUA
1.95	4.05	0.45	6.398	SC	1.55	37.56	19	0.299	0.104	1.70	31.56	0.996	1.50	0.796	1.88	NO LICUA
2.85	3.15	0.90	9.350	SC	1.55	39.00	35	0.439	0.154	1.70	60.24	0.994	1.50	0.789	1.90	NO LICUA
3.30	2.70	0.45	10.827	SC	1.76	40.00	50	0.518	0.188	1.70	85.68	0.991	1.50	0.760	1.97	NO LICUA
3.75	2.25	0.45	12.303	SC	1.76	40.00	61	0.597	0.222	1.70	104.45	0.988	1.50	0.739	2.03	NO LICUA

Comentario: la evaluación determinista del sondaje tomado en este perfil indica que no se produce la activación de la licuación del suelo por debajo de la profundidad investigada. En ninguno de los dos estados de esfuerzos (inicial y dinámico)

Figura 112. V Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-06, escala de momento sísmico 7.5 Mw.

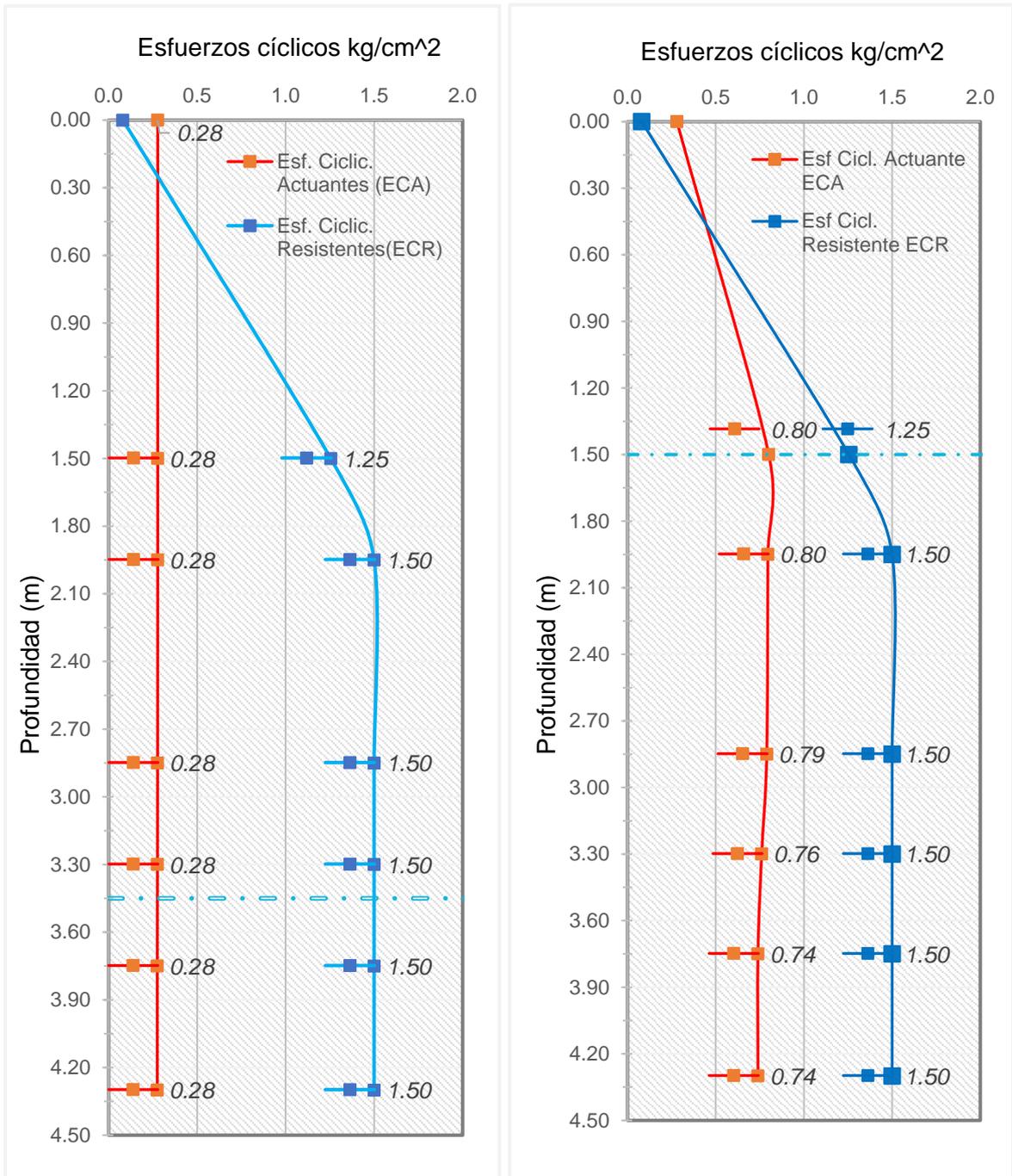
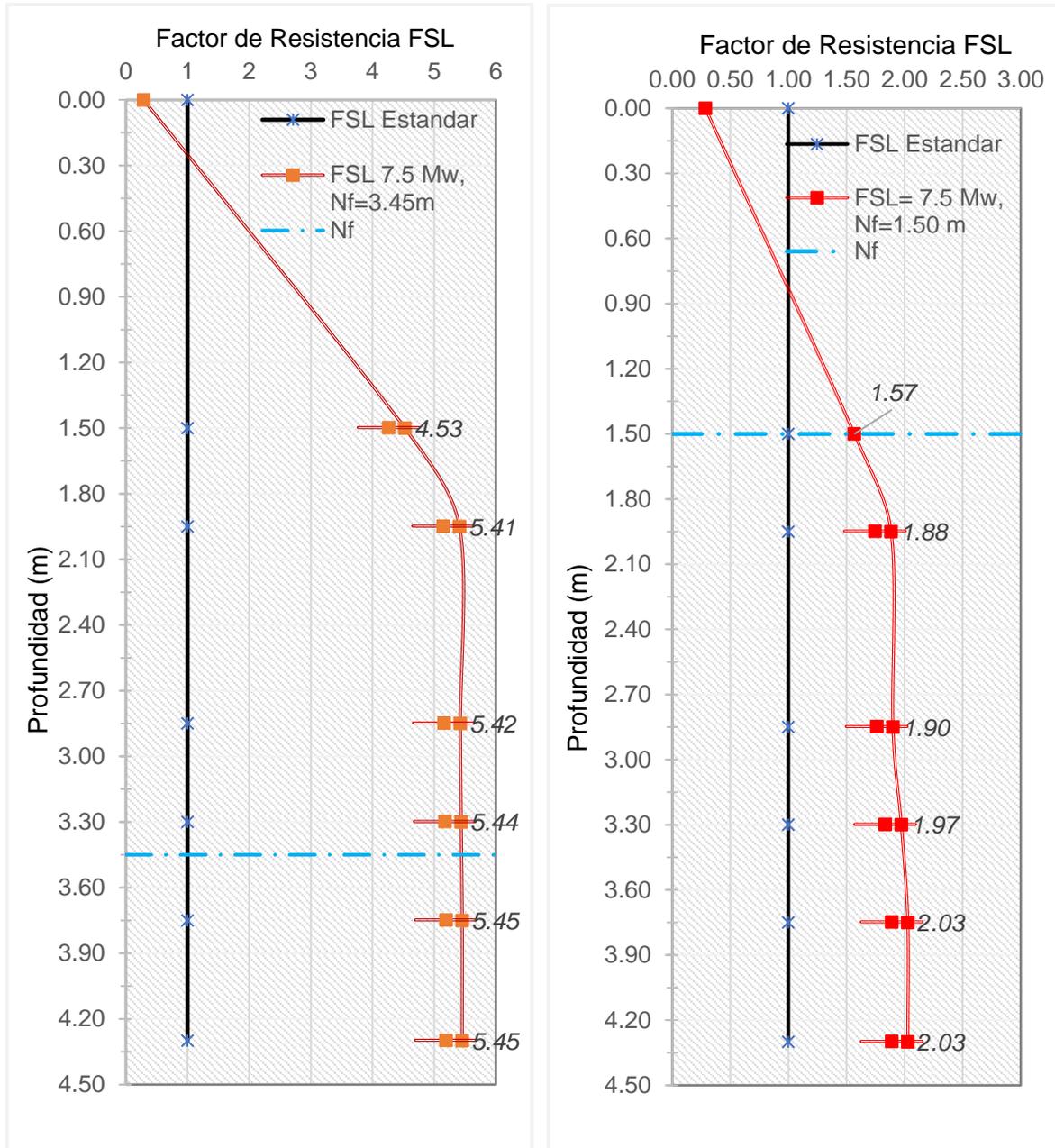


Figura 113. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-06



Comentario: en esta gráfica se puede observar la disminución o pérdida del factor de resistencia a la licuación de suelos debido a la subida del nivel freático hacia la superficie, sin embargo los valores de las curvas de resistencia indican que no se genera la licuación del suelo, por lo que resulta suficiente como medida de seguridad plantear una profundidad de cimentación $D_f \geq 1.20$ m, u otro valor que supere el mínimo indicado en la norma E 0.50.

Tabla 99.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-07, Nf= -3.60 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.00		0.000					0.000	0.00							
1.50	6.50	1.50	4.921	SC	1.49	37.66	10.1	0.224	0.224	1.700	17.21	0.996	0.291	0.277	1.05	NO LICUA
1.95	6.05	0.45	6.398	SC	1.49	37.66	14.1	0.291	0.291	1.700	23.91	0.996	1.013	0.277	3.65	NO LICUA
2.85	5.15	0.90	9.350	SC	1.55	39.59	32.6	0.430	0.430	1.525	49.75	0.994	1.500	0.277	5.42	NO LICUA
3.30	4.70	0.45	10.827	SC	1.69	38.64	47.4	0.506	0.506	1.406	66.63	0.991	1.500	0.276	5.44	NO LICUA
3.75	4.25	0.45	12.303	SC	1.69	38.64	62.1	0.582	0.582	1.311	81.36	0.988	1.500	0.275	5.45	NO LICUA

Notas: cota 8.00 msnm, a_{max}= 0.43g, Magnitud 7.5 Mw, N60-SPT=Nm*C_E*C_B*C_R*C_S

Tabla 100. *Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-07, Nf= -1.50 m*

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	8.00		0.000					0.000	0				0.080	0.280	0.29	
1.50	6.50	1.50	4.921	SC	1.49	37.66	10.1	0.224	0.074	1.70	17.21	0.996	0.29	0.843	0.34	LICUA
1.95	6.05	0.45	6.398	SC	1.49	37.66	14.1	0.291	0.096	1.70	23.91	0.996	1.01	0.843	1.20	NO LICUA
2.85	5.15	0.90	9.350	SC	1.55	39.59	32.6	0.430	0.145	1.70	55.46	0.994	1.50	0.820	1.83	NO LICUA
3.30	4.70	0.45	10.827	SC	1.69	38.64	47.4	0.506	0.176	1.70	80.58	0.991	1.50	0.793	1.89	NO LICUA
3.75	4.25	0.45	12.303	SC	1.69	38.64	62.1	0.582	0.207	1.70	105.54	0.988	1.50	0.773	1.94	NO LICUA

Comentario: la evaluación determinista del sondaje tomado en este perfil indica que solo se produce la activación de la licuación del suelo hasta 2.0 m. cuando el nivel del agua subterránea en estado dinámico de esfuerzos se eleve hasta 1.50 m, mientras en el estado inicial de esfuerzos no se activa la licuación del suelo en este perfil.

Figura 114. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-07, escala de momento sísmico 7.5 Mw.

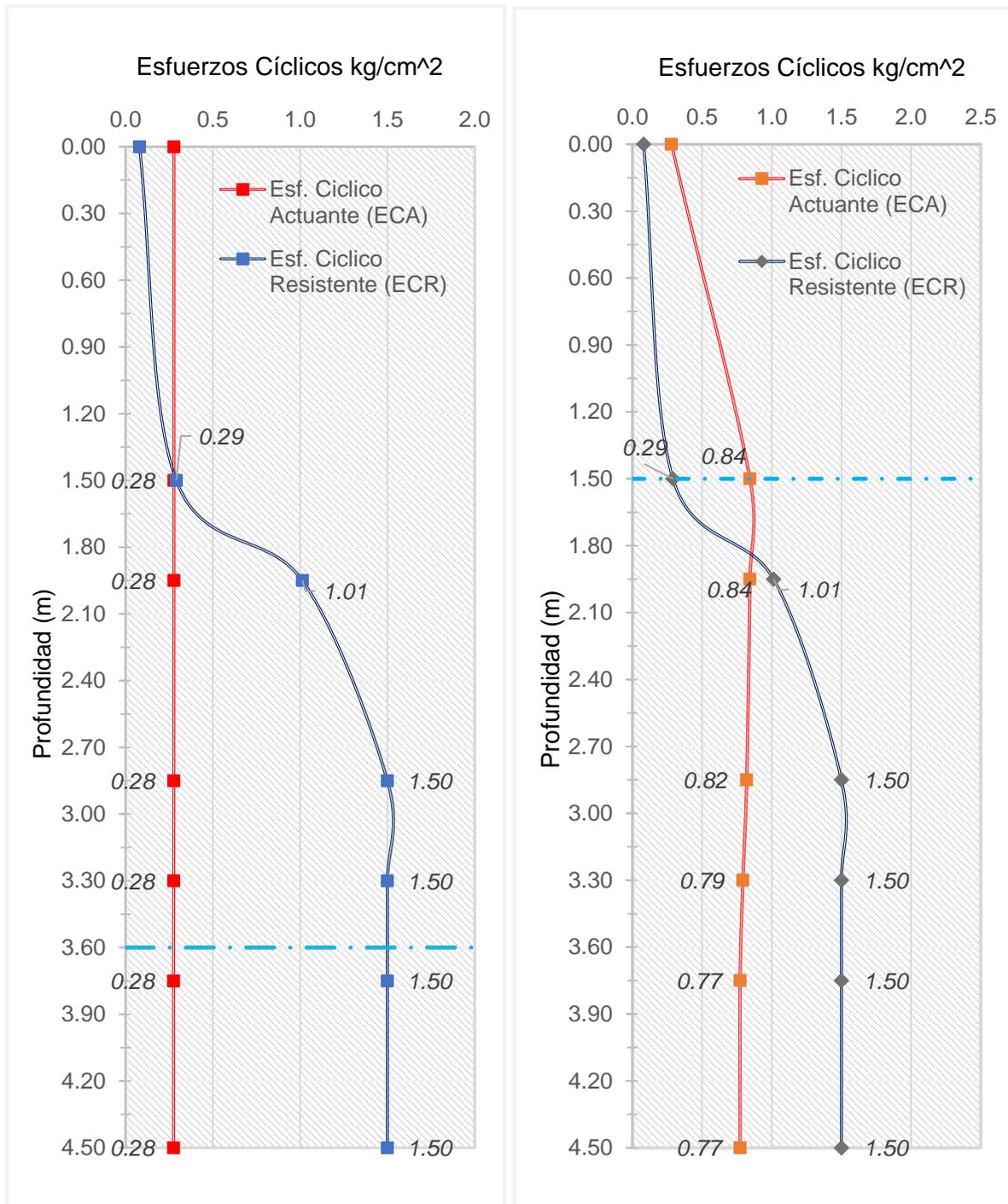
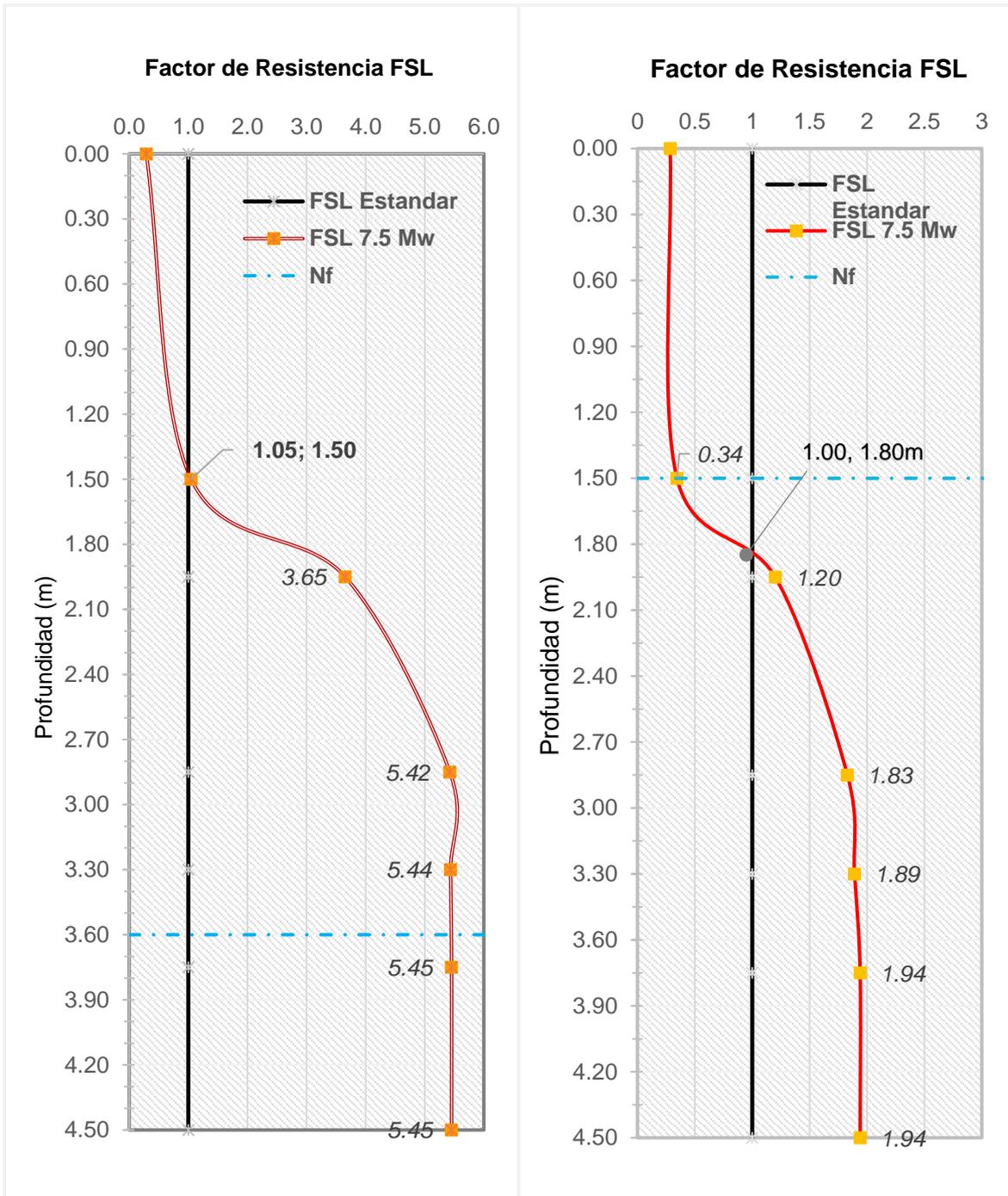


Figura 115. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-07



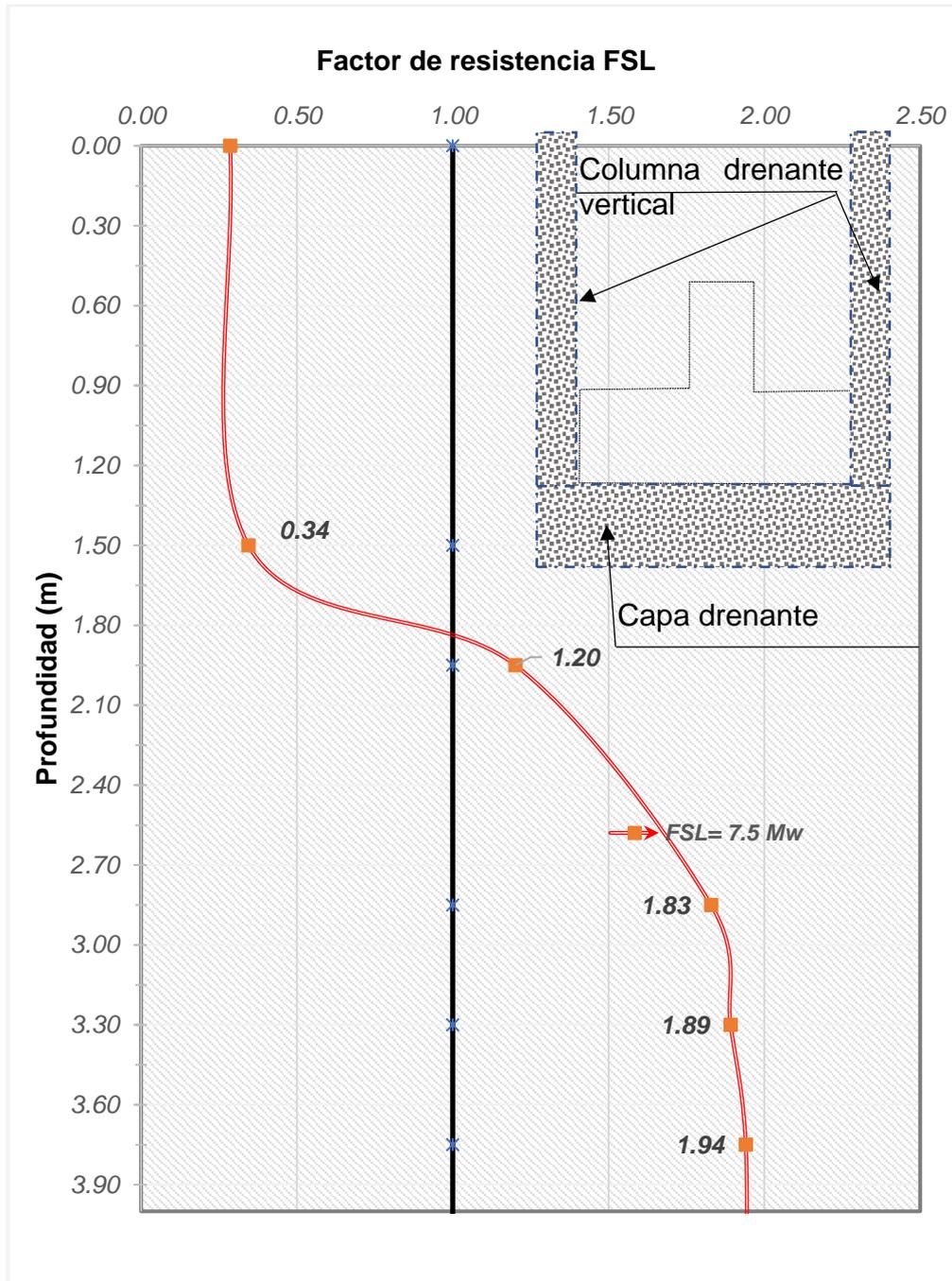


Figura 116. Alternativa de solución para la profundidad de fondo de cimentación como medida de disipación del exceso de la presión de poros

Tabla 101.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-08, Nf= -2.90 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.50		0.000					0.000	0.00							
1.50	5.00	1.50	4.921	SC	1.49	34.89	12.4	0.224	0.224	1.700	21.04	0.996	0.538	0.277	1.94	NO LICUA
1.95	4.55	0.45	6.398	SC	1.49	34.89	16.3	0.291	0.291	1.700	27.73	0.996	1.500	0.277	5.41	NO LICUA
2.85	3.65	0.90	9.350	SC	1.56	36.53	24.2	0.431	0.431	1.523	36.84	0.994	1.500	0.277	5.42	NO LICUA
3.75	2.75	0.90	12.303	SC	1.76	36.13	40.8	0.589	0.499	1.415	57.74	0.988	1.500	0.325	4.62	NO LICUA
4.20	2.30	0.45	13.780	SC	1.76	36.13	49.3	0.669	0.534	1.369	67.47	0.984	1.500	0.343	4.37	NO LICUA

Notas: cota 6.50 msnm, a_{max}= 0.43g, Magnitud 7.5 Mw, N60-SPT=Nm*CE*CB*CR*Cs

Tabla 102.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-08, Nf= -1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	γ (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ _v (Kg/cm ²)	σ' _v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	6.50		0.000					0.000	0				0.080	0.280	0.29	
1.50	5.00	1.50	4.921	SC	1.45	34.89	12.4	0.218	0.068	1.70	21.04	0.996	0.54	0.894	0.60	LICUA
1.95	4.55	0.45	6.398	SC	1.45	34.89	16.3	0.283	0.088	1.70	27.73	0.996	1.50	0.894	1.68	NO LICUA
2.85	3.65	0.90	9.350	SC	1.56	36.53	24.2	0.423	0.138	1.70	41.12	0.994	1.50	0.847	1.77	NO LICUA
3.75	2.75	0.90	12.303	SC	1.74	36.13	40.8	0.580	0.205	1.70	69.36	0.988	1.50	0.779	1.93	NO LICUA
4.20	2.30	0.45	13.780	SC	1.74	36.13	49.3	0.658	0.238	1.70	83.78	0.984	1.50	0.757	1.98	NO LICUA

Comentario: la evaluación determinista del sondaje tomado en este perfil indica que solo se produce la activación de la licuación del suelo hasta 1.95 m, cuando el nivel del agua subterránea en estado dinámico de esfuerzos se eleve hasta 1.50 m, mientras en el estado inicial de esfuerzos no se activa la licuación del suelo en este perfil.

Figura 117. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-08, escala de momento sísmico 7.5 Mw.

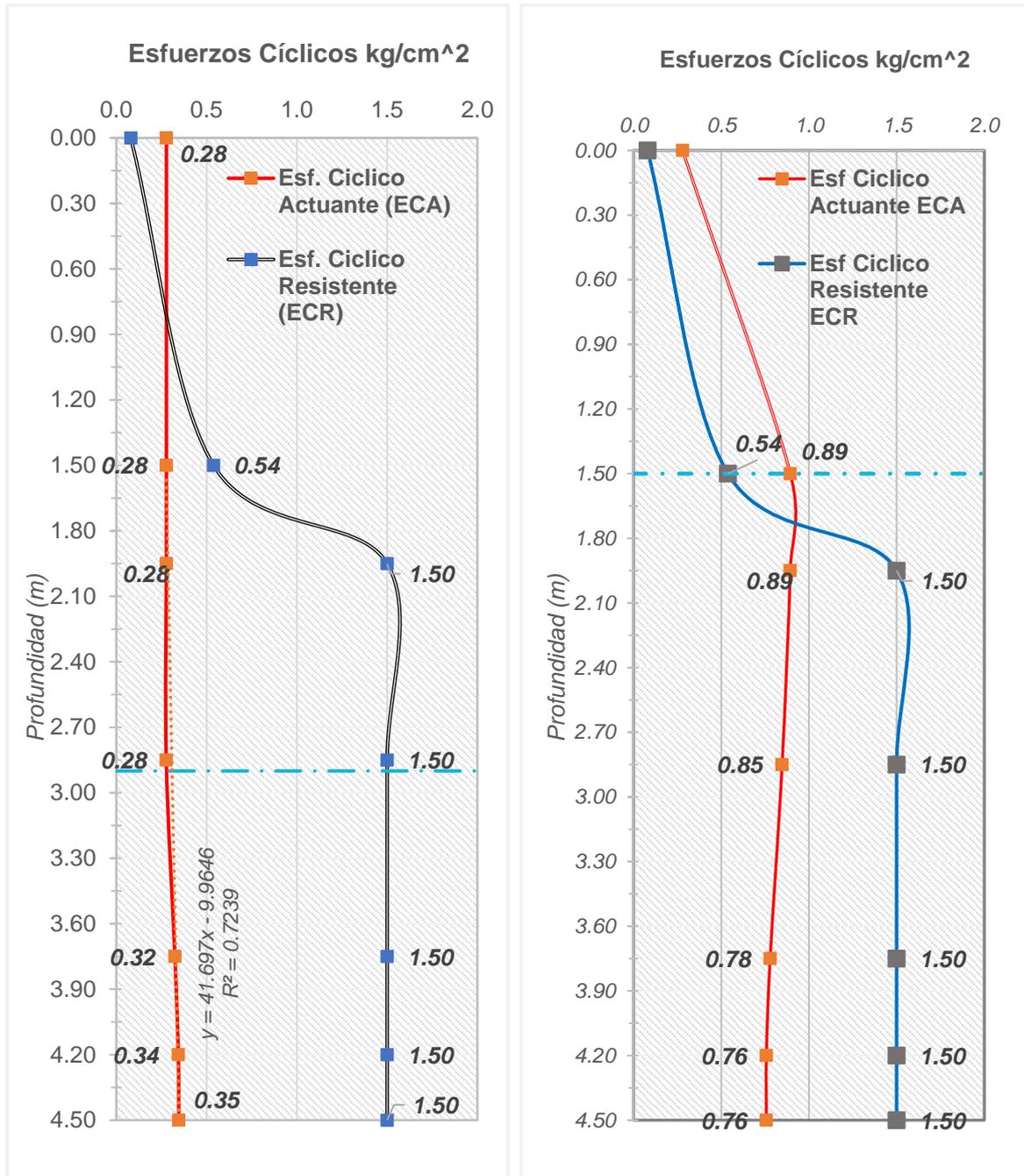
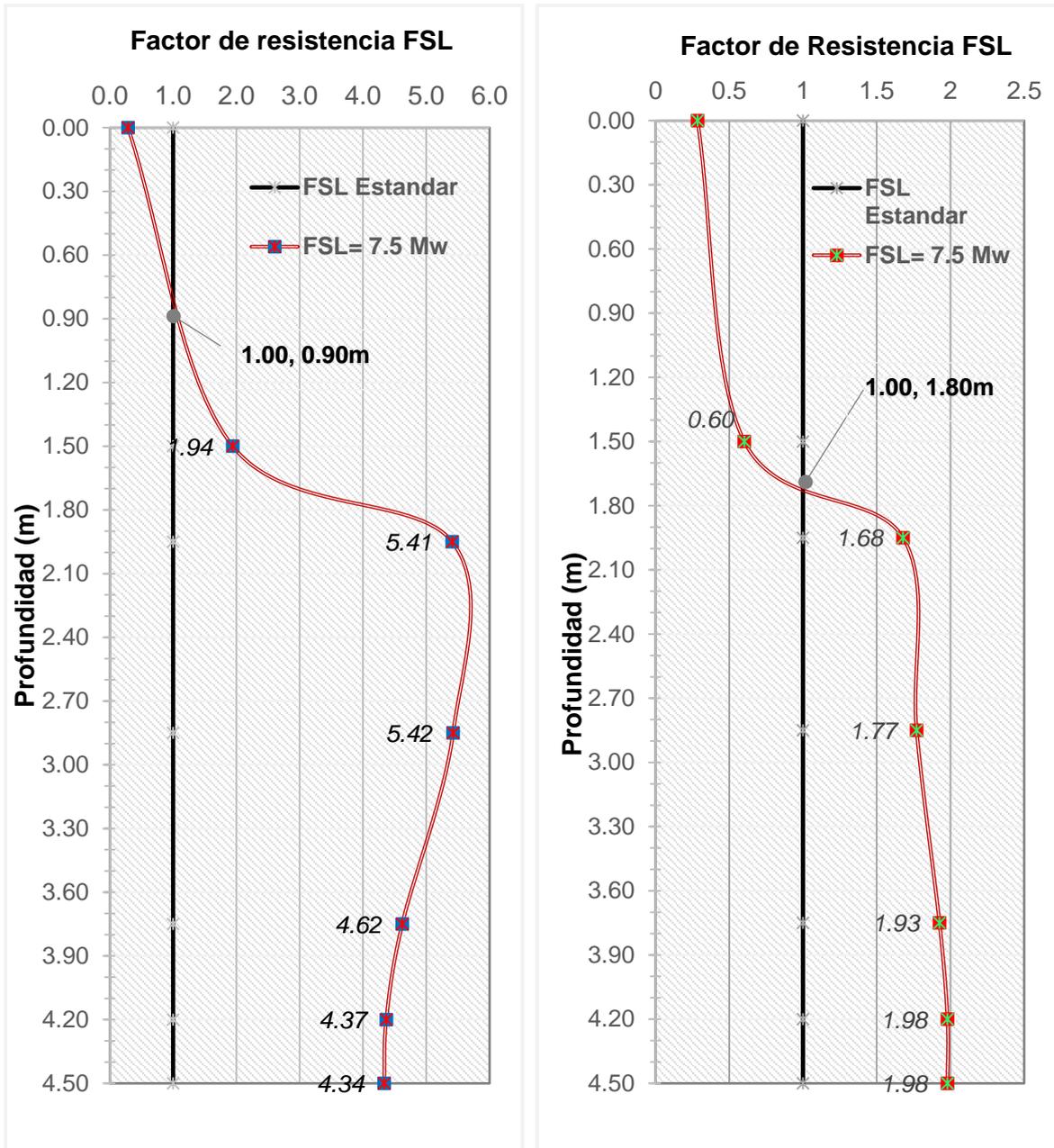


Figura 118. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-08



Comentario: en esta gráfica se puede observar la disminución o pérdida del factor de resistencia a la licuación de suelos debido a la subida del nivel freático hacia la superficie, tomando en cuenta la cercanía al límite con el dren 4000, sin embargo, los valores de la curva verde indican que no se genera la licuación de suelos, por lo que resulta suficiente como medida de seguridad plantear una profundidad de cimentación por debajo de 1.20 m

Tabla 103.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-09, Nf= -3.40 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	Y (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ_v (Kg/cm ²)	σ'_v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.00		0.000					0.000	0							
1.50	5.50	1.50	4.921	SC	1.49	37.29	13.5	0.224	0.224	1.700	22.95	0.996	0.818	0.277	2.95	NO LICUA
1.95	5.05	0.45	6.398	SC	1.49	37.29	17.4	0.291	0.291	1.700	29.64	0.996	1.500	0.277	5.41	NO LICUA
2.85	4.15	0.90	9.350	SC	1.55	38.52	24.8	0.430	0.430	1.525	37.74	0.994	1.500	0.277	5.42	NO LICUA
3.30	3.70	0.45	10.827	SC	1.69	39.75	43.2	0.506	0.506	1.406	60.72	0.991	1.500	0.276	5.44	NO LICUA
3.75	3.25	0.45	12.303	SC	1.69	39.75	54.4	0.582	0.582	1.311	71.30	0.988	1.500	0.275	5.45	NO LICUA

Notas: cota 7.00 msnm, $a_{max}= 0.43g$, Magnitud 7.5 Mw, $N60-SPT=Nm \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$

Tabla 104.

Evaluación de la licuación del Suelo, escala de Momento sísmico 7.50 Mw, sondaje SPT-09, Nf= -1.50 m

Z (m)	Cota msnm	Capa (m)	Prof. (pie)	Clase SUCS	Y (Tn/m ³)	Finos (%)	N60-SPT (Glp/ft)	σ_v (Kg/cm ²)	σ'_v (Kg/cm ²)	Cn	N1-SPT (Glp/ft)	Factor Rd	CRR (Kg/cm ²)	CSR (Kg/cm ²)	FRL	Evaluación
0.00	7.00		0.000					0.000	0				0.080	0.280	0.29	
1.50	5.50	1.50	4.921	SC	1.49	37.29	14	0.224	0.074	1.70	22.95	0.996	0.82	0.843	0.97	LICUA
1.95	5.05	0.45	6.398	SC	1.49	37.29	17	0.291	0.096	1.70	29.64	0.996	1.50	0.843	1.78	NO LICUA
2.85	4.15	0.90	9.350	SC	1.55	38.52	25	0.430	0.145	1.70	42.08	0.994	1.50	0.820	1.83	NO LICUA
3.30	3.70	0.45	10.827	SC	1.69	39.75	43	0.506	0.176	1.70	73.44	0.991	1.50	0.793	1.89	NO LICUA
3.75	3.25	0.45	12.303	SC	1.69	39.75	54	0.582	0.207	1.70	92.48	0.988	1.50	0.773	1.94	NO LICUA

Comentario: la evaluación determinista del sondaje tomado en este perfil indica que solo se produce la activación de la licuación del suelo hasta 1.50 m, cuando el nivel del agua subterránea en estado dinámico de esfuerzos se eleve hasta 1.50 m, mientras en el estado inicial de esfuerzos no se activa la licuación del suelo en este perfil.

Figura 119. Estado inicial (a) y dinámico (b), de esfuerzos cortantes cíclicos, a Partir de sondaje SPT-09, escala de momento sísmico 7.5 Mw.

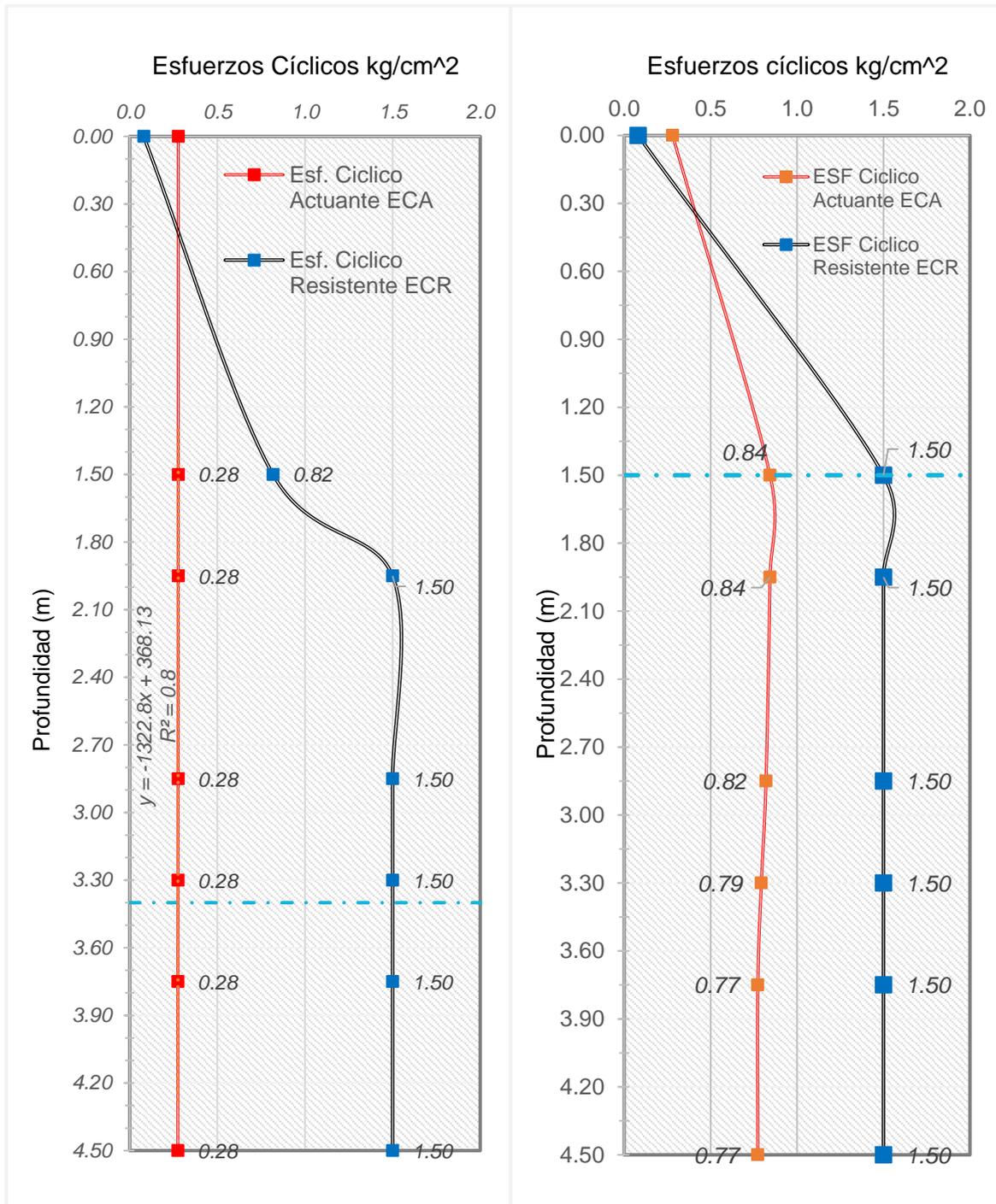
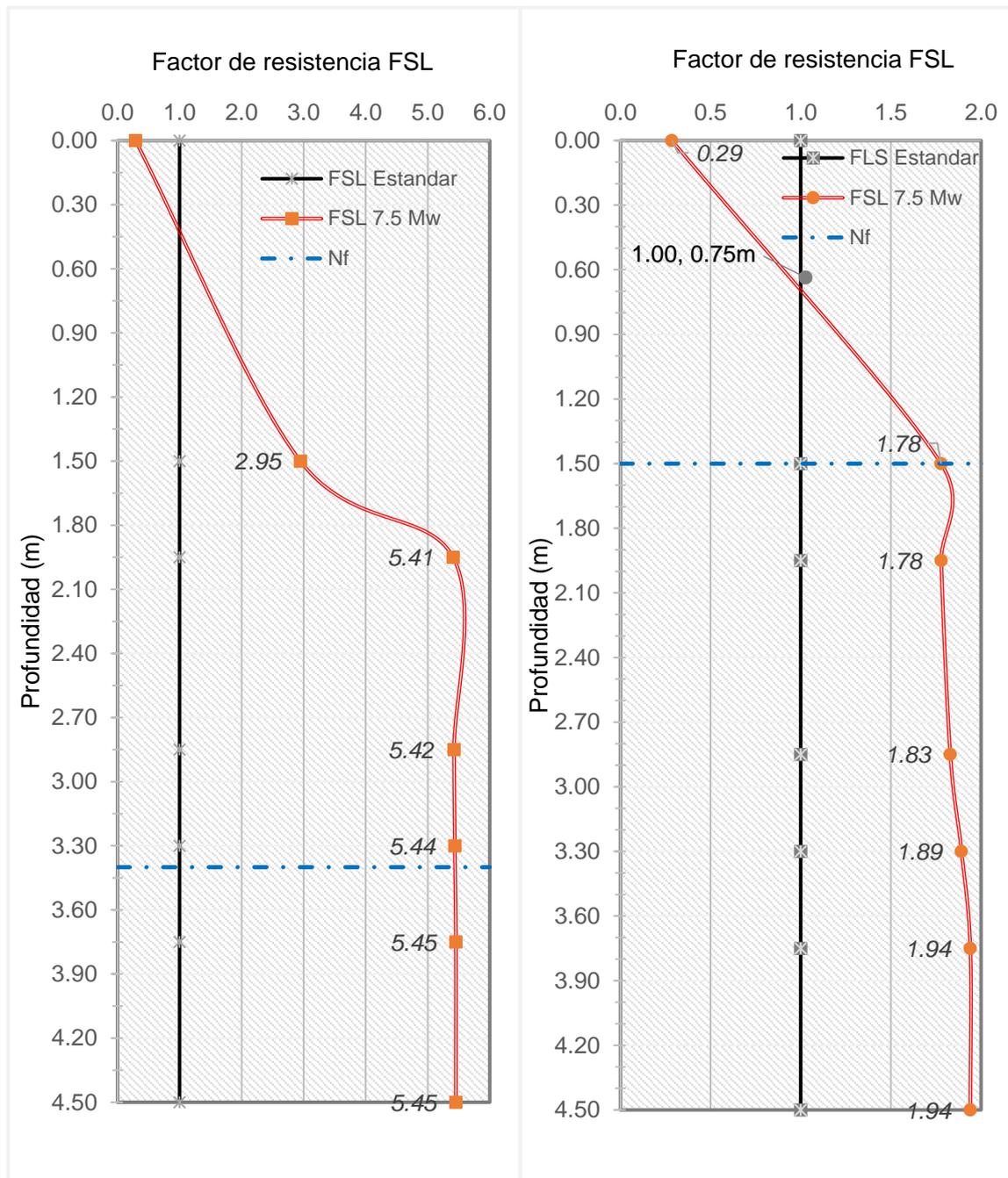


Figura 120. Profundidades de activación de la licuación del suelo, (a) estado inicial y (b) estado dinámico de esfuerzos, Sondaje SPT-09



Resumen de resultados

Tabla 105.

Resumen de factores de seguridad del terreno obtenidos con el método determinista

Prof. (m)	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	SPT-08	SPT-09
0.00	0.18	0.18	0.18	0.18	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
-1.50	0.09			0.09	0.97	1.57	0.34	1.94	2.95
-1.95	0.17	0.15	0.24	0.17	1.78	1.88	1.20	5.41	5.41
-2.40	0.24			0.23					
-2.85	0.28	0.29	0.45	0.30	1.84	1.90	1.83	5.42	5.42
-3.30	1.96			0.35		1.97	1.89		5.44
-3.75	2.32	2.37	2.36	0.85	1.98	2.03	1.94	4.62	5.45
-4.20	2.36			1.68	2.04	-	-	4.37	-
-4.65	2.38	2.46	2.45	2.38	-	-	-	-	-
-5.10	2.41			2.41	-	-	-	-	-
-5.55	2.44	2.54	2.52	2.44	-	-	-	-	-
-6.00	2.46			2.46	-	-	-	-	-

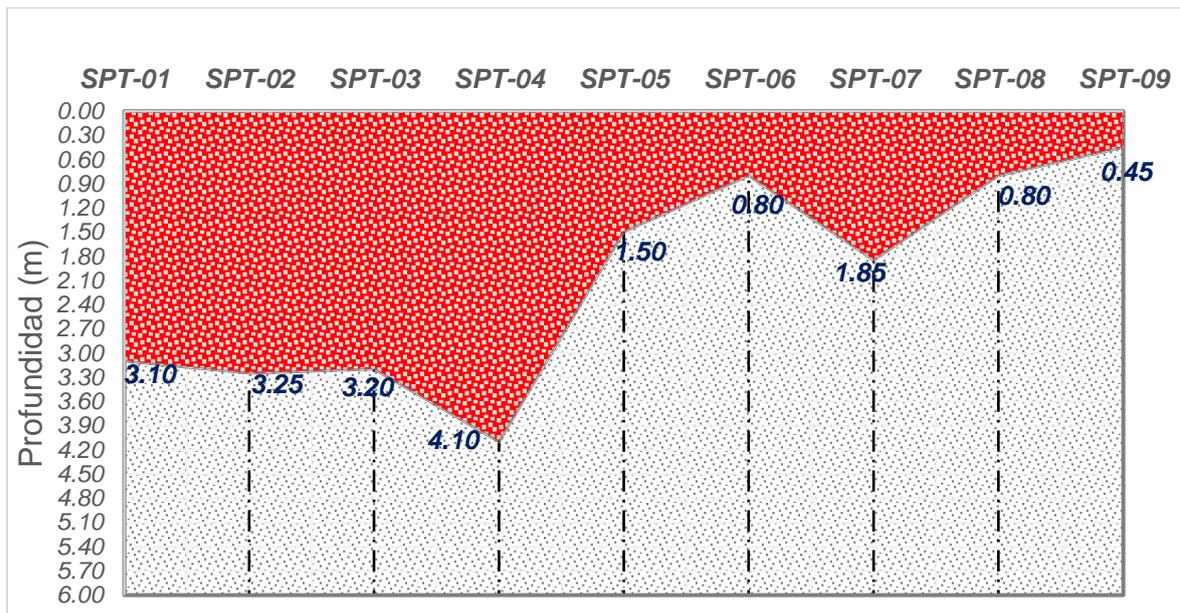


Figura 121. Profundidades de activación de la licuación del suelo, obtenido con el método determinista.

Comentario: en esta grafica se observa la profundidad de la activación de la licuación del suelo con lo que se determinó que la zona donde se efectuaron las pruebas SPT (01,02,03,04) necesita mejoramiento del terreno para mitigar los efectos en la superficie

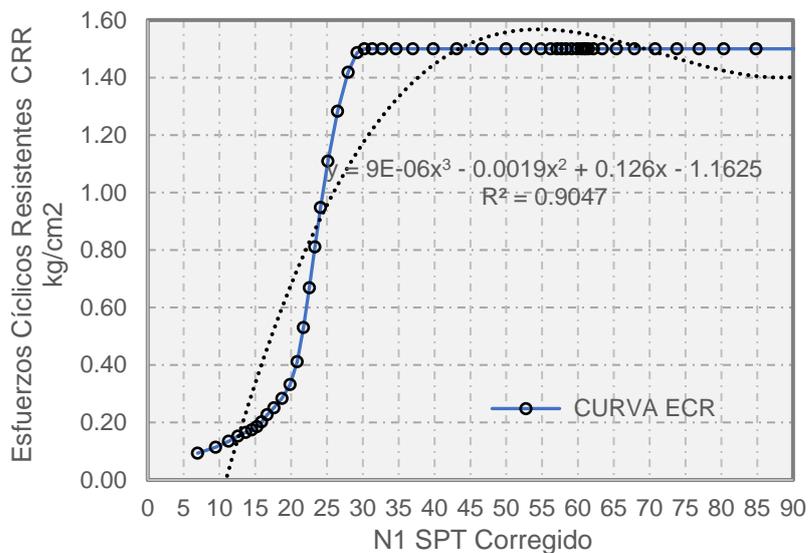


Figura 122. Curva de resistencia cíclica **CRR** del terreno, construida a partir del análisis determinista

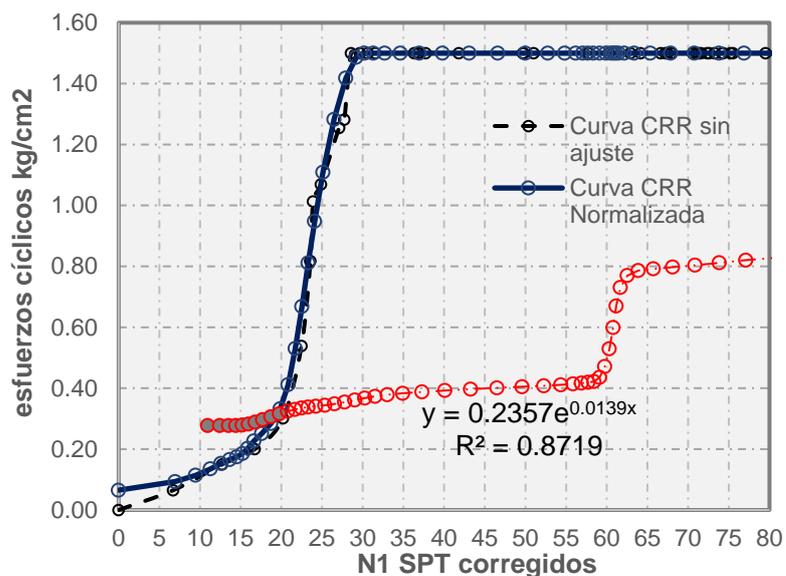


Figura 123. Curva de resistencia cíclica normalizada para la evaluación simplificada de licuación del terreno.

Comentario: la curva de resistencia cíclica CRR para la evaluación simplificada de la licuación del terreno en función al parámetro N1SPT, se obtuvo con 2 medias aritméticas de 3 periodos, esta curva nos indica que para valores corregidos de $N1SPT > 25$ golpes/pie, no se activa la licuación del terreno, y que cuando $N1SPT > 30$ golpes/pie la curva de resistencia se hace constante

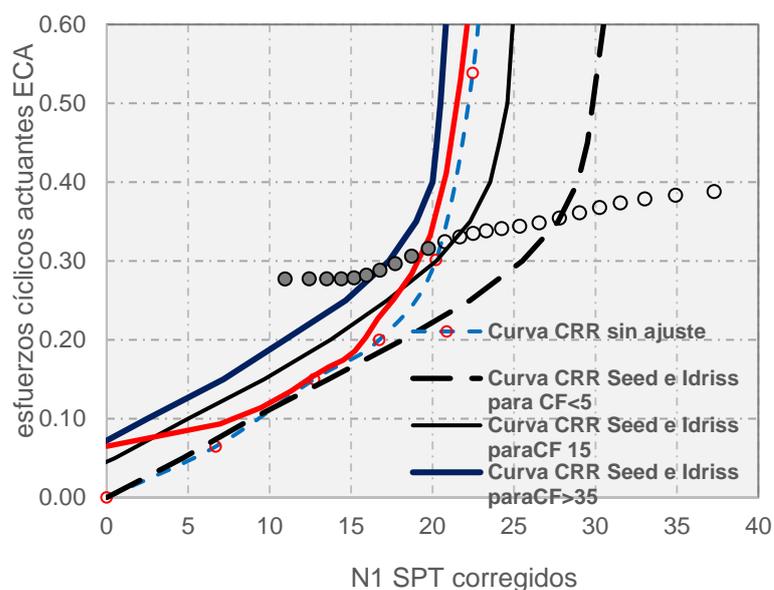


Figura 124. Validación de la curva de resistencia del terreno con respecto a las curvas propuestas por Seed e Idriss

Comentario: la curva de resistencia cíclica del terreno, elaborada en esta investigación se ubica dentro de los límites de las curvas de evaluación simplificada de la licuación de suelos propuestas por Seed e Idriss para relaciones de composición del suelo con contenidos de finos entre 5 y 35 %

3.1.4.2 Análisis Probabilístico de estimación de daños Inducidos en la superficie por el Método Iwasaki y Tokimatsu

Tabla 106. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -01

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-FLz	W(z)	PL=wz*f(z)(Ls-Li)	Efectos en la superficie
1.50	0.09	1.50	0.00	0.91	9.25	12.64	Si
1.95	0.17	1.95	1.50	0.83	9.03	3.38	No
2.40	0.24	2.40	1.95	0.76	8.80	2.99	No
2.85	0.28	2.85	2.40	0.72	8.58	2.79	No
3.30	1.96	3.30	2.85	0.00	8.35	0.00	No
Efectos totales						21.80	evaluar efectos, hasta z=-2.85 m

Tabla 107.*Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -02*

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.95	0.15	1.95	0.00	0.85	9.03	15.01	Si
2.85	0.29	2.85	1.95	0.71	8.58	5.52	Si
3.75	2.37	3.75	2.85	0.00	8.13	0.00	No
						20.53	evaluar efectos, hasta z=-2.85 m

Tabla 108.*Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -03*

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.95	0.24	1.95	0.00	0.76	9.03	13.37	Si
2.85	0.45	2.85	1.95	0.55	8.58	4.24	No
3.75	2.36	3.75	2.85	0.00	8.13	0.00	No
						17.61	evaluar efectos, hasta z=-2.85 m

Tabla 109.*Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -04*

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.50	0.09	1.50	0.00	0.91	9.25	12.64	Si
1.95	0.17	1.95	1.50	0.83	9.78	3.66	No
2.40	0.23	2.40	1.95	0.77	9.78	3.40	No
2.85	0.30	2.85	2.40	0.70	9.78	3.08	No
3.30	0.35	3.30	2.85	0.65	9.78	2.85	No
3.75	0.85	3.75	3.30	0.00	9.78	0.00	No
Efectos totales						25.63	evaluar, hasta z=-3.75 m

Tabla 110.*Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -05*

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.50	0.97	1.50	0.00	0.03	9.25	0.42	No
1.95	1.78	1.95	1.50	0.00	9.78	0.00	No
2.85	1.84	2.85	1.95	0.00	9.55	0.00	No
Efectos totales						0.42	No se presentan efectos

Tabla 111. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -06

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.50	1.57	1.50	0.00	0.00	9.25	0.00	No
1.95	1.88	1.95	1.50	0.00	9.78	0.00	No
2.85	1.90	2.85	1.95	0.00	9.55	0.00	No
Efectos totales						0.00	No se presentan efectos

Tabla 112. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -07

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.50	0.34	1.50	0.00	0.66	9.25	9.09	Si
1.95	1.20	1.95	1.50	0.00	9.78	0.00	No
2.85	1.83	2.85	1.95	0.00	9.55	0.00	No
Efectos totales						9.09	evaluar efectos hasta 1.95 m

Tabla 113. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -08

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.50	0.60	1.50	0.00	0.40	9.25	5.51	Si
1.95	1.68	1.95	1.50	0.00	9.78	0.00	No
2.85	1.77	2.85	1.95	0.00	9.55	0.00	No
Efectos totales						5.51	evaluar efectos hasta 1.95 m

Tabla 114. Probabilidad de daños en la superficie, sondaje SPT -09

Prof. "z" (m)	F(z)	Is	li	1-Fz	W(z)	PL=wz*f(z)(Is-li)	Efectos en la superficie
1.50	0.97	1.50	0.00	0.03	9.25	0.42	No
1.95	1.78	1.95	1.50	0.00	9.78	0.00	No
2.85	1.83	2.85	1.95	0.00	9.55	0.00	No
Efectos totales						0.42	No se presentan efectos

3.1.4.3 Estimación de los Efectos de la licuación de suelos en la superficie

- Estimación de asentamientos por el método de Ishihara / Yoshimine*

Tabla 115. Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-01

Depth m	CSRfs w/fs	F.S.	Fines %	(N1)60s	Dr %	ec %	dsz cm	dsp cm	Cumulate cm
6.98	0.47	4.29	28	67.92	100.00	0	0.00	0.00	0.00
6.50	0.46	4.33	28.00	69.64	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.00	0.46	4.39	28.00	71.62	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.45	4.45	28.00	70.68	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.44	4.54	28.00	68.34	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.43	4.65	28.00	66.95	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.42	4.79	28.00	55.14	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.4	4.98	28.00	44.13	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.38	0.85	24.90	27.14	83.94	0.91	0.02	0.05	0.05
2.50	0.36	0.61	23.30	20.02	70.58	2.16	0.05	0.98	1.04
2.00	0.32	0.38	7.00	11.43	53.85	3.24	0.08	1.36	2.40
1.55	0.28	0.29	4.90	7.12	43.08	4.22	0.11	1.69	4.09
1.52	0.28	0.29	4.80	6.91	42.48	4.23	0.11	0.11	4.19

Tabla 116. Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-01

Depth m	sigma' tsf	sigC' tsf	(N1)60s	CSRfs w/fs	Gmax g*Ge/Gm tsf	g,eff	ec7.5	Cec %	ec %	dsz %	dsp cm	S cm	S. cum cm
1.50	0.25	0.16	6.69	0.28	338.40	0.0	0.04	0.14	1.06	0.15	0.01	0.01	0.01
1.47	0.24	0.16	6.58	0.28	333.70	0.0	0.04	0.14	1.06	0.15	0.01	0.01	0.02
1.00	0.17	0.11	4.46	0.28	241.40	0.0	0.05	0.23	1.06	0.24	0.01	0.26	0.27
0.50	0.08	0.05	2.23	0.28	135.50	0.0	0.04	0.17	1.06	0.18	0.01	0.21	0.48
0.00	0.00	0.00	0.10	0.28	0.50	0.0	0.00	0.00	1.06	0.01	0.00	0.14	0.62

- Unidades: Profundidad = m, Tensión o Presión = atm (tsf), Peso unitario = kn/m³, Asentamiento = cm
- Asentamiento de arenas saturadas=4,193 cm
- (N1)60 es el número de golpes después de la corrección de finos en el análisis de licuefacción
- dsz es por cada segmento, dz=0,03 m
- ec =Deformación volumétrica para arenas saturadas
- Asentamiento total en arenas secas=0,622 cm
- dsz es por cada segmento, dz=0,03 m
- dsp es por cada intervalo dp=0,50 m
- S es el asentamiento acumulado a esta profundidad
- Asentamiento total de las arenas saturadas y secas (en la superficie) =4,815 cm
- Asentamiento diferencial=2,408 a 3,178 cm

- G_{max} : Módulo de cizallamiento a baja deformación
- g_{eff} γ_{eff} : Esfuerzo cortante efectivo
- g^*G_e/G_m $\gamma_{eff} * G_{eff}/G_{max}$, Relación entre la deformación y el módulo
- **ec7.5** Deformación volumétrica para magnitud=7.5
- C_{ec} Factor de corrección de la magnitud del sismo
- ec , es la deformación volumétrica para arenas secas, $ec=C_{ec} * ec7.5$.

Tabla 117.

Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-02

Depth m	CSRfs w/fs	F.S.	Fines %	(N1)60s	Dr %	ec %	dsz cm	dsp cm	Cumulate cm
5.98	0.45	4.4	28.30	66.45	100	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.45	4.45	28.30	68.33	100	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.44	4.52	28.30	68.3	100	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.43	4.6	28.30	64.64	100	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.42	4.72	28.30	46.75	100	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.41	4.88	22.50	34.39	100	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.39	0.60	10.80	21.41	73.07	2.03	0.05	0.44	0.44
2.50	0.36	0.44	6.10	14.88	61.04	2.74	0.07	1.25	1.69
2.00	0.32	0.33	4.40	9.93	50.38	3.491	0.09	1.62	3.31
1.55	0.28	0.3	4.20	7.6	44.41	4.081	0.10	1.71	5.02
1.52	0.28	0.30	4.20	7.48	44.07	4.114	0.10	0.10	5.13

Tabla 118.

Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-02

Depth m	sigma' tsf	sigC' tsf	(N1)60s	CSRfs w/fs	G_{max} g^*G_e/G_m tsf	g_{eff}	ec7.5	Cec %	ec	dsz %	dsp cm	S cm	S. cum cm
1.50	0.24	0.16	7.36	0.28	344.40	0.00	0.04	0.12	1.06	0.13	0.01	0.01	0.01
1.47	0.24	0.15	7.23	0.28	339.70	0.00	0.04	0.13	1.06	0.13	0.01	0.01	0.01
1.00	0.16	0.11	4.90	0.28	246.40	0.00	0.04	0.21	1.06	0.22	0.01	0.19	0.20
0.50	0.08	0.05	2.45	0.28	138.70	0.00	0.03	0.16	1.06	0.17	0.01	0.19	0.39
0.00	0.00	0.00	0.10	0.28	0.50	0.00	0.00	0.00	1.06	0.01	0.00	0.13	0.53

- Asentamiento de arenas saturadas= 5.13 cm
- dsz es por cada segmento, dz=0,03 m
- Asentamiento total en arenas secas=0,53 cm

- dsp es por cada intervalo $dp=0,50$ m
- Asentamiento total de las arenas saturadas y secas (en la superficie) = 5.65 cm
- Asentamiento diferencial= 2.83 to 3.73 cm

Tabla 119.

Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-03

Depth m	CSRfs w/fs	F.S.	Fines %	(N1)60s	Dr %	ec %	dsz cm	dsp cm	Cumulate cm
5.98	0.46	4.38	28.80	66.56	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.45	4.43	28.90	68.48	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.44	4.50	29.90	70.06	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.44	4.59	30.60	67.33	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.42	4.71	30.60	48.52	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.41	4.88	25.30	37.05	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.39	0.80	14.70	26.74	83.13	1.03	0.03	0.13	0.13
2.50	0.36	0.63	9.00	21.25	72.80	2.01	0.05	0.87	0.99
2.00	0.32	0.52	5.30	15.75	62.73	2.64	0.07	1.22	2.22
1.55	0.28	0.47	5.00	12.16	55.46	3.13	0.08	1.30	3.52
1.52	0.28	0.47	5.00	11.97	55.03	3.16	0.08	0.08	3.59

- Asentamiento de arenas saturadas= 3.594 cm
- dsz es por cada segmento, $dz=0,03$ m

Tabla 120.

Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-03

Depth m	sigma' tsf	sigC' tsf	(N1)60s	CSRfs w/fs	Gmax g*Ge/Gm tsf	g,eff	ec7.5	Cec %	ec %	dsz %	dsp cm	S cm	S. cum cm
1.50	0.24	0.16	11.77	0.28	402.80	0.00	0.03	0.06	1.06	0.06	0.00	0.00	0.00
1.47	0.24	0.15	11.57	0.28	397.20	0.00	0.03	0.06	1.06	0.06	0.00	0.00	0.01
1.00	0.16	0.11	7.85	0.28	288.20	0.00	0.03	0.10	1.06	0.10	0.01	0.08	0.09
0.50	0.08	0.05	3.92	0.28	162.20	0.00	0.03	0.12	1.06	0.13	0.01	0.12	0.21
0.00	0.00	0.00	0.10	0.28	0.50	0.00	0.00	0.00	1.06	0.01	0.00	0.11	0.32

- Asentamiento total en arenas secas= 0.321 cm
- dsp es por cada intervalo $dp=0,50$ m
- Scum es el asentamiento acumulado a esta profundidad
- Asentamiento total de las arenas saturadas y secas (en la superficie) = **3.914** cm
- Asentamiento diferencial= **1.957 to 2.584** cm

Tabla 121.*Asentamiento de arenas saturadas, sondaje SPT-04*

Depth m	CSRfs w/fs	F.S.	Fines %	(N1)60s	Dr %	ec %	dsz cm	dsp cm	Cumulate cm
6.98	0.47	4.26	23.70	65.59	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.50	0.46	4.30	23.70	67.30	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.00	0.46	4.35	23.70	69.27	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.50	0.45	4.42	23.70	69.08	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.44	4.50	23.70	53.44	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.43	4.61	23.70	32.74	96.60	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.42	0.67	23.70	24.96	79.64	1.52	0.04	0.62	0.62
3.50	0.40	0.57	15.10	21.36	72.99	2.04	0.05	0.86	1.48
3.00	0.39	0.51	8.20	18.20	67.28	2.36	0.06	1.13	2.61
2.50	0.36	0.43	6.80	14.37	60.03	2.80	0.07	1.27	3.88
2.00	0.32	0.35	4.80	10.30	51.26	3.43	0.09	1.64	5.52
1.55	0.28	0.28	4.60	6.83	42.27	4.30	0.11	1.73	7.25
1.52	0.28	0.28	4.60	6.63	41.69	4.35	0.11	0.11	7.36

- Asentamiento de arenas saturadas= 7.40 cm
- S cumulate: es el asentamiento acumulado con la profundidad de investigación

Tabla 122.*Asentamiento de arenas secas, sondaje SPT-04*

Depth m	sigma' tsf	sigC' tsf	(N1)60s	CSRfs w/fs	Gmax g*Ge/Gm tsf	g,eff	ec7.5	Cec %	ec	dsz %	dsp cm	S cm	S. cum cm
1.50	0.25	0.16	6.43	0.28	333.80	0.00	0.04	0.15	1.06	0.16	0.01	0.01	0.01
1.47	0.24	0.16	6.32	0.28	329.20	0.00	0.04	0.15	1.06	0.16	0.01	0.01	0.02
1.00	0.17	0.11	4.28	0.28	238.10	0.00	0.05	0.24	1.06	0.25	0.01	0.30	0.31
0.50	0.08	0.05	2.14	0.28	133.70	0.00	0.04	0.18	1.06	0.19	0.01	0.22	0.53
0.00	0.00	0.00	0.10	0.28	0.50	0.00	0.00	0.00	1.06	0.01	0.00	0.14	0.68

- Asentamiento total en arenas secas= 0.677 cm
- S cum es el asentamiento acumulado a esta profundidad
- Asentamiento total de las arenas saturadas y secas (en la superficie) = 8.077 cm
- Asentamiento diferencial= 4.038 to 5.331 cm
- Cec Factor de corrección para cualquier magnitud

Cálculo del Lateral Spreading SPT-01

Tabla 123. Dispersión lateral por licuación de suelos a partir del perfil de SPT-01

Lateral Spreading		SPT-01
Espesor acumulado de los sedimentos granulares con $(N1)_{60} \leq 15$ golpes	2.40 m	
Dimensión media de los granos incluidos D50	0.28 mm	
Contenido medio de los finos incluidos en H15	4.99 %	
Distancia epicentral	44.40 Km	
Magnitud sísmica	7.00	
Inclinación del terreno	2.00 %	
Relación entre la altura de la cara H y la distancia desde la cara L	8.99 %	
Deslizamiento lateral	0.20 m	

Tabla 124. Dispersión lateral por licuación de suelos a partir del perfil de SPT-02

Lateral Spreading		SPT-02
Espesor acumulado de los sedimentos granulares con $(N1)_{60} \leq 15$ golpes	2.85 m	
Dimensión media de los granos incluidos D50	0.28 mm	
Contenido medio de los finos incluidos en H15	4.99 %	
Distancia epicentral	44.40 Km	
Magnitud sísmica	7.00	
Inclinación del terreno	2.00 %	
Relación entre la altura de la cara H y la distancia desde la cara L	20 %	
Deslizamiento lateral	0.21 m	

Tabla 125. Dispersión lateral por licuación de suelos a partir del perfil de SPT-03

Lateral Spreading		SPT-03
Espesor acumulado de los sedimentos granulares con $(N1)_{60} \leq 15$ golpes	2.00 m	
Dimensión media de los granos incluidos D50	0.25 mm	
Contenido medio de los finos incluidos en H15	4.98 %	
Distancia epicentral	44.40 Km	
Magnitud	7.00	
Inclinación del terreno	5.00 %	
Relación entre la altura de la cara H y la distancia desde la cara L	8.99 %	
Deslizamiento lateral	0.30 m	

Comentario: Para calcular la ocurrencia del efecto de dispersión lateral en la superficie, se consideró el espesor acumulado de estratos granulares con resistencia a la penetración dinámica corregida $N_{1SPT} \leq 15$ golpes medido desde la superficie, el diámetro D_{50} en mm, el Contenido medio de los finos CF%, la Distancia epicentral = 44.4 Km y la Magnitud $M_w=7.0$ que se obtuvieron del análisis de peligro PSHA, la influencia de la topografía en la Inclinación del terreno en %, la Relación entre la altura de la cara “H” y la distancia desde la cara “L”: H/L en %
Resultados: con estas condiciones de sitio se presenta una Dispersión lateral $DL=0.30$ m, por lo que se recomienda tener en cuenta la construcción de un muro de contención que sirva a su vez como revestimiento del dren 4000 y evaluar la estabilidad del talud que limita con la rivera del mar

3.1.5 Diseño Experimental de un Mortero para inyecciones en suelos Arenosos

3.1.5.1 Pruebas de fluidez del mortero en el Cono de Marsh

- Pruebas con cemento tipo Ms Pacasmayo

Tabla 126. Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 0.2%

Tipo y Marca de Cemento	Relación a/c	Materiales	Dosificación		T °C	Peso Específico del mortero. (γ) (gr/cm ³)
			%	Peso (gr)		
MS (CEMENTOS PACASMAYO)	0.7	cemento		230.00	24	1.57
		Sikament N 290	0.40	0.92		
		bentonita	10.00	23.00		
		agua		160.08		
		peso total (gr.)		414.00		

Tabla 127. Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.2%

Tiempo de mezclado	tiempo de fluidez de 200 cm ³
T (min)	T (s)
10.0	31.96
20.0	34.93
30.0	36.76

60.0	40.20
90.0	60.29
120.0	80.39

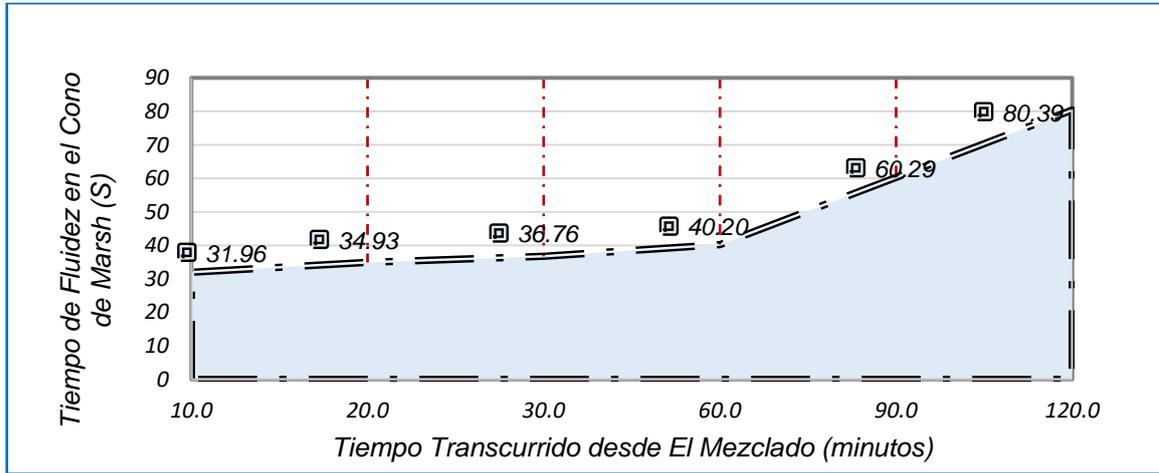


Figura 125. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.2%

Tabla 128. Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 0.4%

Tipo y Marca de Cemento	Relación a/c	Materiales	Dosificación		T °C	Peso Específico del mortero. (γ) (gr/cm ³)
			%	Peso (gr)		
MS (CEMENTOS PACASMAYO)	0.7	cemento		230	24	1.57
		Sikament N 290	0.40	0.92		
		bentonita	10.00	23		
		agua		160.08		
		peso total (gr.)		414.00		

Tabla 129. Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%

tiempo de mezclado	tiempo para 200 cm ³
T (min)	T (s)
10.0	13.85

20.0	19.7
30.0	26.07
60.0	29.64
90.0	33.21
120.0	33.45

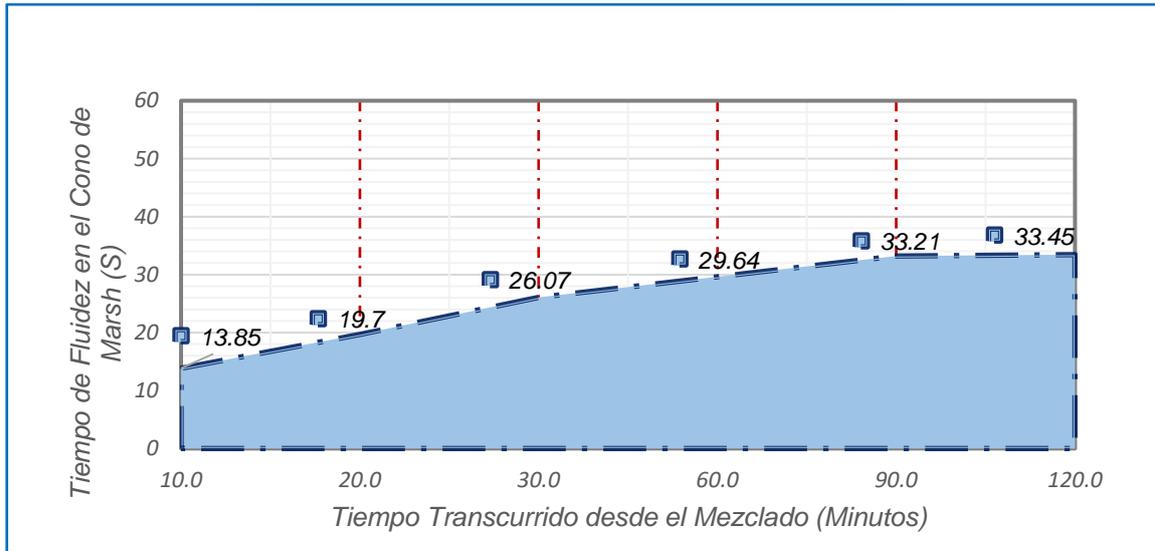


Figura 126. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%

Tabla 130. Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 0.7%

Tipo y Marca de Cemento	Relación a/c	Materiales	Dosificación		T °C	Peso Específico del mortero. (γ) (gr/cm ³)
			%	Peso (gr)		
MS (CEMENTOS PACASMAYO)	0.7	cemento		300.00	26	1.54
		Sikament N 290	0.70	2.10		
		bentonita	10.00	30.00		
		agua		207.90		
peso total (gr.)				540		

Tabla 131. Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.7%

tiempo de mezclado	tiempo de fluidez para 200 cm ³
T (min)	T (s)
10.0	17.9
20.0	21.04
30.0	22.09
60.0	24.47
90.0	26.85
120.0	30.6

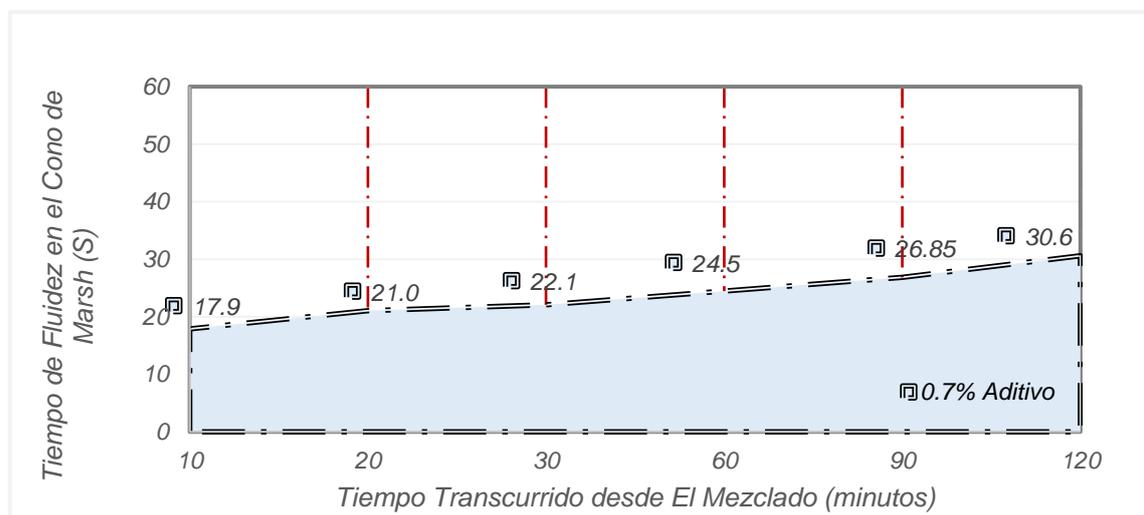


Figura 127. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.7%

Tabla 132. Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 1.0 %

Tipo y Marca de Cemento	Relación a/c	Materiales	Dosificación		T °C	Peso Específico del mortero. (γ) (gr/cm ³)
			%	Peso (gr)		
MS (CEMENTOS PACASMAYO)	0.7	cemento		300.00	26	1.56
		Sikament N	1.00	3.00		
		290	10.00	30.00		
		bentonita		207.00		
		agua		540.00		
		peso total (gr.)		540.00		

Tabla 133. Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.0 %

tiempo de mezclado	tiempo para 200 cm ³
T (min)	T (s)
10.00	13.12
20.00	26.00
30.00	26.22
60.00	30.60
90.00	34.27
120.00	36.10

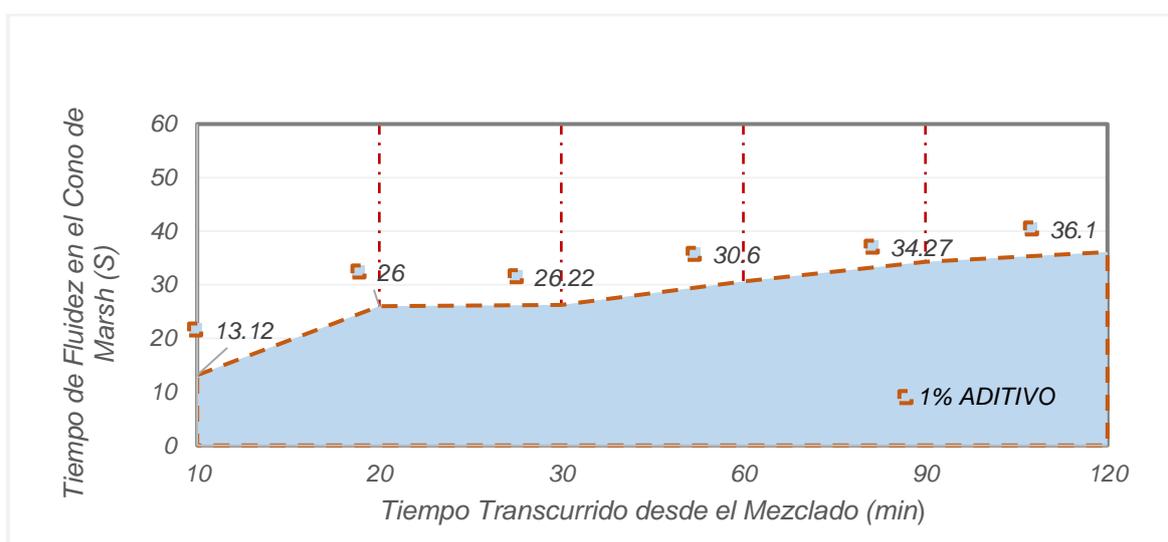


Figura 128. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.0 %

Tabla 134. Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 1.5 %

Tipo y Marca de Cemento	Relación a/c	Materiales	Dosificación		T °C	Peso Específico del mortero. (γ) (gr/cm ³)
			%	Peso (gr)		
MS (CEMENTOS PACASMAYO)	0.7	cemento		650.00	26	1.57
		Sikament N	1.50	9.75		
		bentonita	10.00	65.00		
		agua		445.25		
		peso total (gr.)		1170.00		

Tabla 135. Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.5 %

tiempo de mezclado T (min)	tiempo para 200 cm ³ T (s)
10.00	13.80
20.00	15.01
30.00	14.34
60.00	14.30
90.00	25.30
120.00	25.85

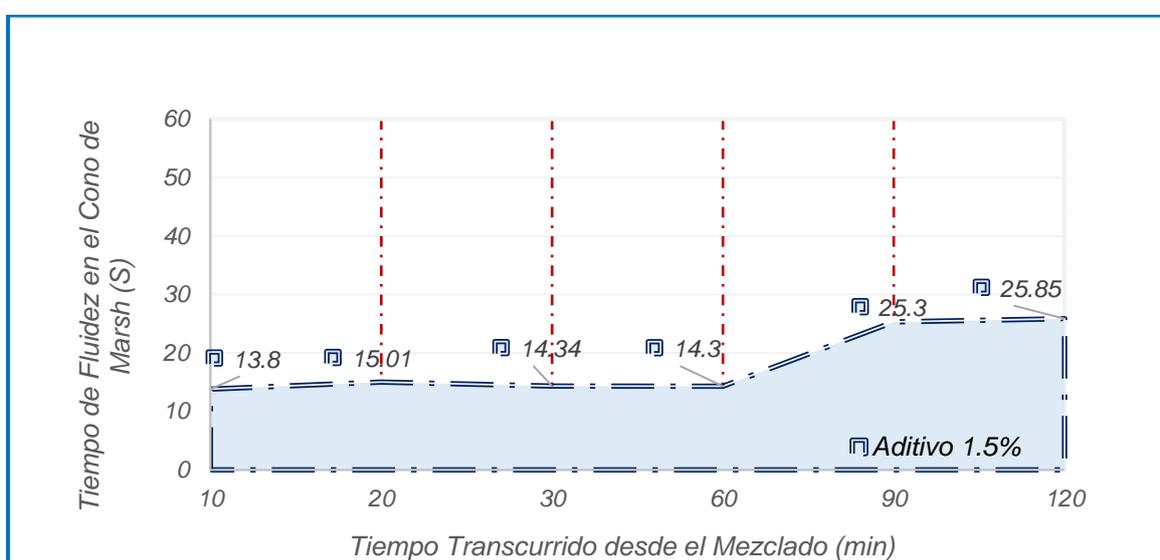


Figura 129. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.5 %

Tabla 136. Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Pacasmayo tipo ms, bentonita al 10% y aditivo al 2.0 %

Tipo y Marca de Cemento	Relación a/c	Materiales	Dosificación		T °C	Peso Específico del mortero. (γ) (gr/cm ³)
			%	Peso (gr)		
MS (CEMENTOS PACASMAYO)	0.7	cemento		350.00	26	1.59
		Sikament N 290	2.00	7.00		
		bentonita	10.00	35.00		
		agua		238.00		
		peso total (gr.)		630.00		

Tabla 137. Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 2.0 %

tiempo de mezclado	tiempo para 200 cm ³
T (min)	T (s)
10.00	13.60
20.00	13.85
30.00	14.34
60.00	14.30
90.00	14.45
120.00	22.46

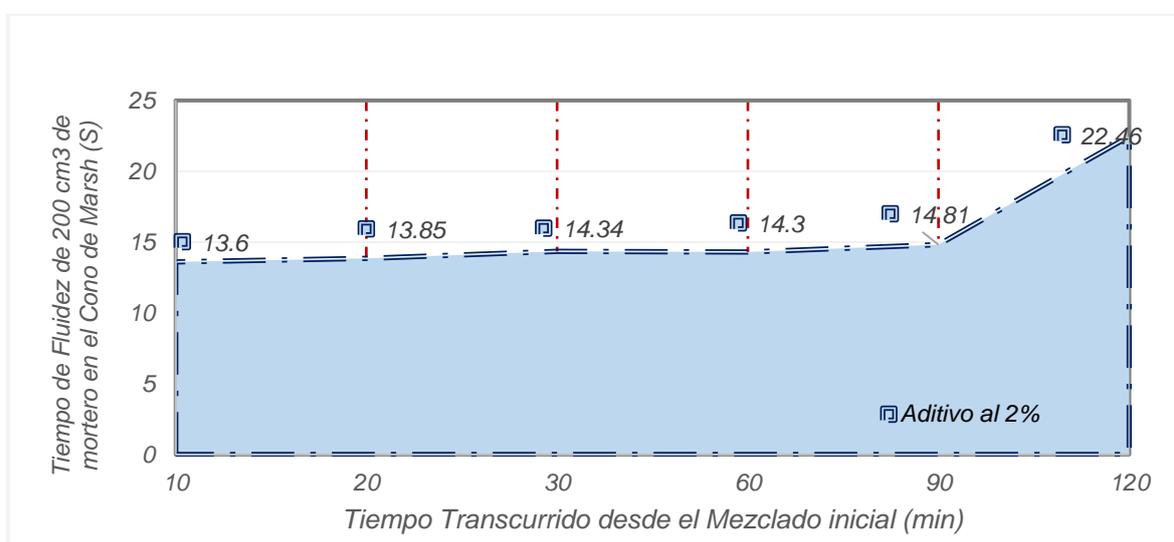


Figura 130. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 2.0 %

▪ **Pruebas con cemento tipo I Mochica**

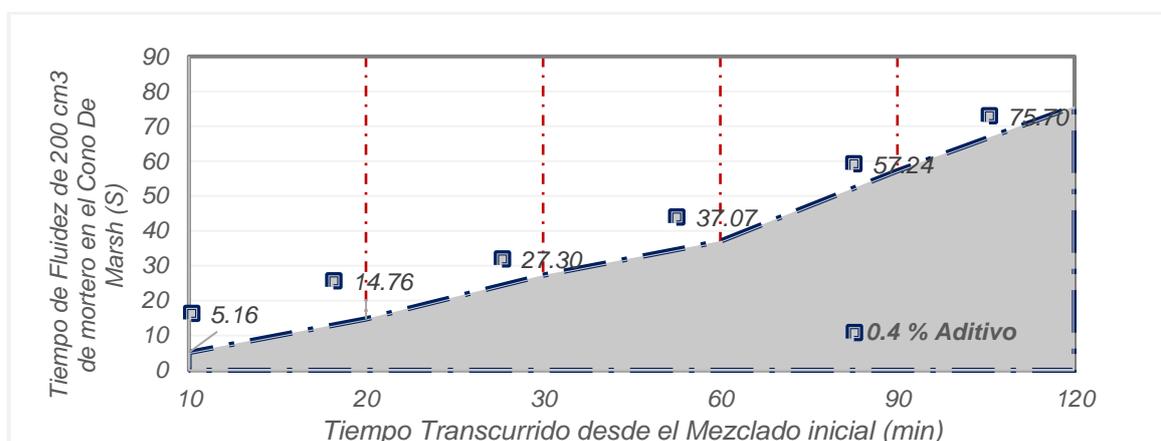


Figura 131. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 5.0 % y aditivo al 0.4 %

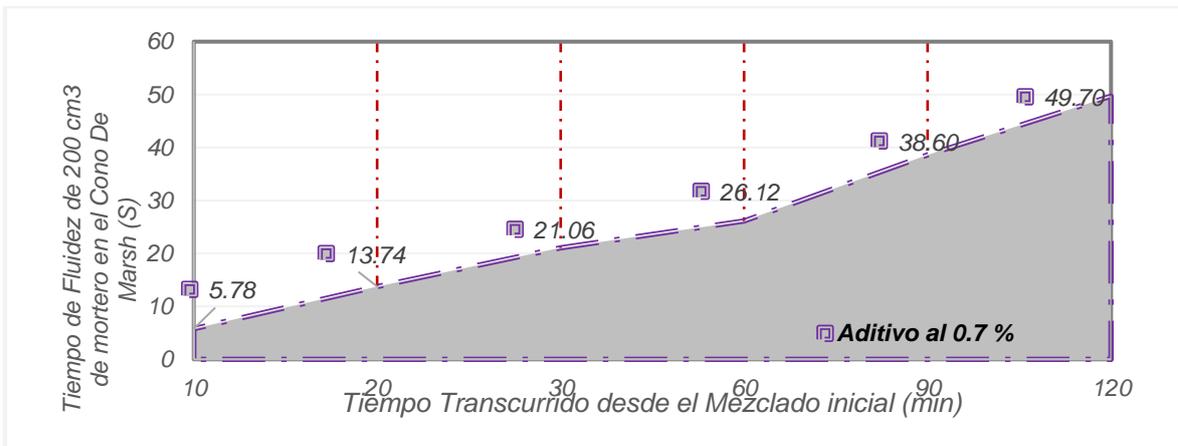


Figura 132. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 0.7 %

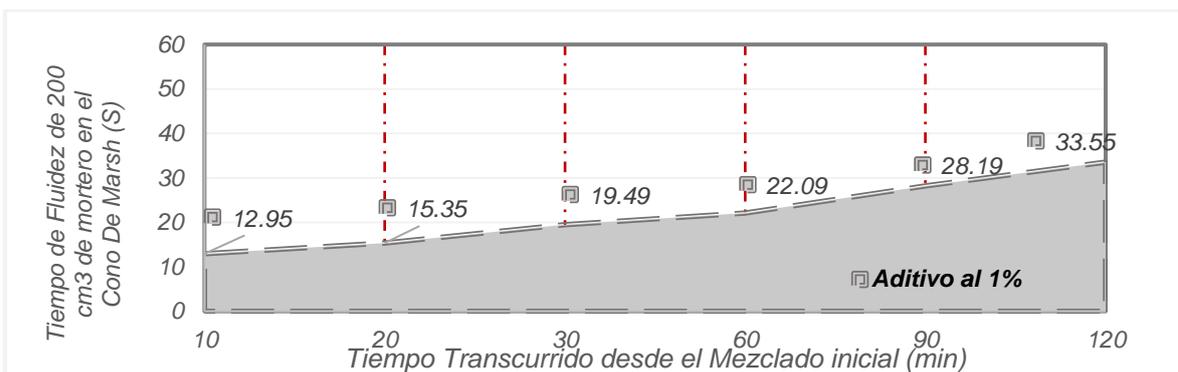


Figura 133. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 1.0 %

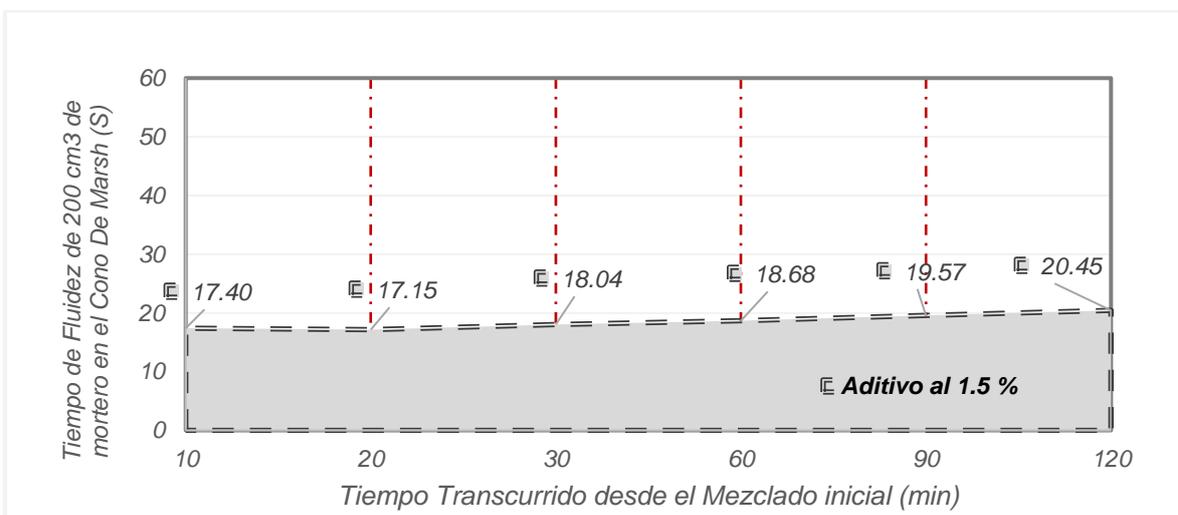


Figura 134. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 1.5 %

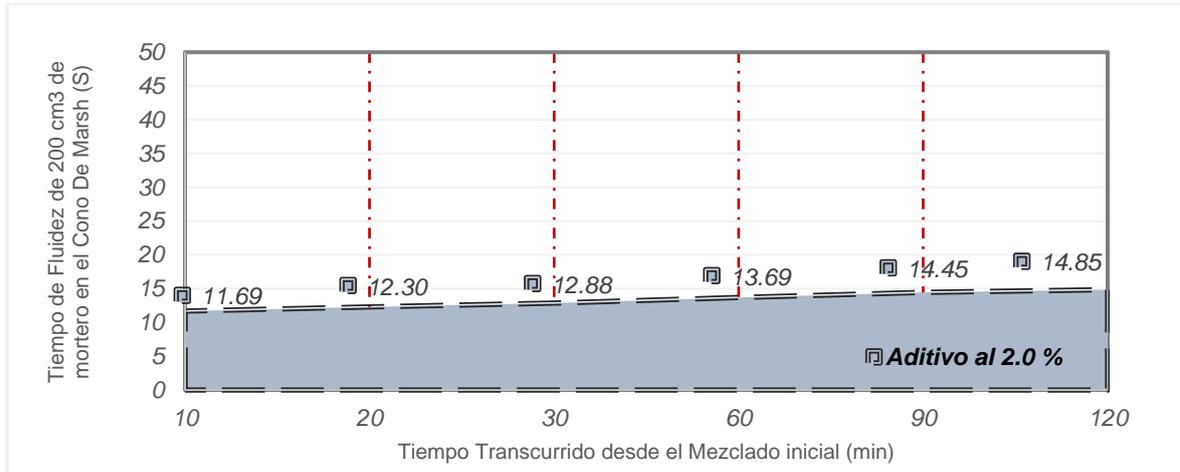


Figura 135. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 10 % y aditivo al 2.0 %

Tabla 138. Dosificación y propiedades del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %

Tipo y Marca de Cemento	Relación a/c	Materiales	Dosificación		T °C	Peso Específico del mortero. (γ) (gr/cm ³)
			%	Peso (gr)		
TIPO I (CEMENTOS MOCHICA)	0.7	cemento		1300.00	26	1.95
		Sikament N 290	1.00	13.00		
		bentonita	15.00	195.00		
		agua		897.00		
		peso total (gr.)		2405.00		

Tabla 139.

Tiempo de fluidez de 200 cm³ de mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %

tiempo de mezclado T (min)	Tiempo de fluidez para 200 cm ³ T (s)
10.00	11.69
20.00	12.30
30.00	12.88
40.00	13.69
50.00	14.45
60.00	14.85
90.00	16.94

120.00

18.91

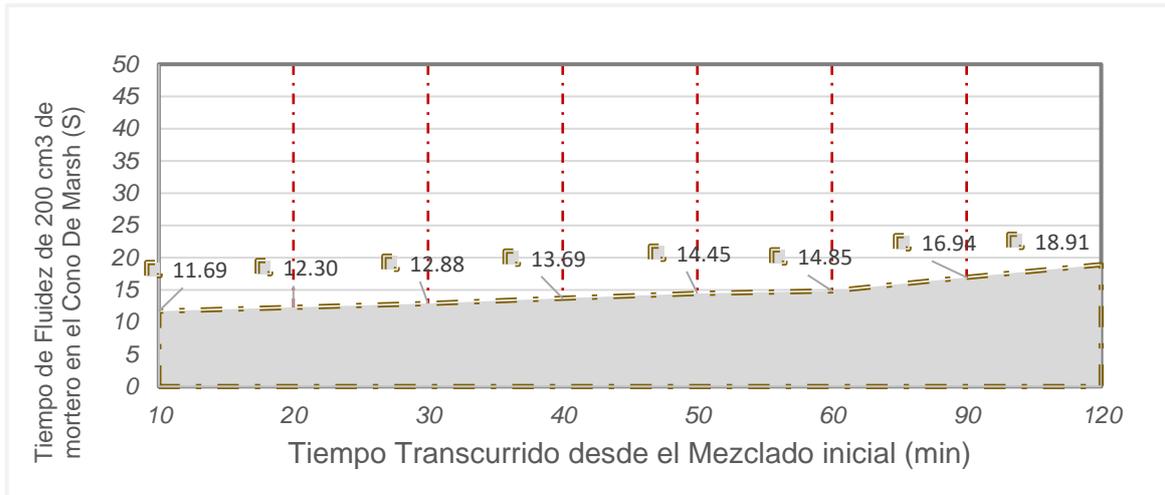


Figura 136. Prueba de Fluidez del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %

Figura 137. Curvas de fluidez del mortero con cemento tipo Ms, bentonita al 10%, % de aditivo variable, del 0,4 al 2.0 %, para 2 horas de inyección

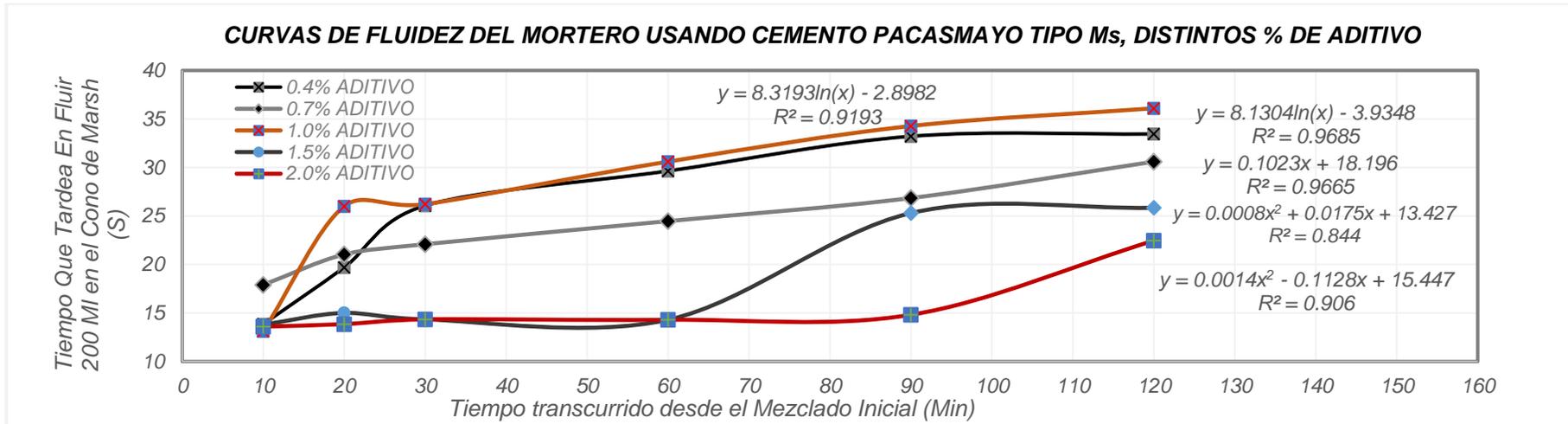
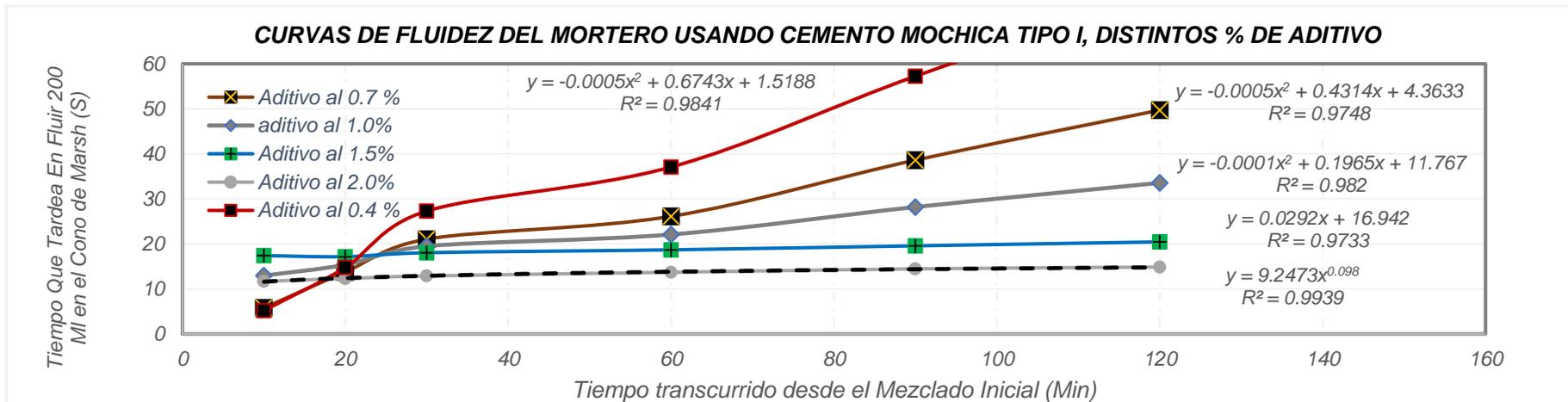


Figura 138. Curvas de fluidez del mortero con cemento tipo I, Mochica, bentonita y % de aditivo variable, del 0,4 al 2.0 %, para 2 horas de inyección



3.1.5.2 Pruebas de decantación

Tabla 140. Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.2%

tiempo de mezclado	lectura	Decantación
T (min)	mm	mm
-	100	-
15.00	98.00	2.00
30.00	97.00	3.00
45.00	96.00	4.00
60.00	95.50	4.50

Tabla 141. Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%

tiempo de mezclado	lectura	Decantación
T (min)	mm	mm
-	100	-
15.00	98.50	1.50
30.00	97.00	3.00
45.00	97.00	3.00
60.00	97.00	3.00

Tabla 142. Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 0.4%

tiempo de mezclado	lectura	Decantación
T (min)	mm	mm
-	100.00	

15.00	98.00	2.00
30.00	97.00	3.00
45.00	96.50	3.50
60.00	96.50	3.50

Tabla 143. Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.0 %

tiempo de mezclado T (min)	lectura mm	Decantación mm
-	100.00	
15.00	98.00	2.00
30.00	97.00	3.00
45.00	96.50	3.50
60.00	96.00	4.00

Tabla 144.

Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 1.5 %

tiempo de mezclado T (min)	lectura mm	Decantación mm
-	100	
15.00	96.00	4.00
30.00	94.00	6.00
45.00	90.00	10.00
60.00	88.00	12.00

Tabla 145.

Prueba de decantación del mortero preparado con cemento tipo ms Pacasmayo, bentonita al 10%, aditivo al 2.0 %

tiempo de mezclado T (min)	lectura mm	Decantación mm
-	100	
15.00	97.50	2.50
30.00	97.00	3.00
45.00	96.50	3.50
60.00	96.50	3.50

Tabla 146.

Prueba de decantación del mortero preparado con cemento Tipo I Mochica, bentonita al 15% y aditivo al 1.0 %

tiempo de mezclado T (min)	lectura mm	Decantación mm
-	100.00	
15.00	97.00	3.00
30.00	92.00	8.00
45.00	90.00	10.00
60.00	88.00	12.00

3.1.5.3 Pruebas de Resistencia a la penetración en muestras inalteradas

Tabla 147.

Resultados de ensayos de penetración en laboratorio, usando penetrómetro Acme

Tipo Suelo	Muestra	Diámetro 1 Cm	Área 1 Cm ²	Fuerza 1 Kg	Esfuerzo 1 Kg/Cm ²	Diámetro 2 Cm	Área 2 Cm ²	Fuerza 2 Kg	Esfuerzo 2 Kg/Cm ²	Mejora %
SP	M-1	10.15	80.91	70.39	0.87	10.15	80.91	83.20	1.03	18.21
SP-SC	M-2	10.15	80.91	90.70	1.12	10.15	80.91	119.73	1.48	32.00
SC	M-3	10.16	81.07	82.99	1.02	10.15	80.91	92.95	1.15	12.22

3.1.5.4 Pruebas de Resistencia a la compresión del mortero

Tabla 148.

Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cilíndricos a los 14 días, bentonita al 5%

Nº	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	altura (H) (cm)	Diámetro cm		Fractura Nº	R _{H/D}	Factor de corrección	Carga (P) (Kg)	f'c (kg/cm ²)
						Ø1	Ø2					
1	Mortero patrón	20/06/2019	04/07/2019	14	10	10.16	10.15	3	0.98	0.92	6638.00	75.00
2	0.4 %, 5% bentonita	20/06/2019	04/07/2019	14	10.9	10.39	10.38	3	1.05	0.92	9366.00	102.00
3	1 %, 5% bentonita	20/06/2019	04/07/2019	14	11.02	10.38	10.37	3	1.06	0.93	8080.00	88.00
4	1.5 %, 5% bentonita	20/06/2019	04/07/2019	14	10.9	10.32	10.30	3	1.06	0.93	7880.00	87.00

5	2 %, 5% bentonita	20/06/2019	04/07/2019	14	11.15	10.40	10.41	3	1.07	0.93	6223.00	68.00
---	-------------------	------------	------------	----	-------	-------	-------	---	------	------	---------	-------

Tabla 149.

Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cúbicos de 5 cm de lado a los 14 días, bentonita al 5%

Nº	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	altura (H) (cm)	Diámetro cm		Fractura Nº	R _{H/D}	Factor de corrección	Carga (P) (Kg)	f'c (kg/cm2)
6	cubos patrón	20/06/2019	04/07/2019	14	5	5.1	5.11	3	0.98	0.92	2090	74
7	cubos 0.5%, 5% bentonita	20/06/2019	04/07/2019	14	5	5.02	5.03	3	1.00	0.92	2205	103
8	Cubos 1%, 5% bentonita	20/06/2019	04/07/2019	14	5	5.05	5.05	3	0.99	0.92	2450	88
9	cubos 1.5%	20/06/2019	04/07/2019	14	5	5.00	5.00	3	1.00	0.92	2354	87
10	cubos 2%, 5% bentonita	20/06/2019	04/07/2019	14	5	5.24	5.24	3	0.95	0.92	1679	72

Tabla 150.

Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cúbicos de 5 cm de lado a los 28 días, bentonita al 5%

Nº	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	altura (H) (cm)	Diámetro cm		Fractura Nº	R _{H/D}	Factor de corrección	Carga (P) (Kg)	f'c (kg/cm2)
11	Mortero patrón	20/06/2019	18/07/2019	28	10.1	10.15	10.16	3	0.99	0.92	6782.52	83.74
12	0.4 %, 5% bentonita	20/06/2019	18/07/2019	28	10.8	10.38	10.37	3	1.04	0.92	9628.23	113.89
13	1 %, 5% bentonita	20/06/2019	18/07/2019	28	11.1	10.37	10.36	3	1.07	0.93	8290.70	98.26
14	1.5 %, 5% bentonita	20/06/2019	18/07/2019	28	10.9	10.32	10.31	3	1.06	0.93	8117.60	97.14

2 %, 5%	20/06/2019	18/07/2019	28	11.14	10.40	10.42	3	1.07	0.93	6462.20	75.93
15 bentonita											

Tabla 151.

Resultados de ensayos de compresión de mortero en moldes cúbicos de 5 cm de lado a los 28 días, bentonita al 10%

Nº	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	altura (H) (cm)	Diámetro cm		Fractura N°	R _{H/D}	Factor de corrección	Carga (P) (Kg)	f'c (kg/cm2)
						Ø1	Ø2					
16	Mortero patrón	20/06/2019	18/07/2019	28	10.1	10.15	10.16	3	0.99	0.92	6768.62	79.55
17	0.4 %, 10% bentonita	20/06/2019	18/07/2019	28	10.8	10.38	10.37	3	1.04	0.92	9614.82	108.19
18	1 %, 10% bentonita	20/06/2019	18/07/2019	28	11.1	10.37	10.36	3	1.07	0.93	8279.50	93.34
19	1.5 %, 10% bentonita	20/06/2019	18/07/2019	28	10.9	10.32	10.31	3	1.06	0.93	8105.88	92.28
20	2 %, 10% bentonita	20/06/2019	18/07/2019	28	11.14	10.40	10.42	3	1.07	0.93	6453.20	72.13

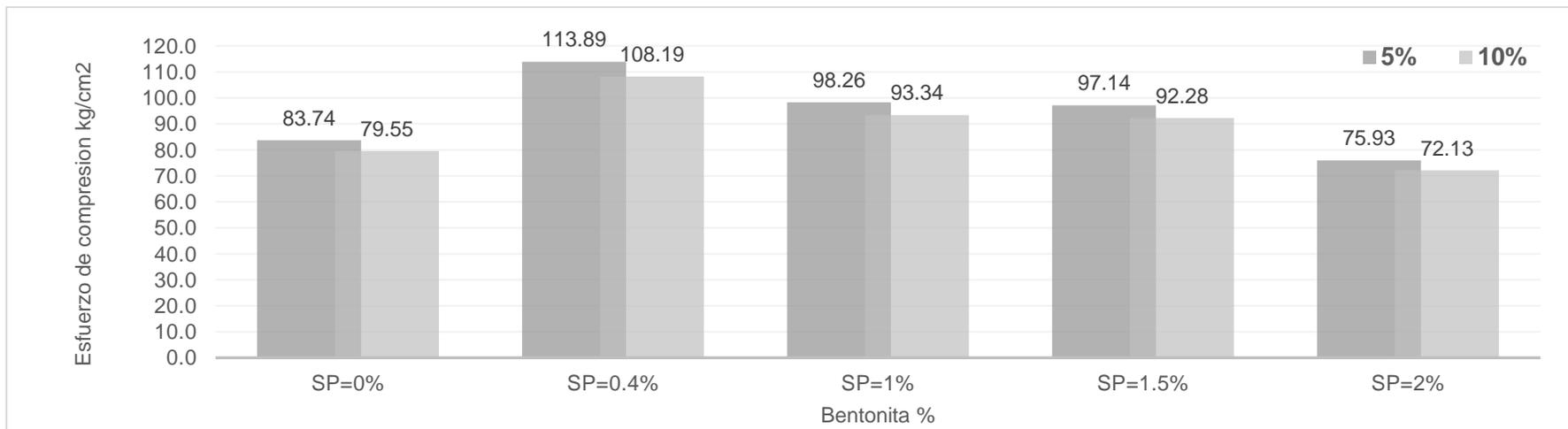


Figura 139. Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días, para contenidos de bentonita de 5 y 10% y SP entre 0 y 2%

3.1.6 Evaluación de la Resistencia dinámica de los suelos mejorados a partir de Pruebas de campo SPT

Tabla 152.

Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 10

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.50	SP	7.00	13.00	6.00	85.71
1.95	SP	11.00	20.00	9.00	81.82
2.40	SP	15.00	29.00	14.00	93.33
2.85	SC	17.00	32.00	15.00	88.24
3.30	SC	36.00	54.00	18.00	50.00
3.75	SC	50.00	66.00	16.00	32.00
4.20	SC	62.00	69.00	7.00	11.29
4.65	SC	67.00	74.00	7.00	10.45
5.10	SC	70.00	74.00	4.00	5.71
5.55	SC	75.00	76.00	1.00	1.33
6.00	SC	78.00	78.00	0.00	0.00

Tabla 153.

Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 11

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.50	SP	7.00	13.00	6.00	85.71
1.95	SP	11.00	21.00	10.00	90.91
2.40	SP	15.00	29.00	14.00	93.33
2.85	SC	17.00	33.00	16.00	94.12
3.30	SC	36.00	58.00	22.00	61.11
3.75	SC	50.00	68.00	18.00	36.00
4.20	SC	62.00	72.00	10.00	16.13
4.65	SC	67.00	75.00	8.00	11.94
5.10	SC	70.00	76.00	6.00	8.57
5.55	SC	75.00	77.00	2.00	2.67
6.00	SC	78.00	78.00	0.00	0.00

Nota: la profundidad de la aplicación de inyecciones de mortero se limitó a 5,50 m

Tabla 154. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 12

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.95	SP	10.00	18.00	8.00	80.00
2.85	SP-SC	16.00	26.00	10.00	62.50
3.75	SP-SC	28.00	37.00	9.00	32.14
4.65	SC	68.00	74.00	6.00	8.82
5.55	SC	73.00	74.00	1.00	1.37

Tabla 155. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 13

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.95	SP	10.00	18.00	8.00	80.00
2.85	SP-SC	16.00	27.00	11.00	68.75
3.75	SP-SC	28.00	38.00	10.00	35.71
4.65	SC	68.00	75.00	7.00	10.29
5.55	SC	73.00	74.00	1.00	1.37

Tabla 156. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 14

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.95	SP	16.00	26.00	10.00	62.50
2.85	SP-SC	23.00	33.00	10.00	43.48
3.75	SP-SC	42.00	50.00	8.00	19.05
4.65	SC	72.00	78.00	6.00	8.33
5.55	SC	74.00	76.00	2.00	2.70

Tabla 157. Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 15

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.95	SP	16.00	26.00	10.00	62.50
2.85	SP-SC	23.00	32.00	9.00	39.13
3.75	SP-SC	42.00	51.00	9.00	21.43
4.65	SC	72.00	77.00	5.00	6.94
5.55	SC	74.00	75.00	1.00	1.35

Tabla 158.*Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 16*

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.50	SP	7.00	13.00	6.00	85.71
1.95	SP	11.00	21.00	10.00	90.91
2.40	SP	13.00	25.00	12.00	92.31
2.85	SC	18.00	33.00	15.00	83.33
3.30	SC	20.00	34.00	14.00	70.00
3.75	SC	25.00	37.00	12.00	48.00
4.20	SC	25.00	34.00	9.00	36.00
4.65	SC	35.00	43.00	8.00	22.86
5.10	SC	62.00	70.00	8.00	12.90
5.55	SC	78.00	80.00	2.00	2.56
6.00	SC	79.00	80.00	1.00	1.27

Tabla 159.*Resistencia dinámica de los suelos mejorados, prueba SPT 17*

Prof.(m)	Tipo de Suelo	Número de golpes Nm SPT			
		sin tratamiento	con inyecciones	Mejora Nm SPT	mejora (%)
1.50	SP	7.00	13.00	6.00	85.71
1.95	SP	11.00	21.00	10.00	90.91
2.40	SP	13.00	24.00	11.00	84.62
2.85	SC	18.00	32.00	14.00	77.78
3.30	SC	20.00	33.00	13.00	65.00
3.75	SC	25.00	36.00	11.00	44.00
4.20	SC	25.00	33.00	8.00	32.00
4.65	SC	35.00	43.00	8.00	22.86
5.10	SC	62.00	69.00	7.00	11.29
5.55	SC	78.00	80.00	2.00	2.56
6.00	SC	79.00	81.00	2.00	2.53

3.1.7 Verificación de la activación de licuación y efectos en la superficie de los suelos mejorados

3.1.7.1 Verificación de la activación de licuación por el método determinista

- Mitigación de la licuación del suelo usando inyecciones de mortero de permeación

Tabla 160.

Resistencia cíclica del suelo mejorado, durante la activación de la licuación, SPT-10 y 11

Prof. (m)	CRR (kg/cm ²)			Prom.	CSR Kg/cm ²	Factores de Seguridad		Ratio
	Suelo sin tratar SPT 1	Suelo mejorado SPT-10 SPT-11				FSL-1	FSL-2	FSL-1
0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.28	0.18	0.18	1.01
1.50	0.06	0.15	0.15	0.15	0.73	0.08	0.20	2.43
1.95	0.12	0.21	0.21	0.21	0.73	0.16	0.29	1.76
2.40	0.17	0.36	0.36	0.36	0.69	0.25	0.51	2.07
2.85	0.19	0.50	0.57	0.53	0.67	0.28	0.80	2.82
3.30	1.28	1.50	1.50	1.50	0.66	1.94	2.29	1.18
3.75	1.50	1.50	1.50	1.50	0.65	2.31	2.32	1.01
4.20	1.50	1.50	1.50	1.50	0.64	2.34	2.36	1.01
4.65	1.50	1.50	1.50	1.50	0.63	2.38	2.38	1.00
5.10	1.50	1.50	1.50	1.50	0.62	2.42	2.41	1.00
5.55	1.50	1.50	1.50	1.50	0.62	2.42	2.44	1.01
6.00	1.50	1.50	1.50	1.50	0.61	2.46	2.46	1.00

- **Mitigación de la licuación del suelo usando inyecciones de mortero de permeación y drenaje vertical de grava**

Tabla 161.

Resistencia cíclica del terreno mejorado con inyecciones de mortero de permeación y drenaje vertical durante la activación de la licuación, SPT-10 y 11

Prof. (m)	CRR (kg/cm ²)			Prom.	CSR Kg/cm ²	Factores de Seguridad		Ratio
	Suelo sin tratar SPT 1	Suelo mejorado SPT-10 SPT-11				FSL-1	FSL-2	FSL-1
0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.28	0.18	0.18	1.00
1.50	0.06	0.15	0.15	0.15	0.28	0.08	0.53	6.66
1.95	0.12	0.21	0.21	0.21	0.32	0.16	0.65	4.08
2.40	0.17	0.36	0.36	0.36	0.36	0.25	1.00	3.98
2.85	0.19	0.50	0.57	0.53	0.38	0.28	1.39	4.98
3.30	1.28	1.50	1.50	1.50	0.40	1.94	3.72	1.92
3.75	1.50	1.50	1.50	1.50	0.42	2.31	3.58	1.55
4.20	1.50	1.50	1.50	1.50	0.43	2.34	3.47	1.48
4.65	1.50	1.50	1.50	1.50	0.44	2.38	3.39	1.42
5.10	1.50	1.50	1.50	1.50	0.45	2.42	3.33	1.38
5.55	1.50	1.50	1.50	1.50	0.46	2.42	3.28	1.36
6.00	1.50	1.50	1.50	1.50	0.46	2.46	3.25	1.32

Comentario: la inclusión de los drenes verticales y la capa horizontal de grava permiten reducir los esfuerzos actuantes debido a que se controla la altura del nivel freático en 1.80 m.

Tabla 162. Resistencia cíclica del suelo mejorado con inyecciones de mortero de permeación durante la activación de la licuación, SPT-12 y 13, Df= 2.00 m

Prof. (m)	CRR (kg/cm ²)			CSR(kg/cm ²)			Factores de Seguridad		Ratio
	Sin tratar SPT 2	Suelo mejorado		Prom.	CSR.1	CSR.2	FSL-1	FSL-2	FSL-2
		SPT-12	SPT-13						FSL-1
0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.28	0.28	0.18	0.18	1.00
1.95	0.11	0.19	0.19	0.19	0.74	0.28	0.15	0.70	4.74
2.85	0.19	0.28	0.36	0.32	0.67	0.34	0.29	0.95	3.34
3.75	1.50	1.50	1.50	1.50	0.63	0.38	2.37	3.97	1.68
4.65	1.50	1.50	1.50	1.50	0.61	0.40	2.46	3.74	1.52
5.55	1.50	1.50	1.50	1.50	0.59	0.42	2.54	3.60	1.42

Notas: suelo sin tratar se refiere a la resistencia **CRR** en sus condiciones iniciales obtenida a partir de la prueba SPT-2, las columnas de suelo mejorado corresponden a la resistencia **CRR** del terreno obtenida a partir de las pruebas SPT-12 y 13 posterior a la inyección de mortero de permeación, la columna **Prom.** Se refiere al promedio de resistencias **CRR** obtenidas con SPT-12 y 13 y evaluadas con Df= 2.00 m considerando drenaje vertical. Los resultados de los parámetros de seguridad **FSL-2**, de este perfil indican el incremento de la resistencia cíclica **CRR**, y la disminución de la demanda de estrés cíclico **CSR.2** alcanzando un valor pico mayor a 4 veces la resistencia cíclica inicial obtenida con SPT-2.

Tabla 163.

Resistencia cíclica del suelo mejorado con inyecciones de mortero de permeación durante la activación de la licuación, SPT-14 y 15, Df= 2.00 m

Prof. (m)	CRR (kg/cm ²)			CSR(kg/cm ²)			Factores de Seguridad		Ratio
	Sin tratar SPT 3	Suelo mejorado		Prom.	CSR.1	CSR.2	FSL-1	FSL-2	FSL-2
		SPT-14	SPT-15						FSL-1
0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.28	0.28	0.18	0.18	1.00
1.95	0.18	0.27	0.27	0.19	0.74	0.28	0.24	0.70	4.74
2.85	0.30	0.59	0.52	0.32	0.67	0.34	0.45	0.95	3.34
3.75	1.50	1.50	1.50	1.50	0.64	0.38	2.36	3.97	1.68
4.65	1.50	1.50	1.50	1.50	0.61	0.40	2.45	3.74	1.52
5.55	1.50	1.50	1.50	1.50	0.60	0.42	2.52	3.60	1.42

Notas: en esta tabla la columna suelo sin tratar se refiere a la resistencia **CRR** del terreno en sus condiciones iniciales obtenida a partir de la prueba SPT-3, las columnas de suelo mejorado corresponden a la resistencia **CRR** del terreno obtenida a partir de las pruebas SPT-14 y 15 posterior a la inyección de mortero de permeación, la columna Prom. Se refiere al promedio de resistencias **CRR** obtenidas con SPT-12 y 13 y evaluadas con $D_f = 2.00$ m considerando drenaje vertical.

Tabla 164.

Resistencia cíclica del suelo mejorado con inyecciones de mortero de permeación durante la activación de la licuación, SPT-16 y 17, $D_f = 1.80$ m

Prof. (m)	CRR (kg/cm ²)			Prom.	CSR(kg/cm ²)		Factores de Seguridad		Ratio
	Sin tratar	Suelo mejorado			CSR.1	CSR.2	FSL-1	FSL-2	FSL-2
	SPT 4	SPT-16	SPT-17		FSL-1	FSL-1			
0.00	0.08	0.05	0.05	0.05	0.28	0.28	0.29	0.18	0.63
1.50	0.09	0.17	0.17	0.17	0.73	0.28	0.12	0.62	5.29
1.95	0.16	0.24	0.24	0.24	0.73	0.32	0.22	0.74	3.35
2.40	0.21	0.28	0.28	0.28	0.69	0.36	0.30	0.79	2.67
2.85	0.26	0.55	0.55	0.55	0.67	0.38	0.39	1.44	3.66
3.30	0.32	1.10	1.10	1.10	0.66	0.40	0.49	2.74	5.62
3.75	0.72	1.50	1.50	1.50	0.65	0.42	1.12	3.58	3.19
4.20	1.41	1.50	1.50	1.50	0.64	0.43	2.21	3.47	1.57
4.65	1.50	1.50	1.50	1.50	0.63	0.44	2.38	3.39	1.42
5.10	1.50	1.50	1.50	1.50	0.62	0.45	2.41	3.33	1.38
5.55	1.50	1.50	1.50	1.50	0.62	0.46	2.44	3.28	1.35
6.00	1.50	1.50	1.50	1.50	0.61	0.46	2.46	3.25	1.32

Notas: la columna CRR, SPT 4 indica la resistencia cíclica del terreno en sus condiciones iniciales, las columnas CRR, SPT (16,17) indican la resistencia cíclica del perfil de suelo mejorado, CSR.1 indica el estrés cíclico inicial, CSR.2 indica el estrés posterior a la inyección de mortero de permeación. FSL-2 /FSL-1 indica el rendimiento o desempeño del perfil del terreno posterior al mejoramiento del mismo.

3.1.7.2 Estimación del nivel de riesgo por daños inducidos en la superficie de los suelos mejorados por el método Probabilista

Tabla 165.

Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (10, 11)

z (m)	FL(z)	Is	li	f(z)= 1-FLz	W(z)	LPI (1)=Wz*f(z)(Is-li)	LPI (1) cum.	LPI (2) cum.	Mejora % LPI(1)/LPI(2)	Efectos en superficie
0.00	0.18	0.00	0.00	0.82	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.50	0.53	1.50	0.00	0.47	9.25	6.48	6.48	12.64	51.27	Si
1.95	0.65	1.95	1.50	0.35	9.78	1.53	8.01	16.02	50.01	Si
2.40	1.00	2.40	1.95	0.00	9.78	0.02	8.03	19.01	42.24	No
2.85	1.39	2.85	2.40	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No
3.30	3.72	3.30	2.85	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No
3.75	3.58	3.75	3.30	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No
4.20	3.47	4.20	3.75	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No
4.65	3.39	4.65	4.20	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No
5.10	3.33	5.10	4.65	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No
5.55	3.28	5.55	5.10	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No
6.00	3.25	6.00	5.55	0.00	9.78	0.00	8.03	21.80	36.84	No

Notas: la columna FL(z), es el factor de seguridad a la licuación del perfil del terreno obtenido por el método determinista, Is y li, son los límites de la integración de la capa evaluada, LPI (1) indica el índice de daño posterior a la inyección de mortero de permeación. LPI (2) indica índice de daño inicial, LPI (1) cum. y LPI (2) cum. indican los índices de daño acumulado en el perfil del terreno evaluado.

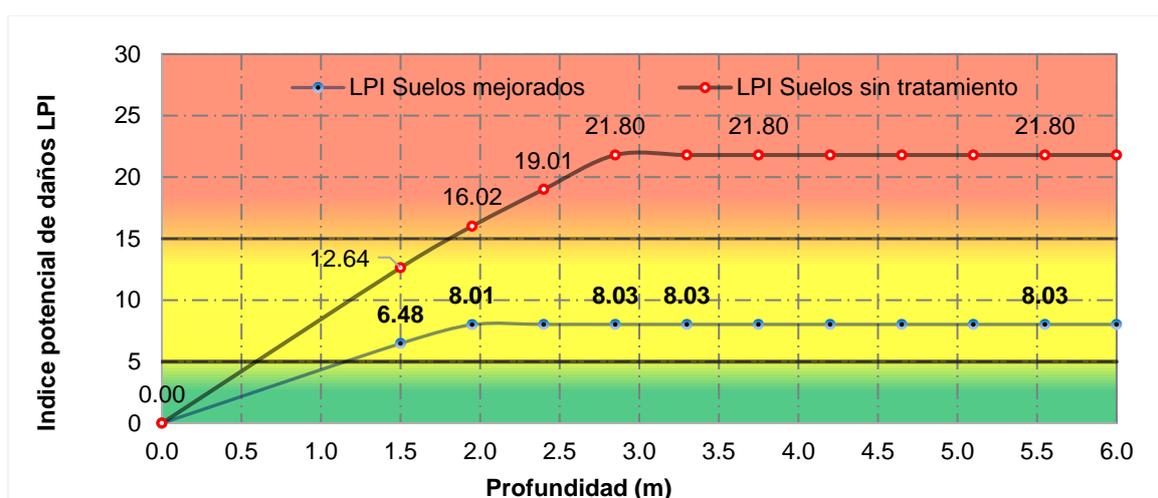


Figura 140. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (10,11)

Comentario: en esta gráfica se observa la reducción del nivel de riesgo de un nivel inicial alto ($LPI > 15$) a nivel medio ($5 \geq LPI \geq 15$), así como la reducción de la profundidad de riesgo del perfil a considerar en los efectos de 2.80 a 2.00 m.

Tabla 166.

Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (12,13)

z (m)	FL(z)	Is	li	f(z)= 1-FLz	W(z)	LPI (1)=Wz*f(z)(Is-li)	LPI (1) cum.	LPI (2) cum.	Mejora % LPI(1)/LPI(2)	Efectos en superficie
0.00	0.18	0.00	0.00	0.82	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.95	0.70	1.95	0.00	0.30	9.03	5.33	5.33	15.01	35.49	Si
2.85	0.95	2.85	1.95	0.05	9.55	0.39	5.72	20.53	27.87	No
3.75	3.97	3.75	2.85	0.00	9.55	0.00	5.72	20.53	27.87	No
4.65	3.74	4.65	3.75	0.00	9.55	0.00	5.72	20.53	27.87	No
5.55	3.60	5.55	4.65	0.00	9.55	0.00	5.72	20.53	27.87	No

Notas: FL(z), es el factor de seguridad a la licuación del perfil del terreno obtenido por el método determinista, considerando NF=1.5 m. Is y li, son los límites de la integración de cada capa evaluada, LPI (1) indica el índice de daño posterior a la inyección de mortero de permeación. LPI (2) indica índice de daño inicial, LPI (1) cum. y LPI (2) cum. indican los índices de daño acumulado en el perfil del terreno evaluado.

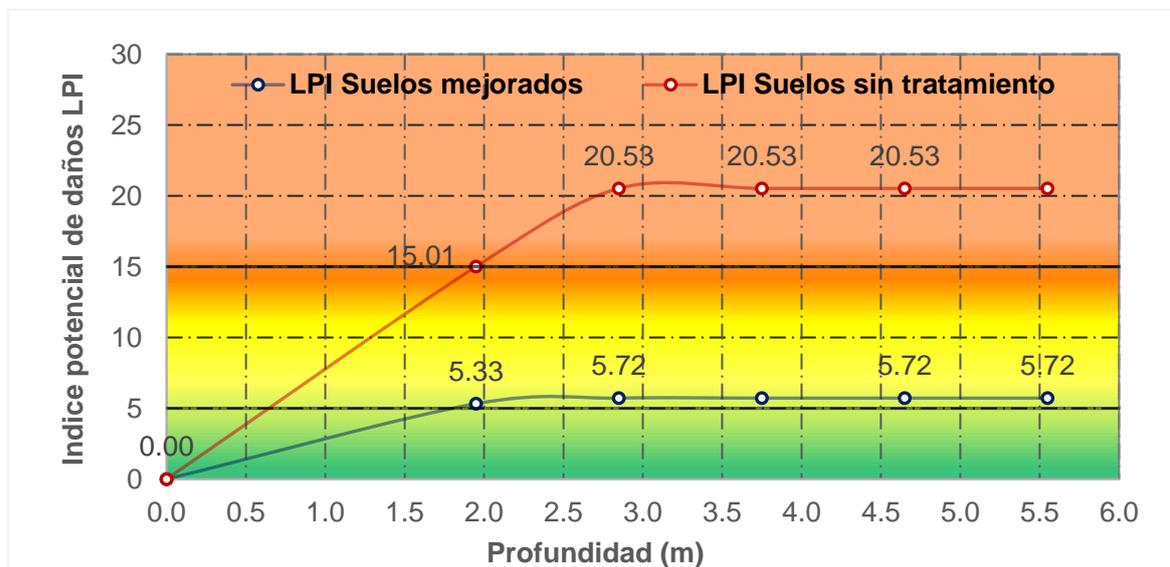


Figura 141. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (12,13)

Comentario: en esta gráfica se observa la reducción del nivel de riesgo de un nivel inicial alto ($LPI > 15$) a nivel medio ($5 \geq LPI \geq 15$), así como la reducción de la profundidad de riesgo del perfil a considerar en los efectos de 3.00 a 2.00 m.

Tabla 167.

Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (14,15)

z (m)	FL(z)	Is	li	1-FLz	W(z)	LPI (1)=Wz*f(z)(Is-li)	LPI (1) cum.	LPI (2) cum.	Mejora % LPI(1)/LPI(2)	Efectos
0.00	0.18	0.00	0.00	0.82	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.95	0.70	1.95	0.00	0.30	9.03	5.33	5.33	13.37	39.84	Si
2.85	0.87	2.85	1.95	0.13	9.55	1.15	6.48	17.61	36.78	No
3.75	3.97	3.75	2.85	0.00	9.55	0.00	6.48	17.61	36.78	No
4.65	3.74	4.65	3.75	0.00	9.55	0.00	6.48	17.61	36.78	No
5.55	3.60	5.55	4.65	0.00	9.55	0.00	6.48	17.61	36.78	No

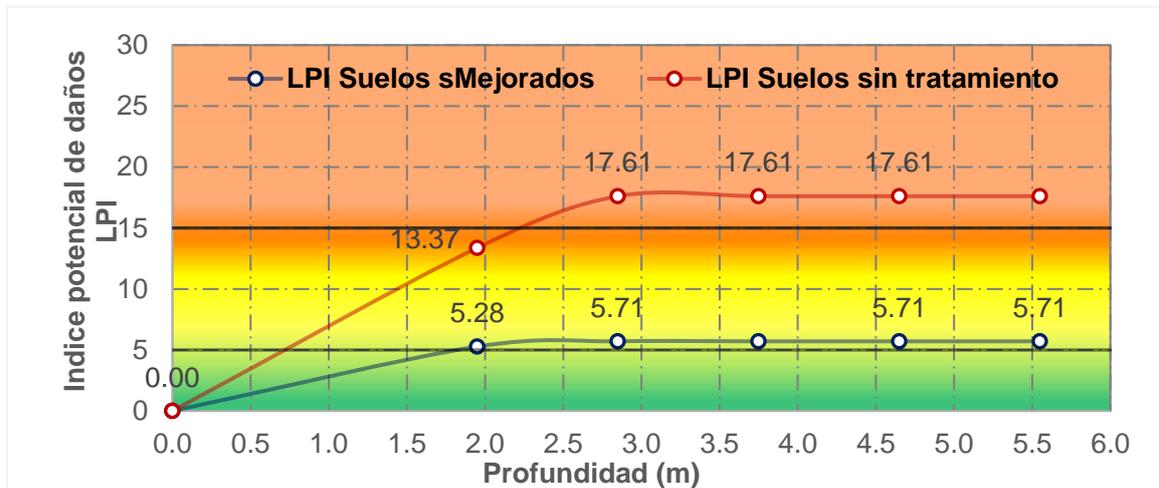


Figura 142. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (14,15)

Tabla 168. Evaluación del índice potencial de daños inducidos en la superficie del perfil de terreno mejorado, pruebas SPT (16,17)

z (m)	FL(z)	Is	li	1-FLz	W(z)	LPI (1)=Wz*f(z)(Is-li)	LPI (1) cum.	LPI (2) cum.	Mejora % LPI(1)/LPI(2)	Efectos
0.00	0.23	0.00	0.00	0.77	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.50	0.62	1.50	0.00	0.38	9.25	5.29	5.29	12.64	41.87	Si
1.95	0.74	1.95	1.50	0.26	9.78	1.13	6.42	16.30	39.38	Si
2.40	0.79	2.40	1.95	0.21	9.78	0.91	7.33	19.70	37.22	No
2.85	1.44	2.85	2.40	0.00	9.78	0.00	7.33	22.78	32.18	No
3.30	2.74	3.30	2.85	0.00	9.78	0.00	7.33	25.55	28.70	No
3.75	3.58	3.75	3.30	0.00	9.78	0.00	7.33	25.55	28.70	No
4.20	3.47	4.20	3.75	0.00	9.78	0.00	7.33	25.55	28.70	No
4.65	3.39	4.65	4.20	0.00	9.78	0.00	7.33	25.55	28.70	No
5.10	3.33	5.10	4.65	0.00	9.78	0.00	7.33	25.55	28.70	No
5.55	3.28	5.55	5.10	0.00	9.78	0.00	7.33	25.55	28.70	No
6.00	3.25	6.00	5.55	0.00	9.78	0.00	7.33	25.55	28.70	No

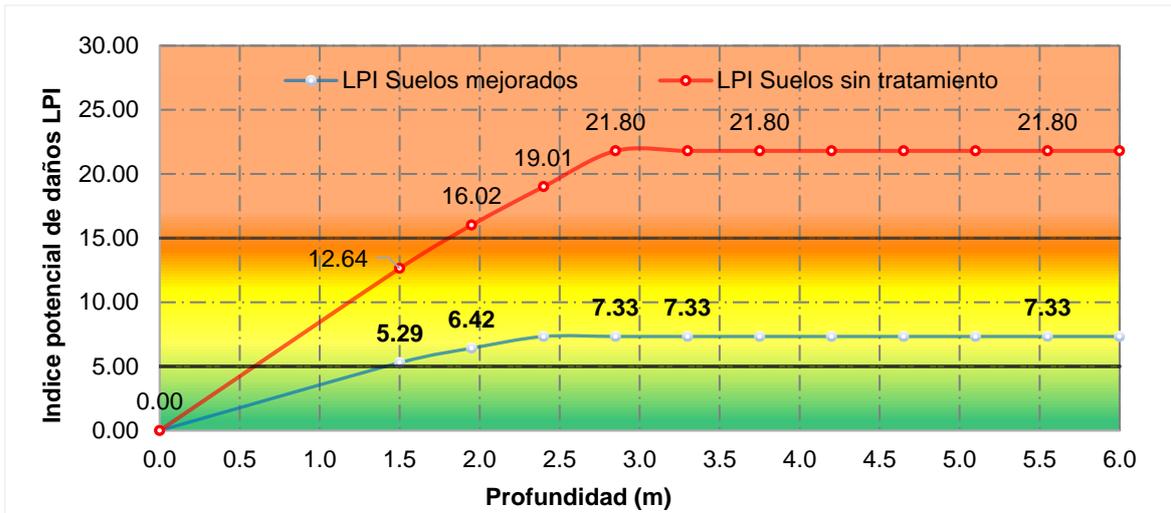


Figura 143. Evaluación del nivel de riesgo inducido en la superficie del terreno mejorado, a partir de sondajes SPT (14,15)

3.1.7.3 Verificación de los Asentamientos por licuación de suelos

Tabla 169.

Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado SPT 10,11)

Prof. (m)	Tipo de Suelo	condición	Asentamientos Totales Δ (cm)			Asentamientos diferenciales δ (cm)		Mitigación %
			Suelo sin tratamiento Δ_1	Suelo mejorado Δ_2	$\Delta_1 - \Delta_2$	Suelo sin tratar 2/3 (Δ_1)	Suelo mejorado 2/3 (Δ_2)	
5.50	SC	Arenas Saturadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	SC		0.07	0.00	0.07	0.05	0.00	0.00
2.50	SP		1.13	0.00	1.13	0.75	0.00	0.00
2.00	SP		2.67	0.71	1.96	1.78	0.47	26.59
1.55	SP		4.35	1.87	2.49	2.90	1.24	42.89
1.52	SP		4.46	1.94	2.52	2.97	1.29	43.54
1.50	SP	Arenas Secas	4.47	1.95	2.52	2.98	1.30	43.53
1.47	SP		4.48	1.95	2.53	2.98	1.30	43.59
1.00	SP		4.73	2.03	2.70	3.15	1.35	42.95
0.50	SP		4.94	2.23	2.71	3.30	1.49	45.11
0.00	SP		5.08	2.54	2.55	3.39	1.69	49.91

Comentario: se puede observar la reducción de los asentamientos totales de 4.35 cm a 1.87 cm a la profundidad de 1.55 m y los diferenciales se pueden reducir hasta 1.24 cm, por lo que se puede mitigar el 42.9 % del asentamiento en este perfil.

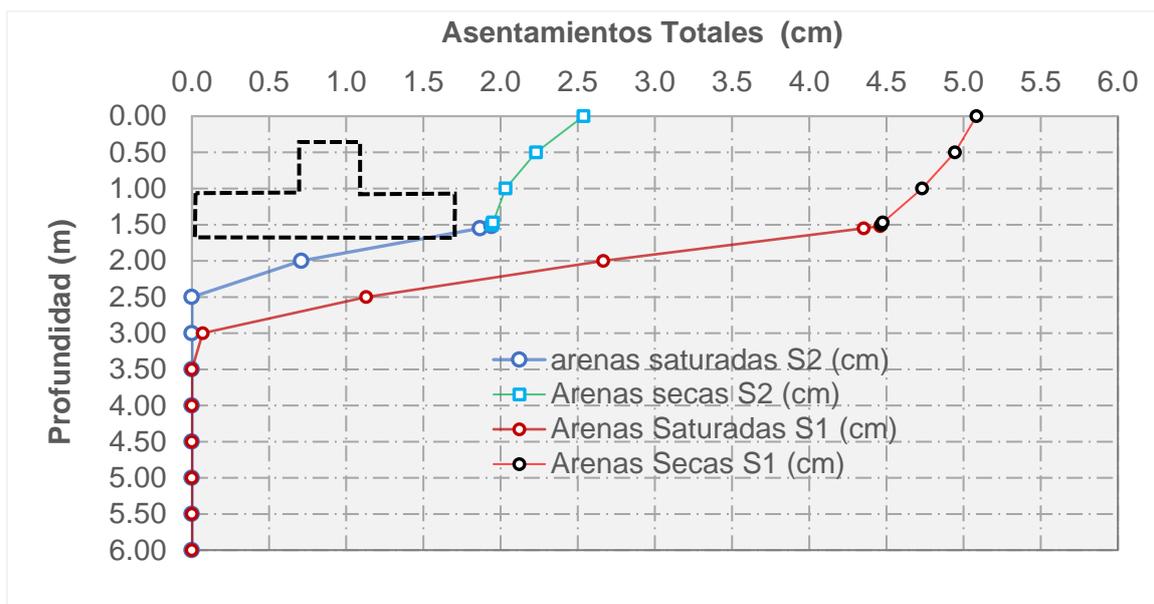


Figura 144. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (10-11)

Tabla 170. Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (12,13)

Prof. (m)	Tipo de Suelo	condición	Asentamientos Totales Δ (cm)			Asentamientos diferenciales δ (cm)		
			Suelo sin tratamiento Δ_1	Suelo mejorado Δ_2	$\Delta_1 - \Delta_2$	Suelo sin tratar 2/3 (Δ_1)	Suelo mejorado 2/3 (Δ_2)	Mitigación %
5.00	SC	Arenas Saturadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	SP-SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68
2.50	SP-SC		0.18	0.00	0.18	0.12	0.00	22.96
2.00	SP-SC		1.08	0.03	1.05	0.72	0.02	40.92
1.55	SP		2.40	0.55	1.85	1.60	0.37	49.58
1.52	SP	4.04	1.65	2.38	2.69	1.10	49.98	
1.50	SP	Arenas Secas	5.75	2.85	2.90	3.83	1.90	49.97
1.47	SP		5.85	2.92	2.93	3.90	1.95	49.97
1.00	SP		5.86	2.93	2.93	3.90	1.95	49.52
0.50	SP		5.86	2.93	2.93	3.91	1.95	49.70
0.00	SP		6.05	3.00	3.06	4.03	2.00	50.34

Comentario: los valores presentados indican la reducción de los asentamientos totales de 4.04 cm a 1.65 cm a una profundidad de 1.52 m y los diferenciales se pueden reducir hasta 1.10 cm, que equivale al 49.98 % con respecto a los obtenidos previo al tratamiento con inyecciones de permeación.

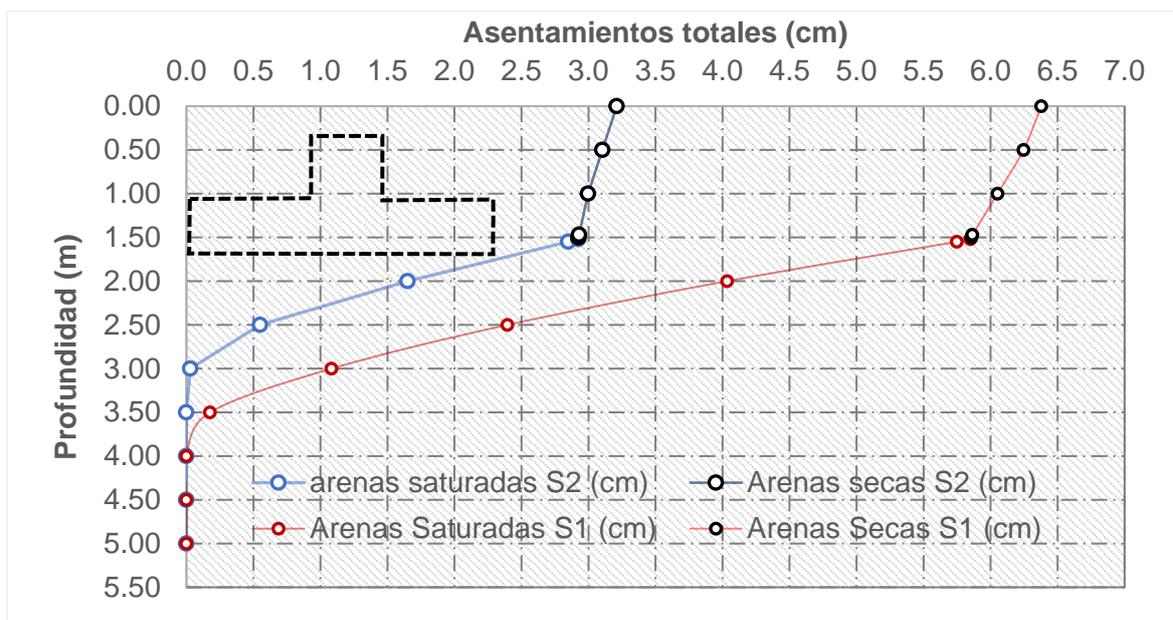


Figura 145. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (11-12)

Tabla 171. Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (14,15)

Prof. (m)	Tipo de Suelo	condición	Asentamientos Totales (cm)			Asentamientos diferenciales δ (cm)		
			sin tratamiento Δ_1	Suelo mejorado Δ_2	$\Delta_1 - \Delta_2$	Suelo sin tratar 2/3 (Δ_1)	Suelo mejorado 2/3 (Δ_2)	Mitigación %
5.50	SC	Arenas Saturadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	SP-SC		0.13	0.00	0.13	0.08	0.00	0.00
2.50	SP-SC	0.99	0.00	0.99	0.66	0.00	0.00	
2.00	SP-SC	2.22	0.39	1.83	1.48	0.26	17.46	
1.55	SP	3.52	1.03	2.49	2.34	0.69	29.25	
1.52	SP	3.59	1.08	2.52	2.40	0.72	29.99	
1.50	SP	3.60	1.08	2.52	2.40	0.72	30.00	
1.47	SP	3.60	1.08	2.52	2.40	0.72	30.00	
1.00	SP	3.68	1.12	2.57	2.45	0.74	30.28	
0.50	SP	3.81	1.18	2.62	2.54	0.79	31.04	
0.00	SP	3.91	1.28	2.64	2.61	0.85	32.63	

Comentario: los valores presentados indican la reducción de los asentamientos totales de 3.6 cm a 1.08 cm a una profundidad de 1.50 y los diferenciales se pueden reducir hasta 0.72 cm, que equivale al 30 % con respecto a los obtenidos previo al tratamiento con inyecciones de permeación.

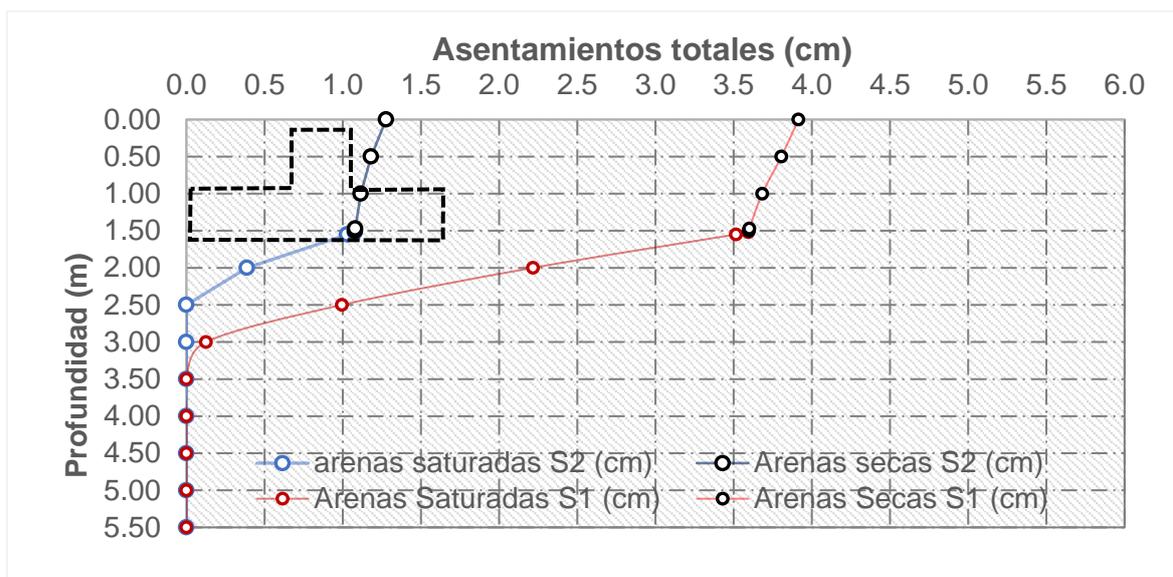


Figura 146. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (14,15)

Tabla 172. Verificación de Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (16,17)

Prof. (m)	Tipo de Suelo	condición	Asentamientos Totales Δ (cm)			Asentamientos diferenciales δ (cm)		
			Suelo sin tratamiento Δ_1	Suelo mejorado Δ_2	$\Delta_1 - \Delta_2$	Suelo sin tratar $\frac{2}{3} (\Delta_1)$	Suelo mejorado $\frac{2}{3} (\Delta_2)$	Mitigación %
5.50	SC	Arenas Saturadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	SC		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	SC		0.62	0.00	0.62	0.41	0.00	0.00
3.50	SC		1.48	0.00	1.48	0.99	0.00	0.00
3.00	SC		2.61	0.00	2.61	1.74	0.00	0.00
2.50	SP		3.88	0.13	3.75	2.59	0.09	3.35
2.00	SP	5.52	1.10	4.43	3.68	0.73	19.85	
1.55	SP	7.25	2.26	4.99	4.83	1.51	31.21	
1.52	SP	7.36	2.34	5.02	4.90	1.56	31.80	
1.50	SP	Arenas Secas	7.36	2.34	5.02	4.91	1.56	31.80
1.47	SP		7.37	2.35	5.03	4.91	1.56	31.81
1.00	SP		7.67	2.43	5.24	5.11	1.62	31.63
0.50	SP		7.89	2.55	5.34	5.26	1.70	32.31
0.00	SP		8.03	2.66	5.37	5.36	1.77	33.10

Comentario: los valores presentados indican la reducción de los asentamientos totales de 7.36 cm a 2.34 cm a una profundidad de 1.50 y los diferenciales se pueden reducir hasta 1.56 cm, que equivale al 31.8 % con respecto a los obtenidos previo al tratamiento con inyecciones de permeación.

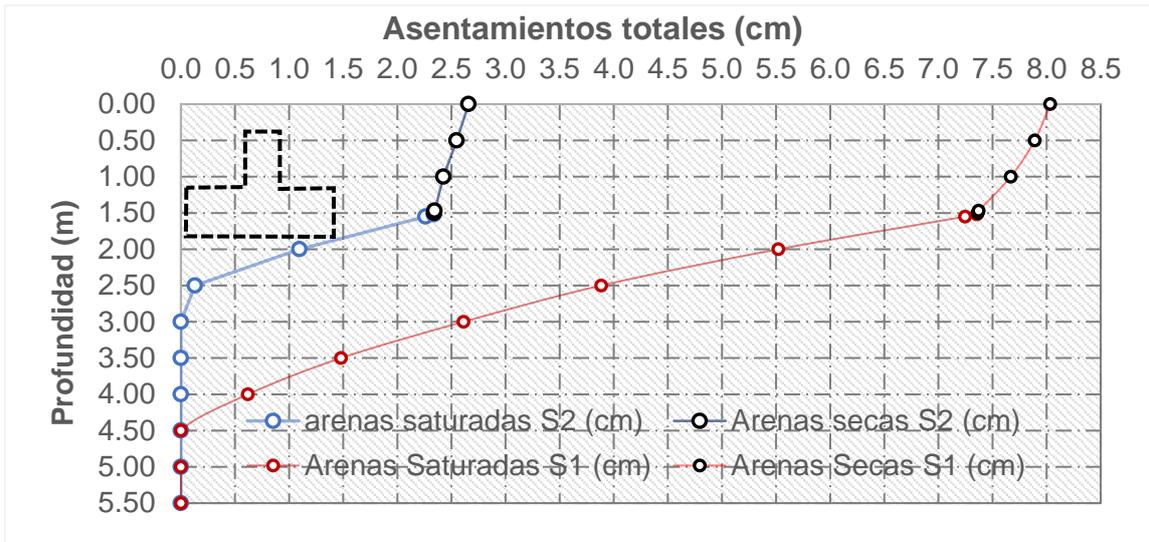


Figura 147. Verificación de los Asentamientos por licuación del suelo mejorado, SPT (16,17)

3.2 Discusión de Resultados

1. En esta investigación los valores de $N_m\text{-SPT} < 15$, representan estratos de suelos susceptibles a la licuación y valores $N_m\text{-SPT} \geq 25$ golpes indican suelos no susceptibles evaluados para una $a_{max} = 0.43$ g, Mientras que los resultados obtenidos en la investigación de (Cetin, y otros, Dataset on SPT-based seismic soil liquefaction, 2018) que reevaluaron 113 casos históricos de licuefacción y 95 de no licuefacción indican que a partir de valores de $N_m\text{-SPT} > 15$ golpes/pie presentan resistencia a la licuefacción para aceleraciones sísmicas hasta de 0.30 g.
2. En esta investigación se determinó que contenidos de finos CF hasta el 25% influyen en la activación de la licuación, en cuanto a la plasticidad se determinó que los suelos que presentaron límites líquidos $LL < 30$ %, e índices de plasticidad $IP < 12$, son susceptibles de licuarse, mientras que los resultados experimentales obtenidos en la investigación de (Hussain & Sachan, 2019) indican que contenidos de finos $CF < 20\%$, presentan susceptibilidad al ablandamiento por licuefacción estática o movilidad cíclica, en cuanto a la plasticidad indican que valores de índices de plasticidad $IP > 10$, no experimentaron la licuefacción, sin embargo, cuando incrementaron la

plasticidad del suelo observaron que a partir de $IP > 20$ se presentó una reducción del índice de fragilidad por licuefacción de hasta el 50%. lo que nos indica que la plasticidad del suelo predomina sobre el contenido de finos en la susceptibilidad del depósito.

3. los resultados del Análisis de peligro sísmico específico PSHA indican que la ecuación de (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016) para fuentes sísmicas de intraplaca no es aplicable a esta zona de subducción de la costa peruana ya que presenta un desfase para periodos cortos en comparación con las otras ecuaciones utilizadas, tal como lo indicó, la investigación (Charca, Gamarra, & Parra, 2019) quienes evaluaron la aplicación de las ecuaciones de predicción para la zona de subducción del Perú.
4. La curva de resistencia cíclica del terreno "CRR" desarrollada en esta investigación donde se incluyeron cinco coeficientes ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$) calculados como números aleatorios de funciones polinómicas con respecto a las variaciones del contenido de finos CF, y representan las variables propias de las incertidumbres epistémicas y estadísticas nos indica que a partir de $N1-SPT > 25$ se disminuye el riesgo por licuefacción y cuando $N1-SPT > 30$ se hace constante lo que indica que no se produce la licuefacción del suelo, en cambio los resultados de la investigación realizada por (Cetin, y otros, SPT-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction triggering hazard, 2018), quienes presentaron las curvas de evaluación que incorporan la metodología probabilista y se calcularon en base a la resistencia cíclica de 113 casos históricos de licuefacción, para lo que incorporaron seis coeficientes ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$) que representan las variables aleatorias de estrés cíclico, $N1-SPT$, esfuerzo efectivo, magnitud sísmica, contenido de finos y desviación estándar total (CSR, $N1SPT$, σ' , M_w , Cf, σ) respectivamente, indican valores de $N1-SPT > 33$ no se produce la licuación del suelo para esfuerzos cíclicos $CSR > 0.35$
5. en esta investigación se obtuvo un desempeño óptimo del mortero utilizando cemento Pacasmayo tipo MS, con una relación $a/c = 0.7$, bentonita al 10%,

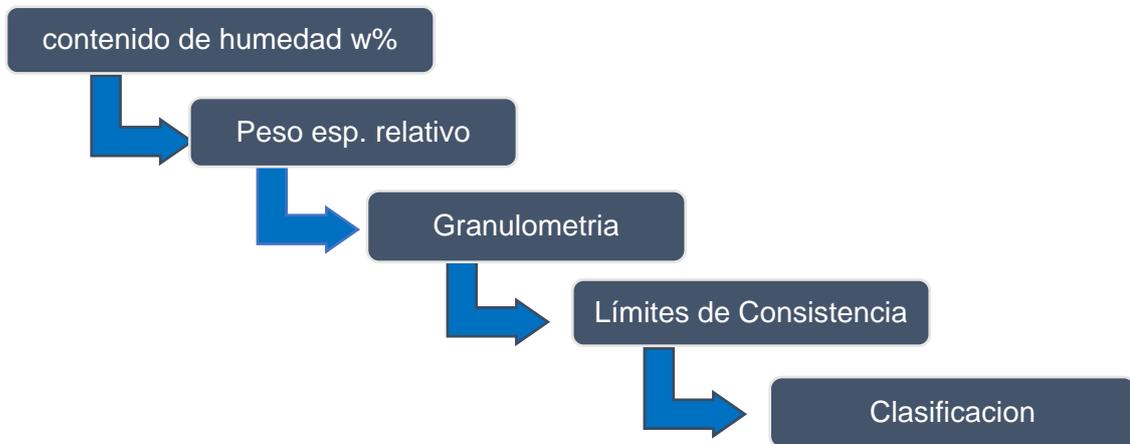
superplastificante SP al 0.7%. Mientras que con cemento tipo I mochica el mejor desempeño se logró con $a/c=0.7$, bentonita al 10%, superplastificante al 1.5 y 2%, lo que indica que la compatibilidad del aditivo varía con el tipo de cemento. En contraste con la investigación de (Sha, Li, Liu, Li, & Zhang, 2018) quienes a partir de la experimentación diseñaron y seleccionaron una mezcla fluida de cemento portland tipo I y bentonita con adiciones de cenizas volantes y superplastificante, en base a una relación $a/c= 1.0$, bentonita del 0-15%, cenizas volantes FA de 0-40% y superplastificante SP al 0.7%, cuyos resultados indican que las lechadas a base de cemento con 20–30 % de ceniza volante FA clase F, bentonita de 0–5 %, Superplastificante =0.7 % satisfacen los requisitos de alto desempeño. La mejora de la resistencia cíclica del terreno varía con relación a la profundidad de inyección y al tipo de suelo inyectado, lográndose incrementos de hasta 4 veces la resistencia CRR, con respecto a la profundidad y de 3.5 veces con respecto al tipo de suelo, siendo los suelos arenosos tipo SP los que asimilaron mejor el tratamiento por los tipos SP-SC y por último los de tipo SC experimentaron valores menores de mejora. Mientras que los resultados de la investigación experimental realizada por (Sandiani & Tanzadeh, 2020) indican que la inclusión de nano-arcilla al 0.5% y fibra de vidrio al 1% en una mezcla de suelo arenoso de densidades relativas del 30 y 80% incremento hasta en 5 veces la resistencia cíclica para aceleraciones de 0.3 g y hasta en 2 veces para aceleraciones de 0.34 g, en cuanto a la profundidad se observó que a partir de 4.00 m de profundidad la resistencia mejorada disminuye.

3.3 Aporte Práctico

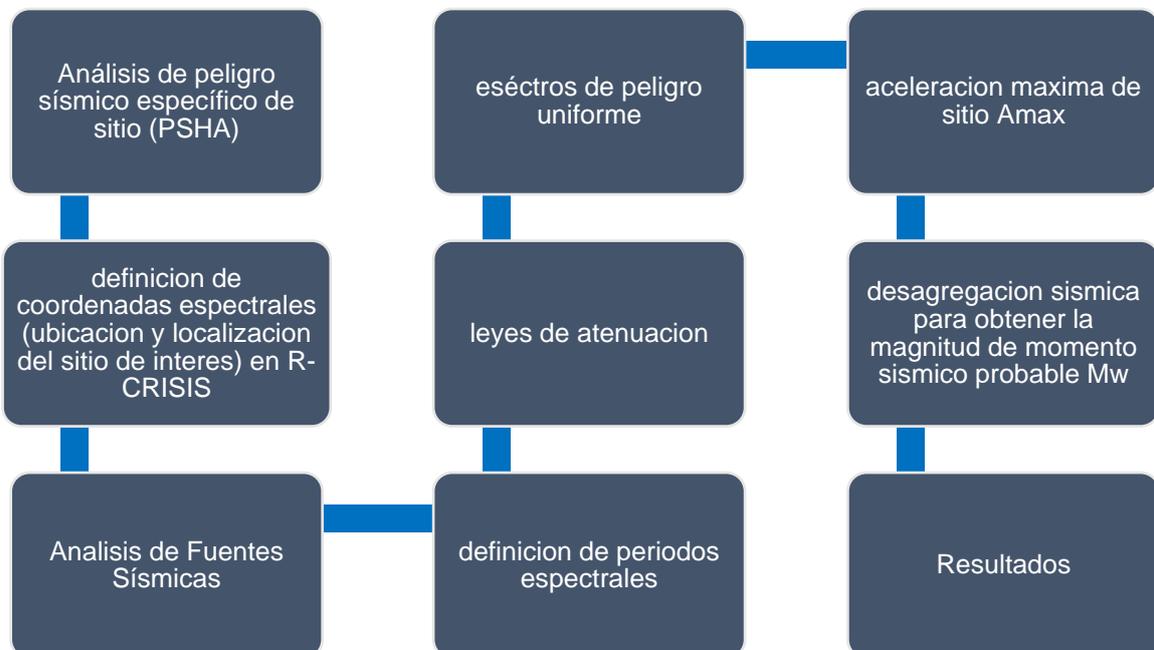
- **OBJETIVO 1:** Determinar la resistencia a la penetración dinámica de los suelos, a partir de pruebas de penetración estándar (SPT).



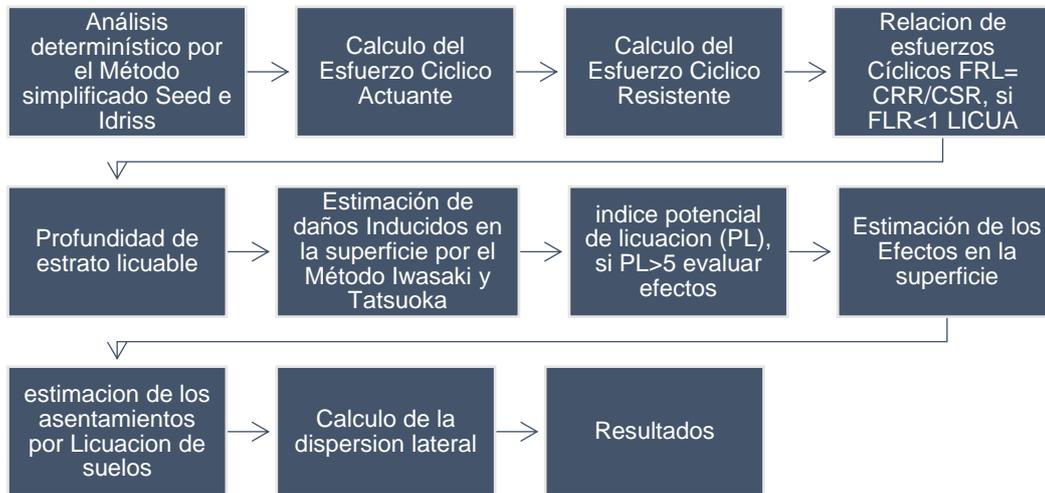
- **OBJETIVO 2:** Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos a partir de ensayos de laboratorio y procedimientos de cálculo.



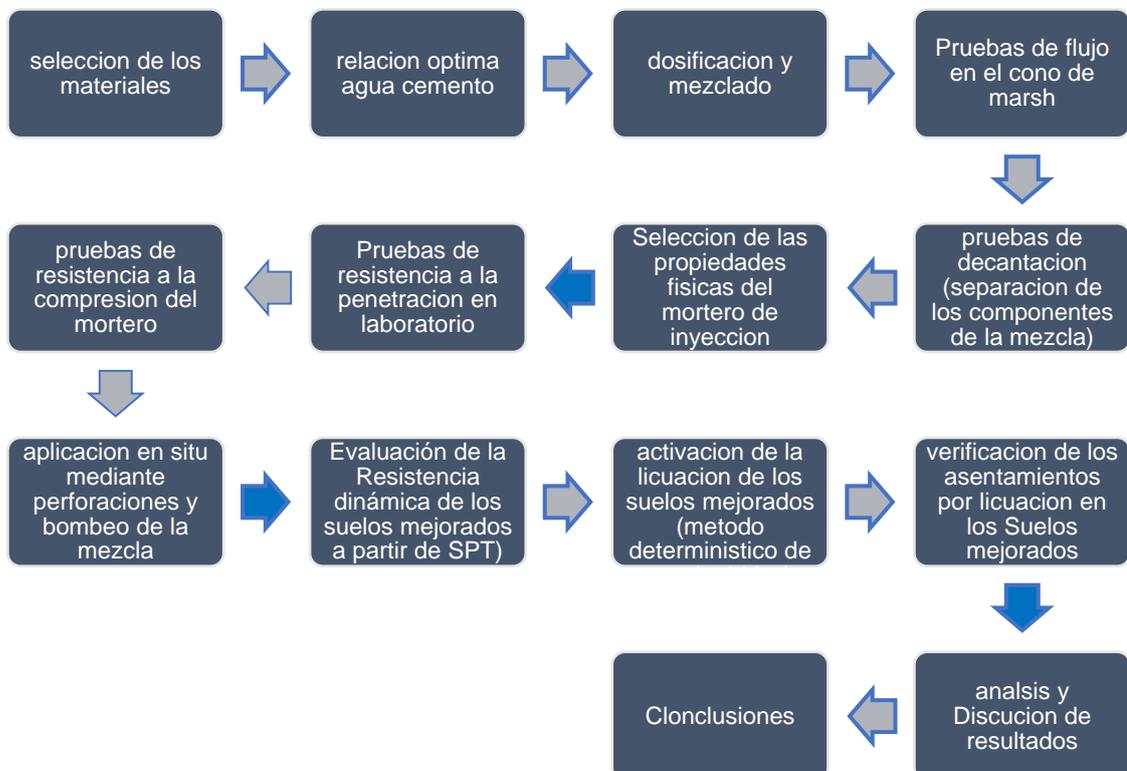
- **OBJETIVO 3:** Determinar los parámetros de aceleración máxima de sitio y Magnitud de momento sísmico a partir del análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA)



OBJETIVO 4: Efectuar el análisis y evaluación de la licuación de los suelos y sus efectos en la superficie, a partir de las metodologías de Seed e Idriss, Iwasaki y Tokimatsu



OBJETIVO 5: Efectuar el diseño experimental de un mortero de inyección en suelos arenosos para mejorar el terreno y verificar la activación de la licuación y sus efectos en la superficie de los suelos mejorados



Otros aportes

Se determinaron los valores de aceleración máxima específica de sitio y Magnitud de momento sísmico para el Distrito de Santa Rosa. y se presentó los valores de las aceleraciones máximas para la provincia de Chiclayo. Se determinó el perfil de los suelos de la zona de estudio según la norma E 0.30 vigente al 2018, en la que se clasifica como perfil S2 de acuerdo al análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA). A continuación, se presenta la metodología aplicada para la determinación de la resistencia cíclica del terreno **CRR**.

▪ Cálculo del esfuerzo cíclico resistente “ECR”

$$\text{CRR}_M = \text{CRR} * \text{FMS}$$

$$\text{ECR} = \emptyset 1 + (\emptyset 2 * \text{N1SPT}) + (\emptyset 3 * \text{N1SPT}^2) + (\emptyset 4 * \text{N1SPT}^3) + (\emptyset 5 * \text{N1SPT}^4)$$

$$\emptyset 1 = -0.0711337 + 0.0186925 * \text{CF} - 0.000728392 * \text{CF}^2 + 0.0000106402 * \text{CF}^3$$

$$\emptyset 2 = 0.00996422 - 0.0034559 * \text{CF} + 0.00017014 * \text{CF}^2 - 0.00000355978 * \text{CF}^3$$

$$\emptyset 3 = 0.00074415546 + 0.00054667 * \text{CF} - 0.0000268625 * \text{CF}^2 + 0.0000006042621 * \text{CF}^3$$

$$\emptyset 4 = -0.0000295833 - 0.0000372155 * \text{CF} + 0.00000173552 * \text{CF}^2 - 0.0000000402618$$

$$* \text{CF}^3$$

$$\emptyset 5 = -0.000000137016 + 0.000000877546 * \text{CF} - 0.000000038524 * \text{CF}^2 + 0.000000000927606$$

$$* \text{CF}^3$$

Donde:

CRR es la relación de esfuerzos cíclicos resistentes

CRR1 es la resistencia cíclica que toma como valor máximo 1.5 kg/cm² en este trabajo, algunos autores toman hasta 2kg/cm²

FMS es el Factor de escala de Magnitud Sísmica, para sismos diferentes de 7.5

M_w

$$\text{N1-SPT} = \text{Nm} * \text{C}_E * \text{C}_B * \text{C}_R * \text{C}_S * \text{C}_N$$

C_f = Contenido de finos presente en las muestras analizadas

El contenido de finos se redondeó al mínimo de 5 %, y máximo de 35%, haciendo uso de la función si en la hoja de cálculo Excel, aplicando las siguientes expresiones

$$= \text{SI}(\text{CF} < 5, 5, \text{CF})$$

$$= \text{SI}(\text{CF} > 35, 35, \text{CF})$$

A continuación, se presentan algunos ejemplos de cálculo de los esfuerzos cíclicos resistentes de algunos de los perfiles estudiados en este trabajo

Tabla 173. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-1, Mw=7.5

Z (m)	N1-SPT	CF	CF1	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	CRR	FMS	CRR _M	CRR1
1.50	6.69	4.84	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.06	1.000	0.06	0.065
1.95	10.52	4.99	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.12	1.000	0.12	0.123
2.40	14.34	4.99	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.17	1.000	0.17	0.169
2.85	16.26	4.99	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.19	1.000	0.19	0.186
3.30	36.72	23.29	23.29	0.1035	-0.0232	0.0065	-0.0005	0.000011	5.34	1.000	5.34	1.282
3.75	51.00	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	39.88	1.000	39.88	1.500
4.20	67.19	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	152.56	1.000	152.56	1.500
4.65	71.58	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	205.53	1.000	205.53	1.500
5.10	71.02	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	197.99	1.000	197.99	1.500
5.55	72.60	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	219.55	1.000	219.55	1.500
6.00	72.34	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	215.82	1.000	215.82	1.500

Tabla 174. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-1, Mw=6.0

Z (m)	CSR	N1-SPT	CF	CF1	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	CRR	FMS	CRR _M	CRR1
1.50	0.727	6.69	4.84	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.06	1.3142	0.09	0.085
1.95	0.727	10.52	4.99	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.12	1.3142	0.16	0.161
2.40	0.692	14.34	4.99	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.17	1.3142	0.22	0.222
2.85	0.670	16.26	4.99	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.19	1.3142	0.24	0.244
3.30	0.655	36.72	23.29	23.29	0.1035	-0.0232	0.0065	-0.0005	0.000011	5.34	1.3142	7.02	1.500
3.75	0.645	51.00	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	39.88	1.3142	52.40	1.500
4.20	0.637	67.19	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	152.56	1.3142	200.48	1.500
4.65	0.629	71.58	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	205.53	1.3142	270.10	1.500
5.10	0.622	71.02	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	197.99	1.3142	260.20	1.500
5.55	0.615	72.60	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	219.55	1.3142	288.52	1.500
6.00	0.609	72.34	28.02	28.02	0.1148	-0.0316	0.0083	-0.0006	0.000015	215.82	1.3142	283.62	1.500

Tabla 175. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-2, Mw=6.0

Z (m)	N1-SPT	CF	CF1	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	CRR	FMS	CRR _M	CRR1
1.95	11.25	4.19	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.00018	0.000003	0.133	1.3142	0.17	0.174
2.85	18.00	7.30	7.30	0.0306	-0.0076	0.0035	-0.00022	0.000005	0.212	1.3142	0.28	0.279
3.75	31.29	28.29	28.29	0.1156	-0.0322	0.0084	-0.00060	0.000015	3.030	1.3142	3.98	1.500
4.65	70.58	28.29	28.29	0.1156	-0.0322	0.0084	-0.00060	0.000015	195.614	1.3142	257.07	1.500
5.55	64.15	28.29	28.29	0.1156	-0.0322	0.0084	-0.00060	0.000015	124.492	1.3142	163.60	1.500

Tabla 176. Aplicación de los coeficientes de cálculo en la evaluación determinista de la licuación del suelo, sondeo SPT-4, Mw=6.0

Z (m)	N1-SPT	CF	CF1	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	CRR	FMS	CRR _M	CRR1
1.50	6.69	4.64	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.065	1.3142	0.085	0.085
1.95	10.52	4.64	5.00	0.0054	-0.0035	0.0029	-0.0002	0.000003	0.123	1.3142	0.161	0.161
2.40	12.43	6.40	6.40	0.0215	-0.0061	0.0033	-0.0002	0.000004	0.156	1.3142	0.206	0.206
2.85	17.21	6.40	6.40	0.0215	-0.0061	0.0033	-0.0002	0.000004	0.201	1.3142	0.264	0.264
3.30	20.40	8.20	8.20	0.0390	-0.0089	0.0038	-0.0002	0.000005	0.243	1.3142	0.319	0.319
3.75	23.46	23.66	23.66	0.1043	-0.0237	0.0066	-0.0005	0.000011	0.550	1.3142	0.722	0.722
4.20	27.09	23.66	23.66	0.1043	-0.0237	0.0066	-0.0005	0.000011	1.069	1.3142	1.405	1.405
4.65	36.33	23.66	23.66	0.1043	-0.0237	0.0066	-0.0005	0.000011	5.151	1.3142	6.770	1.500
5.10	62.90	23.66	23.66	0.1043	-0.0237	0.0066	-0.0005	0.000011	85.094	1.3142	111.827	1.500
5.55	75.51	23.66	23.66	0.1043	-0.0237	0.0066	-0.0005	0.000011	201.889	1.3142	265.315	1.500
6.00	73.26	23.66	23.66	0.1043	-0.0237	0.0066	-0.0005	0.000011	175.393	1.3142	230.495	1.500

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

1. Se concluye que el terreno ubicado en la zona I, donde se ejecutaron las pruebas SPT- 01 a SPT-04 ubicado en la margen Sur-Este del dren 4000 presenta susceptibilidad, puesto que sus capas superficiales presentan valores de Resistencia a la penetración dinámica Nm-SPT<30, a profundidades que varían desde 3.30 m a 4.20 m. mientras que hasta los 2.40 m presentan valores de Nm-SPT<15, cuyos estratos están constituidos por arenas tipo SP, en cambio la zona II ubicada a la margen Este- Norte del dren 4000 donde se ejecutaron las pruebas SPT(05 -09) presenta suelos más estables compuestos por arenas arcillosas con contenido de finos CF> 15%, donde se obtuvieron valores de Nm-SPT≥30 Golpes/pie a profundidades de 2.00 m, que indican baja susceptibilidad a licuación
2. Los suelos de la zona I presentan contenido de Finos menores al 10% que varían de 2.40 m hasta 2.85 m de profundidad, límites líquidos menores de 30%. Hasta los 4.65 m de profundidad, índices de plasticidad menores de 12, mientras que el terreno ubicado en la zona II presenta composiciones granulométricas más extendidas donde se obtuvieron contenido de finos mayores de 30% a profundidades de 2.00 m, límites líquidos mayores de 30, índices de liquides mayores a 12, por lo que concluimos que la zona I presenta Alta susceptibilidad, por el criterio de composición, mientras la zona II presenta baja susceptibilidad.
3. Se obtuvo $a_{max} = 0.397$ g, en la roca y de 0.43g en la superficie para un periodo de retorno de 475 años, con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años y con un coeficiente de amortiguamiento del 5%, para Mw se obtuvo entre 6.97 y 7.1 Mw, Los espectros de peligro uniforme comparados con los valores correspondientes a los parámetros de la norma e 0.30, indican que se presenta un periodo predominante de vibración cuando $t = 0.3$ segundos, los valores de T_p y T_L se encuentran dentro de los límites

correspondientes a los suelos de tipo S2 correspondientes a los de la norma E 0.30. Con lo que se concluye que los suelos pertenecen al perfil de suelo tipo S2.

4. El análisis y evaluación de la licuación de suelos por el método determinista nos permitió determinar la profundidad estrato de suelos licuables donde en la zona I se encontraron profundidades de licuación de suelo de 3.30 m hasta los 4.20 m, mientras que en la zona II solo se presentó licuación del suelo en la perforación SPT-07 hasta una profundidad de 1.95 m, los efectos en la superficie del terreno se determinaron a partir del método probabilista, del que se obtuvo el índice de potencial de daños LPI que presentó valores $LPI > 15$ en la zona I, Con Lo Que Se Concluye que presenta riesgo alto, considerando este riesgo se evaluaron los asentamientos en el terreno por el método de Tokimatsu y Yoshimi donde se obtuvieron valores que varían entre 4.5 hasta 8.0 cm
5. El desempeño óptimo del mortero de permeación utilizando cemento tipo Ms, se obtuvo con una relación $a/c=0.7$, bentonita al 10% y superplastificante al 0.7%, en cambio para lograr el óptimo desempeño del mortero preparado con cemento tipo I mochica se requiere incrementar la dosis de superplastificante al 1.5%. Se logró un incremento de la resistencia $f'c$ hasta del 36%. Las Pruebas posteriores al mejoramiento del terreno indican que se reduce el nivel de riesgo del terreno obteniéndose un incremento de la resistencia a la penetración dinámica desde 30 a 90%, que se traduce en términos de incrementos de resistencia cíclica CRR hasta en tres veces la resistencia cíclica inicial del terreno, con respecto al tipo de suelo, hasta en 4 veces con respecto a la profundidad de la inyección. Los niveles de riesgo disminuyen entre el 30 y 40% lográndose disminuir los valores $LPI > 15$ al rango de $5 \leq LPI \leq 15$, los asentamientos por licuación disminuyeron entre 30 y 40% posterior al tratamiento del terreno, obteniéndose valores menores a 2.5 cm a profundidades menores de 2.0 m. Con lo que se concluye que la inyección de mortero de permeación tiene efectos favorables en la mejora de la resistencia cíclica del terreno CRR, disminuye los esfuerzos cíclicos actuantes CSR, disminuye los niveles de riesgo por daños inducidos en la

superficie y por lo tanto se puede mitigar los efectos en la superficie del terreno licuable.

RECOMENDACIONES

1. En las investigaciones de licuación de suelos basadas en pruebas de campo SPT en las que en primera instancia se evaluó la resistencia dinámica a la penetración estándar SPT, se recomienda tomar como un valor límite el número de golpes Nm-SPT > 35 golpes por pie ya que este indica que para valores superiores de Nm-SPT los suelos no son susceptibles de licuarse, por lo que se puede obviar y reducir llegar al rechazo con Nm-SPT=50 golpes/pie ya que esta es la causa de la falla o deterioro de muchos de los equipos de penetración estándar
2. En las investigaciones de licuación de suelos arenosos donde se obtengan valores de contenido de finos menores a 20%, límites líquidos menores de 30% e índices de plasticidad menores de 12. Que indican susceptibilidad a la licuación. Se recomienda efectuar el análisis por métodos deterministas y probabilistas para estimar el nivel de riesgo por los efectos en la superficie
3. En las investigaciones de amenaza sísmica donde se aplica el análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA) .Se recomienda efectuar diversos análisis variando la distancia epicentral a la zona de ruptura R entre 100 y 200 km para optimizar los resultados, además de actualizar las leyes de atenuación, en este estudio en particular tener en cuenta incrementar los valores del coeficiente de amplificación sísmica “C” de la norma E 0.30, $C > 2.5$, en el análisis y diseño de la superestructura de las edificaciones a diseñar por los proyectistas, debido a que el espectro de sitio resulto mayor al propuesto por la norma para el suelo tipo S2, Cuando se presenta un periodo predominante de vibración de 0.2 a 0.3 segundos.
4. En los análisis deterministas de licuación del suelo se recomienda tomar en cuenta la base de datos de licuefacción histórica y actualizada por (Cetin, y otros, Dataset on SPT-based seismic soil liquefaction, 2018) y acompañarla

con los procedimientos de análisis probabilista actualizados recientemente con el fin de obtener valores más cercanos a la realidad y sin sesgos, en particular en este trabajo tomar en cuenta la evaluación de los efectos de dispersión lateral presentados para considerar la necesidad de contar con un muro de contención en la margen del dren 4000, que a su vez sirva de revestimiento para evitar colmataciones y filtraciones del agua al terreno, se recomienda evaluar la estabilidad del talud entre el terreno de la zona I y la rivera del mar.

5. En las investigaciones que tengan que ver con la mejora de terrenos potencialmente licuables en base a pruebas de campo se recomienda verificar la mejora en combinación con pruebas geofísicas como la tomografía eléctrica que permitan obtener los perfiles de los estratos circundantes y la variación del incremento de la resistencia en el tiempo que en esta investigación en particular se recomienda utilizar cimentaciones superficiales rígidas con una profundidad de desplante mínima de -1.80 m, debajo del NTN, en los suelos de la zona no licuable, con restricciones de drenaje vertical mediante grava o cantos rodados, en cambio para suelos con alto potencial de licuación se recomienda mejorar el terreno aplicando el método de inyección de mortero e incluir drenaje vertical de grava, profundidades de desplante mínimo $D_f = 2.10$ m para construir cimentaciones superficiales de lo contrario usar profundas.

5 REFERENCIAS

- Abrahamson, N., Gregor, N., & Addo, K. (2016). BC Hydro Ground Motion Prediction Equations For Subduction Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 23-44.
- Ahmad, M., Tang, X., Qiu, J., Ahmad, F., & Gu, W. (2019). LLDV-a Comprehensive Framework for Assessing the Effects of Liquefaction Land Damage Potential. *IEEE 14th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE)*, 527-533. doi:10.1109/ISKE47853.2019.9170336.
- Alva Hurtado, J. (2020). *Ingenieria Geotécnica Sísmica*. Lima: EDUNI.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2020). Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils. Obtenido de https://www.astm.org/d1586_d1586m-18e01.html
- Amini, P., & Noorzad, R. (2018). Energy-based evaluation of liquefaction of fiber-reinforced sand using cyclic triaxial testing. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 104, 45-53. doi:10.1016/j.soildyn.2017.09.026.
- Ancco Huanacuni, E. R. (2018). *Influencia de Espectros Determinísticos y Probabilísticos para la Evaluación del Peligro Sísmico en Estructuras de la Región de Tacna*. Tacna. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12969/1049>
- Bahmanpour, A., Towhata, I., Sakr, M., Mahmoud, M., Yamamoto, Y., & Yamada, S. (2019). The effect of underground columns on the mitigation of liquefaction in shaking table model experiments. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 15-30. doi:10.1016/j.soildyn.2018.09.022.
- Bouckovalas, G. D., Yannis, Z. T., Vasiliki, A. Z., & Chara, G. K. (2017). Equivalent linear computation of response spectra for liquefiable sites: The spectral envelope method. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 143(4), 04016115-1-04016115-12. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001625
- Boulanger, R., & Idriss, I. (2014). *CPT AND SPT Based Liquefaction Triggering*. California.
- Brenes Quesada, F. (2008). *Evaluación del Potencial de Licuefacción en Suelos*. Costa Rica.

- Camargo Garcia, Y. A., & Yana Paucar, E. A. (2017). *Evaluación de la reducción del Potencial de Licuación usando la Metodología de Análisis de Seed e Idriss sobre ensayos de SPT realizados en el suelo arenoso del Proyecto Outlet Premium Lurín Mejorado con Pilas de Grava Compactada*. Lima.
- Carrido, A., & alcayhuaman, I. (2008). Licuacion de Suelos durante el Sismo de PISCO -PERU- 2007. *6th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, (pág. 10). Tegucigalpa, Honduras.
- Carrillo , P. (junio de 2008). Influencia del Suelo en la Respuesta Sismica de las estructuras. *Influencia del Suelo en la Respuesta Sismica de las estructuras*. Caracas, Caracas, Venezuela. Obtenido de Repositorio Institucional UNPRG: <http://docplayer.es/58930001-Influencia-del-suelo-en-la-respuesta-sismica-de-estructuras.html>
- Cetin, K., B. Seed, R., E. Kayen, R., S. Moss, R., Tolga Bilge, H., Ilgac, M., & Chowdhury, K. (2018). Dataset on SPT-based seismic soil liquefaction. *Data in Brief*, 20, 544-548. doi:10.1016/j.dib.2018.08.043.
- Cetin, K., B. Seed, R., E. Kayen, R., S. Moss, R., Tolga Bilge, H., Ilgac, M., & Chowdhury, K. (2018). SPT-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction triggering hazard. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, 698-709. doi:10.1016/j.soildyn.2018.09.012.
- Charca, O., Gamarra, C., & Parra, D. (2019). Selection of Subduction Ground Motion Prediction Equations for Seismic Hazard Assessment in Peru. *XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE)* (págs. 1981-1990). Cancún, México: López-Acosta et al. . doi:10.3233/STAL190258.
- Cilia, M., Mooney, W., & Nugroho, C. (2020). Field Insights and Analysis of the 2018 Mw 7.5 Palu, Indonesia Earthquake, Tsunami and Landslides. *Pure and Applied Geophysics*, 4891–4920. doi:10.1007/s00024-021-02852-6
- Cubrinovski, M. (01 de May de 2016). *New zealand geotechnical society*. Obtenido de <https://www.nzgs.org/library/earthquake-geotechnical-engineering-module-3-liquefaction-hazards/>

- De la Cruz Marsano, I. J. (2011). *Peligro sísmico Probabilístico y Espectro de peligro Uniforme en la región ancash*. Ancash. Obtenido de qdoc.tips_peligro-sismico-ancash-peru-tesis-2012-psha-uhs.pdf
- E.0.30, RNE. (2018). *ICG, instituto de la construcción y gerencia*. Obtenido de https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/rne2006_titulo3.htm
- E.0.50, RNE. (2018). Obtenido de https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/rne2006_titulo3.htm
- Eftekhari, N., Yazdani, A., Razmyan, S., & Shamohammadi, A. (2020). Data envelopment analysis based procedure for selection and ranking of ground motion prediction equations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 137, 1-9. doi:10.1016/j.soildyn.2020.106303.
- Fasano, G., De Sarno, D., Bilotta, E., & Flora, A. (2019). Design of horizontal drains for the mitigation of liquefaction risk. *Soils and Foundations*, 59(5), 1537-1551. doi:10.1016/j.sandf.2019.07.004.
- GEOESTRU, Software. (2020). referencias teoricas, metodos simplificados, modulo Liquiter. España.
- Global CMT Web Page. (2019). Obtenido de Global CMT Web Page: <https://www.globalcmt.org/>
- González Dumuihual, V. P. (2015). *Puentes Afectados por Licuefacción del Terreno de fundación debido al terremoto del 27f*. Santiago de Chile.
- González Fuentealba, J., & Verdugo Alvarado, R. (2014). Sitios Afectados Por Licuefacción a causa del terremoto 27 -F. *VIII Congreso chileno de Ingeniería Geotécnica*, (págs. 1-10). Santiago de Chile. Obtenido de www.sochige2014.cl
- Hazarika, H., Khajeh Pasha, S. M., Ishibashi, I., Yoshimoto, N., Kinoshita, T., Endo, S., . . . Hitosugi, T. (2020). Tire-chip reinforced foundation as liquefaction countermeasure for residential buildings. *Soils and Foundations*, Volume 60(2), 315-326. doi:10.1016/j.sandf.2019.12.013.
- Herráiz Sarachaga, M. (1997). *Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros*. Lima: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.

- Hussain, M., & Sachan, A. (2019). Static liquefaction and effective stress path response of Kutch soils. *Soils and Foundations*, 59(6), 2036-2055. doi:10.1016/j.sandf.2019.11.004.
- Idriss, I., & Boulanger, R. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquakes*. (D. Becker, Ed.) Oakland, California, USA: Earthquake Engineering Research Institute (EERI). Obtenido de <http://www.eeri.org>.
- Illacutipa Perez, W., & Illacutipa Perez, A. M. (2019). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca*. Juliaca. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1973>
- Inacal Ntp 339.133. (1999). Ntp 339.133 Suelos. Método de Ensayo de Penetración Estándar SPT. Lima, Lima, Peru.
- Indeci. (2003). *Mapa de Peligros Sísmicos de Santa Rosa*. Santa Rosa.
- Indeci. (2003). *Plan De Prevención Ante Desastres: Usos Del Suelo Y Medidas De Mitigación Ciudad De Santa Rosa*. Lima.
- Instituto Geofísico del Perú. (2021). *Mapas Sísmicos*. Obtenido de Portal IGP: <https://ultimosismo.igp.gob.pe/mapas-sismicos>
- International Seismological Centre. (2019). *International Seismological Centre*. Obtenido de <https://doi.org/10.31905/d808b825>
- Ishihara, K. (1985). Stability of natural deposits during earthquakes. *11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (págs. 321-376). San Francisco: International Society for Soil Mechanics and geotechnical Engineering (ISSMGE). Obtenido de <https://www.issmge.org/publications/publication/stability-of-natural-deposits-during-earthquakes>
- Ishihara, K. (1993). Liquefaction and Flow Failure during Earthquake. *Géotechnique*, 43, 351-415. doi:10.1680/geot.1993.43.3.351
- Iwasaki, T., Arakawa, T., & Tokida, K.-I. (1984). Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 49-58. doi:10.1016/0261-7277(84)90027-5
- Iwasaki, T., Tokida, K., & Tatsuoka, F. (1982). Soil Liquefaction Potential Evaluation with Use of the Simplified. En U. d. Rolla (Ed.), *International Conferences on*

- Recent Advances in Geotechnical Earthquake* (págs. 208-214). San Luis, Misuri: Universidad de Missouri - Rolla. Obtenido de <https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/01icrageesd/session02/12>
- Keepa, C., & Murashev, A. (31 de may de 2017). *New Zealand Geotechnical Society's*. Obtenido de <https://www.nzgs.org/library/earthquake-geotechnical-engineering-module-5/>
- Keramatikerman, M., Chegenizadeh, A., Nikraz, H., & Salih Sabbar, A. (2018). Effect of flyash on liquefaction behaviour of sand-bentonite mixture. *Soils and Foundations*, 58(5), 1288-1296. doi:10.1016/j.sandf.2018.07.004.
- Khebizi, W., Nouredine, D., Sidali, D., Della, N., Canou, J., & Dupla, J.-C. (2019). Undrained behaviour of polypropylene fibre reinforced sandy soil under monotonic loading. *Geomechanics and Geoengineering*, 14(1), 1-11. doi:10.1080/17486025.2018.1508855
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall civil engineering and engineering: Prentice-Hall civil engineering and engineering.
- Kramer, S. L. (2019). Identification of time of liquefaction triggering. En S. L. Kramer, *Cieotechnical Earthquake Engineering* (t. J.I.Fernandez, Trad., págs. 348-417). New Jersey: Prentice-Hall, Inc. doi:doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105895
- Kramer, S. L., Sideras, S. S., & Greenfield, M. W. (2016). *The timin of liquefaction and its utility in liquefaction hazard*. Washington.
- Mahmood, W., Mohammed, A., & Ghafor, K. (2019). Viscosity, yield stress and compressive strength of cement-based grout modified with polymers. *Results in Materials*, 60(2), 1-11. doi:10.1016/j.rinma.2019.100043.
- Maldonado Salvatierra, O. O. (2019). *Estimacion de Funciones de Vulnerabilidad Sismica en Edificaciones con base en Procedimientos Probabilisticos*. Lima. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/2400608528>
- Maurer, B., Green, R., & S. Taylor, O.-D. (2015). Moving towards an improved index for assessing liquefaction hazard: Lessons from historical data. *Soils and Foundations*, 55(4), 778-787. doi:10.1016/j.sandf.2015.06.010.

- Mayne, P., Barry R., C., & DeJong, J. (2002). *Subsurface Investigations Geotechnical Site Characterization: Reference Manual*. Washington, D.C.: U.S. Department Publication No. FHWA NHI-01-031. Obtenido de <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/41566>
- Mesboua, N., Benyounes, K., & Benmounah, A. (2018). Study of the impact of bentonite on the physico-mechanical and flow properties of cement grout. (S. K. Shukla, Ed.) *Cogent Engineering*, 5(1), 1-12. doi:10.1080/23311916.2018.1446252
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de ensayo de Materiales. Lima, Lima, Perú. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- National Earthquake Information Center (NEIC). (2019). Obtenido de Usgs, Science for a changing world: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
- Ordaz, M., & Salgado Galvez, M. (2017). *Documento de validación y verificación de R-CRISIS Informe técnico*. Mexico: ERN.
- Parra Murrorruga, D. (2011). *Curso de Dinamica de Suelos*. Lima.
- Parra Murrugarra , D., & Alva Hurtado , J. E. (1991). Metodos Simplificados para Evaluacion de Potencial de licuacion de Suelos, Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Lima, Lima, Perú. Obtenido de <https://www.jorgealvahurtado.com/files/Metodos%20Simplificados%20Licuacion%20de%20Suelos.pdf>
- Peláez, J. A. (2011). On the earthquake magnitude scales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(3), 267-275.
- Russell Green, A., & Gregory Terri, A. (2005). Number of Equivalent Cycles Concept for Liquefaction Evaluations—Revisited. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental, ASCE*, 477-488. doi:10.1061/~ASCE!1090-0241~2005!131:4~477!
- Sadigh, K., Chang, C. Y., Egan, J. A., Makdisi, F., & Youngs, R. R. (1997). Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on

- California Strong Motion Data. *Seismological Research Letters*, 68(1), 180-189. doi:doi.org/10.1785/gssrl.68.1.180
- Salazar Raymond, M. B., Icaza Guevara, M., & Alejo Machado, O. J. (2018). La Importancia de la ética en la Investigación. *Revista Universidad y Sociedad*, 305-311. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000100305&lng=es&tlng=es.
- Sandiani, M., & Tanzadeh, J. (2020). "Laboratory assessing of the liquefaction potential and strength properties of Sand soil treated with mixture of nanoclay and glass fiber under dynamic and static loading". *Journal of Materials Research and Technology*, 9, 12661-12684. doi:10.1016/j.jmrt.2020.08.059.
- Sencico. (Junio de 2016). *Actualizacion del programa de computo para la Determinacion del Peligro Sismico del Pais*. Lima. Obtenido de <http://ppsh.sencico.gob.pe/>
- Sha, F., Li, S., Liu, R., Li, Z., & Zhang, Q. (2018). Experimental study on performance of cement-based grouts admixed with fly ash, bentonite, superplasticizer and water glass. *Construction and Building Materials*, 161, 282-291. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.11.034.
- Tavera , H. (1993). *La tierra Tectonica y sismicidad*. Lima. Obtenido de IGP: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/701>
- Tavera, H. (2014). *Evaluacion del Peligro Asociado a los Simos y sus efectos secundarios en el Peru*. INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU, Lima.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishizawa, O. (2014). *Re-Evaluacion del Peligro Sismico Probabilistico para el Perú*. Lima: Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida - IGP. Obtenido de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/2589>
- Tokimatsu , K., & Seed, H. (1984). *Simplified Procedures for the Evaluation of Settlements in Sands due to Earthquake Shaking*. Berkeley, California: National Science Foundation 1800 G Street, N.W.Washington, D.C. 20550.
- Tolozza, P. (2018). *liquefaction modelling using the pm4sand constitutive model in plaxis 2d*. delft.

- Universidad Complutense, d. (1989). Conceptos básicos en riesgo sísmico. En D. Muñoz, *Física de la Tierra* (págs. 199-215). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Universidad de Alicante. (2019). *Unidad de Registro Sísmico*. Obtenido de <https://web.ua.es/es/urs/divulgacion/propagacion-de-ondas-sismicas.html>
- Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2018). *Estudio de Microzonificación Sísmica y Análisis de Riesgo en la Zona de Estudio Ubicada en el Distrito de Pueblo Libre*. Lima. Obtenido de https://muniplibre.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2019/05/Tomo-II_Informe_Pueblo-Libre.pdf
- USGS, S. (2018). *Servicio Geológico de los Estados Unidos*. Obtenido de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent>
- Wang, P., & Yun, C. (1979). Site-dependent critical design spectra. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 569-578.
- Weichert, D. H. (1980). Estimation of the Earthquake Recurrence Parameters for Unequal Observation Periods for Different Magnitudes. *70*(4), 1337-1346. Obtenido de <https://www.resolutionmineeis.us/documents/weichert-1980>
- Whitman, R. V. (1971). Resistance of Soil to Liquefaction and Settlement. (J. S. Engineering, Ed.) *Soils and Foundations*, 11, 59-68. doi:10.3208/sandf1960.11.4_59.
- Youd, T. L. (2003). Liquefaction Mechanisms and Induced Ground Failure. En T. L. Youd, *Liquefaction Mechanisms and Induced Ground Failure* (págs. 1159-1173). Provo, Utah, USA: International Geophysics, Academic Press. doi:10.1016/S0074-6142(03)80184-5.
- Youd, T. L. (2014). Ground failure investigations following the 1964 Alaska earthquake. *NCEE 2014 - 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*. Anchorage, Alaska. doi:10.4231/D3DN3ZW6P
- Youd, T., & Perkins, D. (1978). Mapping Liquefaction-Induced Ground Failure Potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 433-446.

- Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J., & Humphrey, J. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. *Seismological Research Letters* (1997) 68 (1), 58-73. doi:10.1785/gssrl.68.1.58
- Zhao, X., Zhang, J., Asano, A., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., . . . Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898-913. doi:doi.org/10.1785/0120050122

6 ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

TITULO	PROBLEMA	MARCO TEÓRICO	OBJETIVOS	METODOLOGÍA
Método de Inyección Mortero para mejorar suelos potencialmente licuables Santa Rosa, Lambayeque, 2019	<p>Suelos Potencialmente Licuables en el Distrito de Santa Rosa</p> <p>Formulación del problema</p> <p>¿Cuál es el efecto de las inyecciones de mortero en el comportamiento de los suelos potencialmente licuables?</p>	<p>Trabajos previos</p> <p>(Cetin, y otros, 2018) (Hussain & Sachan, 2019)</p> <p>(Charca, Gamarra, & Parra, 2019)</p> <p>(Cetin, y otros, 2018) (Sha, Li, Liu, Li, & Zhang, 2018)</p> <p>(Sandiani & Tanzadeh, 2020)</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar el efecto de las inyecciones de mortero en el comportamiento de los suelos potencialmente licuables</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>1. Determinar la resistencia del terreno a la penetración dinámica a partir de pruebas de penetración estándar (SPT).</p> <p>2. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos a partir de ensayos de laboratorio y procedimientos de cálculo.</p> <p>3. Determinar los parámetros de aceleración máxima de sitio y Magnitud de momento sísmico a partir del análisis de peligro sísmico específico de sitio (PSHA).</p> <p>4. Efectuar el análisis y evaluación de la licuación de los suelos y sus efectos en la superficie, a partir de las metodologías de Seed e Idriss, Iwasaki, Tokida y Tatsuoka</p> <p>5. Efectuar el diseño experimental de un mortero de inyección en suelos arenosos para mejorar el terreno y verificar la activación de la licuación del suelo y sus efectos en la superficie</p>	<p>Tipo y Diseño de Investigación</p> <p>cuantitativa cuasi experimental , se desarrollaran trabajos de campo y ensayos de laboratorio</p> <p>Variables</p> <p>V.1: suelos potencialmente licuables</p> <p>V.2: Inyecciones Mortero</p> <p>Población</p> <p>La población la constituyen los suelos arenosos de la franja costera de la localidad de Santa Rosa</p> <p>Muestra</p> <p>La muestra se obtuvo mediante la exploración geotécnica in situ, a partir de 9 puntos de investigación ubicados dentro de un área de estudio de tres hectáreas de superficie, que pertenece a la franja costera del distrito de Santa Rosa</p> <p>Tipo de muestreo</p> <p>Se efectuó un muestreo no probabilístico, por conveniencia y seleccionamos la muestra de manera arbitraria</p>
	<p>Hipótesis</p> <p>Si las inyecciones de mortero pueden mejorar el comportamiento de los suelos potencialmente licuables, entonces se pueden mitigar los efectos de la licuación en la superficie del terreno.</p>	<p>Teorías</p> <p>(Youd T. L., 2003) (Idriss & Boulanger, 2008) (Tavera, y otros, 2014). (Kramer S. L., 1996). (Boulanger & Idriss, 2014)</p> <p>(Iwasaki, Tokida , & Tatsuoka, 1982)</p> <p>(Alva Hurtado, 2020) (Cubrinovski, 2016) (Herráiz Sarachaga, 1997)</p> <p>(Ishihara, 1993)</p>		

ANEXO 2. Instrumentos de recolección de datos

Contenido de humedad



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
 N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Tesisistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.50
	SPT-01	E-1	M-1	Altura (m)	0.45
1	Numero de tara			Nº	1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	603
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	585
4	Peso del Agua			gr.	18
5	Peso de tara			gr.	106
6	Peso muestra secada al horno			gr.	479
7	Contenido de humedad			%	3.758

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 1.50-2.40
	SPT-01	E-1	M-2	Altura (m) 0.9
1	Numero de tara		Nº	2
2	Peso muestra húmeda + peso de tara		gr.	608
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara		gr.	583
4	Peso del Agua		gr.	25
5	Peso de tara		gr.	106
6	Peso muestra secada al horno		gr.	477
7	Contenido de humedad		%	5.241

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w \times 100}{M_s}$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.40-3.30
	SPT-01	E-2	M-3	Altura (m)	0.90
1	Numero de tara			Nº	3
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	652
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	585
4	Peso del Agua			gr.	67
5	Peso de tara			gr.	89
6	Peso muestra seca (horno)			gr.	496
7	Contenido de humedad			%	13.508

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019				
Tesisistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 3.30-4.65
	SPT-01	E-2	M-4	Altura (m) 1.35
1	Numero de tara		Nº	4
2	Peso muestra húmeda + peso de tara		gr.	616
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara		gr.	527
4	Peso del Agua		gr.	89
5	Peso de tara		gr.	86
6	Peso muestra secada al horno		gr.	441
7	Contenido de humedad		%	20.181

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Tesisistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. NasarEmilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.50-1.95
	SPT-02	E-1	M-1	h del estrato (m)	1.95
1	Numero de tara			Nº	1.0
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	600.00
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	584.20
4	Peso del Agua			gr.	15.80
5	Peso de tara			gr.	106.00
6	Peso muestra secada al horno			gr.	478.20
7	Contenido de humedad			%	3.30

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w \times 100}{M_s}$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-02	E-2	M-2	h del estrato (m)	0.90
1	Numero de tara			Nº	2
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	562.88
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	536.37
4	Peso del Agua			gr.	26.51
5	Peso de tara			gr.	42.57
6	Peso muestra seca (horno)			gr.	493.80
7	Contenido de humedad			%	5.37

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w \times 100}{M_s}$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019
--------	--

Tesis:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.65
	SPT-02	E-3	M-3	h del estrato (m)	1.80

1	Numero de tara	Nº	3
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	543.38
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	500.20
4	Peso del Agua	gr.	43.18
5	Peso de tara	gr.	69.81
6	Peso muestra secada al horno	gr.	430.39
7	Contenido de humedad	%	10.03

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w \times 100}{M_s}$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			Fecha:	Junio del 2019
Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.50-1.95
	SPT-03	E-1	M-1	Altura (m)	0.45
1	Numero de tara			Nº	1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	450.08
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	434.20
4	Peso del Agua			gr.	15.88
5	Peso de tara			gr.	50.59
6	Peso muestra secada al horno			gr.	383.61
7	Contenido de humedad			%	4.14

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w \times 100}{M_s}$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019
------------------	--	---------------------------------

Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad	1.95-2.85
	SPT-01	E-2	M-2	Altura (m)	0.9

1	Numero de tara	Nº	2
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	562.82
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	538.29
4	Peso del Agua	gr.	24.53
5	Peso de tara	gr.	42.58
6	Peso muestra seca (horno)	gr.	495.71
7	Contenido de humedad	%	4.95

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva			Fecha:	Junio del 2019
	bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-3.75
	SPT-03	E-3	M-3	Altura (m)	0.9

1	Numero de tara	Nº	3
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	543.38
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	504.75
4	Peso del Agua	gr.	38.63
5	Peso de tara	gr.	42.59
6	Peso muestra secada al horno	gr.	462.16
7	Contenido de humedad	%	8.359

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019
--------	--

Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforación SPT-03	Estrato E-3	Muestra M-4	Profundida 3.75-4.65	Altura (m) 0.9

1	Numero de tara	Nº	4
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	536.32
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	492.85
4	Peso del Agua	gr.	43.47
5	Peso de tara	gr.	42.6
6	Peso muestra secada al horno	gr.	450.25
7	Contenido de humedad	%	9.655

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesisistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.50
	SPT-04	E-1	M-1	Altura (m)	0.45
1	Numero de tara		Nº		1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara		gr.		608
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara		gr.		585
4	Peso del Agua		gr.		23
5	Peso de tara		gr.		106
6	Peso muestra secada al horno		gr.		479
7	Contenido de humedad		%		4.802

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 1.50-2.40
	SPT-04	E-1	M-2	Altura (m) 0.9
1	Numero de tara			Nº 2
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr. 610
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr. 584
4	Peso del Agua			gr. 26
5	Peso de tara			gr. 107
6	Peso muestra secada al horno			gr. 477
7	Contenido de humedad			% 5.451

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 1.05-1.95
	SPT-05	E-1	M-1	h del estrato (m) 0.90
1	Numero de tara		Nº	1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara		gr.	620
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara		gr.	564.2
4	Peso del Agua		gr.	55.8
5	Peso de tara		gr.	105
6	Peso muestra secada al horno		gr.	459.2
7	Contenido de humedad		%	12.15

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha:	Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-05	E-1	M-2	h del estrato (m)	0.90
1	Numero de tara			Nº	2
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	622.38
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	524.3
4	Peso del Agua			gr.	98.08
5	Peso de tara			gr.	69.81
6	Peso muestra secada al horno			gr.	454.49
7	Contenido de humedad			%	21.580

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva				Fecha:
	bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.20
	SPT-05	E-1	M-3	h del estrato (m)	1.35

1	Numero de tara	Nº	3
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	623.38
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	518.5
4	Peso del Agua	gr.	104.88
5	Peso de tara	gr.	69.81
6	Peso muestra secada al horno	gr.	448.69
7	Contenido de humedad	%	23.37

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara mas la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara mas la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-06	E-1	M-1	h del estrato (m)	1.50
1	Numero de tara			Nº	1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	620
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	583.2
4	Peso del Agua			gr.	36.8
5	Peso de tara			gr.	105
6	Peso muestra secada al horno			gr.	478.2
7	Contenido de humedad			%	7.70

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-06	E-2	M-2	h del estrato (m)	0.90
1	Numero de tara	Nº	2		
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	620.2		
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	567.3		
4	Peso del Agua	gr.	52.9		
5	Peso de tara	gr.	69.5		
6	Peso muestra secada al horno	gr.	497.8		
7	Contenido de humedad	%	10.627		

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			
Tesis:	Bach. José Ismael Fernández Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 2.85-3.75
	SPT-06	E-1	M-3	h del estrato (m) 0.90
1	Numero de tara	Nº	3	
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	620.38	
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	558.8	
4	Peso del Agua	gr.	61.58	
5	Peso de tara	gr.	69.81	
6	Peso muestra secada al horno	gr.	488.99	
7	Contenido de humedad	%	12.59	

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019
---------------	--

Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019
------------------	--	---------------------------------

Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-07	E-1	M-1	h del estrato (m)	1.50

1	Numero de tara	Nº	1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	626.63
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	584.14
4	Peso del Agua	gr.	42.49
5	Peso de tara	gr.	105
6	Peso muestra secada al horno	gr.	479.14
7	Contenido de humedad	%	8.87

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos


**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
 N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			
Tesis:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 1.95-2.85
	SPT-07	E-2	M-2	h del estrato (m) 0.90
1	Numero de tara	Nº	2	
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	619.2	
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	562.3	
4	Peso del Agua	gr.	56.9	
5	Peso de tara	gr.	69.55	
6	Peso muestra secada al horno	gr.	492.75	
7	Contenido de humedad	%	11.547	

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

- W : es el contenido de humedad, en porcentaje
- M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos
- M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos
- M_c : es el peso de la tara, en gramos
- M_w : es el peso del agua, en gramos
- M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 2.85-3.75
	SPT-07	E-2	M-3	h del estrato (m) 1.35
1	Numero de tara		Nº	3
2	Peso muestra húmeda + peso de tara		gr.	635.12
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara		gr.	556.79
4	Peso del Agua		gr.	78.33
5	Peso de tara		gr.	69.81
6	Peso muestra secada al horno		gr.	486.98
7	Contenido de humedad		%	16.08

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019		
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 1.05-1.95
	SPT-08	E-1	M-1	h del estrato (m) 0.90

1	Numero de tara	Nº	1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	622.80
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	565.20
4	Peso del Agua	gr.	57.60
5	Peso de tara	gr.	105.00
6	Peso muestra secada al horno	gr.	460.20
7	Contenido de humedad	%	12.52

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216**

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-08	E-1	M-2	h del estrato (m)	0.90

1	Numero de tara	Nº	2
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	626.38
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	524.3
4	Peso del Agua	gr.	102.08
5	Peso de tara	gr.	69.79
6	Peso muestra secada al horno	gr.	454.51
7	Contenido de humedad	%	22.459

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos


**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
 N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			
Tesis:	bach. Joselsmael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019		
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 2.85-4.20
	SPT-08	E-1	M-3	h del estrato (m) 1.35
1	Numero de tara	Nº	3	
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	629.38	
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	518.6	
4	Peso del Agua	gr.	110.78	
5	Peso de tara	gr.	69.8	
6	Peso muestra secada al horno	gr.	448.8	
7	Contenido de humedad	%	24.68	

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			Fecha:	Junio del 2019
Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-09	E-1	M-1	h del estrato (m)	1.50
1	Numero de tara			Nº	1
2	Peso muestra húmeda + peso de tara			gr.	629.4
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara			gr.	583.2
4	Peso del Agua			gr.	46.2
5	Peso de tara			gr.	105
6	Peso muestra secada al horno			gr.	478.2
7	Contenido de humedad			%	9.66

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			Fecha:	Junio del 2019
Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-09	E-1	M-2	h del estrato (m)	0.90
<hr/>					
1	Numero de tara		Nº		2
2	Peso muestra húmeda + peso de tara		gr.		628.2
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara		gr.		557.3
4	Peso del Agua		gr.		70.9
5	Peso de tara		gr.		69.5
6	Peso muestra secada al horno		gr.		487.8
7	Contenido de humedad		%		14.535

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 339.127 ASTM D - 2216

**Tesis: MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			Fecha:	Junio del 2019
Tesisistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva				
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.00
	SPT-09	E-1	M-3	h del estrato (m)	1.15

1	Numero de tara	Nº	3
2	Peso muestra húmeda + peso de tara	gr.	645.58
3	Peso muestra seca (horno) + peso de tara	gr.	556.8
4	Peso del Agua	gr.	88.78
5	Peso de tara	gr.	69.81
6	Peso muestra secada al horno	gr.	486.99
7	Contenido de humedad	%	18.23

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde :

W : es el contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} : es el peso de la tara más la muestra húmeda, en gramos

M_{cs} : es el peso de la tara más la muestra secada en horno, en gramos

M_c : es el peso de la tara, en gramos

M_w : es el peso del agua, en gramos

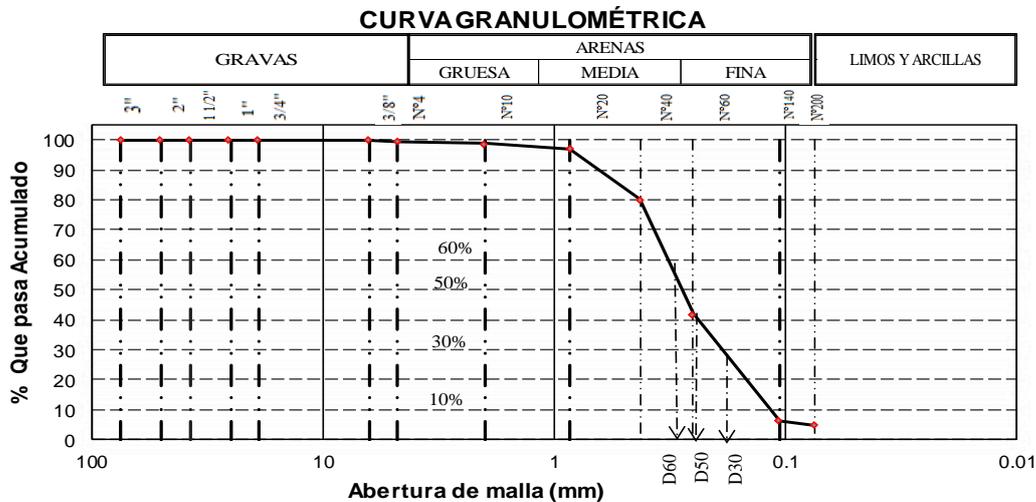
M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos

Granulometrías



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.50
	SPT-01	E-1	M-3	Altura (m)	0.45
Peso de la muestra secada el horno (w_0)		479.00		gr.	
Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1)		455.80		gr.	
Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$)		23.20		gr.	
TAMIZ		PESO	%	% RETENIDO	% QUE PASA
PULGADAS	MILÍMETROS	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	ACUMULADO
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.75	1.99	0.42	0.42	99.58
Nº10	2.00	3.95	0.82	1.24	98.76
Nº20	0.85	7.91	1.65	2.89	97.11
Nº40	0.425	80.85	16.88	19.77	80.23
Nº60	0.25	183.95	38.40	58.17	41.83
Nº140	0.106	170.63	35.62	93.80	6.20
Nº200	0.075	6.52	1.36	95.16	4.84
FONDO		23.20	4.84	100.00	0.00
PESO TOTAL (gr)		479.00			



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

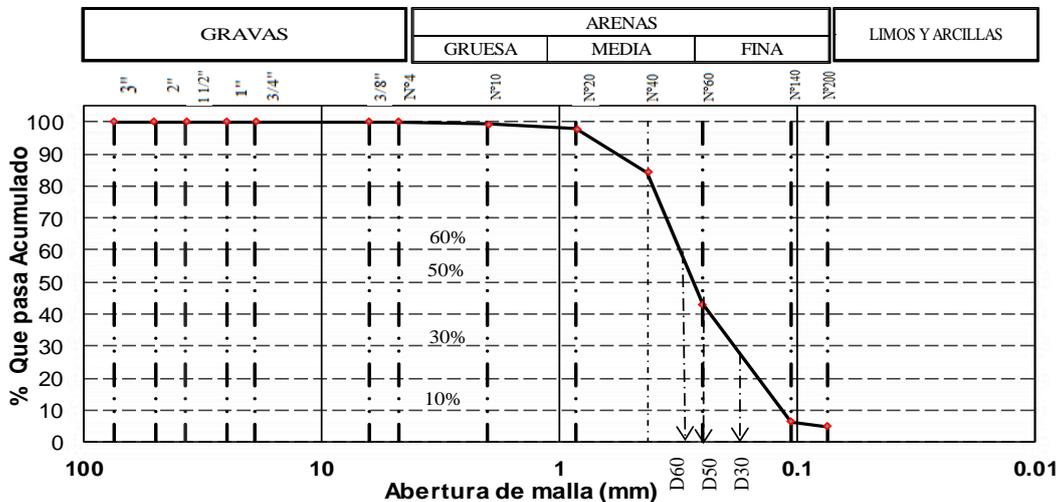
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis:		METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.50-2.40
	SPT-01	E-1	M-2	Altura (m)	0.90
Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha:	Junio del 2019

Peso de la muestra secada el horno (w_0) **534.90** gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) **508.29** gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) **26.61** gr.

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.00	3.60	0.67	0.67	99.33
Nº20	0.85	7.39	1.38	2.05	97.95
Nº40	0.425	72.80	13.61	15.66	84.34
Nº60	0.25	220.34	41.19	56.86	43.14
Nº140	0.106	196.78	36.79	93.65	6.35
Nº200	0.075	7.38	1.38	95.03	4.97
FONDO		26.61	4.97	100.00	0.00
PESO TOTAL (gr)		534.90			

CURVA GRANULOMÉTRICA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

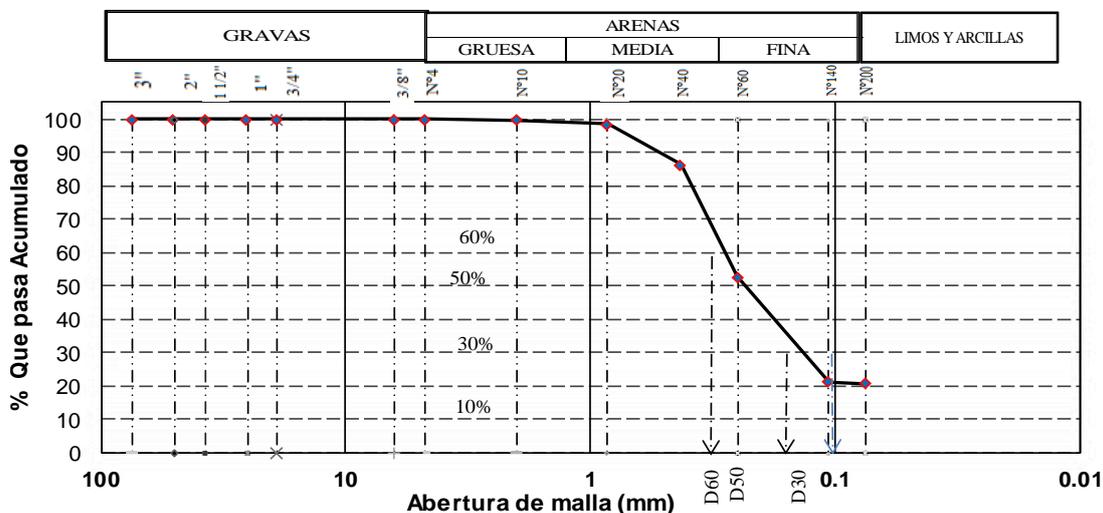
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Metodo de Inyeccion de Mortero para Mejorar Suelos Potencialmente Licuables, Santa Rosa, 2019					
Tesis:					
Autores:	bach. Jose ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.40-3.30
	SPT-01	E-2	M-3	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) **596.77** gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 477.77 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 119.00 gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.000	1.30	0.23	0.23	99.77
Nº20	0.850	7.20	1.25	1.47	98.53
Nº40	0.425	70.22	12.17	13.65	86.35
Nº60	0.250	194.23	33.68	47.32	52.68
Nº140	0.106	181.20	31.42	78.74	21.26
Nº200	0.075	3.62	0.63	79.37	20.63
FONDO		119.00	20.63	100.00	0.00
PESO TOTAL		576.77			

CURVA GRANULOMÉTRICA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

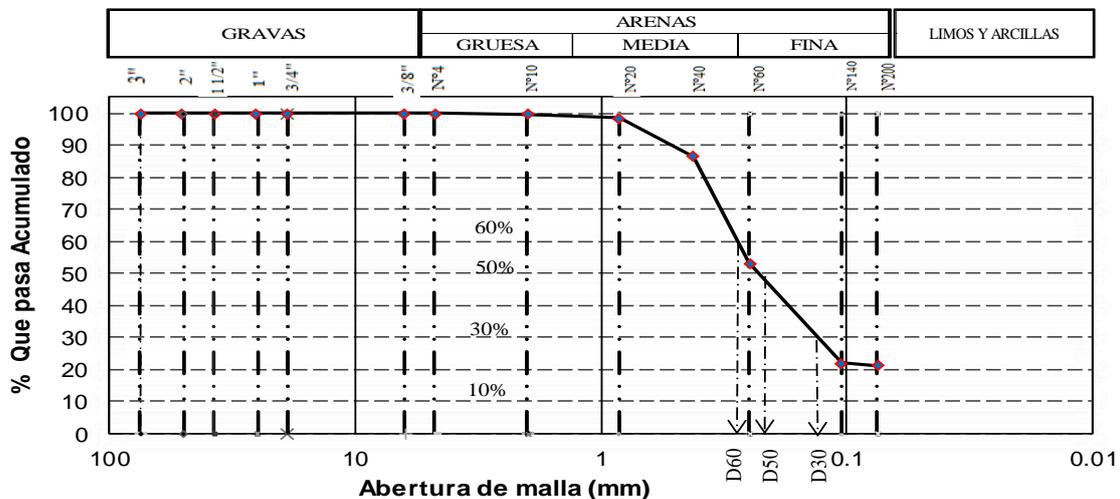
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Autores:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	3.30-4.65
	SPT-01	E-2	M-4	Altura (m)	1.35

Peso de la muestra secada el horno (w_0) **581.57** gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 457.98 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 123.59 gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.000	1.31	0.23	0.23	99.77
Nº20	0.850	7.19	1.24	1.46	98.54
Nº40	0.425	70.23	12.08	13.54	86.46
Nº60	0.250	194.22	33.40	46.93	53.07
Nº140	0.106	181.35	31.18	78.12	21.88
Nº200	0.075	3.68	0.63	78.75	21.25
FONDO		123.59	21.25	100.00	0.00
PESO TOTAL		581.57			

CURVA GRANULOMÉTRICA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

N.T.P. 339.128 ASTM D-422

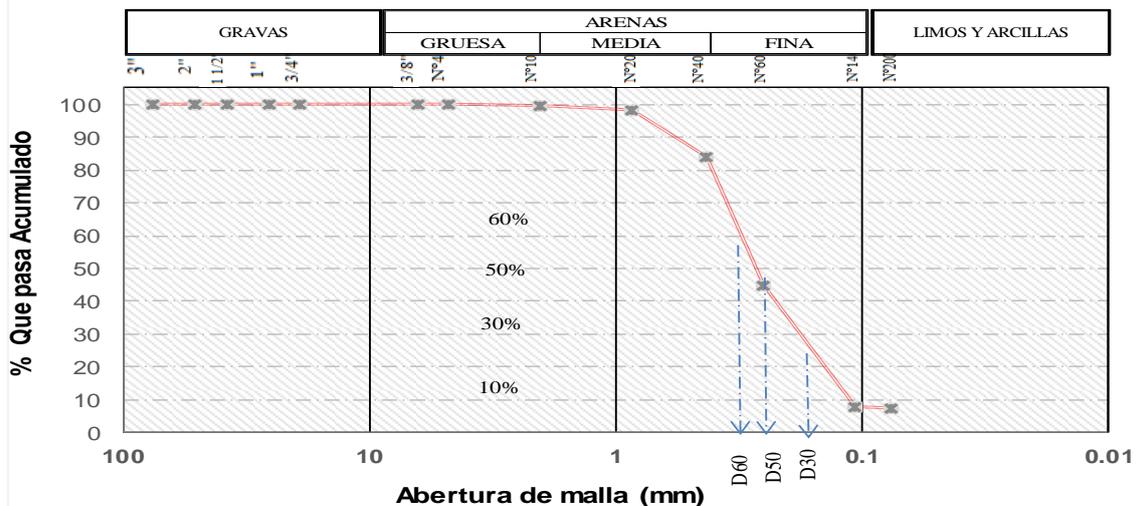
**METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019			
Autores:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m) 1.95-2.85
	SPT-02	E-2	M-2	h del estrato (m) 0.90

Peso de la muestra secada el horno (w_0)	493.80	gr.
Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1)	457.76	gr.
Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$)	36.04	gr.

MALLAS		PESO RETENIDO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.00	1.30	0.26	0.26	99.74
Nº20	0.85	7.20	1.46	1.72	98.28
Nº40	0.43	70.22	14.22	15.94	84.06
Nº60	0.25	194.23	39.33	55.28	44.72
Nº140	0.11	181.19	36.69	91.97	8.03
Nº200	0.08	3.62	0.73	92.70	7.30
FONDO		36.04	7.30	100.00	0.00
PESO TOTAL		493.80			

CURVA GRANULOMÉTRICA




**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

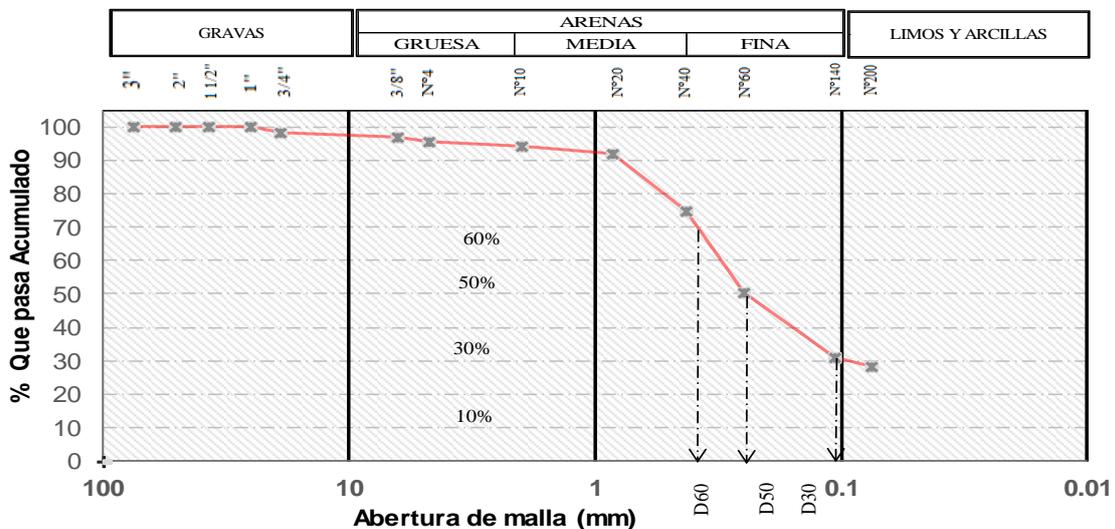
Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Autores:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.65
	SPT-02	E-3	M-3	Altura (m)	1.80

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 430.39 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 308.64 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 121.75 gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	7.20	1.67	1.67	98.33
3/8"	6.350	6.36	1.48	3.15	96.85
Nº4	4.750	5.86	1.36	4.51	95.49
Nº10	2.000	6.30	1.46	5.98	94.02
Nº20	0.850	9.20	2.14	8.11	91.89
Nº40	0.425	73.22	17.01	25.13	74.87
Nº60	0.250	104.99	24.39	49.52	50.48
Nº140	0.106	84.28	19.58	69.10	30.90
Nº200	0.075	11.23	2.61	71.71	28.29
FONDO		121.75	28.29	100.00	0.00
PESO TOTAL		430.39			

CURVA GRANULOMÉTRICA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

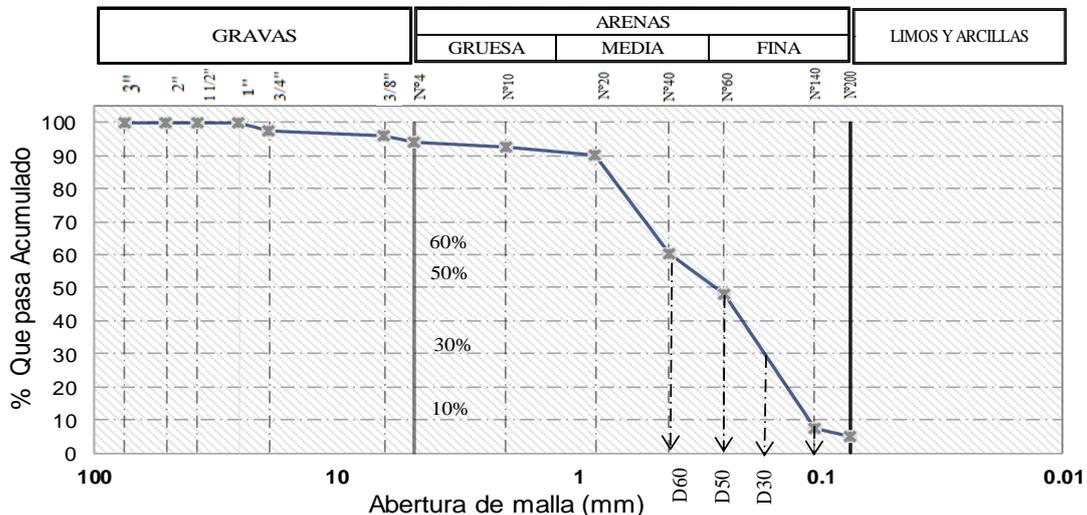
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.50-1.95
	SPT-03	E-1	M-1	Altura (m)	1.95

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 383.61 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 364.49 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 19.12 gr.

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	9.3	2.42	2.42	97.58
3/8"	7.1	1.86	4.27	95.73
Nº4	6.5	1.70	5.98	94.02
Nº10	5.85	1.52	7.50	92.50
Nº20	9.87	2.57	10.07	89.93
Nº40	114.36	29.81	39.89	60.11
Nº60	46.58	12.14	52.03	47.97
Nº140	155.18	40.45	92.48	7.52
Nº200	9.73	2.54	95.02	4.98
FONDO	19.12	4.98	100.00	0.00
PESO TOTAL (gr)	383.61			

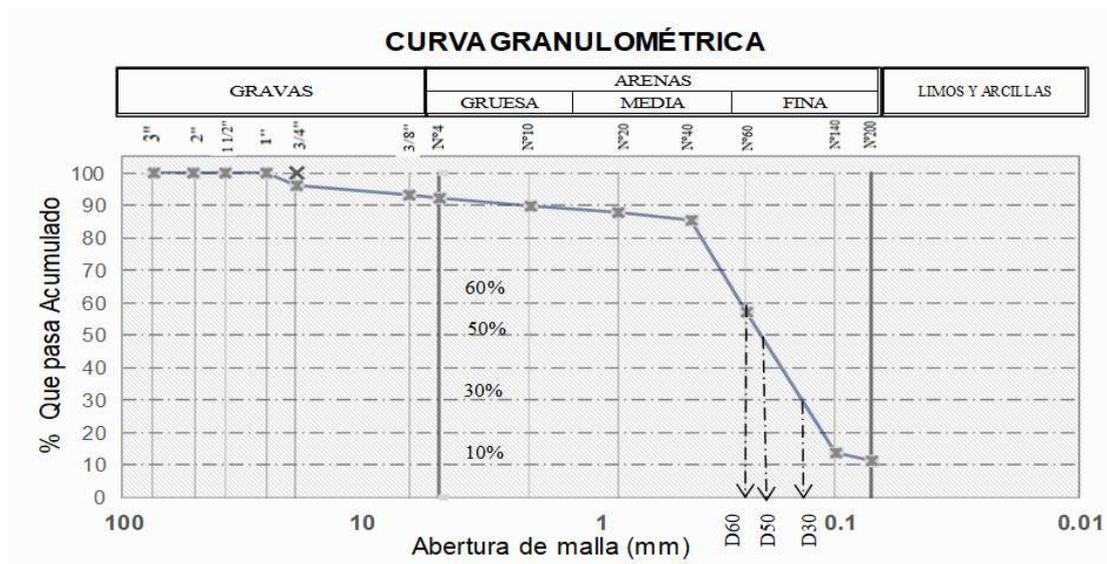
CURVA GRANULOMÉTRICA



Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-03	E-2	M-2	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada al horno (w_0) 495.71 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 438.74 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 56.97 gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	17.80	3.59	3.59	96.41
3/8"	6.350	14.60	2.95	6.54	93.46
Nº4	4.750	6.02	1.21	7.75	92.25
Nº10	2.000	10.66	2.15	9.90	90.10
Nº20	0.850	11.57	2.33	12.23	87.77
Nº40	0.425	11.36	2.29	14.53	85.47
Nº60	0.250	139.85	28.21	42.74	57.26
Nº140	0.106	216.07	43.59	86.33	13.67
Nº200	0.075	10.81	2.18	88.51	11.49
FONDO		56.97	11.49	100.00	0.00
PESO TOTAL		495.71			



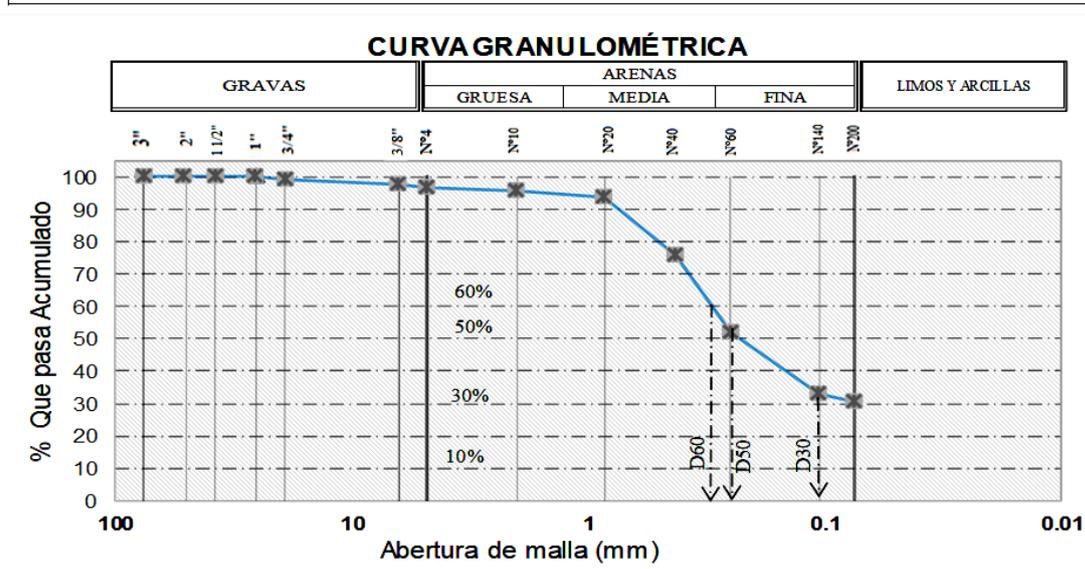
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-3.75
	SPT-03	E-3	M-3	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada al horno (w_0) 462.16 gr.

Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 320.65 gr.

Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 141.51 gr.

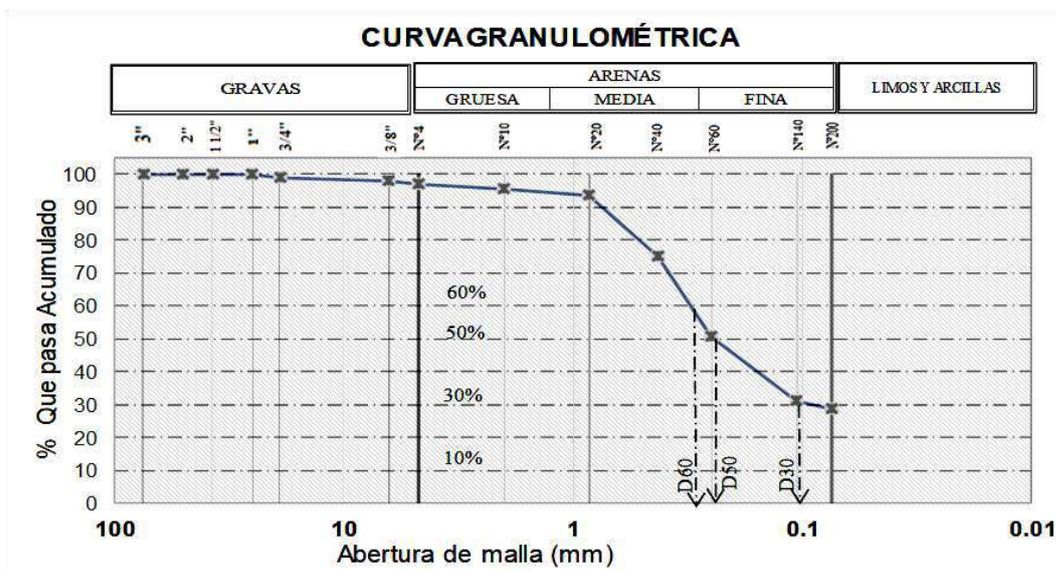
MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.000
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.000
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.000
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.000
3/4"	19.000	4.25	0.92	0.92	99.080
3/8"	6.350	5.40	1.17	2.09	97.912
Nº4	4.750	4.80	1.04	3.13	96.873
Nº10	2.000	6.12	1.32	4.45	95.549
Nº20	0.850	8.68	1.88	6.33	93.671
Nº40	0.425	83.23	18.01	24.34	75.662
Nº60	0.250	109.28	23.65	47.98	52.017
Nº140	0.106	88.62	19.18	67.16	32.841
Nº200	0.075	10.27	2.22	69.38	30.619
FONDO		141.51	30.62	100.00	0.000
PESO TOTAL		462.16			



Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	3.75-4.65
	SPT-03	E-3	M-4	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 450.25 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 320.60 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 129.65 gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	4.24	0.94	0.94	99.06
3/8"	6.35	5.41	1.20	2.14	97.86
Nº4	4.75	4.80	1.07	3.21	96.79
Nº10	2.00	6.12	1.36	4.57	95.43
Nº20	0.85	8.68	1.93	6.50	93.50
Nº40	0.43	83.23	18.49	24.98	75.02
Nº60	0.25	109.23	24.26	49.24	50.76
Nº140	0.11	88.62	19.68	68.92	31.08
Nº200	0.08	10.27	2.28	71.20	28.80
FONDO		129.65	28.80	100.00	0.00
PESO TOTAL		450.25			



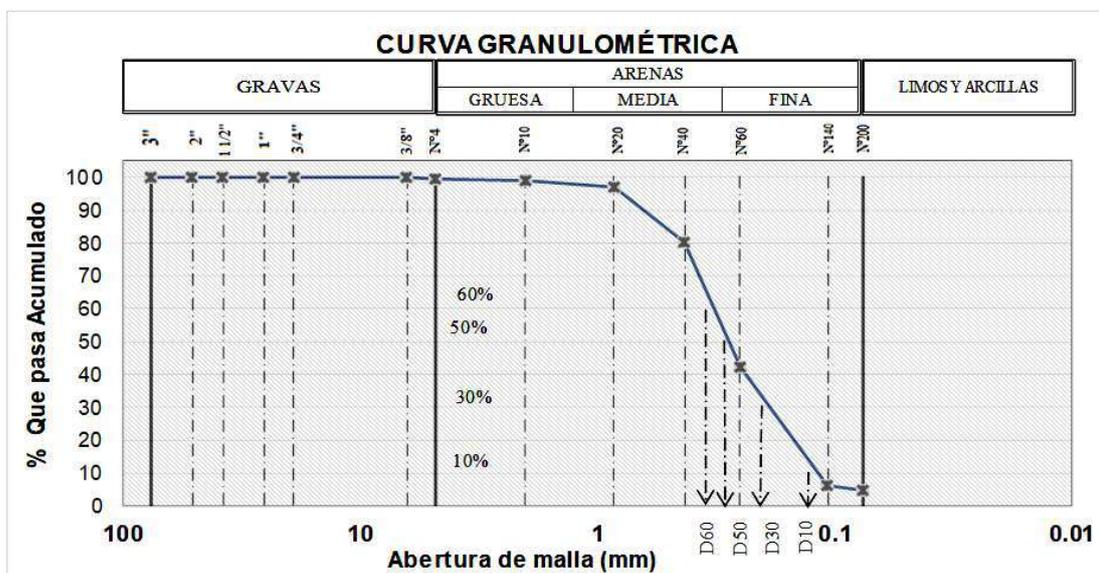
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-04	E-1	M-1	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 479.00 gr.

Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 456.78 gr.

Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 22.22 gr.

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.75	1.95	0.41	0.41	99.59
Nº10	2.00	3.94	0.82	1.23	98.77
Nº20	0.85	7.92	1.65	2.88	97.12
Nº40	0.425	80.83	16.87	19.76	80.24
Nº60	0.25	182.95	38.19	57.95	42.05
Nº140	0.106	170.80	35.66	93.61	6.39
Nº200	0.075	8.39	1.75	95.36	4.64
FONDO		22.22	4.64	100.00	0.00
PESO TOTA	(gr)	479.00			



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

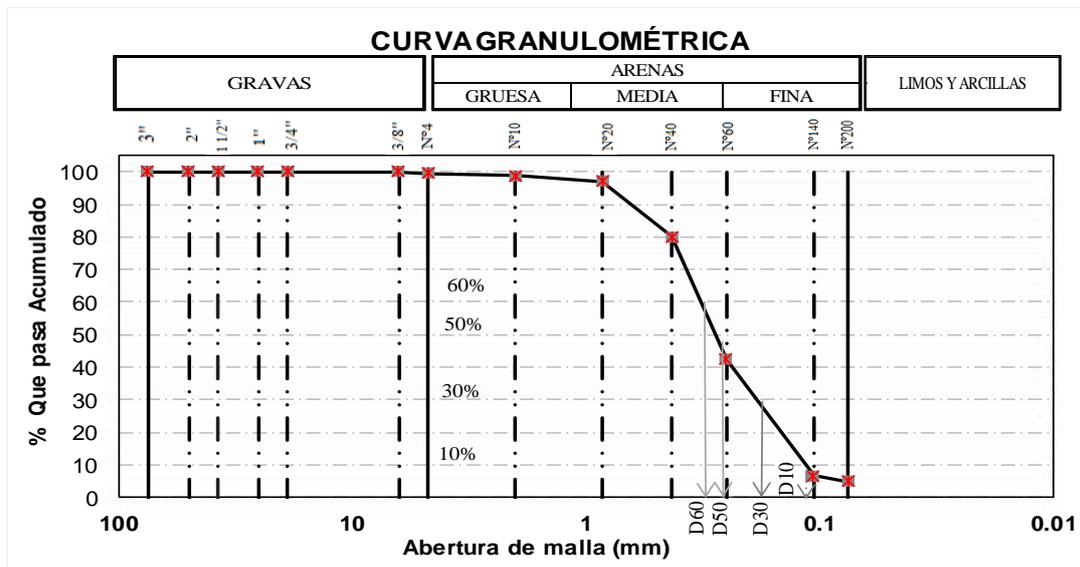
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha:	Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion SPT-04	Estrato E-1	Muestra M-2	Profundidad (m) 1.95-2.85	Altura (m) 0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 477.00 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 453.30 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 23.70 gr.

TAMIZ	PESO RETENIDO	%	%	%	%	
						PULGADAS
3"		0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
Nº4	4.75	1.95	0.41	0.41	99.59	
Nº10	2.00	3.94	0.83	1.23	98.77	
Nº20	0.85	7.92	1.66	2.90	97.10	
Nº40	0.43	80.83	16.95	19.84	80.16	
Nº60	0.25	180.40	37.82	57.66	42.34	
Nº140	0.11	170.03	35.65	93.31	6.69	
Nº200	0.08	8.23	1.73	95.03	4.97	
FONDO		23.70	4.97	100.00	0.00	
PESO TOTAL (gr)		477.00				

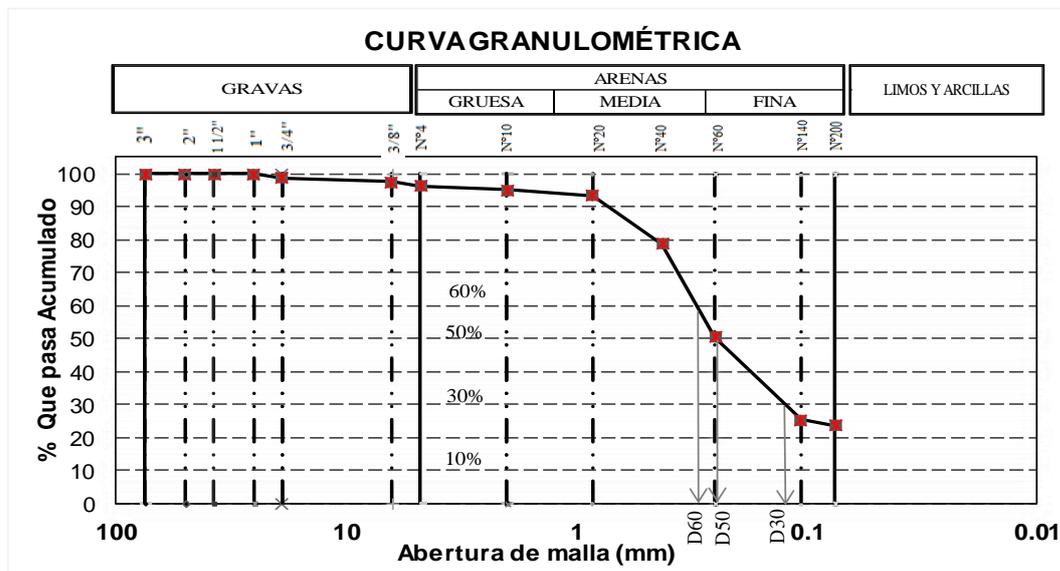



**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
 ENSAYO DE LABORATORIO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Autores:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.20
	SPT-04	E-2	M-3	Altura (m)	1.35

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 497.00 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 379.40 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 117.60 gr.

MALLAS		PESO RETENIDO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.0	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	5.5	1.11	1.11	98.89
3/8"	6.350	6.4	1.28	2.39	97.61
Nº4	4.750	5.9	1.18	3.57	96.43
Nº10	2.000	6.10	1.23	4.80	95.20
Nº20	0.850	8.36	1.68	6.48	93.52
Nº40	0.425	73.20	14.73	21.21	78.79
Nº60	0.250	140.75	28.32	49.53	50.47
Nº140	0.106	124.11	24.97	74.50	25.50
Nº200	0.075	9.13	1.84	76.34	23.66
FONDO		117.60	23.66	100.00	0.00
PESO TOTAL		497.00			



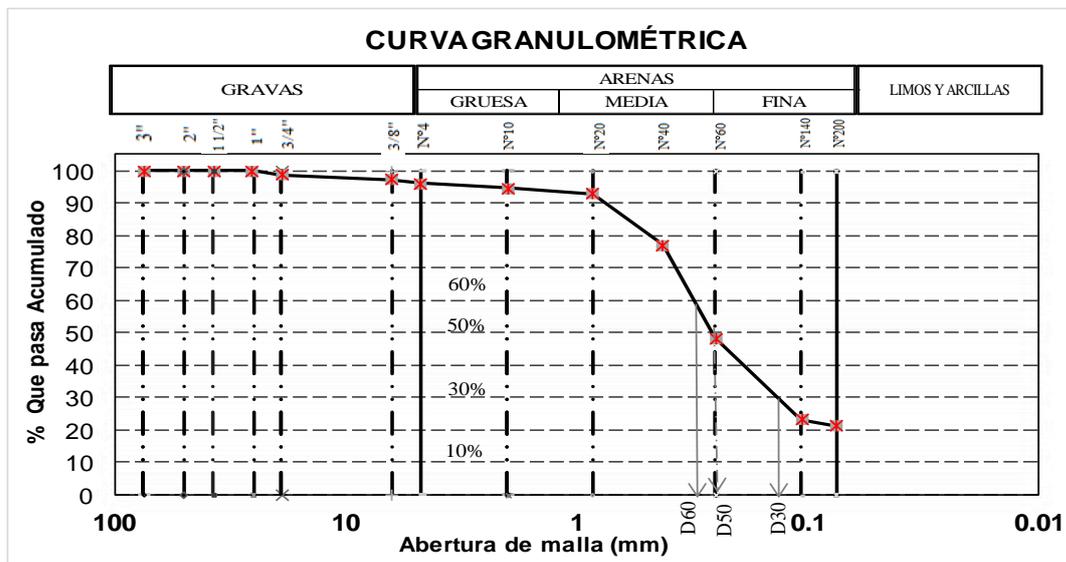

**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
 ENSAYO DE LABORATORIO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Autores:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquzs Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	4.20-5.10
	SPT-04	E-2	M-4	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 449.00 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 353.41 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 95.59 gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.0	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	5.4	1.20	1.20	98.80
3/8"	6.350	6.2	1.39	2.59	97.41
Nº4	4.750	5.9	1.30	3.89	96.11
Nº10	2.000	6.10	1.36	5.25	94.75
Nº20	0.850	7.67	1.71	6.96	93.04
Nº40	0.425	71.42	15.91	22.86	77.14
Nº60	0.250	129.49	28.84	51.70	48.30
Nº140	0.106	113.25	25.22	76.92	23.08
Nº200	0.075	8.02	1.79	78.71	21.29
FONDO		95.59	21.29	100.00	0.000
PESO TOTAL		449.00			



**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

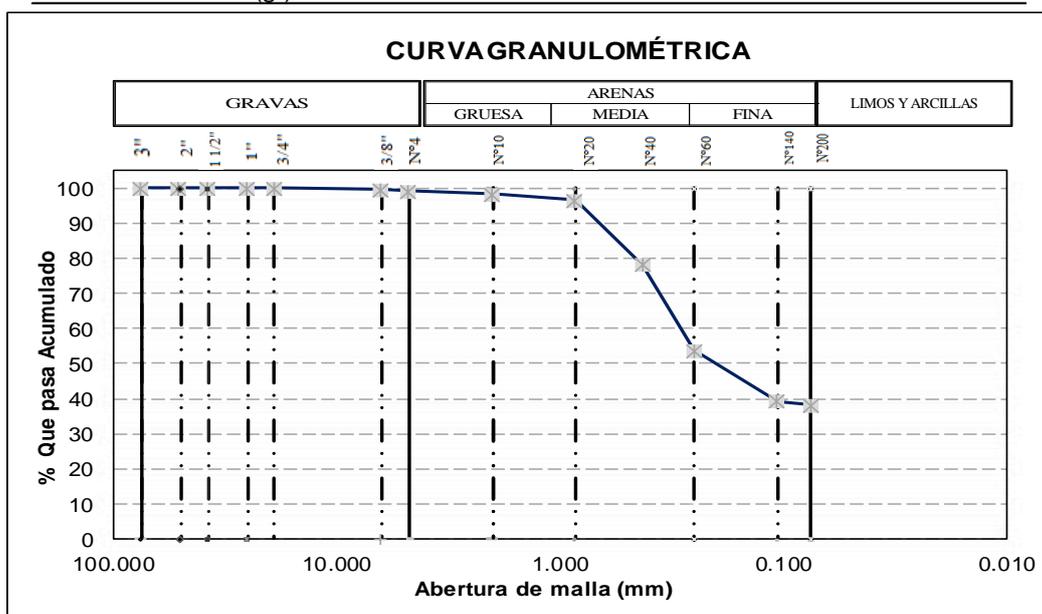
Tesis:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva				Fecha: Junio del 2019
	bach. Nasar Emilio Vasques Diaz				
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-05	E-1	M-1	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 459.20 gr.

Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 284.05 gr.

Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 175.15 gr.

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.35	1.38	0.30	0.30	99.70
Nº4	4.75	2.76	0.60	0.90	99.10
Nº10	2.00	3.84	0.84	1.74	98.26
Nº20	0.85	7.94	1.73	3.47	96.53
Nº40	0.425	84.58	18.42	21.88	78.12
Nº60	0.25	112.12	24.42	46.30	53.70
Nº140	0.106	66.50	14.48	60.78	39.22
Nº200	0.075	4.94	1.08	61.86	38.14
FONDO		175.15	38.14	100.00	0.00
PESO TOTAL	(gr)	459.20			



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

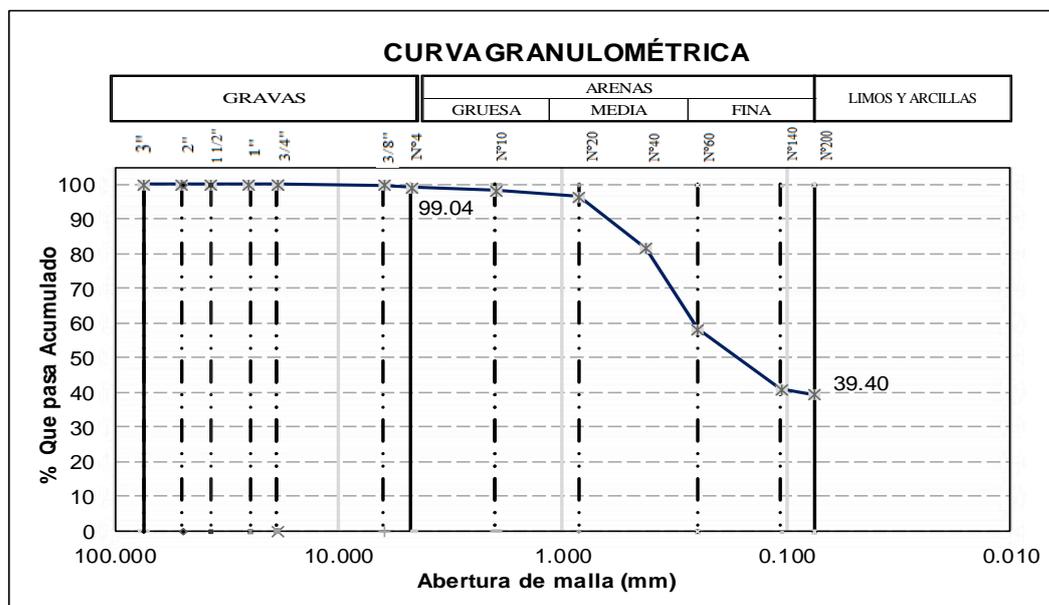
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Autores:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha: Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-05	E-1	M-2	h del estrato (m)	0.90

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 454.49 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 272.69 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 181.80 gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.35	1.38	0.30	0.30	99.70
Nº4	4.75	2.98	0.66	0.96	99.04
Nº10	2.00	3.84	0.84	1.80	98.20
Nº20	0.85	7.94	1.75	3.55	96.45
Nº40	0.43	67.55	14.86	18.41	81.59
Nº60	0.25	106.12	23.35	41.76	58.24
Nº140	0.11	79.15	17.42	59.18	40.82
Nº200	0.08	6.44	1.42	60.60	39.40
FONDO		179.09	39.40	100.00	0.00
PESO TOTAL		454.49			



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

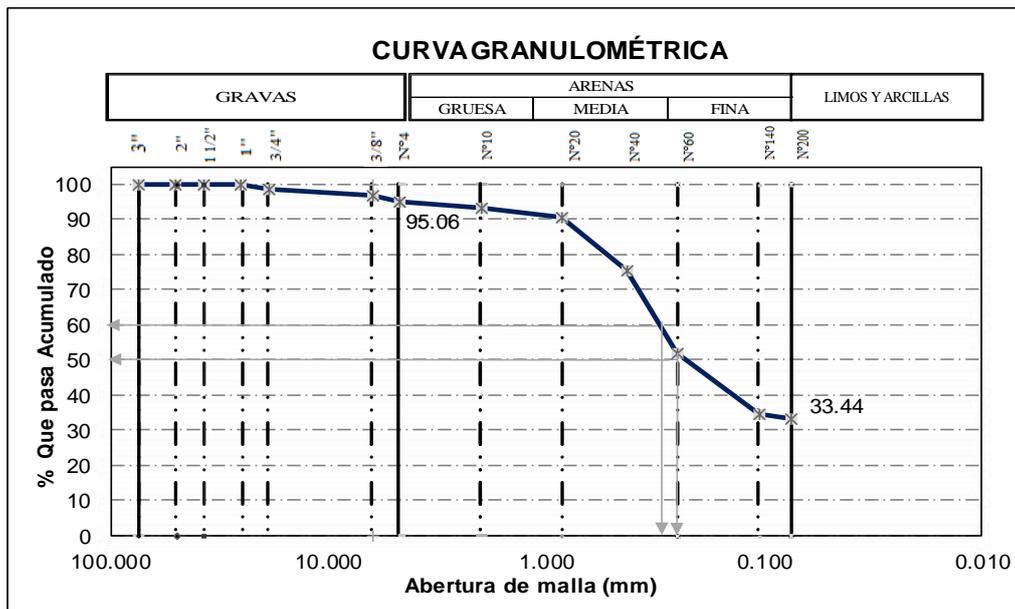
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Autores:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha:
	Junio del 2019			
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)
	SPT-05	E-1	M-3	2.85-4.20 h del estrato (m) 1.35

Peso de la muestra secada el horno (w_0)	448.69	gr.
Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1)	298.64	gr.
Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$)	150.05	gr.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	7.20	1.60	1.60	98.40
3/8"	6.35	6.36	1.42	3.02	96.98
Nº4	4.75	8.60	1.92	4.94	95.06
Nº10	2.00	7.30	1.63	6.57	93.43
Nº20	0.85	12.46	2.78	9.34	90.66
Nº40	0.43	68.55	15.28	24.62	75.38
Nº60	0.25	105.40	23.49	48.11	51.89
Nº140	0.11	78.10	17.41	65.52	34.48
Nº200	0.08	4.67	1.04	66.56	33.44
FONDO		150.05	33.44	100.00	0.00
PESO TOTAL		448.69			



**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

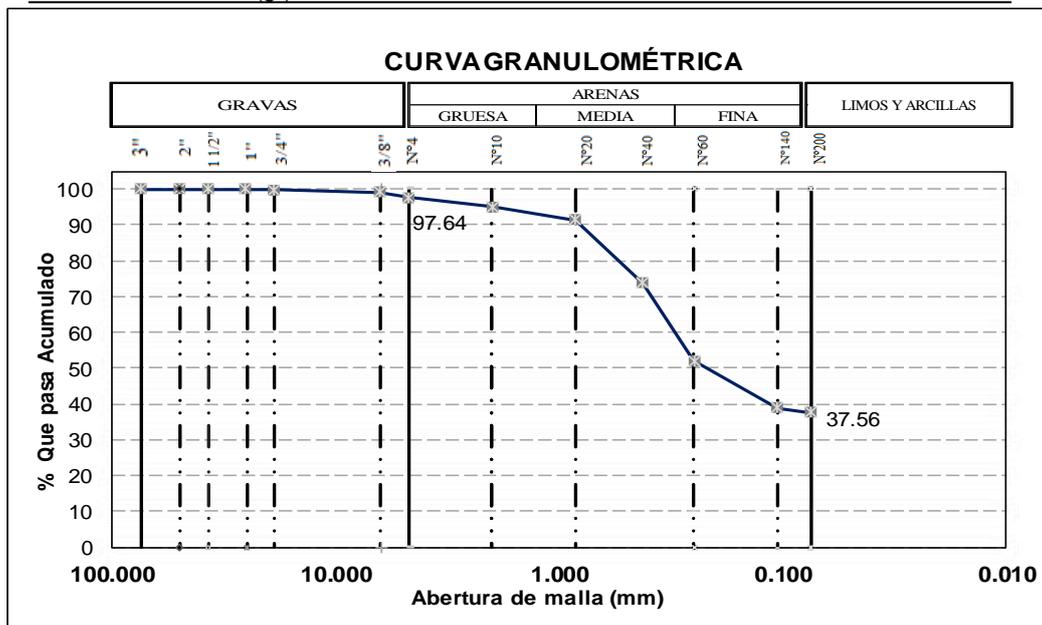
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesis:	bach. Jose Ismael Fernndez Silva bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha:
					Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-06	E-1	M-1	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 478.20 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 298.60 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 179.60 gr.

TAMIZ	PESO RETENIDO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO	
					PULGADAS
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.00	1.61	0.34	99.66	
3/8"	6.35	2.39	0.50	99.16	
Nº4	4.75	7.30	1.53	97.64	
Nº10	2.00	12.78	2.67	94.96	
Nº20	0.85	17.04	3.56	91.40	
Nº40	0.43	84.20	17.61	73.79	
Nº60	0.25	104.38	21.83	51.97	
Nº140	0.11	63.00	13.17	38.79	
Nº200	0.08	5.90	1.23	37.56	
FONDO		179.60	37.56	0.00	
PESO TOTAL (gr)		478.20			



**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

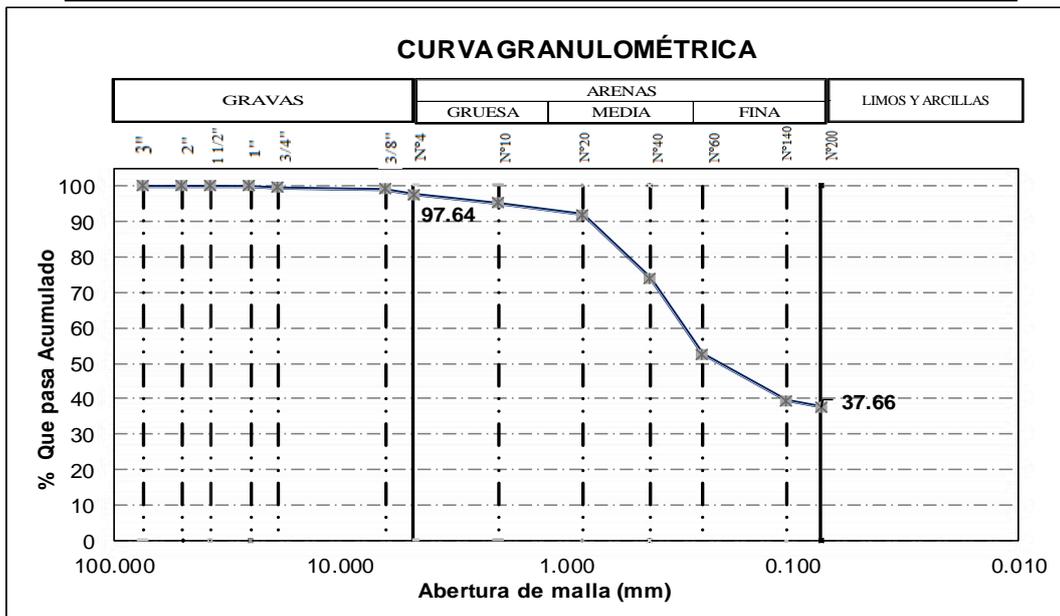
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)
	SPT-07	E-1	M-1	1.05-1.95 Altura (m) 0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 479.14 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 298.70 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 180.44 gr.

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	1.61	0.34	0.34	99.66
3/8"	6.35	2.39	0.50	0.84	99.16
Nº4	4.75	7.30	1.52	2.36	97.64
Nº10	2.00	11.65	2.43	4.79	95.21
Nº20	0.85	16.04	3.35	8.14	91.86
Nº40	0.43	85.53	17.85	25.99	74.01
Nº60	0.25	102.38	21.37	47.36	52.64
Nº140	0.11	63.00	13.15	60.50	39.50
Nº200	0.08	8.80	1.84	62.34	37.66
FONDO		180.44	37.66	100.00	0.00
PESO TOTAL	(gr)	479.14			



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

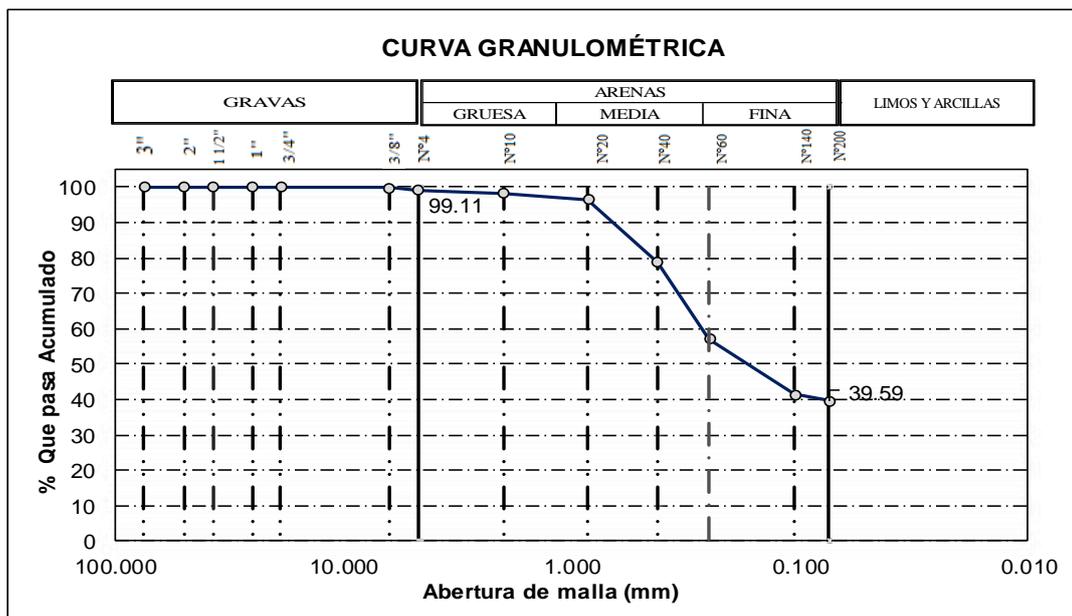
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

**Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Autores:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz			Fecha:	Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
	SPT-07	E-2	M-2	h del estrato (m)	0.90

Peso de la muestra secada el horno (w_0)	492.75	gr.
Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1)	297.65	gr.
Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$)	195.10	gr.

MALLAS		PESO RETENIDO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.350	1.40	0.28	0.28	99.72
Nº4	4.750	2.98	0.60	0.89	99.11
Nº10	2.000	4.20	0.85	1.74	98.26
Nº20	0.850	8.84	1.79	3.54	96.46
Nº40	0.425	87.24	17.70	21.24	78.76
Nº60	0.250	106.10	21.53	42.77	57.23
Nº140	0.106	77.69	15.77	58.54	41.46
Nº200	0.075	9.20	1.87	60.41	39.59
FONDO		195.10	39.59	100.00	0.00
PESO TOTAL		492.75			



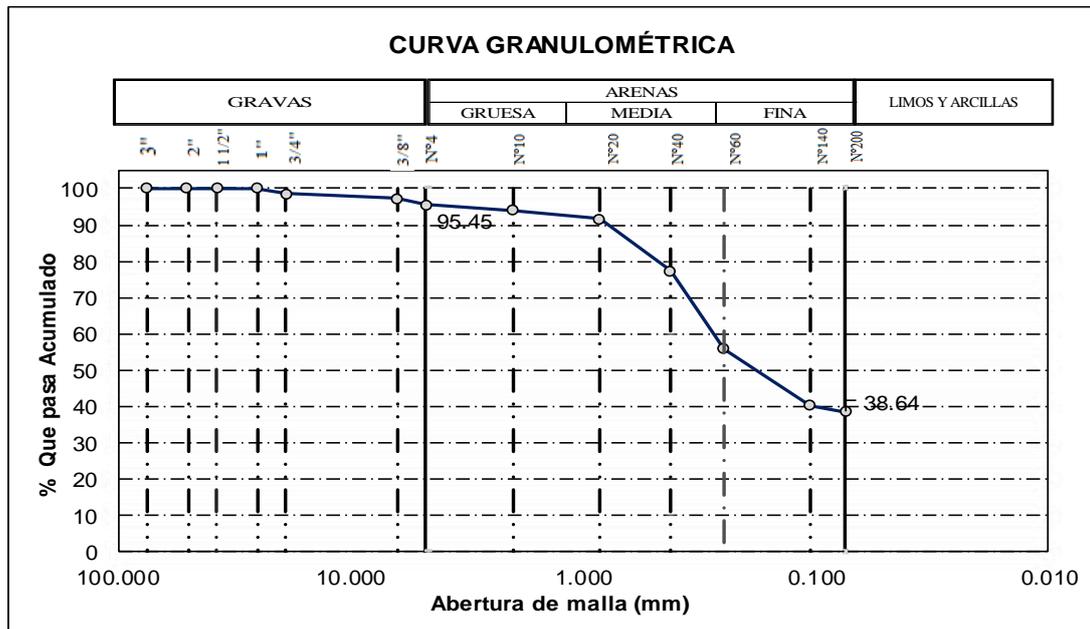

**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
 ENSAYO DE LABORATORIO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Autores:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasques Diaz			Fecha: Junio del 2019
	Datos de la muestra	Perforacion SPT-07	Estrato E-1	Muestra M-3
				Altura (m) 0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 486.98 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 298.80 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 188.18 gr.

MALLAS		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	7.20	1.48	1.48	98.52
3/8"	6.350	6.36	1.31	2.78	97.22
Nº4	4.750	8.60	1.77	4.55	95.45
Nº10	2.000	7.30	1.50	6.05	93.95
Nº20	0.850	11.41	2.34	8.39	91.61
Nº40	0.425	69.54	14.28	22.67	77.33
Nº60	0.250	104.21	21.40	44.07	55.93
Nº140	0.106	76.37	15.68	59.75	40.25
Nº200	0.075	7.81	1.60	61.36	38.64
FONDO		188.18	38.64	100.00	0.00
PESO TOTAL		486.98			



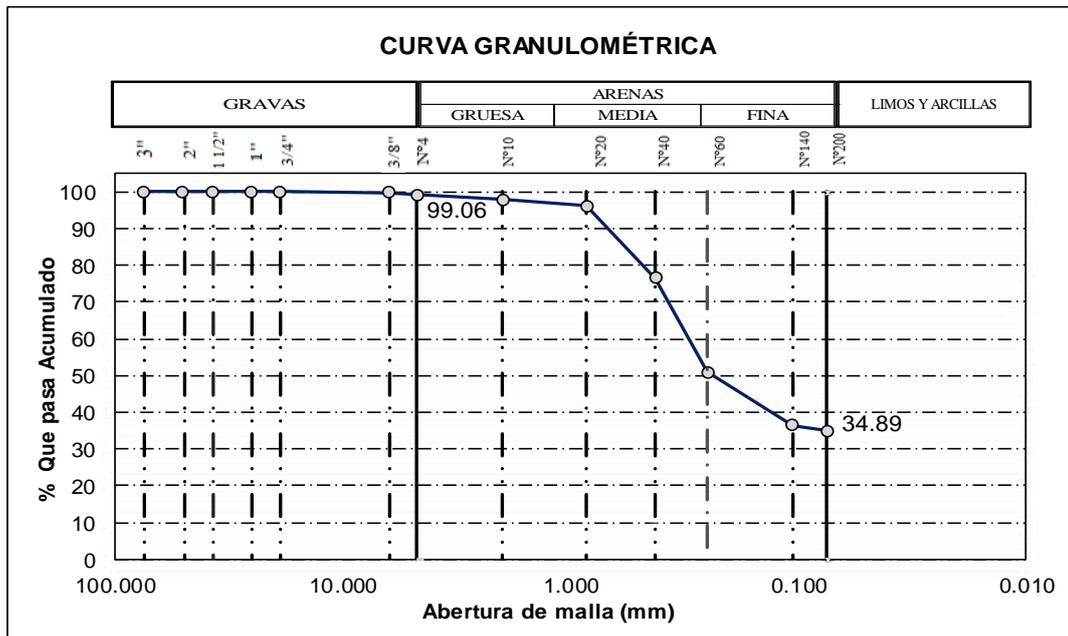
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Tesistas:	bach. Jose Ismael Fernandez Silva bach. Nasar Emilio VasquezDiaz				Fecha: Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-08	E-1	M-1	Altura (m)	1.65

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 460.20 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 299.62 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 160.58 gr.

TAMIZ		PESO RETENIDO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	6.35	1.35	0.29	0.29	99.71
Nº4	4.75	2.96	0.64	0.94	99.06
Nº10	2.00	5.90	1.28	2.22	97.78
Nº20	0.85	7.99	1.74	3.95	96.05
Nº40	0.43	89.98	19.55	23.51	76.49
Nº60	0.25	117.50	25.53	49.04	50.96
Nº140	0.11	66.96	14.55	63.59	36.41
Nº200	0.08	6.98	1.52	65.11	34.89
FONDO		160.58	34.89	100.00	0.00
PESO TOTAL (gr)		460.20			



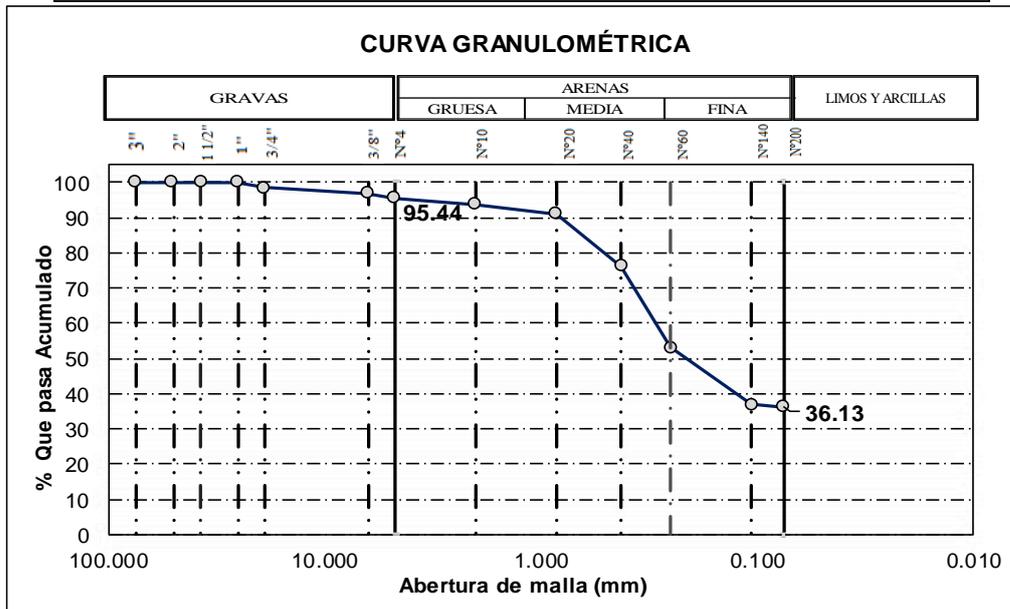
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE LABORATORIO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA,					
Autores: Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019	
Datos de la muestra	Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.20
	SPT-08	E-1	M-3	Altura (m)	0.45

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 448.80 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 286.64 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 162.16 gr.

MALLAS		PESO RETENIDO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	7.20	1.60	1.60	98.40
3/8"	6.350	6.36	1.42	3.02	96.98
Nº4	4.750	6.90	1.54	4.56	95.44
Nº10	2.000	7.30	1.63	6.19	93.81
Nº20	0.850	12.46	2.78	8.96	91.04
Nº40	0.425	66.55	14.83	23.79	76.21
Nº60	0.250	103.40	23.04	46.83	53.17
Nº140	0.106	73.10	16.29	63.12	36.88
Nº200	0.075	3.37	0.75	63.87	36.13
FONDO		162.16	36.13	100.00	0.00
PESO TOTAL		448.80			



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

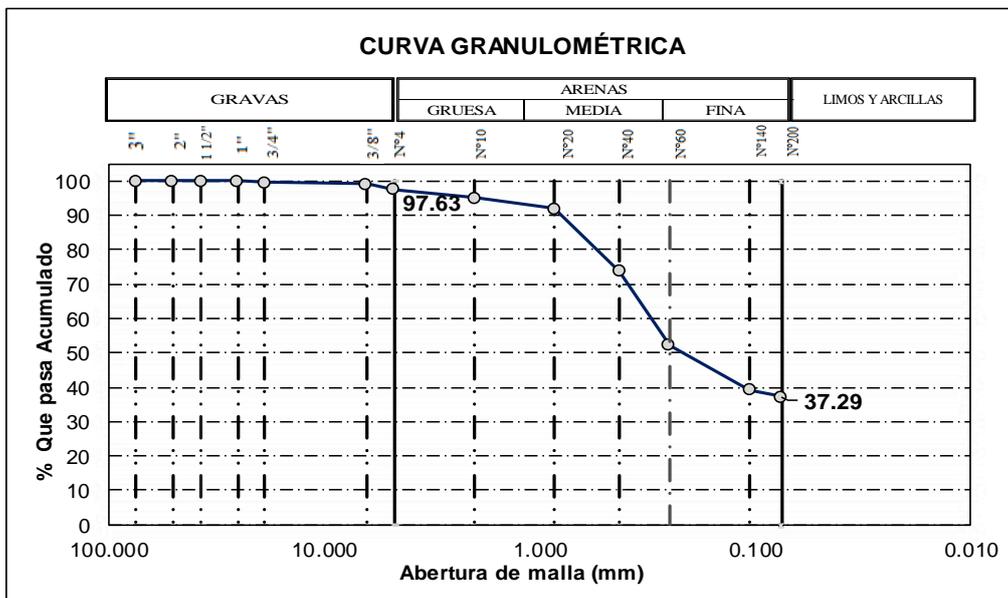
N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR
SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Díaz				Fecha:
					Junio del 2019
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
	SPT-09	E-1	M-1	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0)	478.20	gr.
Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1)	299.90	gr.
Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$)	178.30	gr.

TAMIZ		PESO RETENIDO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	1.62	0.34	0.34	99.66
3/8"	6.350	2.40	0.50	0.84	99.16
Nº4	4.750	7.30	1.53	2.37	97.63
Nº10	2.000	11.65	2.44	4.80	95.20
Nº20	0.850	16.04	3.35	8.16	91.84
Nº40	0.425	86.53	18.09	26.25	73.75
Nº60	0.250	102.38	21.41	47.66	52.34
Nº140	0.106	63.00	13.17	60.84	39.16
Nº200	0.075	8.98	1.88	62.71	37.29
FONDO		178.30	37.29	100.00	0.00
PESO TOTAL	(gr)	478.20			





**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

ENSAYO DE LABORATORIO

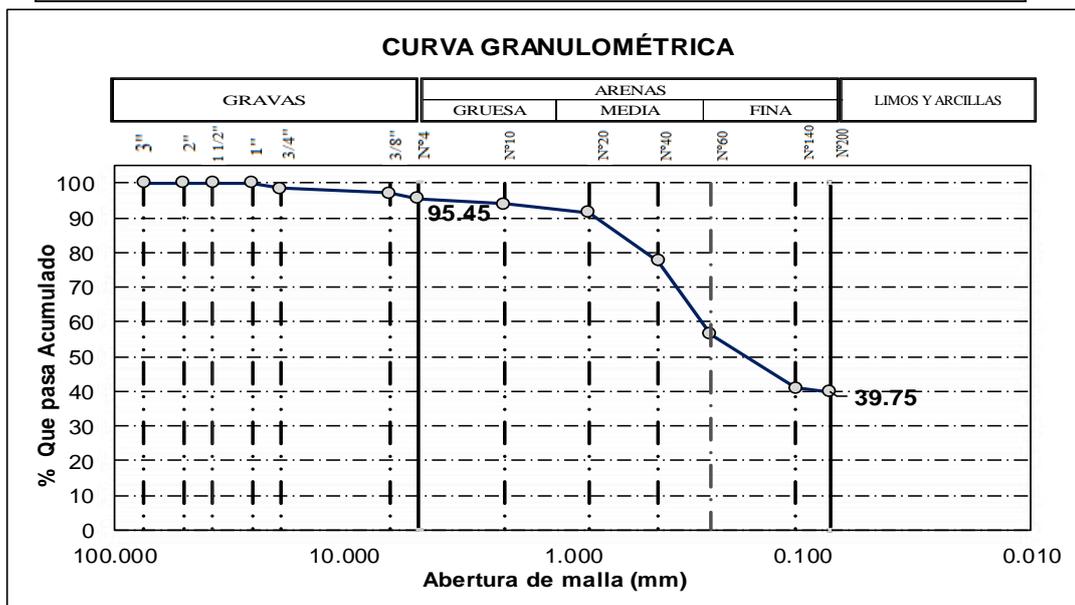
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

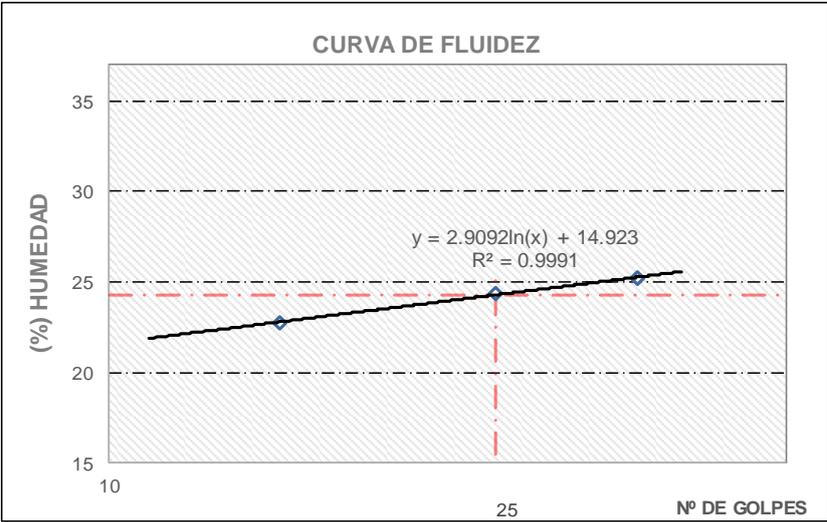
Tesis: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Autores: Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz				Fecha: Junio del 2019	
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-3.75
	SPT-09	E-1	M-3	Altura (m)	0.9

Peso de la muestra secada el horno (w_0) 486.99 gr.
 Peso seco despues del lavado por la malla #200 (w_1) 293.39 gr.
 Perdida por Lavado ($w_0 - w_1$) 193.60 gr.

MALLAS		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
PULGADAS	MILÍMETROS				
3"	75.000	0.0	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	7.2	1.48	1.48	98.52
3/8"	6.350	6.4	1.31	2.78	97.22
Nº4	4.750	8.6	1.77	4.55	95.45
Nº10	2.000	7.30	1.50	6.05	93.95
Nº20	0.850	11.41	2.34	8.39	91.61
Nº40	0.425	68.540	14.07	22.47	77.53
Nº60	0.250	102.210	20.99	43.45	56.55
Nº140	0.106	76.10	15.63	59.08	40.92
Nº200	0.075	5.67	1.16	60.25	39.75
FONDO		193.60	39.75	100.00	0.000
PESO TOTAL		486.99			



Limites

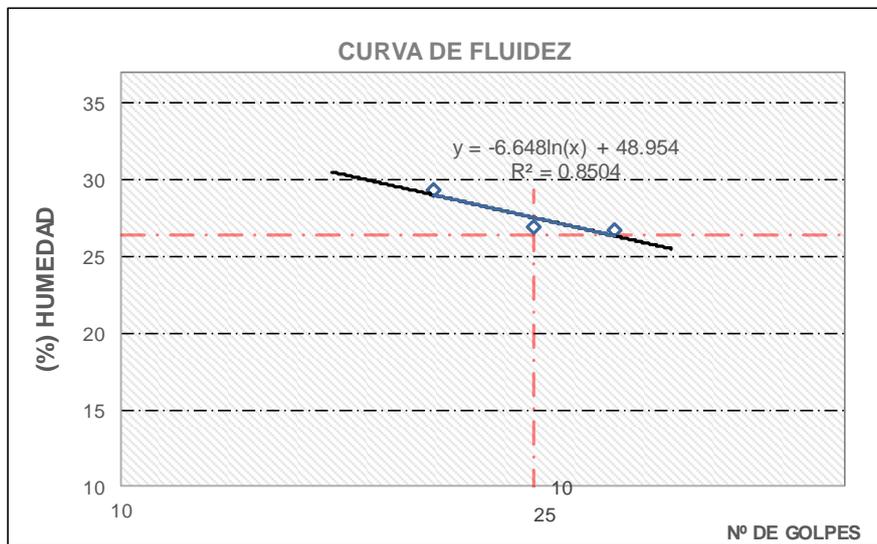
 UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318						
Tesis:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019					
Tesis:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Bach. Nasar Enilio Vasques Diaz			Fecha:	Junio del 2019	
Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	3.30-4.65	
	SPT-01	E-2	M-3	Altura (m)	1.35	
Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLÁSTICO			
Nº DE TARRO	9	9	6	3	21	27
Nº DE GOLPES	35	35	25	15	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.5	28.5	40.5	36.85	15.2	15.2
TARRO + SUELO SECO	26	26	35.9	33	14.8	14.8
AGUA	2.5	2.5	4.6	3.85	0.4	0.4
PESO DEL TARRO	16.1	16.1	17	16.1	12	12
PESO DEL SUELO SECO	9.9	9.9	18.9	16.9	2.8	2.8
% DE HUMEDAD	25.25	25.25	24.34	22.78	14.29	14.29
						
CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA						
	LIMITE LIQUIDO		24.29			
	LIMITE PLÁSTICO		14.29			
	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		10.00			

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.40-3.30
	SPT-02	E-3	M-3	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	9	8	7	6	21	22
Nº DE GOLPES	30	25	20	15	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	54.46	54.25	54.19	49.56	47.36	44.98
TARRO + SUELO SECO	48.50	47.90	47.40	46.90	43.89	41.73
AGUA	5.96	6.35	6.79	2.66	3.47	3.25
PESO DEL TARRO	26.18	24.29	24.25	24.12	24.38	23.28
PESO DEL SUELO SECO	22.32	23.61	23.15	22.78	19.51	18.45
% DE HUMEDAD	26.70	26.90	29.33	11.68	17.78	17.63



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

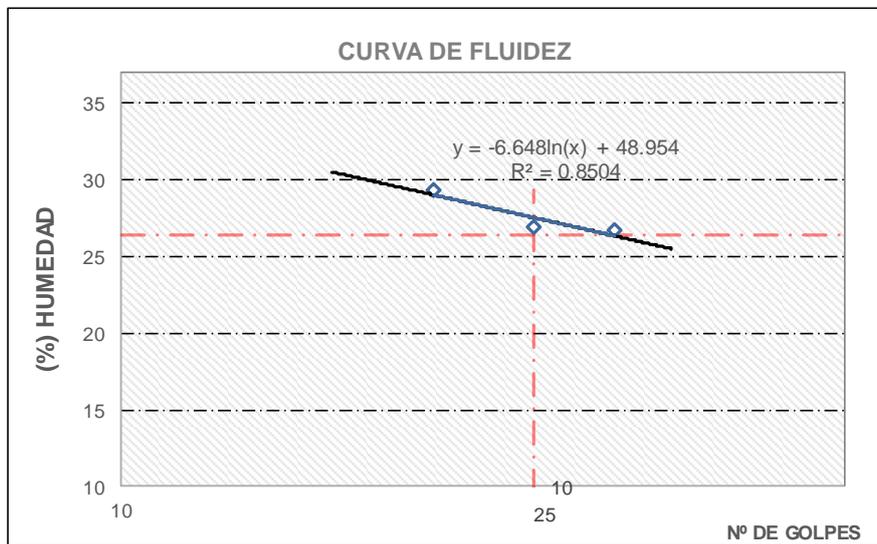
LIMITE LIQUIDO	26.43
LIMITE PLÁSTICO	17.63
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8.80

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.40-3.30
	SPT-02	E-2	M-2	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
	9	8	7	6	21	22
Nº DE TARRO	9	8	7	6	21	22
Nº DE GOLPES	30	25	20	15	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	54.46	54.25	54.19	49.56	47.36	44.98
TARRO + SUELO SECO	48.50	47.90	47.40	46.90	43.89	41.73
AGUA	5.96	6.35	6.79	2.66	3.47	3.25
PESO DEL TARRO	26.18	24.29	24.25	24.12	24.38	23.28
PESO DEL SUELO SECO	22.32	23.61	23.15	22.78	19.51	18.45
% DE HUMEDAD	26.70	26.90	29.33	11.68	17.78	17.63



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	26.43
LIMITE PLÁSTICO	17.63
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8.80

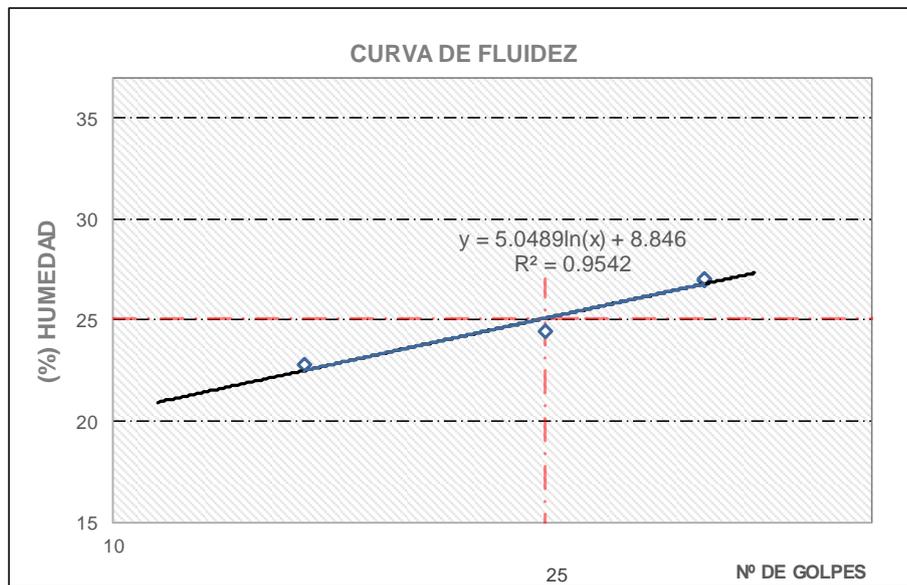
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación muestra	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-3.75
SPT-03	E-3	M-3	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	9	9	6	3	21	27
Nº DE GOLPES	35	35	25	15	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.46	28.47	40.52	36.85	15.23	15.2
TARRO + SUELO SECO	25.83	25.82	35.9	33	14.8	14.79
AGUA	2.63	2.65	4.62	3.85	0.43	0.41
PESO DEL TARRO	16.1	16.1	17	16.1	12	12
PESO DEL SUELO SECO	9.73	9.72	18.9	16.9	2.8	2.79
% DE HUMEDAD	27.03	27.26	24.44	22.78	15.36	14.7



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	25.17
LIMITE PLÁSTICO	14.70
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10.47

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO**

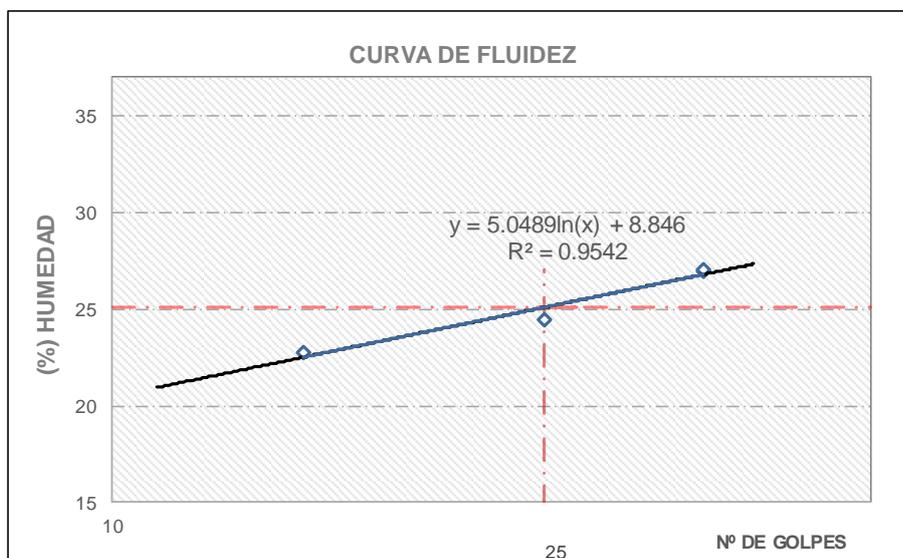
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación Estrato Muestra Profundidad (m) **3.75-5.10**
muestra **SPT-03** **E-3** **M-4** Altura (m) **1.35**

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	9.00	9.00	6.00	3.00	21.00	27.00
Nº DE GOLPES	35.00	35.00	25.00	15.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.48	28.48	40.53	37.25	15.20	15.21
TARRO + SUELO SECO	25.81	25.81	35.88	33.00	14.80	14.79
AGUA	2.67	2.67	4.65	4.25	0.40	0.42
PESO DEL TARRO	16.10	16.10	17.00	16.10	12.00	12.00
PESO DEL SUELO SECO	9.71	9.71	18.88	16.90	2.80	2.79
% DE HUMEDAD	27.50	27.50	24.63	25.15	14.29	15.05



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	26.08
LIMITE PLÁSTICO	15.05
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.03

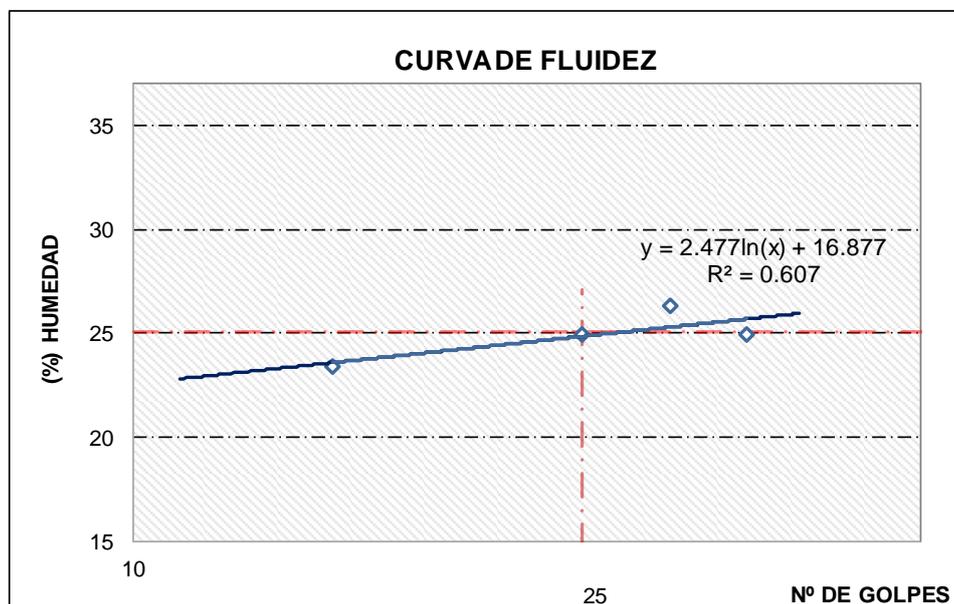
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: **Junio del 2019**
bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforacion	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.20
muestra SPT-04	E-2	M-3	Altura (m)	1.35

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
Nº DE TARRO	9	9	6	3	21	27
Nº DE GOLPES	35	30	25	15	-----	-----
TARRO + SUELO HUMEDO	28.30	28.32	38.58	36.86	15.24	15.23
TARRO + SUELO SECO	25.85	25.72	34.00	33.00	14.83	14.83
PESO DEL AGUA	2.45	2.60	4.58	3.86	0.41	0.4
PESO DEL TARRO	16.05	15.95	16.8	16.05	12.1	12.2
PESO DEL SUELO SECO	9.85	9.9	18.4	16.5	2.73	2.63
% DE HUMEDAD	24.87	26.26	24.89	23.39	15.02	15.21



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	24.85
LIMITE PLÁSTICO	15.21
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	9.64

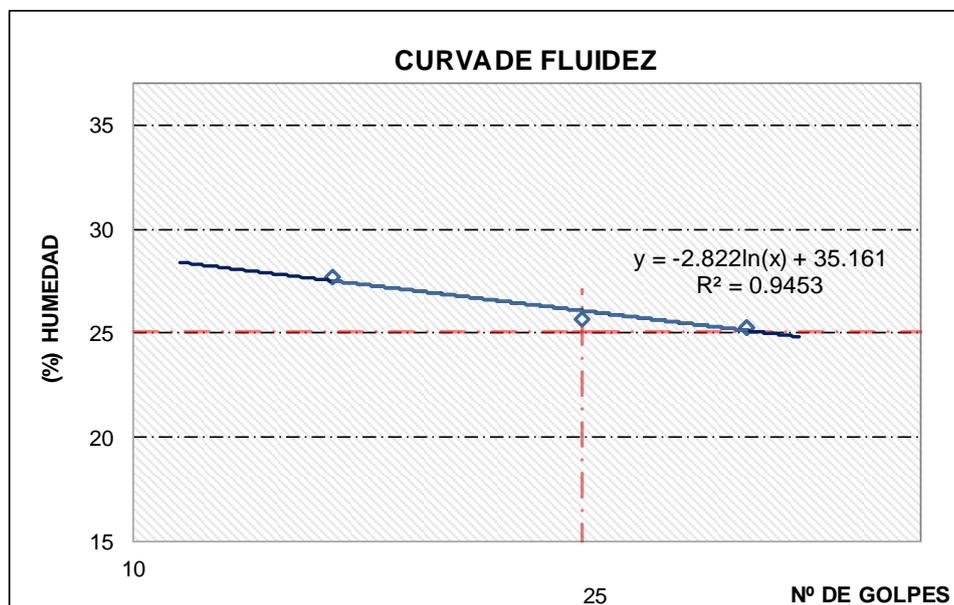
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforacion muestra	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	4.20-6.00
SPT-04	E-2	M-4	Altura (m)	1.8

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
Nº DE TARRO	9	9	6	3	21	27
Nº DE GOLPES	35	35	25	15	-----	-----
TARRO + SUELO HUMEDO	28.5	28.5	40.5	37.55	15.2	15.25
TARRO + SUELO SECO	26	26	35.7	32.9	14.81	14.84
AGUA	2.5	2.5	4.8	4.65	0.39	0.41
PESO DEL TARRO	16.1	16.1	17	16.1	12	12
PESO DEL SUELO SECO	9.9	9.9	18.7	16.8	2.81	2.84
% DE HUMEDAD	25.25	25.25	25.67	27.68	13.88	14.44



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	26.08
LIMITE PLÁSTICO	14.44
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.64

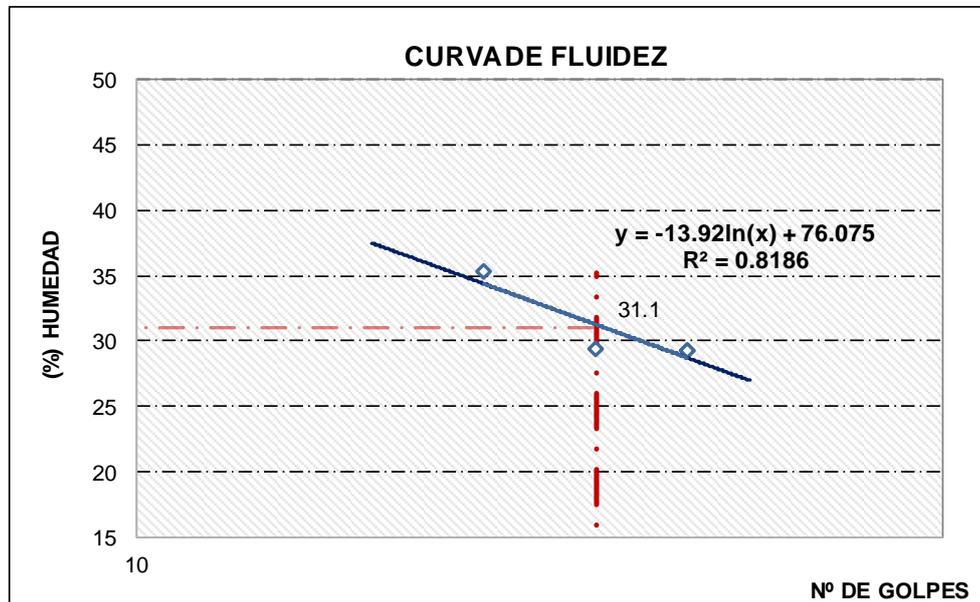
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

**Tesis: MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: Bach. Jose Ismael Fernandez Silva Fecha: Junio del 2019
 Bach. Nasar Emilio Vásquez Diaz

Datos de la Perforación muestra	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
SPT-05	E-1	M-1	Altura (m)	0.95

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	11	12	13	14.00	15	16
Nº DE GOLPES	20	25	30	30.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.3	55.56	51.6	51.60	51.95	53.16
TARRO + SUELO SECO	47.2	48.46	45.4	45.40	46.79	48.23
PESO DEL AGUA	8.1	7.1	6.2	6.2	5.16	4.93
PESO DEL TARRO	24.2	24.3	24.2	24.20	21.26	23.65
PESO DEL SUELO SECO	23	24.16	21.2	21.20	25.53	24.58
% DE HUMEDAD	35.22	29.39	29.25	29.25	20.21	20.06



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	31.10
LIMITE PLÁSTICO	20.06
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.04

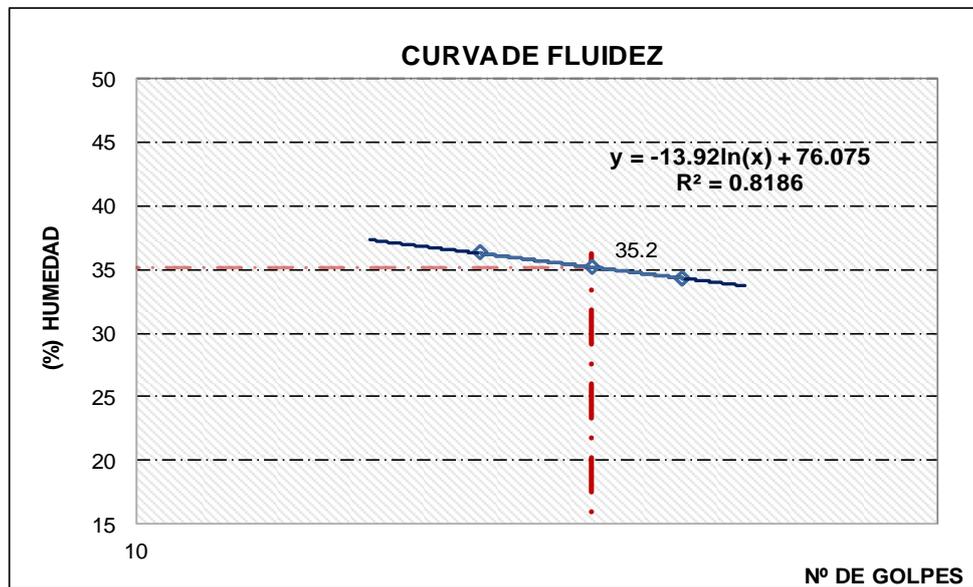
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: **Junio del 2019**
Bach. Nasar Emilio Vásquez Diaz

Datos de la Perforación Estrato Muestra Profundidad (m) **1.95-2,85**
muestra **SPT-05** **E-1** **M-2** Altura (m) **0.95**

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO		
Nº DE TARRO	11	12	13	14.00	15	16
Nº DE GOLPES	20	25	30	30.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	53.64	51.69	55.56	55.56	47.22	46.52
TARRO + SUELO SECO	45.81	44.55	47.55	47.55	43.20	42.40
PESO DEL AGUA	7.83	7.14	8.01	8.01	4.02	4.12
PESO DEL TARRO	24.2	24.26	24.2	24.20	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	21.61	20.29	23.35	23.35	18.62	18.74
% DE HUMEDAD	36.25	35.20	34.30	34.30	21.59	21.99



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	35.20
LIMITE PLÁSTICO	21.79
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13.41

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO**

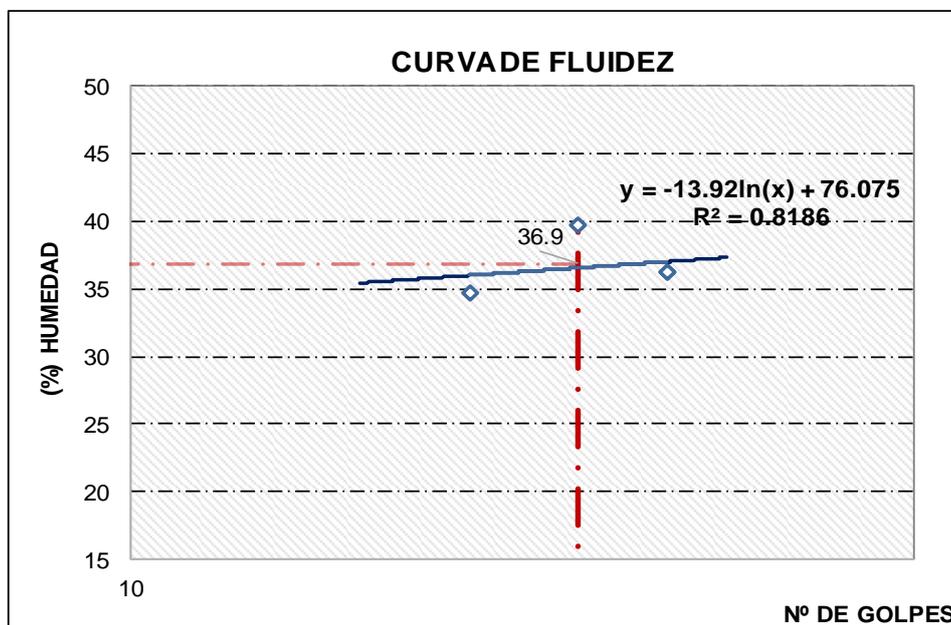
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.20
la muestra SPT-05	E-1	M-3	Altura (m)	1.35

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	11	12	13	14.00	15	16
Nº DE GOLPES	20	25	30	30	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.96	50.20	51.78	51.78	47.20	46.50
TARRO + SUELO SECO	43.94	43.20	44.50	44.50	43.23	42.42
PESO DEL AGUA	7.02	7.00	7.28	7.28	3.97	4.08
PESO DEL TARRO	23.65	25.54	24.36	24.36	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	20.29	17.66	20.14	20.14	18.65	18.76
% DE HUMEDAD	34.60	39.64	36.15	36.15	21.29	21.75



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	36.90
LIMITE PLASTICO	21.52
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15.38



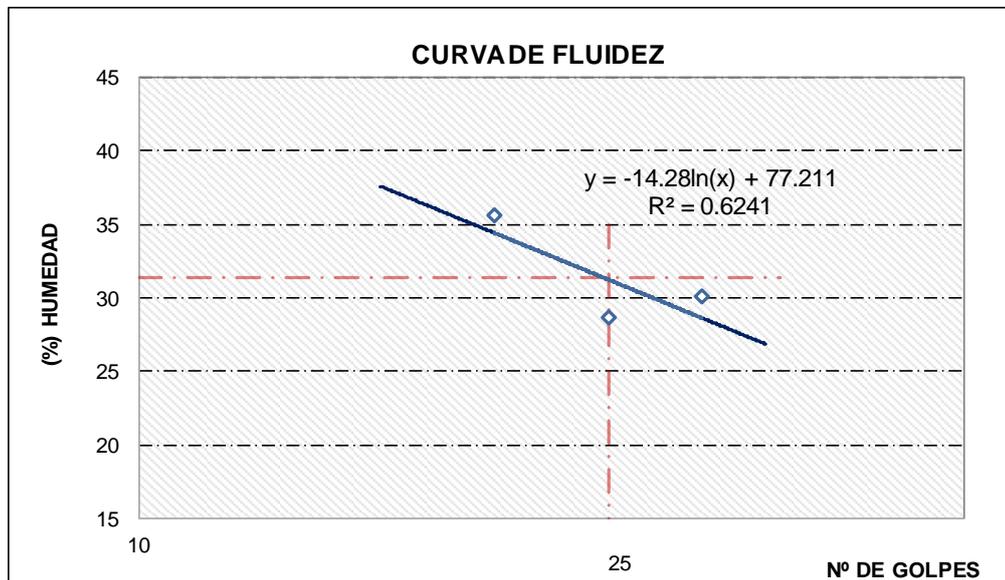
**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
muestra SPT-06	E-1	M-1	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	11	12	13	14	21	27
NºDE GOLPES	20	25	30	35	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.48	54.62	51.59	50.69	51.96	53.21
TARRO + SUELO SECO	47.27	47.87	45.26	43.2	46.78	48.22
PESO DEL AGUA	8.21	6.75	6.33	7.49	5.18	4.99
PESO DEL TARRO	24.2	24.3	24.2	16.1	21.26	23.65
PESO DEL SUELO SECO	23.07	23.57	21.06	27.1	25.52	24.57
% DE HUMEDAD	35.59	28.64	30.06	27.64	20.30	20.31



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	31.40
LIMITE PLÁSTICO	20.31
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.09

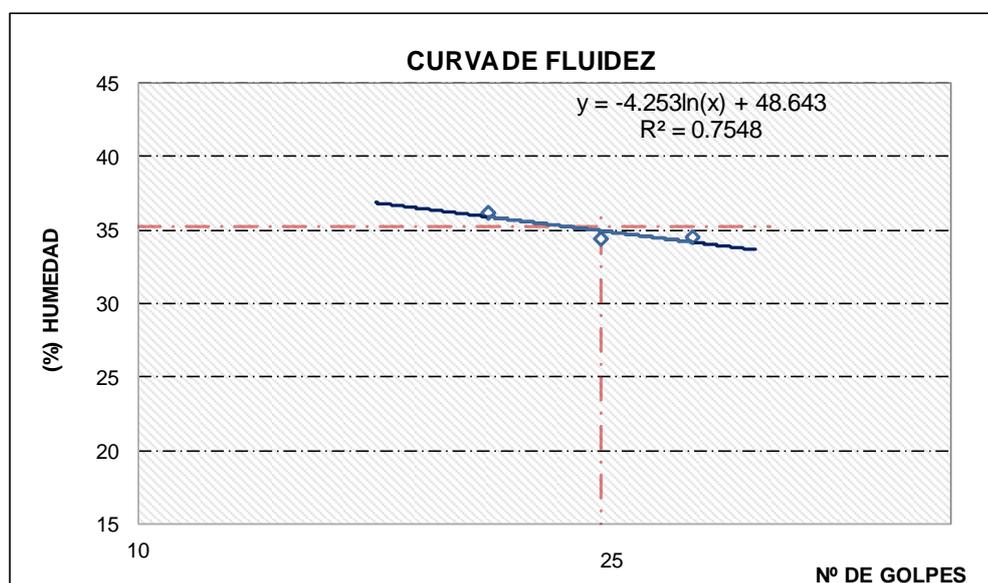
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
muestra SPT-06	E-1	M-2	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	11	12	13	14	21	27
Nº DE GOLPES	20	25	30	35	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	53.61	51.50	55.59	52.64	47.56	46.42
TARRO + SUELO SECO	45.80	44.53	47.54	45.25	43.32	42.32
PESO DEL AGUA	7.81	6.97	8.05	7.39	4.24	4.1
PESO DEL TARRO	24.2	24.26	24.2	24.33	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	21.6	20.27	23.34	20.92	18.74	18.66
% DE HUMEDAD	36.16	34.39	34.49	35.33	22.63	21.97



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

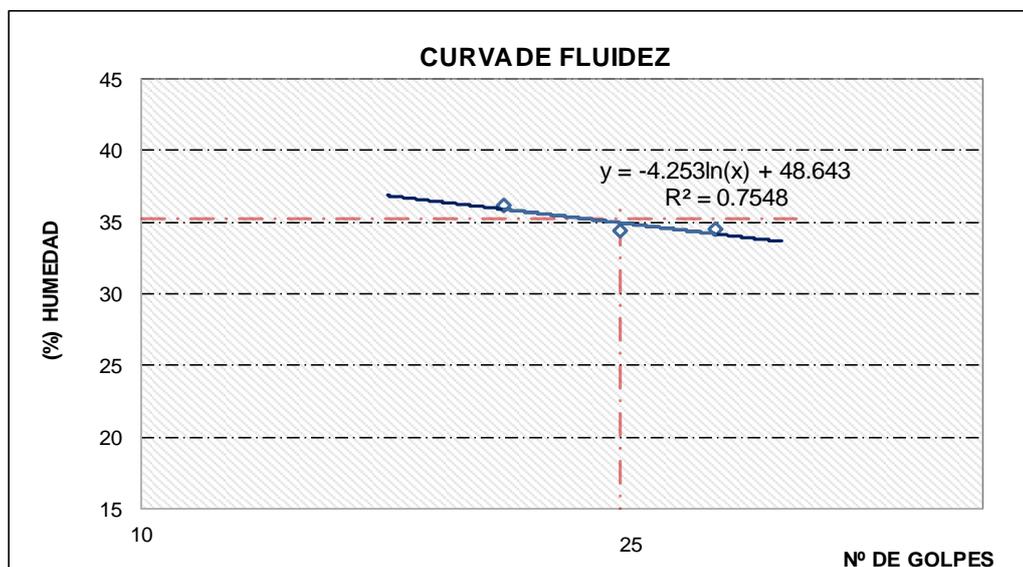
LIMITE LIQUIDO	35.20
LIMITE PLÁSTICO	22.30
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	12.90

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. José Ismael Fernandez Silva** Fecha: **Junio del 2019**
Bach. Nasar Emiilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación Estrato Muestra Profundidad (m) **2.85-3.75**
muestra **SPT-06** **E-1** **M-3** Altura (m) **0.9**

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
	15	16	17	18	22	23
Nº DE TARRO	15	16	17	18	22	23
Nº DE GOLPES	20	25	30	35	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.94	50.20	51.78	52.86	47.20	46.49
TARRO + SUELO SECO	43.96	43.50	44.55	45.09	43.23	42.42
PESO DEL AGUA	6.98	6.7	7.23	7.77	3.97	4.07
PESO DEL TARRO	23.6	25.55	24.4	24.32	24.58	23.65
PESO DEL SUELO SECO	20.36	17.95	20.15	20.77	18.65	18.77
% DE HUMEDAD	34.28	37.33	35.88	37.41	21.29	21.68



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	35.90
LIMITE PLÁSTICO	21.49
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	14.41

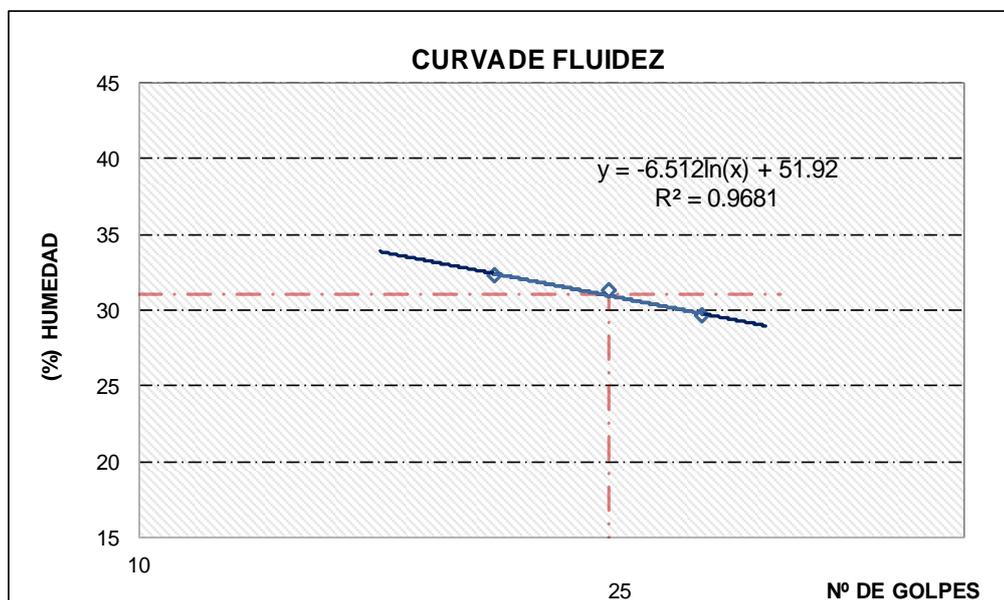
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Israel Fernandez Silva** Fecha: **Junio del 2019**
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación Estrato Muestra Profundidad (m) **1.05-1.95**
muestra **SPT-07** **E-1** **M-1** Altura (m) **0.9**

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	19	20	21	22	23	24
Nº DE GOLPES	20	25	30	35	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	54.6	55.6	51.55	53.96	51.96	53.09
TARRO + SUELO SECO	47.18	48.15	45.3	47.22	46.87	48.2
PESO DEL AGUA	7.42	7.45	6.25	6.74	5.09	4.89
PESO DEL TARRO	24.2	24.3	24.2	24.00	21.26	23.65
PESO DEL SUELO SECO	22.98	23.85	21.1	23.22	25.61	24.55
% DE HUMEDAD	32.29	31.24	29.62	29.03	19.88	19.92



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	31.00
LIMITE PLÁSTICO	19.90
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.10

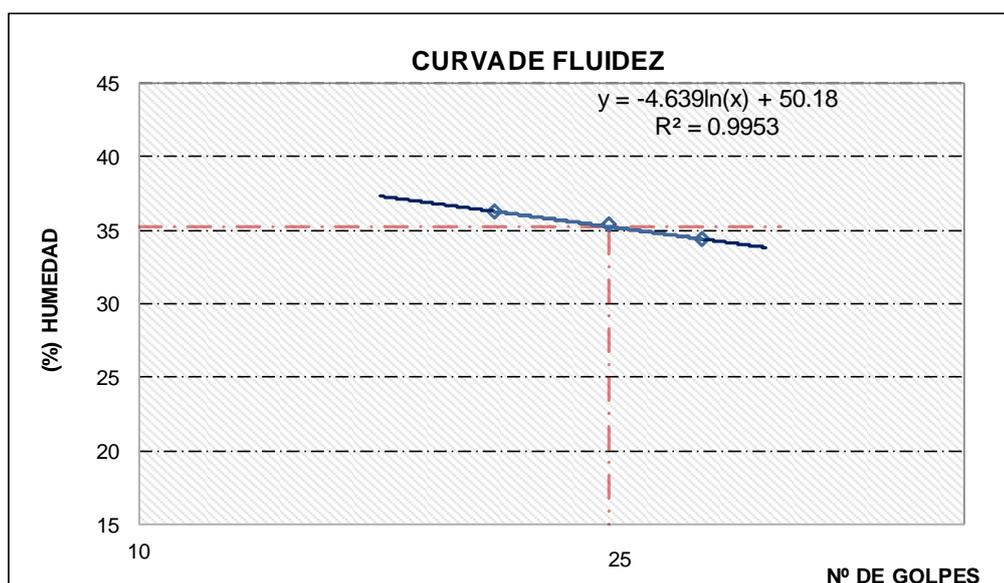
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Israel Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación muestra	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
SPT-07	E-1	M-2	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	25	26	27	28	29	30
Nº DE GOLPES	20	25	30	35	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	53.63	51.69	55.56	55.15	47.26	46.55
TARRO + SUELO SECO	45.80	44.53	47.54	47.53	43.2	42.3
PESO DEL AGUA	7.83	7.16	8.02	7.62	4.06	4.25
PESO DEL TARRO	24.2	24.26	24.2	24.68	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	21.6	20.27	23.34	22.85	18.62	18.64
% DE HUMEDAD	36.25	35.32	34.36	33.35	21.80	22.80



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

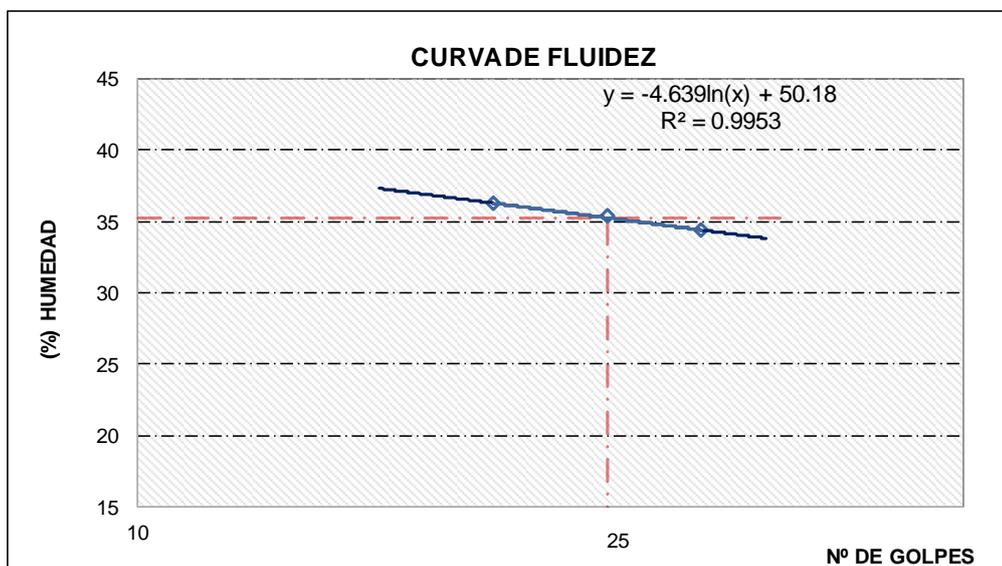
LIMITE LIQUIDO	35.20
LIMITE PLÁSTICO	22.30
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	12.90

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Israel Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Enilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-3.75
muestra SPT-07	E-1	M-3	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
	25	26	27	28	29	30
Nº DE TARRO	25	26	27	28	29	30
Nº DE GOLPES	20.00	25.00	30.00	35.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.95	50.20	51.73	54.67	47.21	46.49
TARRO + SUELO SECO	43.95	44.06	45.03	47.49	43.25	42.44
PESO DEL AGUA	7.00	6.14	6.70	7.18	3.96	4.05
PESO DEL TARRO	23.60	25.55	24.40	24.89	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	20.35	18.51	20.63	22.60	18.67	18.78
% DE HUMEDAD	34.40	33.17	32.48	31.77	21.21	21.57



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	33.30
LIMITE PLÁSTICO	21.39
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.91

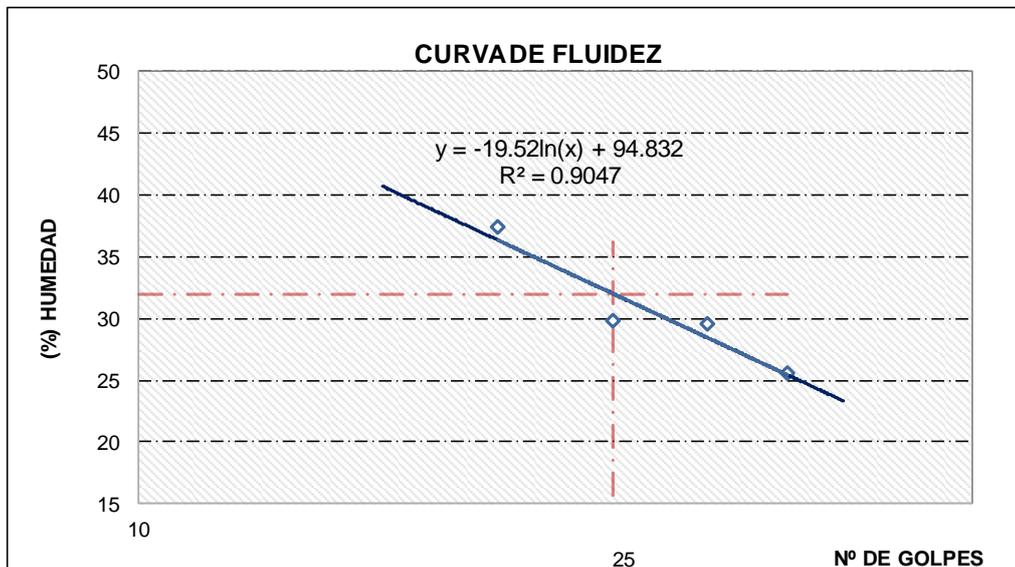
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesisistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vazquez Diaz

Datos de la Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
muestra SPT-08	E-1	M-1	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	25	26	27	28	29	30
Nº DE GOLPES	20.00	25.00	30.00	35.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.80	55.66	51.65	53.38	51.98	53.25
TARRO + SUELO SECO	47.20	48.46	45.40	47.49	46.78	48.23
PESO DEL AGUA	8.60	7.20	6.25	5.89	5.20	5.02
PESO DEL TARRO	24.20	24.30	24.20	24.44	21.26	23.65
PESO DEL SUELO SECO	23.00	24.16	21.20	23.05	25.52	24.58
% DE HUMEDAD	37.39	29.80	29.48	25.56	20.38	20.42



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	32.00
LIMITE PLÁSTICO	20.40
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.60

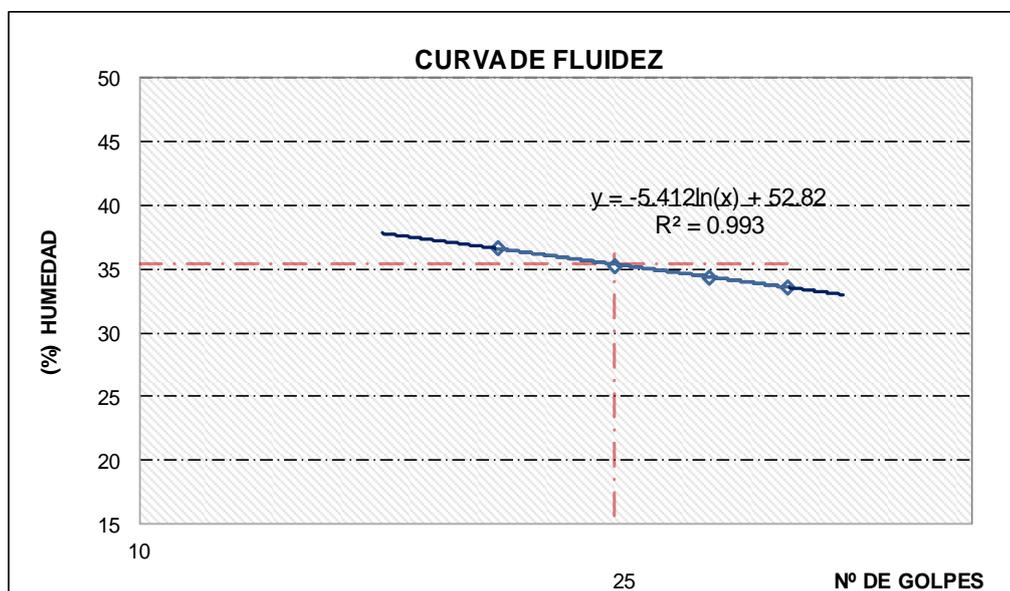
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: **Junio del 2019**
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación muestra	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
SPT-08	E-1	M-2	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	25	26	27	28	29	30
Nº DE GOLPES	20.00	25.00	30.00	35.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	53.74	51.70	55.59	55.24	47.25	46.54
TARRO + SUELO SECO	45.81	44.55	47.55	47.49	43.20	42.40
PESO DEL AGUA	7.93	7.15	8.04	7.75	4.05	4.14
PESO DEL TARRO	24.20	24.26	24.20	24.44	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	21.61	20.29	23.35	23.05	18.62	18.74
% DE HUMEDAD	36.70	35.24	34.43	33.63	21.75	22.09



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	35.40
LIMITE PLÁSTICO	21.92
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13.48

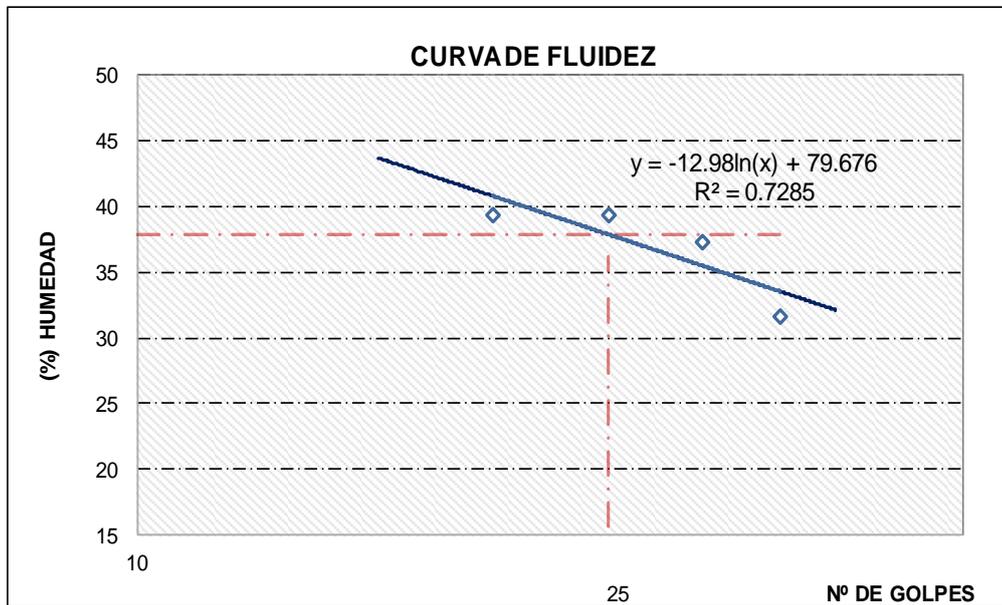
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Enilio Vasquez Diaz

Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-4.20
	SPT-08	E-1	M-3	Altura (m)	1.35

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	25	26	27	28	29	30
Nº DE GOLPES	20.00	25.00	30.00	35.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	52.30	50.60	52.05	51.98	47.24	46.52
TARRO + SUELO SECO	44.20	43.24	44.52	45.35	43.25	42.44
PESO DEL AGUA	8.10	7.36	7.53	6.63	3.99	4.08
PESO DEL TARRO	23.65	24.54	24.36	24.39	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	20.55	18.70	20.16	20.96	18.67	18.78
% DE HUMEDAD	39.42	39.36	37.35	31.63	21.37	21.73



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	37.90
LIMITE PLÁSTICO	21.55
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	16.35

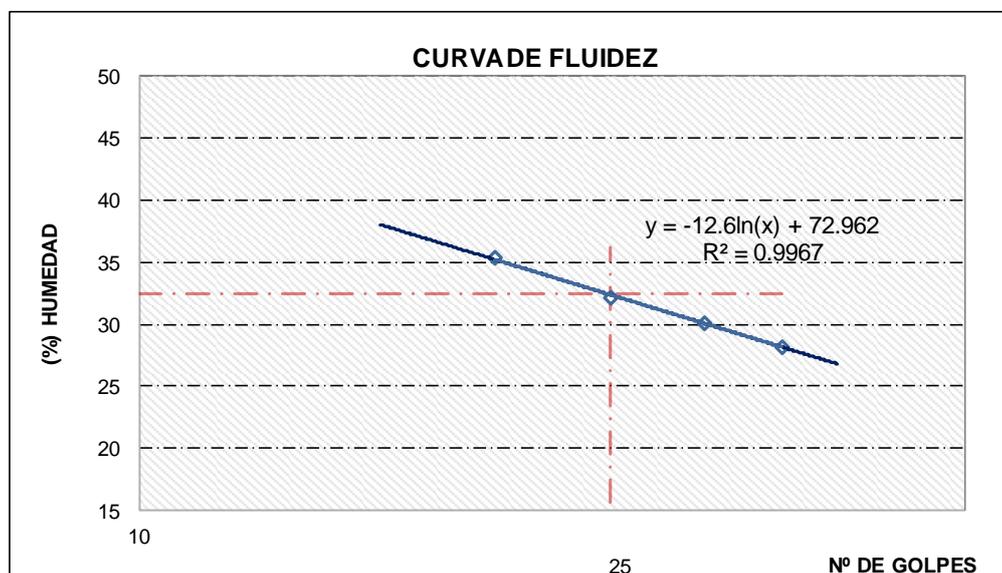
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318**

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.05-1.95
muestra SPT-09	E-1	M-1	Altura (m)	0.95

Datos del Ensayo	LÍMITE LIQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Nº DE TARRO	25	26	27	28	29	30
Nº DE GOLPES	20.00	25.00	30.00	35.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.40	55.33	51.86	51.08	51.94	53.18
TARRO + SUELO SECO	47.25	47.78	45.46	45.20	46.80	48.20
PESO DEL AGUA	8.15	7.55	6.40	5.88	5.14	4.98
PESO DEL TARRO	24.20	24.30	24.20	24.39	21.25	23.65
PESO DEL SUELO SECO	23.05	23.48	21.26	20.81	25.55	24.55
% DE HUMEDAD	35.36	32.16	30.10	28.26	20.12	20.29



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LÍMITE LIQUIDO	32.40
LÍMITE PLÁSTICO	20.20
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	12.20

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO**

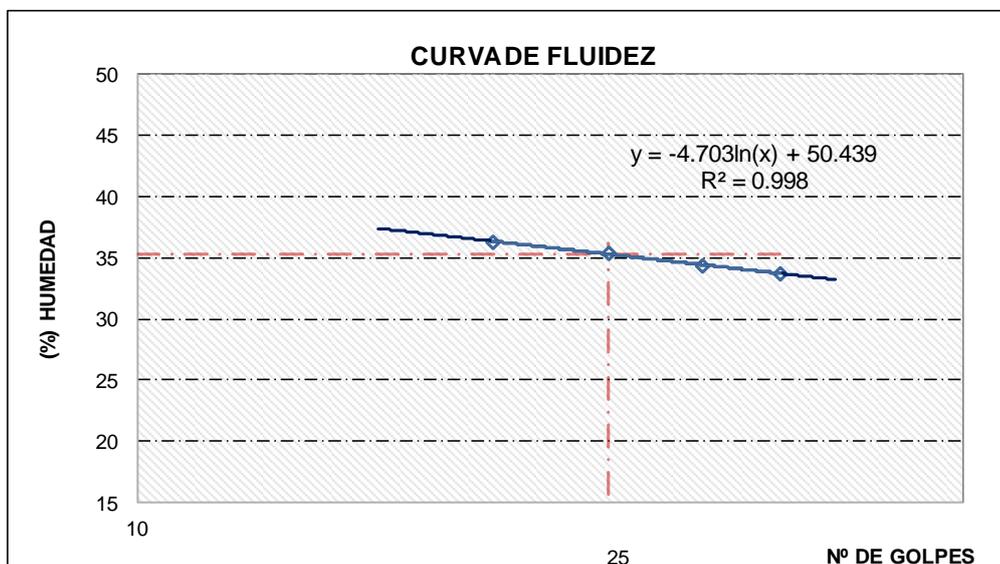
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Israel Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Enilio Vasquez Diaz

Datos de la Perforación muestra	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	1.95-2.85
SPT-09	E-1	M-2	Altura (m)	0.95

Datos del Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
	31	32	33	34	35	36
Nº DE TARRO	31	32	33	34	35	36
Nº DE GOLPES	20.00	25.00	30.00	35.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	53.64	51.70	55.58	53.03	47.26	46.55
TARRO + SUELO SECO	45.80	44.53	47.54	45.80	43.20	42.30
PESO DEL AGUA	7.84	7.17	8.04	7.23	4.06	4.25
PESO DEL TARRO	24.20	24.26	24.20	24.34	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	21.60	20.27	23.34	21.46	18.62	18.64
% DE HUMEDAD	36.31	35.37	34.45	33.69	21.80	22.80



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	35.30
LIMITE PLÁSTICO	22.30
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13.00

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO**

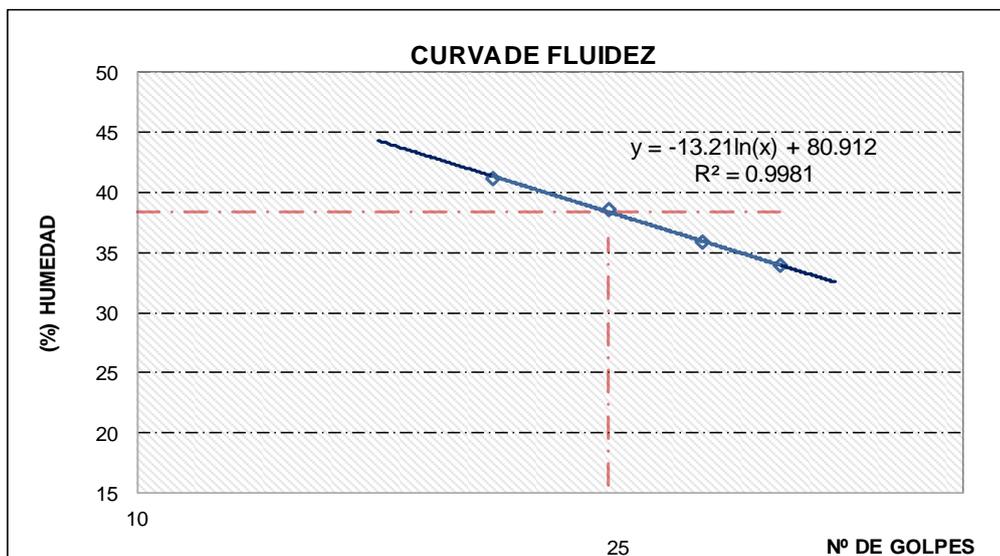
N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318

Tesis: **MÉTODO DE INYECCIÓN DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS
POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, 2019**

Tesistas: **Bach. Jose Ismael Fernandez Silva** Fecha: Junio del 2019
Bach. Nasar Ennio Vasquez Diaz

Datos de la muestra	Perforación	Estrato	Muestra	Profundidad (m)	2.85-3.75
	SPT-09	E-1	M-3	Altura (m)	0.9

Datos del Ensayo	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	31	32	33	34	35	36
Nº DE TARRO						
Nº DE GOLPES	20.00	25.00	30.00	35.00	-----	-----
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.10	53.20	51.78	53.10	47.23	46.54
TARRO + SUELO SECO	45.90	45.50	44.55	45.80	43.23	42.42
PESO DEL AGUA	9.20	7.70	7.23	7.30	4.00	4.12
PESO DEL TARRO	23.60	25.55	24.40	24.30	24.58	23.66
PESO DEL SUELO SECO	22.30	19.95	20.15	21.50	18.65	18.76
% DE HUMEDAD	41.26	38.60	35.88	33.95	21.45	21.96



CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	38.40
LÍMITE PLÁSTICO	21.70
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	16.69

Peso específico Relativo


**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

PRACTICA DE LABORATORIO
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS (G_s)

N.T.P. 339.131 ASTM D - 854

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo:	Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion	SPT-01
----------------------------------	--	-------------	---------------

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de la Fiola (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.560	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.0467	26.43	22.5
F - 3	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.6033	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato/Muestra	E1-M1		E1-M2		
02	Nº de fiola	F1	F2	F3	F4	
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.10	374.54	372.73	376.32
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	354.160	357.603
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.618	2.607	2.625	2.659
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s (8)*(10)		2.616	2.606	2.624	2.658
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s Promedio		2.611		2.641	
13	Tipo de suelo		SP	SP	SP	SP
14	Tipo de minerales Predominantes		FELDESPATO		FELDESPATO/QUARZO	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion SPT-01

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de la Fiola (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.560	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.0467	26.43	22.1
F - 3	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.6033	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua

M_f : Masa de la Fiola

T_x : temperatura del ensayo

T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato/Muestra	E2-M3		E2-M4		
		F1	F2	F3	F4	
02	Nº de fiola					
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.60	374.60	372.85	376.78
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	354.160	357.603
08	Peso especifico relativo de sólidos (G _s) {(4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.737	2.621	2.653	2.772
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _i (8)*(10)		2.736	2.620	2.651	2.771
12	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _i (Gs Promedio)		2.678		2.711	
13	Tipo de suelo		SC	SC	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes		QUARZO/ CAOLINITA		QUARZO/ CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

**UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

PRACTICA DE LABORATORIO
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS (G_s)

N.T.P. 339.131 ASTM D - 854

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion SPT-02
---	---------------------------

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

o Fiola	Volumen Fiola	Masa de la Fiola (M _f)	+ H ₂ O (M _a)	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.560	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.0466667	26.43	22.5
F - 3	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.6033333	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua x } (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato/Muestra	E1-M1		E2-M2		
02	Nº de fiola	F1	F2	F3	F4	
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.22	374.24	374.44	374.52
07	Masa de la fiola + peso de agua: [M _a (T _x)]	g.	356.48	355.90	354.160	357.6
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.664	2.573	3.086	2.293
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (8)*(10)		2.663	2.572	3.085	2.292
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) Promedio		2.617		2.689	
13	Tipo de suelo		SP	SP	SP-SC	SP-SC
14	Tipo de minerales Predominantes		FELDESPATO		FELDESPATO/QUARZO	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion SPT-02
---	---------------------------

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

o Fiola	Volumen Fiola	Masa de la Fiola (M _f)	+ H ₂ O (M _a)	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.560	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.0466667	26.43	22.1
F - 3	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.6033333	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua} \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua

M_f : Masa de la Fiola

T_x : temperatura del ensayo

T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E3-M3		-	-
02	Nº de fiola	F1	F2	-	-
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	-
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	-
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola	(3)+(4) g.	137.80	134.63	-
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.82	374.74	-
07	Masa de la fiola + peso de agu: [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	-
08	Peso especifico relativo de sólidos (G _s)	{(4) / [(4) + (7)] - (6)}	2.793	2.653	-
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	-
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	-
11	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s)	(8)*(10)	2.792	2.652	-
12	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (Gs Promedio)		2.722		
13	Tipo de suelo	SC	SC	-	-
14	Tipo de minerales Predominantes	QUARZO/ CAOLINITA		-	-

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
PRACTICA DE LABORATORIO
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS (G_s)
N.T.P. 339.131 ASTM D - 854**

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion **SPT-03**

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _i)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.560	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.046667	26.43	22.5
F - 3	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.603333	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } 1 \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

	Estrato/Muestra	E1-M1		E2-M2	
		F1	F2	F3	F4
02	Nº de fiola				
03	Masa de la fiola (M _i)	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	375.10	374.54	374.48	374.52
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	356.56	356.0	354.160	357.603
08	Peso especifico relativo de sólidos (G _s) $\{(4) / [(4) + (7)] - (6)\}$	2.618	2.607	3.099	2.293
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (8)*(10)		2.616	2.606	3.098
12	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s) Promedio		2.611		2.695
13	Tipo de suelo	SP	SP	SP-SC	SP-SC
14	Tipo de minerales Predominantes	FELDESPATO		FELDESPATO/QUARZO	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
PRACTICA DE LABORATORIO
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS (G_s)
N.T.P. 339.131 ASTM D - 854**

TESIS:	POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo:	Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion	SPT-03
----------------------------------	--	-------------	---------------

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _i)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.560	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.046667	26.43	22.1
F - 3	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.603333	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua

M_f : Masa de la Fiola

T_x : temperatura del ensayo

T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E3-M3		E4		
		F1	F2	F3	F4	
02	Nº de fiola					
03	Masa de la fiola (M _i)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola	(3)+(4) g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.35	375.20	372.85	376.78
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	354.160	357.603
08	Peso especifico relativo de sólidos (G _s)	{(4) / [(4) + (7)] - (6)}	2.676	2.766	2.653	2.772
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (8)*(10)		2.675	2.764	2.651	2.771
12	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (G _s Promedio)		2.720		2.711	
13	Tipo de suelo		SC	SC	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes		QUARZO/ CAOLINITA		QUARZO/ CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva	Fecha	junio del 2019
	Bach.Nasar Emilio Vasquez Diaz		
Tecnica de exploracion de campo:	Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion	SPT-04

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°c)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°c)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°c)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen Fiola	Masa de la Fiola (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.60	356.560	26.20	22.3
F - 2	250	104.62	356.0467	26.43	22.3
F - 3	250	105.43	354.160	26.40	22.4
F - 4	250	105.87	357.6033	25.77	22.4

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato/Muestra	E1-M1		E2-M-2		
02	Nº de fiola	F1	F2	F3	F4	
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.60	104.6	105.43	105.87
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.60	134.62	135.43	135.87
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.18	374.45	372.7	376.38
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	354.160	357.603
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }	g/cm ³	2.636	2.587	2.618	2.673
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.30	22.30	22.40	22.40
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G (8)*(10)	g/cm ³	2.635	2.586	2.617	2.672
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G Promedio)		2.610		2.644	
13	Tipo de suelo	SP	SP	SP	SP	
14	Tipo de minerales Predominantes	FELDESPATO		FELDESPATO/QUARZO		

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "S" Perforacion SPT-04

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen Fiola	Masa de la Fiola (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.560	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.0467	26.43	22.3
F - 3	250	105.45	354.160	26.40	22.2
F - 4	250	105.90	357.6033	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua

M_f : Masa de la Fiola

T_x : temperatura del ensayo

T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E2-M3		E2-M4		
		F1	F2	F3	F4	
02	Nº de fiola					
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.58	374.56	372.82	376.87
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	354.160	357.603
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.732	2.612	2.646	2.795
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.20	22.20
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G (8)*(10)		2.731	2.610	2.644	2.794
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G (Gs Promedio)		2.671		2.719	
13	Tipo de suelo		SC	SC	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes		QUARZO/ CAOLINITA		QUARZO/ CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

**PRACTICA DE LABORATORIO
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS (G_s)
N.T.P. 339.131 ASTM D - 854**

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion SPT-05

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°c)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°c)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°c)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.56	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.05	26.43	22.5
F - 3	250	105.45	354.16	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.60	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E1- M1		E1-M2		
		F1	F2	F3	F4	
02	Nº de fiola					
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.79	374.74	373.20	376.45
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.05	354.16	357.60
08	Peso especifico relativo de sólidos (G _s) {((4) / [(4) + (7)] - (6))}		2.786	2.653	2.737	2.690
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (8)*(10)		2.784	2.652	2.736	2.689
12	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G _s) Promedio		2.718		2.712	
13	Tipo de suelo		SC	SC	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes		CALCITA /CAOLINITA		CALCITA /CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	Junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion SPT-05

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°c)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°c)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°c)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.56	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.05	26.43	22.1
F - 3	250	105.45	354.16	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.60	25.77	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

Código	Descripción	E3-M3			
		F1	F2	-	-
01	Estrato				
02	Nº de fiola	F1	F2	-	-
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	-
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	-
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	-
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.72	374.74	-
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	-
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) {(4) / [(4) + (7)] - (6)}		2.768	2.653	-
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	-
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	-
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (8)*(10)		2.766	2.652	-
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (Gs Promedio)		2.709		-
13	Tipo de suelo	SC	SC	-	-
14	Tipo de minerales Predominantes	CALCITA /CAOLINITA			-

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach.Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion	SPT-06
---	-------------	---------------

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°c)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°c)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°c)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen Fiola	Masa de (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 5	250	107.81	356.56	26.20	22.3
F - 6	250	104.64	356.05	26.45	22.4
F - 7	250	105.44	354.16	26.40	22.2
F - 8	250	105.89	357.60	25.78	22.2

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E1 -M1		E1-M2		
		F5	F6	F7	F8	
02	Nº de fiola					
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.81	104.6	105.44	105.89
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.81	134.64	135.44	135.89
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.54	374.97	373.11	376.59
07	Masa de la fiola + peso de agua: [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.05	354.160	357.603
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.723	2.708	2.715	2.724
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.30	22.30	22.20	22.20
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s (8)*(10)		2.722	2.707	2.714	2.723
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s Promedio)		2.714		2.718	
13	Tipo de suelo		SC	SC	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes		CALCITA /CAOLINITA		CALCITA /CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion SPT-06

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen Fiola	Masa de (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.56	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.05	26.45	22.1
F - 3	250	105.45	354.16	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.60	25.78	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua

M_f : Masa de la Fiola

T_x : temperatura del ensayo

T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E1-M3		-	-
02	Nº de fiola	F - 1	F - 2	-	-
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	-
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	-
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	-
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.52	375.02	-
07	Masa de la fiola + peso de agua: [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	-
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.718	2.721	-
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	-
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	-
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s (8)*(10)		2.717	2.719	-
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s (G _s Promedio)		2.718		-
13	Tipo de suelo	SC	SC	-	-
14	Tipo de minerales Predominantes	CALCITA /CAOLINITA		-	-

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		Fecha
	Bach.Nasar Emilio Vasquez Diaz		Junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo:	Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion	SPT-07
----------------------------------	--	-------------	---------------

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°c)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel. H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°c)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel. H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°c)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel. H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 5	250	107.80	356.56	26.20	22.5
F - 6	250	104.63	356.05	26.45	22.5
F - 7	250	105.45	354.16	26.40	22.1
F - 8	250	105.90	357.60	25.78	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua} \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E1-M1		E2-M2		
02	Nº de fiola	F1	F2	F3	F4	
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.28	374.88	373.22	376.42
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.05	354.16	357.60
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.660	2.687	2.742	2.683
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (8)*(10)		2.659	2.685	2.741	2.681
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) Promedio		2.672		2.711	
13	Tipo de suelo		SC	SC	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes		FELDESPATO		CALCITA/CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach.Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	Junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo:	Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT"	Perforacion	SPT-07
----------------------------------	--	-------------	---------------

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°c)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°c)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°c)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.56	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.05	26.45	22.1
F - 3	250	105.45	354.16	26.40	22.1
F - 4	250	105.90	357.60	25.78	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua} \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

		E1-M3			
01	Estrato			-	
02	Nº de fiola	F1	F2	-	-
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80	104.6	-
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	-
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	-
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.82	374.74	-
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.0	-
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) { (4) / [(4) + (7)] - (6) }		2.794	2.653	-
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	-
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	-
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (8)*(10)		2.793	2.652	-
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s) (G _s Promedio)		2.722		-
13	Tipo de suelo	SC	SC	-	-
14	Tipo de minerales Predominantes	CALCITA/CAOLINITA		-	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		Fecha
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz		junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion SPT-08

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _i)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 1	250	107.80	356.56	26.20	22.5
F - 2	250	104.63	356.05	26.45	22.4
F - 3	250	105.45	354.16	26.40	22.2
F - 4	250	105.90	357.60	25.78	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

01	Estrato	E1-M1		E1-M2		
02	Nº de fiola	F1	F2	F3	F4	
03	Masa de la fiola (M _i)	g.	107.80	104.6	105.45	105.90
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00	30.00	30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80	134.63	135.45	135.90
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.85	374.24	374.44	374.42
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56	356.05	354.16	357.60
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) {(4) / [(4) + (7)] - (6)}		2.802	2.541	3.086	2.276
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.20	22.20
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s (8)*(10)		2.801	2.540	3.085	2.275
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s Promedio)		2.670		2.680	
13	Tipo de suelo		SC	SC	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes		FELDESPATO		CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

N.T.P. 339.131 ASTM D - 854

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		Fecha
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz		Junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion SPT-08

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen de la Fiola	Masa de (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 5	250	107.80	356.56	26.20	22.50
F - 6	250	104.63	356.05	26.45	22.10
F - 7	250	105.45	354.16	26.40	22.10
F - 8	250	105.90	357.60	25.78	22.10

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua} \times (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

		E3- M3				
01	Estrato			-		
02	Nº de fiola	F1	F2	-		
03	Masa de la fiola (M _f)	g.	107.80 104.6	-		
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g.	30.00 30.00	-		
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g.	137.80 134.63	-		
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g.	375.48 374.78	-		
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g.	356.56 356.0	-		
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) {(4) / [(4) + (7)] - (6)}		2.708 2.663	-		
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50 22.50	-		
10	Factor de corrección	K	0.9995 0.9995	-		
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s ' (8)*(10)		2.707 2.661	-		
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G _s ' (Gs Promedio)		2.684		-	
13	Tipo de suelo	SC	SC	-		
14	Tipo de minerales Predominantes	FELDESPATO/CAOLINITA		-		

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE, 2019.		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		Fecha
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz		Junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion **SPT-09**

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen Fiola	Masa de la Fiola (M _i)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 5	250	107.80	356.557	26.20	22.5
F - 6	250	104.63	356.0467	26.45	22.5
F - 7	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 8	250	105.90	357.6033	25.78	22.2

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua
 M_f : Masa de la Fiola
 T_x : temperatura del ensayo
 T_i : Temperatura calibrada

Código	Descripción	E1-M1		E1-M2		
		F-5	F-6	F-7	F-8	
01	Estrato					
02	Nº de fiola	F-5	F-6	F-7	F-8	
03	Masa de la fiola (M _i)	107.80	104.6	105.45	105.90	
04	Masa de la muestra de suelo - seco	30.00	30.00	30.00	30.00	
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	137.80	134.63	135.45	135.90	
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	375.43	374.75	373.04	376.33	
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	356.56	356.05	354.160	357.603	
08	Peso especifico relativo de sólidos (G _s) {(4) / [(4) + (7) - (6)] }	2.696	2.656	2.698	2.661	
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C	22.50	22.50	22.10	22.10
10	Factor de corrección	K	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996
11	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G (8))*(10)	2.695	2.654	2.697	2.660	
12	Peso especifico relativo de sólidos a 20°C (G Promedio)	2.675		2.678		
13	Tipo de suelo	SC	SC	SC	SC	
14	Tipo de minerales Predominantes	FELDESPATO		FELDESPATO/CAOLINITA		

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

TESIS:	METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE, 2019.		
TESISTAS:	Bach. Jose Ismael Fernandez Silva		
	Bach. Nasar Emilio Vasquez Diaz	Fecha	Junio del 2019

Tecnica de exploracion de campo: Metodo de Ensayo de penetracion estandar "SPT" Perforacion SPT-09

Tabla.- Densidad Relativa del agua y Factor de conversiones K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9987140	0.9986244	0.9985296	0.9984347	0.9983345	0.9982343	0.9981288	0.9980233
Fac. correc. (K)	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
Temperatura (°C)	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9979126	0.9978019	0.9976861	0.9975702	0.9974494	0.9973286	0.9972028	0.9970770
Fac. correc. (K)	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9988
Temperatura (°C)	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
Densidad Rel .H ₂ O	0.9969463	0.9968156	0.9966804	0.9965451	0.9964052	0.9962652	0.9962070	0.9959761
Fac. correc. (K)	0.9987	0.9986	0.9984	0.9983	0.9982	0.9980	0.9979	0.9977

Numero Fiola	Volumen Fiola	Masa de la Fiola (M _f)	fiola + H ₂ O	T _i (°C)	T _x (°C)
F - 9	250	107.80	356.557	26.20	22.5
F - 10	250	104.63	356.0467	26.45	22.1
F - 11	250	105.45	354.160	26.40	22.1
F - 12	250	105.90	357.6033	25.78	22.1

$$M_a(T_x) = \frac{\text{Densidad del agua } T_x (M_a - M_f) + M_f}{\text{Densidad del agua } T_i}$$

M_a : Masa de la Fiola + Agua

M_f : Masa de la Fiola

T_x : temperatura del ensayo

T_i : Temperatura calibrada

		E1-M3	
01	Estrato		
02	Nº de fiola	F-9	F-10
03	Masa de la fiola (M _f)	g. 107.80	104.6
04	Masa de la muestra de suelo - seco	g. 30.00	30.00
05	Masa de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (3)+(4)	g. 137.80	134.63
06	Masa de la muestra + Fiola + agua	g. 375.82	374.74
07	Masa de la fiola + peso de agua [M _a (T _x)]	g. 356.56	356.0
08	Peso específico relativo de sólidos (G _s) {(4) / [(4) + (7)] - (6)}	2.794	2.653
09	Temperatura del ensayo (T _x)	°C 22.50	22.50
10	Factor de corrección	K 0.9995	0.9995
11	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G (8)*(10)	2.793	2.652
12	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (G (Gs Promedio)	2.722	
13	Tipo de suelo	SC	SC
14	Tipo de minerales Predominantes	CALCITA/ CAOLINITA	

K, Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura del ensayo por la densidad relativa del agua a 20°C.

Resistencia al esfuerzo cortante



FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080 METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENC

TESIS:

LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019

ESISTAS:

BACH. FERNANDEZ SILVA JOSE ISMAEL

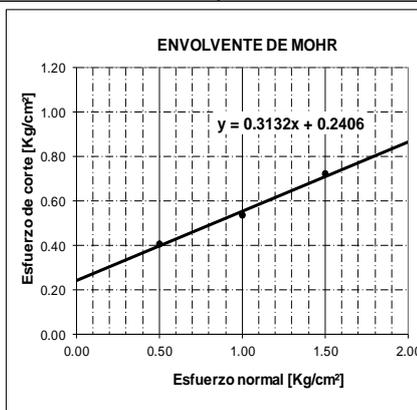
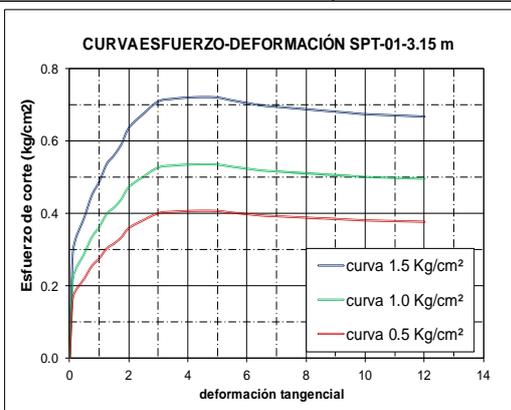
BACH. VASQUEZ DIAZ NASAR EMILIO

Fecha: jul-19

Sondaje SPT-01 Tipo de Suelo SC Profundidad: 3.15 Estado: Alterado Velocidad: 0.25 mm/min

NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO Nº 01		ENSAYO Nº 02		ENSAYO Nº 03	
1 Esfuerzo Normal	0.50	Kg/cm2	1.00	Kg/cm2	1.50	Kg/cm2
2 Peso del Anillo	70.52	g.	70.13	g.	70.77	g.
3 Diametro del Anillo	5.02	cm	5.00	cm	5.00	cm
4 Altura del Anillo (muestra de e	2.03	cm	1.94	cm	1.93	cm
5 Area del Anillo (muestra de er	19.79	cm2	19.63	cm2	19.63	cm2
6 Volumen del Anillo	40.18	cm3	38.09	cm3	37.90	cm3
7 Densidad humeda	1.85	g/cm3	1.89	g/cm3	1.90	g/cm3
8 Densidad seca	1.43	g/cm3	1.45	g/cm3	1.48	g/cm3
9 peso del agua	0.42	g.	0.45	g.	0.42	g.
10 Humedad	29.37	g.	30.80	g.	28.32	g.

ENSAYO Nº 01					ENSAYO Nº 02					ENSAYO Nº 03				
Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo
Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado	Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado	Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado
mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	3.18	0.10	0.16	0.32	0.05	4.14	0.10	0.211	0.21	0.05	5.58	0.10	0.284	0.19
0.10	3.67	0.20	0.19	0.37	0.10	4.77	0.20	0.243	0.24	0.10	6.44	0.20	0.328	0.22
0.18	4.02	0.35	0.20	0.41	0.18	5.23	0.35	0.266	0.27	0.18	7.05	0.35	0.359	0.24
0.25	4.35	0.50	0.22	0.44	0.25	5.66	0.50	0.288	0.29	0.25	7.64	0.50	0.389	0.26
0.38	5.02	0.75	0.25	0.51	0.38	6.53	0.75	0.333	0.33	0.38	8.82	0.75	0.449	0.30
0.50	5.44	1.00	0.28	0.55	0.50	7.08	1.00	0.360	0.36	0.50	9.55	1.00	0.486	0.32
0.63	5.99	1.25	0.30	0.61	0.63	7.78	1.25	0.396	0.40	0.63	10.51	1.25	0.535	0.36
0.75	6.26	1.50	0.32	0.63	0.75	8.14	1.50	0.414	0.41	0.75	10.99	1.50	0.559	0.37
0.88	6.61	1.75	0.33	0.67	0.88	8.59	1.75	0.437	0.44	0.88	11.60	1.75	0.591	0.39
1.00	7.11	2.00	0.36	0.72	1.00	9.24	2.00	0.471	0.47	1.00	12.47	2.00	0.635	0.42
1.26	7.55	2.50	0.38	0.76	1.25	9.82	2.50	0.500	0.50	1.25	13.25	2.50	0.675	0.45
1.51	7.93	3.00	0.40	0.80	1.50	10.31	3.00	0.525	0.52	1.50	13.92	3.00	0.709	0.47
1.76	8.01	3.50	0.40	0.81	1.75	10.41	3.50	0.530	0.53	1.75	14.05	3.50	0.716	0.48
2.01	8.05	4.00	0.41	0.81	2.00	10.46	4.00	0.533	0.53	2.00	14.12	4.00	0.719	0.48
2.26	8.06	4.50	0.41	0.81	2.25	10.48	4.50	0.534	0.53	2.25	14.15	4.50	0.721	0.48
2.51	8.05	5.00	0.41	0.81	2.50	10.46	5.00	0.533	0.53	2.50	14.12	5.00	0.719	0.48
2.76	7.96	5.50	0.40	0.80	2.75	10.34	5.50	0.527	0.53	2.75	13.96	5.50	0.711	0.47
3.01	7.88	6.00	0.40	0.80	3.00	10.24	6.00	0.522	0.52	3.00	13.82	6.00	0.704	0.47
3.26	7.80	6.50	0.39	0.79	3.25	10.14	6.50	0.516	0.52	3.25	13.69	6.50	0.697	0.46
3.51	7.76	7.00	0.39	0.78	3.50	10.09	7.00	0.514	0.51	3.50	13.62	7.00	0.694	0.46
3.77	7.72	7.50	0.39	0.78	3.75	10.04	7.50	0.511	0.51	3.75	13.55	7.50	0.690	0.46
4.02	7.68	8.00	0.39	0.78	4.00	9.99	8.00	0.509	0.51	4.00	13.48	8.00	0.687	0.46
4.27	7.65	8.50	0.39	0.77	4.25	9.94	8.50	0.506	0.51	4.25	13.42	8.50	0.683	0.46
4.52	7.61	9.00	0.38	0.77	4.50	9.89	9.00	0.504	0.50	4.50	13.35	9.00	0.680	0.45
4.77	7.57	9.50	0.38	0.76	4.75	9.84	9.50	0.501	0.50	4.75	13.28	9.50	0.677	0.45
5.02	7.53	10.00	0.38	0.76	5.00	9.79	10.00	0.499	0.50	5.00	13.22	10.00	0.673	0.45
5.52	7.49	11.00	0.38	0.76	5.50	9.74	11.00	0.496	0.50	5.50	13.15	11.00	0.670	0.45
6.02	7.46	12.00	0.38	0.75	6.00	9.69	12.00	0.494	0.49	6.00	13.09	12.00	0.667	0.44
Esfuerzo de Corte Máximo: 0.407 Kg/cm2				Esfuerzo de Corte Máximo: 0.534 Kg/cm2				Esfuerzo de Corte Máximo: 0.721 Kg/cm2						



Resumen		
Nº	Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.41
II	1.00	0.53
III	1.50	0.72

Resultados	
Ø	17.39 Grados
C'	0.24 (Kg/m2)

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

TESIS: **METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA,**

RESISTAS:

BACH. FERNANDEZ SILVA JOSE ISMAEL

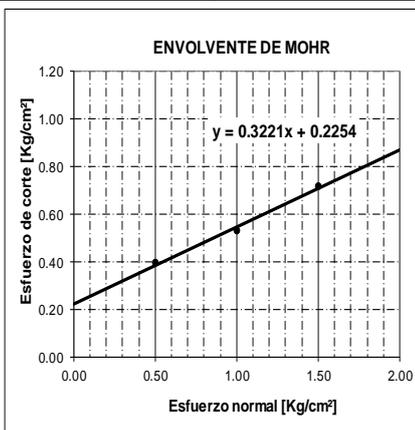
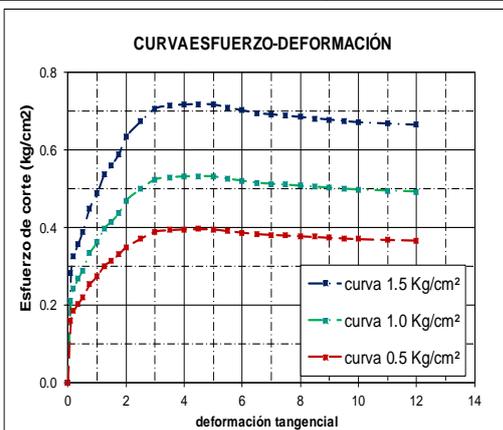
BACH. VASQUEZ DIAZ NASAR EMILIO

Fecha jul-1

Sondaje **SPT-02** Tipo de Suelo **SP-SC** Profundidad: **3.60** Estado: **Alterado** Velocidad: **0.25 mm/min**

NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO Nº 01		ENSAYO Nº 02		ENSAYO Nº 03	
1 Esfuerzo Normal	0.50	Kg/cm2	1.00	Kg/cm2	1.50	Kg/cm2
2 Peso del Anillo	70.52	g.	70.13	g.	70.77	g.
3 Diametro del Anillo	5.03	cm	5.01	cm	5.02	cm
4 Altura del Anillo (muestra de e	2.03	cm	1.94	cm	1.93	cm
5 Area del Anillo (muestra de e	19.87	cm2	19.71	cm2	19.79	cm2
6 Volumen del Anillo	40.34	cm3	38.24	cm3	38.20	cm3
7 Densidad humeda	1.86	g/cm3	1.90	g/cm3	1.89	g/cm3
8 Densidad seca	1.43	g/cm3	1.45	g/cm3	1.48	g/cm3
9 peso del agua	0.43	g.	0.46	g.	0.41	g.
10 Humedad	30.07	g.	31.49	g.	27.65	g.

ENSAYO Nº 01					ENSAYO Nº 02					ENSAYO Nº 03				
Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo
Deforma.	cutante	Deforma.	cutante	Normalizado	Deforma.	cutante	Deforma.	cutante	Normalizado	Deforma.	cutante	Deforma.	cutante	Normalizado
mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	3.17	0.10	0.16	0.32	0.05	4.15	0.10	0.211	0.21	0.05	5.59	0.10	0.282	0.19
0.10	3.64	0.20	0.18	0.37	0.10	4.77	0.20	0.242	0.24	0.10	6.42	0.20	0.324	0.22
0.18	4.00	0.35	0.20	0.40	0.18	5.25	0.35	0.266	0.27	0.18	7.06	0.35	0.356	0.24
0.25	4.34	0.50	0.22	0.44	0.25	5.68	0.50	0.288	0.29	0.25	7.64	0.50	0.386	0.26
0.38	5.01	0.75	0.25	0.50	0.38	6.56	0.75	0.333	0.33	0.38	8.89	0.75	0.449	0.30
0.50	5.42	1.00	0.27	0.55	0.50	7.10	1.00	0.360	0.36	0.50	9.63	1.00	0.486	0.32
0.63	5.97	1.25	0.30	0.60	0.63	7.81	1.25	0.396	0.40	0.63	10.59	1.25	0.535	0.36
0.75	6.24	1.50	0.31	0.63	0.75	8.17	1.50	0.414	0.41	0.75	11.07	1.50	0.559	0.37
0.88	6.56	1.75	0.33	0.66	0.88	8.59	1.75	0.436	0.44	0.88	11.64	1.75	0.588	0.39
1.01	6.92	2.00	0.35	0.70	1.00	9.24	2.00	0.469	0.47	1.00	12.52	2.00	0.633	0.42
1.26	7.35	2.50	0.37	0.74	1.25	9.82	2.50	0.498	0.50	1.26	13.30	2.50	0.672	0.45
1.51	7.72	3.00	0.39	0.78	1.50	10.31	3.00	0.523	0.52	1.51	13.97	3.00	0.706	0.47
1.76	7.80	3.50	0.39	0.78	1.75	10.41	3.50	0.528	0.53	1.76	14.11	3.50	0.713	0.48
2.01	7.84	4.00	0.39	0.79	2.00	10.46	4.00	0.531	0.53	2.01	14.17	4.00	0.716	0.48
2.26	7.84	4.50	0.39	0.79	2.25	10.47	4.50	0.531	0.53	2.26	14.19	4.50	0.717	0.48
2.52	7.84	5.00	0.39	0.79	2.51	10.46	5.00	0.531	0.53	2.51	14.17	5.00	0.716	0.48
2.77	7.75	5.50	0.39	0.78	2.76	10.34	5.50	0.525	0.52	2.76	14.01	5.50	0.708	0.47
3.02	7.67	6.00	0.39	0.77	3.01	10.24	6.00	0.519	0.52	3.01	13.88	6.00	0.701	0.47
3.27	7.59	6.50	0.38	0.76	3.26	10.14	6.50	0.514	0.51	3.26	13.74	6.50	0.694	0.46
3.52	7.56	7.00	0.38	0.76	3.51	10.09	7.00	0.512	0.51	3.51	13.67	7.00	0.691	0.46
3.77	7.52	7.50	0.38	0.76	3.76	10.04	7.50	0.509	0.51	3.77	13.60	7.50	0.687	0.46
4.02	7.48	8.00	0.38	0.75	4.01	9.99	8.00	0.507	0.51	4.02	13.53	8.00	0.684	0.46
4.28	7.44	8.50	0.37	0.75	4.26	9.94	8.50	0.504	0.50	4.27	13.47	8.50	0.680	0.45
4.53	7.41	9.00	0.37	0.75	4.51	9.89	9.00	0.502	0.50	4.52	13.40	9.00	0.677	0.45
4.78	7.37	9.50	0.37	0.74	4.76	9.84	9.50	0.499	0.50	4.77	13.33	9.50	0.674	0.45
5.03	7.33	10.00	0.37	0.74	5.01	9.79	10.00	0.497	0.50	5.02	13.27	10.00	0.670	0.45
5.53	7.30	11.00	0.37	0.73	5.51	9.74	11.00	0.494	0.49	5.52	13.20	11.00	0.667	0.44
6.04	7.26	12.00	0.37	0.73	6.01	9.69	12.00	0.492	0.49	6.02	13.14	12.00	0.664	0.44
Esfuerzo de Corte Máximo: 0.395 Kg/cm2					Esfuerzo de Corte Máximo: 0.531 Kg/cm2					Esfuerzo de Corte Máximo: 0.717 Kg/cm2				



Resumen		
Nº ENSAYO	Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.39
II	1.00	0.53
III	1.50	0.72

Resultados	
Ø	17.85 Grados
C'	0.225 (Kg/m2)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

TESIS:

METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROS.

TESISTAS:

BACH. FERNANDEZ SILVA JOSEISMAEL

BACH. VASQUEZZ DIAZ NASAR EMILIO

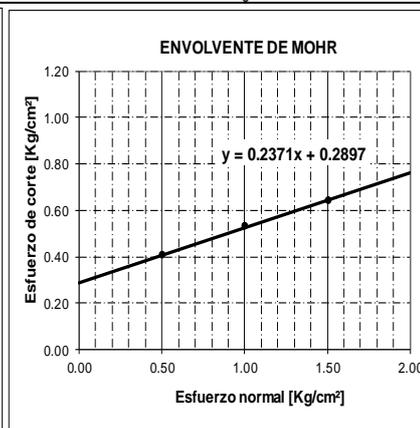
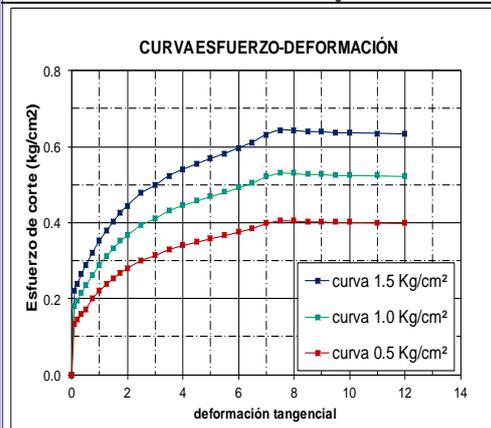
Fecha jul-19

Sondaje **SPT-03** Tipo de Suelo **SP-SC** Profundidad: **2.85** Estado: Alterado Velocidad: **0.25** mm/min

NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO N° 01		ENSAYO N° 02		ENSAYO N° 03	
1 Esfuerzo Normal	0.50	Kg/cm2	1.00	Kg/cm2	1.50	Kg/cm2
2 Peso del Anillo	70.52	g.	70.13	g.	70.77	g.
3 Diametro del Anillo	5.00	cm	5.02	cm	5.01	cm
4 Altura del Anillo (muestra de ε	2.03	cm	1.94	cm	1.93	cm
5 Area del Anillo (muestra de ε	19.63	cm2	19.79	cm2	19.71	cm2
6 Volumen del Anillo	39.86	cm3	38.40	cm3	38.05	cm3
7 Densidad humeda	1.88	g/cm3	1.90	g/cm3	1.91	g/cm3
8 Densidad seca	1.43	g/cm3	1.46	g/cm3	1.48	g/cm3
9 peso del agua	0.45	g.	0.44	g.	0.43	g.
10 Humedad	31.47	g.	30.49	g.	28.79	g.

ENSAYO N° 01					ENSAYO N° 02					ENSAYO N° 03				
Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo
Deforma.	cutante	Deforma.	cutante	Normalizado	Deforma.	cutante	Deforma.	cutante	Normalizado	Horiz.	cutante	Deforma.	cutante	Normalizado
mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.62	0.10	0.13	0.27	0.05	3.58	0.10	0.181	0.18	0.05	4.37	0.10	0.222	0.15
0.10	2.82	0.20	0.14	0.29	0.10	3.87	0.20	0.195	0.20	0.10	4.72	0.20	0.239	0.16
0.18	3.11	0.35	0.16	0.32	0.18	4.27	0.35	0.216	0.22	0.18	5.21	0.35	0.264	0.18
0.25	3.39	0.50	0.17	0.35	0.25	4.64	0.50	0.235	0.23	0.25	5.66	0.50	0.287	0.19
0.38	3.95	0.75	0.20	0.40	0.38	5.22	0.75	0.264	0.26	0.38	6.34	0.75	0.322	0.21
0.50	4.34	1.00	0.22	0.44	0.50	5.73	1.00	0.290	0.29	0.50	6.96	1.00	0.353	0.24
0.63	4.69	1.25	0.24	0.48	0.63	6.19	1.25	0.313	0.31	0.63	7.46	1.25	0.378	0.25
0.75	5.00	1.50	0.25	0.51	0.75	6.60	1.50	0.333	0.33	0.75	7.95	1.50	0.403	0.27
0.88	5.27	1.75	0.27	0.54	0.88	6.96	1.75	0.352	0.35	0.88	8.39	1.75	0.425	0.28
1.00	5.51	2.00	0.28	0.56	1.00	7.28	2.00	0.368	0.37	1.00	8.77	2.00	0.445	0.30
1.25	5.92	2.50	0.30	0.60	1.26	7.81	2.50	0.395	0.39	1.25	9.41	2.50	0.478	0.32
1.50	6.17	3.00	0.31	0.63	1.51	8.15	3.00	0.412	0.41	1.50	9.82	3.00	0.498	0.33
1.75	6.49	3.50	0.33	0.66	1.76	8.56	3.50	0.433	0.43	1.75	10.32	3.50	0.523	0.35
2.00	6.69	4.00	0.34	0.68	2.01	8.83	4.00	0.446	0.45	2.00	10.64	4.00	0.540	0.36
2.25	6.87	4.50	0.35	0.70	2.26	9.07	4.50	0.458	0.46	2.25	10.93	4.50	0.554	0.37
2.50	7.05	5.00	0.36	0.72	2.51	9.30	5.00	0.470	0.47	2.51	11.21	5.00	0.568	0.38
2.75	7.20	5.50	0.37	0.73	2.76	9.51	5.50	0.480	0.48	2.76	11.46	5.50	0.581	0.39
3.00	7.39	6.00	0.38	0.75	3.01	9.75	6.00	0.493	0.49	3.01	11.75	6.00	0.596	0.40
3.25	7.58	6.50	0.39	0.77	3.26	10.00	6.50	0.505	0.51	3.26	12.05	6.50	0.611	0.41
3.50	7.82	7.00	0.40	0.80	3.51	10.33	7.00	0.522	0.52	3.51	12.44	7.00	0.631	0.42
3.75	7.97	7.50	0.41	0.81	3.77	10.52	7.50	0.532	0.53	3.76	12.68	7.50	0.643	0.43
4.00	7.95	8.00	0.41	0.81	4.02	10.50	8.00	0.531	0.53	4.01	12.65	8.00	0.642	0.43
4.25	7.92	8.50	0.40	0.81	4.27	10.45	8.50	0.528	0.53	4.26	12.59	8.50	0.639	0.43
4.50	7.92	9.00	0.40	0.81	4.52	10.45	9.00	0.528	0.53	4.51	12.59	9.00	0.639	0.43
4.75	7.88	9.50	0.40	0.80	4.77	10.40	9.50	0.525	0.53	4.76	12.53	9.50	0.636	0.42
5.00	7.88	10.00	0.40	0.80	5.02	10.40	10.00	0.525	0.53	5.01	12.53	10.00	0.636	0.42
5.50	7.86	11.00	0.40	0.80	5.52	10.38	11.00	0.524	0.52	5.51	12.51	11.00	0.634	0.42
6.00	7.84	12.00	0.40	0.80	6.02	10.35	12.00	0.523	0.52	6.01	12.47	12.00	0.633	0.42

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.406 Kg/cm2 Esfuerzo de Corte Máximo: 0.532 Kg/cm2 Esfuerzo de Corte Máximo: 0.643 Kg/cm2



Resumen

N° ENSAYO	Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.41
II	1.00	0.53
III	1.50	0.64

Resultados

φ	13.34 Grados
C'	0.29 (Kg/m2)

TESIS:

**METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA,
BACH. FERNANDEZ SILVA JOSE ISMAEL**

TESISTAS:

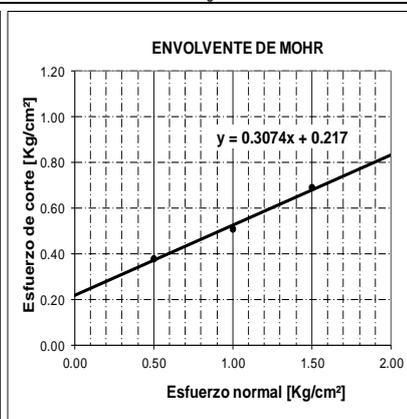
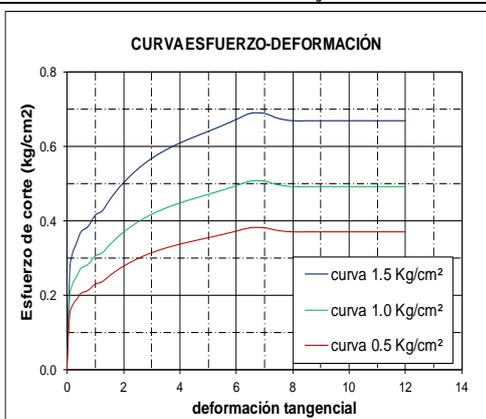
BACH. VASQUEZ DIAZ NASAR EMILIO

Fecha jul-19

Sondaje **SPT-04** Tipo de Suelo **SC** Profundidad: **3.60** Estado: **Alterado** Velocidad: **0.25 mm/min**

NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO Nº 01			ENSAYO Nº 02			ENSAYO Nº 03		
1 Esfuerzo Normal	0.50	Kg/cm2	1.00	1.50	Kg/cm2	1.50	Kg/cm2	1.50	Kg/cm2
2 Peso del Anillo	70.52	g.	70.13	g.	70.77	g.	70.77	g.	70.77
3 Diametro del Anillo	5.01	cm	5.00	cm	4.99	cm	4.99	cm	4.99
4 Altura del Anillo (muestra de e	2.03	cm	1.94	cm	1.93	cm	1.93	cm	1.93
5 Area del Anillo (muestra de ei	19.71	cm2	19.63	cm2	19.56	cm2	19.56	cm2	19.56
6 Volumen del Anillo	40.02	cm3	38.09	cm3	37.74	cm3	37.74	cm3	37.74
7 Densidad humeda	1.88	g/cm3	1.89	g/cm3	1.90	g/cm3	1.90	g/cm3	1.90
8 Densidad seca	1.45	g/cm3	1.47	g/cm3	1.48	g/cm3	1.48	g/cm3	1.48
9 peso del agua	0.43	g.	0.42	g.	0.42	g.	0.42	g.	0.42
10 Humedad	29.66	g.	28.57	g.	28.32	g.	28.32	g.	28.32

ENSAYO Nº 01					ENSAYO Nº 02					ENSAYO Nº 03				
Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo
Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado	Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado	Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado
mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.94	0.10	0.15	0.30	0.05	3.91	0.10	0.199	0.20	0.05	5.28	0.10	0.270	0.18
0.10	3.41	0.20	0.17	0.35	0.10	4.53	0.20	0.231	0.23	0.10	6.12	0.20	0.313	0.21
0.18	3.72	0.35	0.19	0.38	0.18	4.94	0.35	0.252	0.25	0.17	6.67	0.35	0.341	0.23
0.25	4.03	0.50	0.20	0.41	0.25	5.36	0.50	0.273	0.27	0.25	7.23	0.50	0.370	0.25
0.38	4.18	0.75	0.21	0.42	0.38	5.56	0.75	0.283	0.28	0.37	7.51	0.75	0.384	0.26
0.50	4.51	1.00	0.23	0.46	0.50	5.99	1.00	0.305	0.31	0.50	8.09	1.00	0.414	0.28
0.63	4.64	1.25	0.24	0.47	0.63	6.17	1.25	0.314	0.31	0.62	8.32	1.25	0.426	0.28
0.75	4.94	1.50	0.25	0.50	0.75	6.57	1.50	0.335	0.33	0.75	8.87	1.50	0.454	0.30
0.88	5.21	1.75	0.26	0.53	0.88	6.93	1.75	0.353	0.35	0.87	9.36	1.75	0.479	0.32
1.00	5.45	2.00	0.28	0.55	1.00	7.25	2.00	0.369	0.37	1.00	9.79	2.00	0.501	0.33
1.25	5.85	2.50	0.30	0.59	1.25	7.78	2.50	0.396	0.40	1.25	10.51	2.50	0.537	0.36
1.50	6.16	3.00	0.31	0.63	1.50	8.20	3.00	0.417	0.42	1.50	11.07	3.00	0.566	0.38
1.75	6.41	3.50	0.33	0.65	1.75	8.53	3.50	0.434	0.43	1.75	11.51	3.50	0.589	0.39
2.00	6.61	4.00	0.34	0.67	2.00	8.80	4.00	0.448	0.45	2.00	11.87	4.00	0.607	0.40
2.25	6.79	4.50	0.34	0.69	2.25	9.03	4.50	0.460	0.46	2.25	12.19	4.50	0.623	0.42
2.51	6.95	5.00	0.35	0.71	2.50	9.25	5.00	0.471	0.47	2.50	12.49	5.00	0.639	0.43
2.76	7.12	5.50	0.36	0.72	2.75	9.47	5.50	0.482	0.48	2.74	12.79	5.50	0.654	0.44
3.01	7.30	6.00	0.37	0.74	3.00	9.71	6.00	0.495	0.49	2.99	13.11	6.00	0.670	0.45
3.26	7.48	6.50	0.38	0.76	3.25	9.95	6.50	0.507	0.51	3.24	13.43	6.50	0.687	0.46
3.51	7.48	7.00	0.38	0.76	3.50	9.95	7.00	0.507	0.51	3.49	13.43	7.00	0.687	0.46
3.76	7.33	7.50	0.37	0.74	3.75	9.75	7.50	0.497	0.50	3.74	13.17	7.50	0.673	0.45
4.01	7.27	8.00	0.37	0.74	4.00	9.67	8.00	0.492	0.49	3.99	13.05	8.00	0.667	0.44
4.26	7.27	8.50	0.37	0.74	4.25	9.67	8.50	0.492	0.49	4.24	13.05	8.50	0.667	0.44
4.51	7.27	9.00	0.37	0.74	4.50	9.67	9.00	0.492	0.49	4.49	13.05	9.00	0.667	0.44
4.76	7.27	9.50	0.37	0.74	4.75	9.67	9.50	0.492	0.49	4.74	13.05	9.50	0.667	0.44
5.01	7.27	10.00	0.37	0.74	5.00	9.67	10.00	0.492	0.49	4.99	13.05	10.00	0.667	0.44
5.51	7.27	11.00	0.37	0.74	5.50	9.67	11.00	0.492	0.49	5.49	13.05	11.00	0.667	0.44
6.01	7.27	12.00	0.37	0.74	6.00	9.67	12.00	0.492	0.49	5.99	13.05	12.00	0.667	0.44
Esfuerzo de Corte Máximo: 0.379 Kg/cm2					Esfuerzo de Corte Máximo: 0.507 Kg/cm2					Esfuerzo de Corte Máximo: 0.687 Kg/cm2				



Resumen		
Nº ENSAYO	Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.38
II	1.00	0.51
III	1.50	0.69

Resultados	
ϕ	17.09 Grados
C'	0.217 (Kg/m2)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE

ESISTAS: BACH. FERNANDEZSILVA JOSE ISMAEL

jul-19

Sondaje **SPT-05** Tipo de Suelo **SC** Profundidad: Fecha **1.50** Estado: Alterado Velocidad: 0.25 mm/min

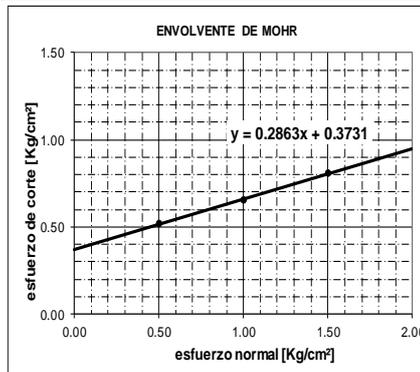
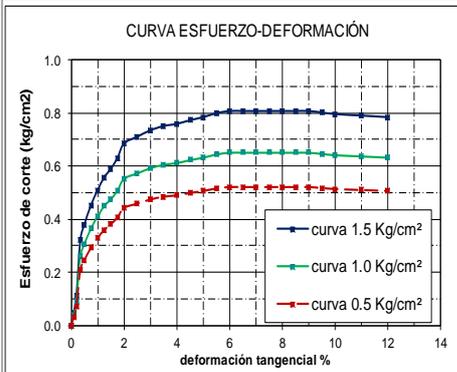
NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO Nº 01		ENSAYO Nº 02		ENSAYO Nº 03	
1 Esfuerzo Normal	0.50	Kg/cm2	1.00	Kg/cm2	1.50	Kg/cm2
2 Peso del Anillo	84.92	g.	70.13	g.	70.77	g.
3 Diametro del Anillo	4.99	cm	4.99	cm	4.99	cm
4 Altura del Anillo (muestra de ensayo)	2.03	cm	1.94	cm	1.93	cm
5 Area del Anillo (muestra de ensayo)	19.56	cm2	19.56	cm2	19.56	cm2
6 Volumen del Anillo	39.70	cm3	37.94	cm3	37.74	cm3
7 Densidad humeda	1.86	g/cm3	1.88	g/cm3	1.87	g/cm3
8 Densidad seca	1.49	g/cm3	1.46	g/cm3	1.48	g/cm3
9 peso del agua	0.37	g.	0.42	g.	0.39	g.
10 Humedad	24.83	g.	28.77	g.	26.35	g.

ENSAYO Nº 01					ENSAYO Nº 02					ENSAYO Nº 03				
Dial	%	Fuerza	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	%	Fuerza	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	%	Fuerza	Esfuerzo	Esfuerzo
Deforma.	Deforma.	contante	contante	Normalizado	Deforma.	Deforma.	contante	contante	Normalizado	Deforma.	Deforma.	contante	contante	Normalizado
mm.	mm.	Kg.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	mm.	Kg.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	mm.	Kg.	Kg/cm2	τ/σ
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.050	0.100	0.611	0.031	0.062	0.050	0.100	0.764	0.039	0.039	0.050	0.100	0.947	0.048	0.032
0.100	0.200	1.425	0.073	0.146	0.100	0.200	1.782	0.091	0.091	0.100	0.200	2.209	0.113	0.075
0.175	0.350	4.073	0.208	0.417	0.175	0.350	5.091	0.260	0.260	0.175	0.350	6.313	0.323	0.215
0.250	0.500	4.785	0.245	0.489	0.250	0.500	5.982	0.306	0.306	0.250	0.500	7.417	0.379	0.253
0.374	0.750	5.702	0.292	0.583	0.374	0.750	7.127	0.364	0.364	0.374	0.750	8.838	0.452	0.301
0.499	1.000	6.415	0.328	0.656	0.499	1.000	8.018	0.410	0.410	0.499	1.000	9.943	0.508	0.339
0.624	1.250	7.025	0.359	0.718	0.624	1.250	8.782	0.449	0.449	0.624	1.250	10.889	0.557	0.371
0.749	1.500	7.433	0.380	0.760	0.749	1.500	9.291	0.475	0.475	0.749	1.500	11.521	0.589	0.393
0.873	1.750	7.942	0.406	0.812	0.873	1.750	9.927	0.508	0.508	0.873	1.750	12.310	0.629	0.420
0.998	2.000	8.640	0.442	0.884	0.998	2.000	10.800	0.552	0.552	0.998	2.000	13.392	0.685	0.457
1.248	2.500	8.960	0.458	0.916	1.248	2.500	11.200	0.573	0.573	1.248	2.500	13.888	0.710	0.473
1.497	3.000	9.265	0.474	0.948	1.497	3.000	11.582	0.592	0.592	1.497	3.000	14.361	0.734	0.490
1.747	3.500	9.469	0.484	0.968	1.747	3.500	11.836	0.605	0.605	1.747	3.500	14.677	0.750	0.500
1.996	4.000	9.571	0.489	0.979	1.996	4.000	11.964	0.612	0.612	1.996	4.000	14.835	0.759	0.506
2.246	4.500	9.745	0.498	0.997	2.246	4.500	12.182	0.623	0.623	2.246	4.500	15.105	0.772	0.515
2.495	5.000	9.891	0.506	1.012	2.495	5.000	12.364	0.632	0.632	2.495	5.000	15.331	0.784	0.523
2.745	5.500	10.080	0.515	1.031	2.745	5.500	12.600	0.644	0.644	2.745	5.500	15.624	0.799	0.533
2.994	6.000	10.182	0.521	1.041	2.994	6.000	12.727	0.651	0.651	2.994	6.000	15.782	0.807	0.538
3.244	6.500	10.182	0.521	1.041	3.244	6.500	12.727	0.651	0.651	3.244	6.500	15.782	0.807	0.538
3.493	7.000	10.182	0.521	1.041	3.493	7.000	12.727	0.651	0.651	3.493	7.000	15.782	0.807	0.538
3.743	7.500	10.182	0.521	1.041	3.743	7.500	12.727	0.651	0.651	3.743	7.500	15.782	0.807	0.538
3.992	8.000	10.182	0.521	1.041	3.992	8.000	12.727	0.651	0.651	3.992	8.000	15.782	0.807	0.538
4.242	8.500	10.182	0.521	1.041	4.242	8.500	12.727	0.651	0.651	4.242	8.500	15.782	0.807	0.538
4.491	9.000	10.182	0.521	1.041	4.491	9.000	12.727	0.651	0.651	4.491	9.000	15.782	0.807	0.538
4.741	9.500	10.109	0.517	1.034	4.741	9.500	12.636	0.646	0.646	4.741	9.500	15.669	0.801	0.534
4.990	10.000	10.036	0.513	1.026	4.990	10.000	12.545	0.641	0.641	4.990	10.000	15.556	0.795	0.530
5.489	11.000	9.964	0.509	1.019	5.489	11.000	12.455	0.637	0.637	5.489	11.000	15.444	0.790	0.526
5.988	12.000	9.891	0.506	1.012	5.988	12.000	12.364	0.632	0.632	5.988	12.000	15.331	0.784	0.523

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.521

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.651

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.807



Resumen

Nº ENSAYO	Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.52
II	1.00	0.65
III	1.50	0.81

Resultados

Ø	15.98 Grados
C'	0.373 (Kg/m2)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

TESIS: METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA, LAMBAYEQUE 2019
BACH. FERNANDEZ SILVA JOSE ISMAEL
BACH. VASQUEZ DIAZ NASAR EMILIO

TESISTAS:

jul-19

Sondaje **SPT-06** Tipo de Suelo **SC** Profundidad: **1.50** Estado: Alterado Velocidad: 0.25 mm/min

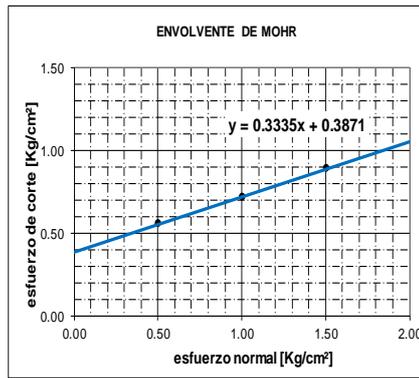
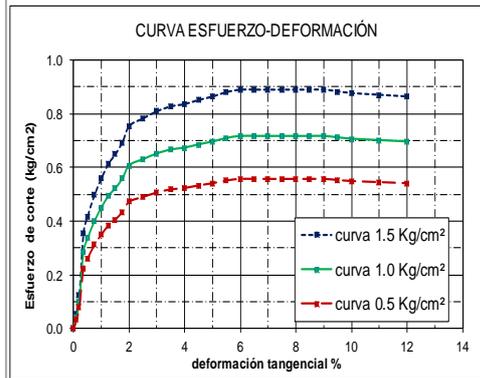
NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO Nº 01		ENSAYO Nº 02		ENSAYO Nº 03	
1 Esfuerzo Normal	0.50	Kg/cm2	1.00	Kg/cm2	1.50	Kg/cm2
2 Peso del Anillo	84.92	g.	70.13	g.	70.77	g.
3 Diametro del Anillo	4.99	cm	4.99	cm	4.99	cm
4 Altura del Anillo (muestra de ensayo)	2.03	cm	1.94	cm	1.93	cm
5 Area del Anillo (muestra de ensayo)	19.56	cm2	19.56	cm2	19.56	cm2
6 Volumen del Anillo	39.70	cm3	37.94	cm3	37.74	cm3
7 Densidad humeda	1.89	g/cm3	1.91	g/cm3	1.90	g/cm3
8 Densidad seca	1.41	g/cm3	1.45	g/cm3	1.48	g/cm3
9 peso del agua	0.48	g.	0.46	g.	0.42	g.
10 Humedad	34.04	g.	31.72	g.	28.38	g.

ENSAYO Nº 01					ENSAYO Nº 02					ENSAYO Nº 03				
Dial	%	Fuerza	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	%	Fuerza	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	%	Fuerza	Esfuerzo	Esfuerzo
Deforma.	Deforma.	cortante	cortante	Normalizado	Deforma.	Deforma.	cortante	cortante	Normalizado	Horiz.	Deforma.	cortante	cortante	Normalizado
mm.	mm.	Kg.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	mm.	Kg.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	mm.	Kg.	Kg/cm2	τ/σ
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.050	0.100	0.653	0.033	0.067	0.050	0.100	0.840	0.043	0.043	0.050	0.100	1.044	0.053	0.036
0.100	0.200	1.523	0.078	0.156	0.100	0.200	1.960	0.100	0.100	0.100	0.200	2.436	0.125	0.083
0.175	0.350	4.351	0.222	0.445	0.175	0.350	5.600	0.286	0.286	0.175	0.350	6.960	0.356	0.237
0.250	0.500	5.113	0.261	0.523	0.250	0.500	6.580	0.336	0.336	0.250	0.500	8.178	0.418	0.279
0.374	0.750	6.092	0.311	0.623	0.374	0.750	7.840	0.401	0.401	0.374	0.750	9.744	0.498	0.332
0.499	1.000	6.853	0.350	0.701	0.499	1.000	8.820	0.451	0.451	0.499	1.000	10.961	0.561	0.374
0.624	1.250	7.506	0.384	0.768	0.624	1.250	9.660	0.494	0.494	0.624	1.250	12.005	0.614	0.409
0.749	1.500	7.941	0.406	0.812	0.749	1.500	10.220	0.523	0.523	0.749	1.500	12.701	0.649	0.433
0.873	1.750	8.485	0.434	0.868	0.873	1.750	10.920	0.558	0.558	0.873	1.750	13.571	0.694	0.463
0.998	2.000	9.231	0.472	0.944	0.998	2.000	11.880	0.607	0.607	0.998	2.000	14.764	0.755	0.503
1.248	2.500	9.573	0.489	0.979	1.248	2.500	12.320	0.630	0.630	1.248	2.500	15.311	0.783	0.522
1.497	3.000	9.899	0.506	1.012	1.497	3.000	12.740	0.651	0.651	1.497	3.000	15.833	0.810	0.540
1.747	3.500	10.117	0.517	1.035	1.747	3.500	13.020	0.666	0.666	1.747	3.500	16.181	0.827	0.552
1.996	4.000	10.225	0.523	1.046	1.996	4.000	13.160	0.673	0.673	1.996	4.000	16.355	0.836	0.558
2.246	4.500	10.412	0.532	1.065	2.246	4.500	13.400	0.685	0.685	2.246	4.500	16.654	0.852	0.568
2.495	5.000	10.567	0.540	1.081	2.495	5.000	13.600	0.695	0.695	2.495	5.000	16.902	0.864	0.576
2.745	5.500	10.769	0.551	1.101	2.745	5.500	13.860	0.709	0.709	2.745	5.500	17.225	0.881	0.587
2.994	6.000	10.878	0.556	1.112	2.994	6.000	14.000	0.716	0.716	2.994	6.000	17.399	0.890	0.593
3.244	6.500	10.878	0.556	1.112	3.244	6.500	14.000	0.716	0.716	3.244	6.500	17.399	0.890	0.593
3.493	7.000	10.878	0.556	1.112	3.493	7.000	14.000	0.716	0.716	3.493	7.000	17.399	0.890	0.593
3.743	7.500	10.878	0.556	1.112	3.743	7.500	14.000	0.716	0.716	3.743	7.500	17.399	0.890	0.593
3.992	8.000	10.878	0.556	1.112	3.992	8.000	14.000	0.716	0.716	3.992	8.000	17.399	0.890	0.593
4.242	8.500	10.878	0.556	1.112	4.242	8.500	14.000	0.716	0.716	4.242	8.500	17.399	0.890	0.593
4.491	9.000	10.878	0.556	1.112	4.491	9.000	14.000	0.716	0.716	4.491	9.000	17.399	0.890	0.593
4.741	9.500	10.800	0.552	1.105	4.741	9.500	13.900	0.711	0.711	4.741	9.500	17.275	0.883	0.589
4.990	10.000	10.723	0.548	1.097	4.990	10.000	13.800	0.706	0.706	4.990	10.000	17.151	0.877	0.585
5.489	11.000	10.645	0.544	1.089	5.489	11.000	13.700	0.701	0.701	5.489	11.000	17.026	0.871	0.580
5.988	12.000	10.567	0.540	1.081	5.988	12.000	13.600	0.695	0.695	5.988	12.000	16.902	0.864	0.576

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.556

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.716

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.890



Resumen

Nº ENSAYO	Esfuerzo Normal (Kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.56
II	1.00	0.72
III	1.50	0.89

Resultados

ϕ	18.44 Grados
C'	0.387 (Kg/m2)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

TESIS:

METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA

TESISTAS:

BACH. FERNANDEZ SILVA JOSE

BACH. VASQUEZ DIAZ NASAR EMILIO

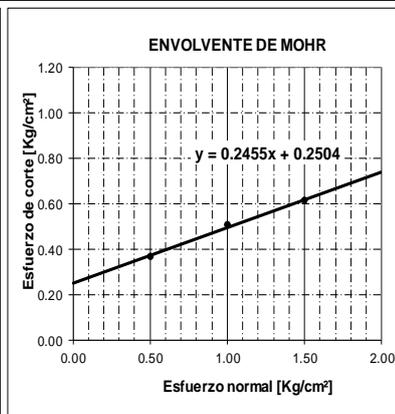
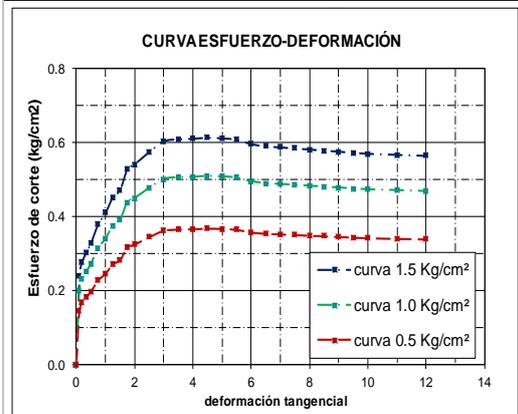
Fecha jul-19

Sondaje **SPT-07** Tipo de Suelo **SC** Profundidad: **1.95** Estado: Alterado Velocidad: 0.25 mm/min

NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03
1 Esfuerzo Normal	0.50 Kg/cm2	1.00 Kg/cm2	1.50 Kg/cm2
2 Peso del Anillo	70.52 g.	70.13 g.	70.77 g.
3 Diametro del Anillo	5.00 cm	5.00 cm	5.00 cm
4 Altura del Anillo (muestra de ε	2.03 cm	1.94 cm	1.93 cm
5 Area del Anillo (muestra de ε	19.63 cm2	19.63 cm2	19.63 cm2
6 Volumen del Anillo	39.86 cm3	38.09 cm3	37.90 cm3
7 Densidad humeda	1.90 g/cm3	1.91 g/cm3	1.89 g/cm3
8 Densidad seca	1.42 g/cm3	1.45 g/cm3	1.47 g/cm3
9 peso del agua	0.48 g.	0.47 g.	0.42 g.
10 Humedad	33.45 g.	32.18 g.	28.57 g.

ENSAYO Nº 01					ENSAYO Nº 02					ENSAYO Nº 03				
Dial Deforma.	Fuerza cortante Kg.	% Deforma.	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Esfuerzo Normalizado τ/σ	Dial Deforma.	Fuerza cortante Kg.	% Deforma.	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Esfuerzo Normalizado τ/σ	Dial Deforma.	Fuerza cortante Kg.	% Deforma.	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Esfuerzo Normalizado τ/σ
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.81	0.10	0.14	0.29	0.05	3.90	0.10	0.199	0.20	0.05	4.70	0.10	0.239	0.16
0.10	3.26	0.20	0.17	0.33	0.10	4.51	0.20	0.230	0.23	0.10	5.44	0.20	0.277	0.18
0.18	3.56	0.35	0.18	0.36	0.18	4.92	0.35	0.251	0.25	0.18	5.93	0.35	0.302	0.20
0.25	3.85	0.50	0.20	0.39	0.25	5.33	0.50	0.272	0.27	0.25	6.43	0.50	0.327	0.22
0.38	4.44	0.75	0.23	0.45	0.38	6.16	0.75	0.314	0.31	0.38	7.42	0.75	0.378	0.25
0.50	4.81	1.00	0.25	0.49	0.50	6.67	1.00	0.340	0.34	0.50	8.04	1.00	0.409	0.27
0.63	5.30	1.25	0.27	0.54	0.63	7.34	1.25	0.374	0.37	0.63	8.84	1.25	0.450	0.30
0.75	5.54	1.50	0.28	0.56	0.75	7.67	1.50	0.391	0.39	0.75	9.24	1.50	0.471	0.31
0.88	6.20	1.75	0.32	0.63	0.88	8.59	1.75	0.437	0.44	0.88	10.35	1.75	0.527	0.35
1.00	6.36	2.00	0.32	0.65	1.00	8.80	2.00	0.448	0.45	1.00	10.61	2.00	0.540	0.36
1.25	6.75	2.50	0.34	0.69	1.25	9.35	2.50	0.476	0.48	1.25	11.27	2.50	0.574	0.38
1.50	7.09	3.00	0.36	0.72	1.50	9.82	3.00	0.500	0.50	1.50	11.83	3.00	0.603	0.40
1.75	7.16	3.50	0.36	0.73	1.75	9.91	3.50	0.505	0.50	1.75	11.94	3.50	0.608	0.41
2.00	7.17	4.00	0.37	0.73	2.00	9.93	4.00	0.506	0.51	2.00	11.97	4.00	0.609	0.41
2.25	7.21	4.50	0.37	0.73	2.25	9.98	4.50	0.508	0.51	2.25	12.03	4.50	0.612	0.41
2.50	7.18	5.00	0.37	0.73	2.50	9.95	5.00	0.507	0.51	2.50	11.99	5.00	0.611	0.41
2.75	7.14	5.50	0.36	0.73	2.75	9.89	5.50	0.504	0.50	2.75	11.92	5.50	0.607	0.40
3.00	7.00	6.00	0.36	0.71	3.00	9.70	6.00	0.494	0.49	3.00	11.68	6.00	0.595	0.40
3.25	6.93	6.50	0.35	0.71	3.25	9.60	6.50	0.489	0.49	3.25	11.57	6.50	0.589	0.39
3.50	6.90	7.00	0.35	0.70	3.50	9.55	7.00	0.486	0.49	3.50	11.51	7.00	0.586	0.39
3.75	6.86	7.50	0.35	0.70	3.75	9.50	7.50	0.484	0.48	3.75	11.45	7.50	0.583	0.39
4.00	6.83	8.00	0.35	0.70	4.00	9.46	8.00	0.482	0.48	4.00	11.40	8.00	0.580	0.39
4.25	6.79	8.50	0.35	0.69	4.25	9.41	8.50	0.479	0.48	4.25	11.34	8.50	0.578	0.39
4.50	6.76	9.00	0.34	0.69	4.50	9.36	9.00	0.477	0.48	4.50	11.28	9.00	0.575	0.38
4.75	6.73	9.50	0.34	0.69	4.75	9.32	9.50	0.475	0.47	4.75	11.23	9.50	0.572	0.38
5.00	6.69	10.00	0.34	0.68	5.00	9.27	10.00	0.472	0.47	5.00	11.17	10.00	0.569	0.38
5.50	6.66	11.00	0.34	0.68	5.50	9.22	11.00	0.470	0.47	5.50	11.12	11.00	0.566	0.38
6.00	6.63	12.00	0.34	0.68	6.00	9.18	12.00	0.467	0.47	6.00	11.06	12.00	0.563	0.38

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.367 Kg/cm2 Esfuerzo de Corte Máximo: 0.508 Kg/cm2 Esfuerzo de Corte Máximo: 0.612 Kg/cm2



Resumen		
Nº ENSAYO	Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.37
II	1.00	0.51
III	1.50	0.61

Resultados	
Ø	13.79 Grados
C'	0.25 (Kg/m2)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

TESIS:

ASTM - D3080
METODO DE INYECCION DE MORTERO PARA MEJORAR SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES, SANTA ROSA

TESISTAS:

BACH. FERNANDEZ SILVA JOSE ISMAEL

BACH. VASQUEZ DIAZ NASAR EMILIO

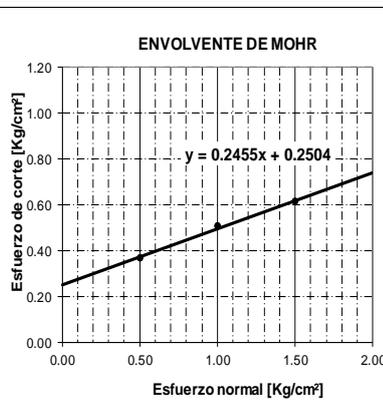
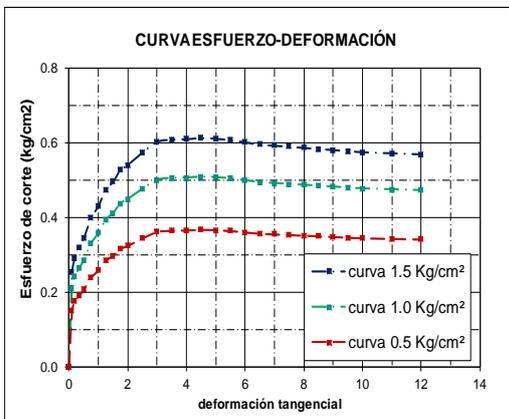
Fecha jul-

Sondaje **SPT-08** Tipo de Suelo **SC** Profundidad: **1.50** Estado: Alterado Velocidad: 0.25 mm/min

NUMERO DE ENSAYO	ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03
1 Esfuerzo Normal	0.50 Kg/cm2	1.00 Kg/cm2	1.50 Kg/cm2
2 Peso del Anillo	70.52 g.	70.13 g.	70.77 g.
3 Diametro del Anillo	5.00 cm	5.00 cm	5.00 cm
4 Altura del Anillo (muestra de e	2.03 cm	1.94 cm	1.93 cm
5 Area del Anillo (muestra de ei	19.63 cm2	19.63 cm2	19.63 cm2
6 Volumen del Anillo	39.86 cm3	38.09 cm3	37.90 cm3
7 Densidad humeda	1.89 g/cm3	1.93 g/cm3	1.90 g/cm3
8 Densidad seca	1.41 g/cm3	1.45 g/cm3	1.48 g/cm3
9 peso del agua	0.49 g.	0.49 g.	0.42 g.
10 Humedad	34.42 g.	33.77 g.	28.32 g.

ENSAYO Nº 01					ENSAYO Nº 02					ENSAYO Nº 03				
Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo	Dial	Fuerza	%	Esfuerzo	Esfuerzo
Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado	Deforma.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado	Horiz.	cortante	Deforma.	cortante	Normalizado
mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ	mm.	Kg.	mm.	Kg/cm2	τ/σ
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.96	0.10	0.15	0.30	0.05	4.10	0.10	0.209	0.21	0.05	4.94	0.10	0.252	0.17
0.10	3.43	0.20	0.17	0.35	0.10	4.75	0.20	0.242	0.24	0.10	5.73	0.20	0.292	0.19
0.18	3.74	0.35	0.19	0.38	0.18	5.18	0.35	0.264	0.26	0.18	6.25	0.35	0.318	0.21
0.25	4.05	0.50	0.21	0.41	0.25	5.62	0.50	0.286	0.29	0.25	6.77	0.50	0.345	0.23
0.38	4.68	0.75	0.24	0.48	0.38	6.48	0.75	0.330	0.33	0.38	7.81	0.75	0.398	0.27
0.50	5.07	1.00	0.26	0.52	0.50	7.02	1.00	0.358	0.36	0.50	8.46	1.00	0.431	0.29
0.63	5.58	1.25	0.28	0.57	0.63	7.72	1.25	0.393	0.39	0.63	9.30	1.25	0.474	0.32
0.75	5.83	1.50	0.30	0.59	0.75	8.07	1.50	0.411	0.41	0.75	9.73	1.50	0.495	0.33
0.88	6.20	1.75	0.32	0.63	0.88	8.59	1.75	0.437	0.44	0.88	10.35	1.75	0.527	0.35
1.00	6.36	2.00	0.32	0.65	1.00	8.80	2.00	0.448	0.45	1.00	10.61	2.00	0.540	0.36
1.25	6.75	2.50	0.34	0.69	1.25	9.35	2.50	0.476	0.48	1.25	11.27	2.50	0.574	0.38
1.50	7.09	3.00	0.36	0.72	1.50	9.82	3.00	0.500	0.50	1.50	11.83	3.00	0.603	0.40
1.75	7.16	3.50	0.36	0.73	1.75	9.91	3.50	0.505	0.50	1.75	11.94	3.50	0.608	0.41
2.00	7.17	4.00	0.37	0.73	2.00	9.93	4.00	0.506	0.51	2.00	11.97	4.00	0.609	0.41
2.25	7.21	4.50	0.37	0.73	2.25	9.98	4.50	0.508	0.51	2.25	12.03	4.50	0.612	0.41
2.50	7.18	5.00	0.37	0.73	2.50	9.95	5.00	0.507	0.51	2.50	11.99	5.00	0.611	0.41
2.75	7.14	5.50	0.36	0.73	2.75	9.89	5.50	0.504	0.50	2.75	11.92	5.50	0.607	0.40
3.00	7.07	6.00	0.36	0.72	3.00	9.79	6.00	0.499	0.50	3.00	11.80	6.00	0.601	0.40
3.25	7.00	6.50	0.36	0.71	3.25	9.70	6.50	0.494	0.49	3.25	11.68	6.50	0.595	0.40
3.50	6.97	7.00	0.35	0.71	3.50	9.65	7.00	0.491	0.49	3.50	11.62	7.00	0.592	0.39
3.75	6.93	7.50	0.35	0.71	3.75	9.60	7.50	0.489	0.49	3.75	11.57	7.50	0.589	0.39
4.00	6.90	8.00	0.35	0.70	4.00	9.55	8.00	0.486	0.49	4.00	11.51	8.00	0.586	0.39
4.25	6.86	8.50	0.35	0.70	4.25	9.50	8.50	0.484	0.48	4.25	11.45	8.50	0.583	0.39
4.50	6.83	9.00	0.35	0.70	4.50	9.46	9.00	0.482	0.48	4.50	11.39	9.00	0.580	0.39
4.75	6.79	9.50	0.35	0.69	4.75	9.41	9.50	0.479	0.48	4.75	11.34	9.50	0.577	0.38
5.00	6.76	10.00	0.34	0.69	5.00	9.36	10.00	0.477	0.48	5.00	11.28	10.00	0.575	0.38
5.50	6.73	11.00	0.34	0.69	5.50	9.32	11.00	0.474	0.47	5.50	11.23	11.00	0.572	0.38
6.00	6.69	12.00	0.34	0.68	6.00	9.27	12.00	0.472	0.47	6.00	11.17	12.00	0.569	0.38

Esfuerzo de Corte Máximo: 0.367 Kg/cm2 Esfuerzo de Corte Máximo: 0.508 Kg/cm2 Esfuerzo de Corte Máximo: 0.612 Kg/cm2



Resumen		
Nº ENSAYO	Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Esf. corte Máximo (Kg/cm2)
I	0.50	0.37
II	1.00	0.51
III	1.50	0.61

Resultados	
Ø	13.79 Grados
C'	0.25 (Kg/m2)