

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN DEL
MATERIAL DE RELAVE EN LA PRESA ZONA
NORTE EN LA MINA COBRIZA - PERÚ**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**Bach. PUMA CANCHANYA MIGUEL ANGEL
Bach. RINCON PANTOJA PABLO ESTEBAN**

ASESOR: Mg. Ing. MARCO HERNANDEZ AGUILAR

LIMA - PERÚ

AÑO: 2015

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada en primer lugar a Dios por darnos esta fuerza espiritual para seguir adelante en nuestras vidas profesionales, en segundo lugar a nuestros padres por su amor, comprensión y apoyo incondicional, gracias a ellos hemos logrado culminar esta tesis de investigación, sin ustedes este sueño nunca hubiera podido ser completado.

Miguel A. Puma Canchanya

Esta tesis está dedicada a mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí, asimismo a mis hermanos y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindan día a día durante toda mi vida académica profesional

Pablo E. Rincon Pantoja

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que aportaron de forma directa e indirecta a la realización de este trabajo a través de sus comentarios, información técnica y contactos personales.

Un especial agradecimiento a nuestro asesor, Ing. Marco Hernández Aguilar por el asesoramiento, opiniones, críticas, tiempo dedicado al desarrollo de nuestra tesis e incalculable respaldo para que sea realizado.

ÍNDICE GENERAL		Pág.
Resumen		xxx
Abstract		xxxi
Introducción		1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		
1.1. Descripción de la realidad problemática		5
1.2. Formulación del problema		5
1.2.1. Problema principal		5
1.2.2. Problema específico		6
1.3. Objetivo de la investigación		6
1.3.1. Objetivo principal		6
1.3.2. Objetivo específico		6
1.4. Justificación de la investigación		6
1.5. Limitaciones de la investigación		7
1.6. Viabilidad de la investigación		7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		
2.1. Antecedentes de la investigación		8
2.1.1. En el ámbito internacional		8
2.1.2. En el ámbito nacional		22
2.2. Bases teóricas		27
2.2.1. Definiciones conceptuales		27
2.2.2. Formulación de hipótesis		30
2.2.2.1. Hipótesis principal		30
2.2.2.2. Hipótesis específicas		30
2.2.3. Variables		30
2.2.3.1. Variable independiente		30
2.2.3.2. Variable dependiente		30
2.2.4. Operacionalización de las variables		31
2.3. Fenómeno de licuación de suelos		36
2.3.1. Introducción		36

2.3.2. Definición de Fenómeno de licuación de suelos	36
2.3.3. Comportamiento de suelos durante la licuación	38
2.3.3.1. Flujo de licuación	39
2.3.3.2. Movilidad Cíclica	39
2.3.4. Condición Geotécnicas para el desarrollo	40
2.3.4.1. Condiciones sísmicas	40
2.3.4.2. Condiciones geológicas y geotécnicas	41
2.3.4.3. Condiciones de nivel freático	43
2.3.5. Efectos ocasionados por la licuación	44
2.4. Análisis del peligro sísmico	48
2.4.1. Historia sísmica del área de influencia	48
2.4.2. Distribución espacial de los sismos	50
2.4.3. Estudio sísmico Probabilístico	54
2.4.4. Fundamento de análisis del peligro sísmico	54
2.4.5. Evaluación de fuentes sismogénicas	55
2.4.6. Análisis estadístico de recurrencia	56
2.4.7. Ley de atenuación	58
2.5. Potencial de licuación evaluado por método semi-empírico propuesto por Seed and Idriss, presentado por Youd et al (2001)	62
2.5.1. Antecedentes	62
2.5.2. Tensión vertical total " σ_v " y tensión vertical efectiva " σ'_v "	63
2.5.3. Factor de corrección para el cálculo del C_{70}	65
2.5.4. Valor normalizado del SPT " $(N_1)_{70}$ "	69
2.5.5. Resistencia promedio a la licuefacción " N_{70cf} " mediante la corrección de contenido de finos	69
2.5.6. Factor de reducción de tensión " r_d "	70
2.5.7. Relación de tensiones cíclica (CSR) y la relación de resistencia cíclica (CRR)	71
2.5.7.1. Relación de tensiones cíclicas (CSR)	71
2.5.7.2. Relación de resistencia cíclica (CRR)	75
2.5.8. Factor de escala de magnitud	76
2.5.9. Factor de seguridad de licuación (CRR/CSR)	77

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipos y nivel de la investigación	79
3.2. Método y diseño de la investigación	79
3.3. Población y muestra	80
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos	81
3.5. Análisis y presentación de resultados	81

CAPÍTULO IV. CONDICIONES ACTUALES DE LA ZONA EN ESTUDIO

4.1. Descripción del área del proyecto y entorno	82
4.1.1. Ubicación	82
4.1.2. Centros poblados cercanos	84
4.2. Ambiente físico	85
4.2.1. Temperatura	85
4.2.2. Humedad	85
4.2.3. Evaporación	85
4.2.4. Precipitación	85
4.2.5. Geología	86
4.2.6. Hidrología	86
4.2.7. Sismicidad	87
4.2.8. Suelos	87
4.2.9. Aguas superficial	87
4.2.10. Aguas subterránea	88
4.2.11. Geoquímica	89
4.3. Condición inicial antes de construir la presa norte	89
4.4. Estudio de estabilidad elevación de presa norte (Marzo-2006)	92
4.5. Análisis de estabilidad global depósito de relaves zona Norte expansión - cobriza (Junio-2006)	97
4.6. Estudio geotécnico para la elevación final presa norte (Marzo-2007)	101

4.7. Evaluación del peligro sísmico	109
4.7.1. Evaluación de fuentes sismogenicas	110
4.7.2. Determinación del peligro sísmico	112
4.7.3. Estudio sísmico determinístico	114
4.7.3.1. Sismo Extremo	115
4.7.3.2. Sismo de diseño	117

CAPÍTULO V. ESTUDIO DEL MATERIAL DE DEPÓSITO DE RELAVE

5.1. Investigación de campo	118
5.2. Ensayos de penetración estándar SPT	120
5.2.1. Equipos utilizados	124
5.2.2. Resumen de los trabajos	125
5.2.3. Registro general de los trabajos ejecutados	125
5.3. Sondeo para control de humedad	144
5.3.1. Memoria descriptiva de los sondajes	147
5.3.2. Registro general de los trabajos ejecutados	148
5.4. Pruebas de laboratorio	155
5.4.1. Generalidades	155
5.4.2. Análisis Granulométrico	156
5.4.3. Limites Atterberg	158
5.4.4. Contenido de humedad natural	159
5.4.5. Densidad natural o Peso unitario volumétrico	161
5.4.6. Ensayo de corte directo	162
5.4.7. Ensayo de compresión triaxial tipo no consolidado – no drenado (UU)	164
5.4.8. Ensayo de permeabilidad pared flexible	164

CAPÍTULO VI. EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE LICUACIÓN DE DÉPOSITO DE RELAVE SEGÚN LA METODOLOGÍA DE SEED AND IDRIS, PRESENTADO POR YOUD ET AL (2001)	
6.1. Cálculo de la tensión vertical total " σ_v " y tensión vertical efectiva " σ'_v "	166
6.2. Cálculo del factor de corrosión de influencia de la tapa del suelo " C_N "	178 189
6.3. Cálculo del valor normalizado del SPT " N_{70} "	
6.4. Cálculo de la resistencia promedio a la licuefacción " N_{70cf} " mediante la corrección de contenido de finos	201 212
6.5. Cálculo del factor de reducción de tensión " R_d "	
6.6. Cálculo de la relación de tensiones cíclica (CSR) y la relación de resistencia cíclica (CRR)	213
6.7. Cálculo del factor de seguridad de licuación (CRR/CSR)	225
CAPÍTULO VII. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	
7.1. Análisis e interpretación de los resultados	239
7.2. Resultados de la investigación	240
7.3. Contratación de hipótesis	308
7.4. Discusión	309
CONCLUSIONES	312
RECOMENDACIONES	315
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	316

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 01	Asentamiento e inclinación de edificio ocasionado por licuación de suelos. Sismo de Niigata, Japón. 16 de junio de 1964.	11
Figura 02	Vista del fondo del terreno de departamentos KAWAGISHI-CHO localizado en Niigata, Japón, el edificio sufrió falla por capacidad de carga inducida por la licuación durante el sino de Niigata del 16 de junio de 1964.	11
Figura 03	Efecto de la licuación es el desplazamiento lateral de un suelo con arena y arcilla. Las casas se deslizaron una distancia aproximada de 150m y el nivel del terreno bajo a 11m en la localidad de Tumagain Heihts en Anchorage.	12
Figura 04	Presa baja de San Fernando antes y después del colapso por el terremoto de 1971.	13
Figura 05	El terremoto de loma prieta en U.S después del colapso por el terremoto de 1989.	14
Figura 06	Asentamiento por punzonamiento limitado por licuación debido a encontrarse en un suelo de relleno con arena y nivel freático alto en el distrito de marina.	15
Figura 07	Desplazamiento lateral debido a licuación de suelos, ocasionó el hundimiento de 1.2- 2.00 metros de la superficie del pavimento y flujo local. Sismo del KOBE 1995.	17
Figura 08	Desplazamiento lateral del muro de retención debido a licuación de suelos durante el sismo de KOBE de 1995. Debido a que el muro de retención fue movido hacia afuera, la superficie del terreno se hundió.	17

Figura 09	Colapso de un tramo del puente NISHIHOMIYA, debido al desplazamiento lateral de los muros de apoyo durante el sismo de KOBE, 1995.	16
Figura 10	Edificación que se volcó debido a la licuación que indujo pérdida de la capacidad portante debajo de la cimentación tipo losa.	17
Figura 11	Daños del terremoto en condado de Taichung 21 de setiembre de 1999.	18
Figura 12	Una casa danneggiata nell'isola di Leucade.	19
Figura 13	Situación donde tuvo el viaducto se derrumbó por problemas de licuación.	20
Figura 14	Falla del terreno del borde costero producto de la licuación del terreno en el borde cortero	21
Figura 15	Falla de los pilotes producto de la licuación del terreno en el borde cortero	22
Figura 16	Asentamiento y fisura-miento de carreteras asfaltadas en el oeste de Chimbote debido a licuación y desplazamiento lateral de depósitos lagunares y de playa. Sismo del 31 de mayo de 1970.	23
Figura 17	Detalles de subsidencia de la carretera durante el sismo de 1990. (Alva y Chang.2003).	24
Figura 18	Daño a la escuela de TAHUISHCO debido a asentamiento diferencial y agrietamiento del terreno debido a licuación.	25
Figura 19	Detalles de subsidencia de la panamericana sur durante el sismo de Ica en el 2007.	26
Figura 20	Ejemplo esquemático del flujo por licuación induciendo inestabilidad. (R.B. Seed et al., 2003).	45
Figura 21	Ejemplo esquemático de la movilidad cíclica induciendo traslación (R.B. Seed et al., 2003).	46

Figura 22	Ejemplo esquemático de la movilidad cíclica induciendo desplazamiento verticales (R.B. Seed et al., 2003).	48
Figura 23	Curva Isosista referente a los sismos de los años 1971 (E. Deza 1971).	49
Figura 24	Curvas Isosista referente al sismo del año 1993 (P. Huaco y Zamudio 1993).	49
Figura 25	Fuentes sismogénicas superficiales y continentales	52
Figura 26	Fuentes sismogénicas intermedias y profundas	53
Figura 27	Ley de atenuación para terremotos de subducción	59
Figura 28	Ley de atenuación para terremotos continentales.	61
Figura 29	Ejemplo esquemático del cálculo de la tensión total y tensión efectiva.	64
Figura 30	Relación de la densidad de la masa de suelo granular y la deformación.	65
Figura 31	Condiciones asumidas para derivar la ecuación CSR del terremoto (Day, 2002).	72
Figura 32	Vista panorámica de la Zona Norte, se aprecia la presa de relaves con sus ampliaciones, el dique de refuerzo y el relleno que influyen en el talud natural hacia el Rio Mantaro.	82
Figura 33	Ubicación Geográfica del depósito de relave Zona Norte en mina cobriza	83
Figura 34	Mapa provincial de Churcampá, Junín – Perú	84
Figura 35	Zona Norte en octubre del 2005 antes de la construcción de la presa	90
Figura 36	Vista de la condición de la zona norte antes de la construcción de la presa	91
Figura 37	Vista Frontal de dique que se viene conformando a 40m del dique de inicial de relaves.	92
Figura 38	Vista dique de relave inicial de la presa norte	93

Figura 39	Secuencia del equipo SPT y recuperación de muestra con la caña partida	94
Figura 40	Secuencia de los trabajos de resistencia con el DPL	96
Figura 41	Dique intermedio que se viene construyendo para la ampliación de la presa de relaves	98
Figura 42	Zona del botadero que se viene conformando un terraplén de soporte al dique de la presa	98
Figura 43	Zona del botadero que ha permitido conformar un terraplén de 24m de altura apoyando en el dique de refuerzo a la presa norte	99
Figura 44	Zona del botadero con un relleno de 24m, sobre el terreno natural de la Zona Norte y que influye sobre el talud hacia el rio Mantaro	99
Figura 45	Vista del dique de relave frontal que se viene elevando hasta alcanzar al dique intermedio	102
Figura 46	Vista del dique de relave en la parte frontal que se viene elevando hasta homogenizar con el dique interior.	102
Figura 47	Zona del relave drenado en la zona del espesador que es llevado para la conformación del dique en la presa norte.	103
Figura 48	Dique de relave que se viene elevando hasta alcanzar al dique intermedio en la presa norte.	104
Figura 49	Depósito de relave zona norte donde se nota que el relave a drenado debido que no recibe relave desde julio del 2006.	104
Figura 50	Toma de muestras representativas del material de relave drenado que es utilizado para la conformación del dique.	106
Figura 51	Procedimiento de prueba del ensayo SPT dentro del depósito de relaves en la presa Norte.	107

Figura 52	Procedimiento de recuperación de muestra con la caña partida después de evaluar la resistencia del relave, colocándose de forma secuencial dentro de la caja porta testigo.	108
Figura 53	Uso de la posteadora manual tipo AUGER para recuperar muestras de forma continua y para alcanzar el inicio del ensayo de resistencia SPT.	121
Figura 54	Forma de obtención de las muestras con la caña partida que es colocado en las cajas porta testigo para sus ensayos de laboratorio.	122
Figura 55	Secuencia de recuperación de muestra con la posteadora manual y caña partida del SPT para control de humedad con la profundidad	145

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 01	Tabla de operacionalización de las variables	31
Tabla 02	Factores de corrección para los valores de N medidos en el SPT (Youd et al., 1997).	66
Tabla 03	Valores de los factores de escala definidos por varios investigadores (Youd et al., 1997).	77
Tabla 04	Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas.	110
Tabla 05	Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas.	111
Tabla 06	Aceleraciones máximas esperadas (% g).	113
Tabla 07	Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 01	127
Tabla 08	Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 02	129
Tabla 09	Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 03	132
Tabla 10	Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 04	135
Tabla 11	Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 05	138
Tabla 12	Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 06	142
Tabla 13	Cuadro de resultados obtenidos del análisis granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 01	156

Tabla 14	Cuadro de resultados obtenidos del análisis granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 02	157
Tabla 15	Cuadro de resultados obtenidos del análisis granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 03	157
Tabla 16	Cuadro de resultados obtenidos del análisis granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 04	157
Tabla 17	Cuadro de resultados obtenidos del análisis granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 05	158
Tabla 18	Cuadro de resultados obtenidos del análisis granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 06	158
Tabla 19	Cuadro de resultados obtenidos de límites atterberg de las muestras en los ensayos SPT's	159
Tabla 20	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad de la muestra en el ensayo SPT 01.	160
Tabla 21	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad de la muestra en el ensayo SPT 02.	160
Tabla 22	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad de la muestra en el ensayo SPT 03.	160
Tabla 23	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad de la muestra en el ensayo SPT 04.	161
Tabla 24	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad de la muestra en el ensayo SPT 05.	161
Tabla 25	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad de la muestra en el ensayo SPT 06.	161
Tabla 26	Cuadro de resultados obtenidos de densidad natural de las muestras en las calicatas	162
Tabla 27	Cuadro de resultados de los parámetros de resistencia en el ensayo corte directo de las muestras en las calicatas	163
Tabla 28	Cuadro de resultados de los parámetros de resistencia residual en el ensayo corte directo de las muestras en las calicatas	163

Tabla 29	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo de compresión triaxial no consolidado de las muestras en las calicatas	164
Tabla 30	Cuadro de resultados obtenidos del ensayo permeabilidad pared flexible de las muestras en las calicatas	165
Tabla 31	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 01 considerando un NF +0.00.	166
Tabla 32	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 02 considerando un NF +0.00.	166
Tabla 33	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 03 considerando un NF +0.00.	167
Tabla 34	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 04 considerando un NF +0.00.	168
Tabla 35	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 05 considerando un NF +0.00.	169
Tabla 36	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 06 considerando un NF +0.00.	169
Tabla 37	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 01 considerando un NF -2.00	170
Tabla 38	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 02 considerando un NF -2.00	171

Tabla 39	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 03 considerando un NF -2.00	171
Tabla 40	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 04 considerando un NF -2.00	172
Tabla 41	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 05 considerando un NF -2.00	173
Tabla 42	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 06 considerando un NF -2.00	173
Tabla 43	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 01, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	174
Tabla 44	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 02, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	175
Tabla 45	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 03, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	175
Tabla 46	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 04, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	176
Tabla 47	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 05, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	177
Tabla 48	Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 06, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	177
Tabla 49	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01, considerando un NF +0.00	178

Tabla 50	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02, considerando un NF +0.00	179
Tabla 51	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03, considerando un NF +0.00	179
Tabla 52	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 04, considerando un NF +0.00	180
Tabla 53	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05, considerando un NF +0.00	181
Tabla 54	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 06, considerando un NF +0.00	181
Tabla 55	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01, considerando un NF -2.00	182
Tabla 56	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02, considerando un NF -2.00	182
Tabla 57	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03, considerando un NF -2.00	183
Tabla 58	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 04, considerando un NF -2.00	184
Tabla 59	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05, considerando un NF -2.00	184
Tabla 60	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 06, considerando un NF -2.00	185
Tabla 61	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	186
Tabla 62	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	186
Tabla 63	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	187
Tabla 64	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 04, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	187
Tabla 65	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	188

Tabla 66	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 06, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	189
Tabla 67	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01, considerando un NF +0.00.	190
Tabla 68	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02, considerando un NF +0.00.	190
Tabla 69	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03 y 04, considerando un NF +0.00.	191
Tabla 70	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05 y 06, considerando un NF +0.00.	192
Tabla 71	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01 y 02, considerando un NF -2.00.	193
Tabla 72	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03 y 04, considerando un NF -2.00.	194
Tabla 73	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05 y 06, considerando un NF -2.00.	195
Tabla 74	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	197
Tabla 75	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	197
Tabla 76	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	198
Tabla 77	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 04 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	199
Tabla 78	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	199
Tabla 79	Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 06 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	200
Tabla 80	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 01, considerando un NF +0.00	201
Tabla 81	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 02, considerando un NF +0.00	202

Tabla 82	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 03, considerando un NF +0.00	202
Tabla 83	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 04, considerando un NF +0.00	203
Tabla 84	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 05 y 06, considerando un NF +0.00	204
Tabla 85	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 01 y 02 considerando un NF +0.00	205
Tabla 86	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 03 considerando un NF +0.00	206
Tabla 87	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 04 considerando un NF +0.00	207
Tabla 88	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 05 y 06 considerando un NF +0.00	207
Tabla 89	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 01 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	208
Tabla 90	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 02 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	209
Tabla 91	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 03 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	210
Tabla 92	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 04 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	210
Tabla 93	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 05 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	211
Tabla 94	Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 06 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g	212
Tabla 95	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 01 considerando un NF +0.00	213
Tabla 96	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 02 considerando un NF +0.00	214
Tabla 97	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 03 considerando un NF +0.00	214

Tabla 98	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 04 considerando un NF +0.00	215
Tabla 99	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 05 considerando un NF +0.00	216
Tabla 100	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 06 considerando un NF +0.00	216
Tabla 101	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 01 considerando NF -2.00	217
Tabla 102	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 02 considerando NF -2.00	217
Tabla 103	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 03 considerando NF -2.00	218
Tabla 104	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 04 considerando NF -2.00	219
Tabla 105	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 05 considerando NF -2.00	219
Tabla 106	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 06 considerando NF -2.00	220
Tabla 107	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 01 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	221
Tabla 108	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 02 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	221
Tabla 109	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 03 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	222
Tabla 110	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 04 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	223
Tabla 111	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 05 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	223
Tabla 112	Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 06 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	224

Tabla 113	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 01 considerando NF +0.00	225
Tabla 114	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 02 considerando NF +0.00	226
Tabla 115	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 03 considerando NF +0.00	227
Tabla 116	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 04 considerando NF +0.00	227
Tabla 117	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 05 considerando NF +0.00	228
Tabla 118	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 06 considerando NF +0.00	229
Tabla 119	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 01 considerando NF -2.00	230
Tabla 120	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 02 considerando NF -2.00	230
Tabla 121	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 03 considerando NF -2.00	231
Tabla 122	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 04 considerando NF -2.00	232
Tabla 123	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 05 considerando NF -2.00	233
Tabla 124	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 06 considerando NF -2.00	234
Tabla 125	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 01 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	234
Tabla 126	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 02 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	235

Tabla 127	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 03 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	236
Tabla 128	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 04 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	236
Tabla 129	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 05 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	237
Tabla 130	Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 06 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g	238
Tabla 131	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 01 para una aceleración de 0.27g.	241
Tabla 132	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 02 para una aceleración de 0.27g.	244
Tabla 133	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 03 para una aceleración de 0.27g.	248
Tabla 134	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 04 para una aceleración de 0.27g.	252
Tabla 135	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 05 para una aceleración de 0.27g.	256
Tabla 136	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 06 para una aceleración de 0.27g.	260

Tabla 137	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 01 para una aceleración de 0.27g	263
Tabla 138	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 02 para una aceleración de 0.27g	266
Tabla 139	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 03 para una aceleración de 0.27g	270
Tabla 140	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 04 para una aceleración de 0.27g	274
Tabla 141	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 05 para una aceleración de 0.27g	278
Tabla 142	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 05 para una aceleración de 0.27g	282
Tabla 143	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 01 para una aceleración de 0.10g	285
Tabla 144	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 02 para una aceleración de 0.10g	289
Tabla 145	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 03 para una aceleración de 0.10g	294
Tabla 146	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 04 para una aceleración de 0.10g	298

Tabla 147	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 05 para una aceleración de 0.10g	302
Tabla 148	Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 06 para una aceleración de 0.10g	306

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 01	Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 01	128
Gráfico 02	Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 02	131
Gráfico 03	Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 03	134
Gráfico 04	Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 04	137
Gráfico 05	Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 05	140
Gráfico 06	Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 06	143
Gráfico 07	Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 01.	149
Gráfico 08	Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 02.	150
Gráfico 09	Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 03.	151
Gráfico 10	Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 04.	152
Gráfico 11	Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 05.	153
Gráfico 12	Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 06.	154
Gráfico 13	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 01, considerando NF+0.00	242
Gráfico 14	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 02, considerando NF+0.00	245
Gráfico 15	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 03, considerando NF+0.00	249

Gráfico 16	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 04, considerando NF+0.00	253
Gráfico 17	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 05, considerando NF+0.00	257
Gráfico 18	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 06, considerando NF+0.00	261
Gráfico 19	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 01, considerando NF -2.00	264
Gráfico 20	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 02, considerando NF -2.00	268
Gráfico 21	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 03, considerando NF -2.00	272
Gráfico 22	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 04, considerando NF -2.00	276
Gráfico 23	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 05, considerando NF -2.00	280
Gráfico 24	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 06, considerando NF -2.00	283
Gráfico 25	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 01, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g	287
Gráfico 26	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 02, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g	291
Gráfico 27	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 03, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g	295
Gráfico 28	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 04, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g	299

Gráfico 29	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 05, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g	304
Gráfico 30	Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 06, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g	307

ÍNDICE DE ANEXOS		Pág.
Anexo 01	Cuadro de matriz de consistencia	319
Anexo 02	Plano de la zona en estudio	322
Anexo 03	Ensayo de análisis granulométrico (Norma ASTM D-422).	328
Anexo 04	Ensayo de límite líquido (Norma ASTM D-423) y límite plástico (Norma ASTM D-424)	340
Anexo 05	Ensayo de contenido de humedad natural (Norma ASTM D-2216)	353
Anexo 06	Análisis del potencial de licuación según método semi-empírico propuesto por Seed and Idriss, presentado por Youd et al (2001)	360

RESUMEN

La presente tesis se estudia el fenómeno de licuefacción del material de relave en la presa zona norte en la mina cobriza, considerando que está sometida a una carga sísmica, valor obtenido a partir de un análisis de peligro sísmico considerando las fuentes sismogénicas históricas de la zona y posteriormente se determina una aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción.

Esta tesis tiene por objetivo identificar los factores que influyen en la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problemas de contaminación de suelos, calidad de agua y la posibilidad de ocasionar problemas en la planta concentradora que se encuentra al pie de la presa.

Asimismo, se presenta información de definiciones sobre el fenómeno de licuación de suelos y mencionan casos históricos conocidos tanto a nivel mundial como en el Perú sobre los efectos ocasionados por este fenómeno.

Posteriormente, se mencionan los estudios realizados para el reconocimiento y caracterización geotécnica del material de relave, así como el procesamiento de dicha información para poder evaluar el potencial de licuación donde se obtiene un factor de seguridad, el cual es un número que representa el potencial de licuefacción en el suelo.

Finalmente, se concluye que los resultados demuestran la existencia de un alto potencial de licuación del material de relave en la presa zona norte en la mina cobriza considerando una aceleración de las fuentes sismogénicas históricas y se calcula un factor de seguridad de licuefacción de valor promedio de 1.3, con la finalidad de determinado la aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave.

Palabras Claves: fenómeno de licuefacción, material de relave, características geotécnicas, carga sísmica, aceleración mínima, factor de seguridad de licuación.

ABSTRACT

This thesis studies the phenomenon of liquefaction of tailings material in the dam in the northern copper mine is studied, considering that is subjected to a seismic load value obtained from a seismic hazard analysis considering the historic earthquake of gene sources area and then a necessary minimum acceleration which begin the process of liquefaction is determined.

This thesis aims to identify the factors that influence the failure by liquefaction in the North Zone tailings material in the Cobriza mine to avoid problems of soil pollution, water quality and the ability to cause problems in the concentrator plant found at the foot of the dam.

Also, information on the definition of soil liquefaction phenomenon occurs both known and mentioned about the effects caused by this global phenomenon and Peru historical cases.

Subsequently, studies for the recognition and geotechnical characterization of the tailings material and processing of such information are mentioned in order to assess the potential of liquefaction where a safety factor, which is a number that represents the potential is obtained soil liquefaction.

Finally, we conclude that the results show that there is a high potential for liquefaction of tailings material in the dam north in the copper mine considering an acceleration of historical seismic sources and a safety factor of liquefaction average value is calculated 1.3, in order to set the required minimum acceleration which begin the process of liquefaction of tailings material.

Keywords: liquefaction, tailings material, geotechnical characteristics, seismic load, minimum acceleration, liquefaction safety factor.

INTRODUCCIÓN

La licuefacción de los materiales granulares y en especial los que componen los relaves mineros en los depósitos convencionales realizados por relleno hidráulico constituye uno de los mecanismos de fallas de los residuos mineros. Esta ocurre generalmente en los depósitos de relaves durante el desarrollo de los terremotos, sobre todo en los relaves con un alto contenido de agua y material granular no cohesivo. De acuerdo con la información existente se pueden distinguir dos tipos de daños que puede provocar un terremoto sobre un talud de origen natural o artificial:

- a) Efectos directos de las fuerzas de inercia aplicadas al talud durante el movimiento sísmico.
- b) Daños provocados por degradación de la resistencia y/o rigidez de los materiales por incremento de presión de poros. Esto sólo puede ocurrir cuando los materiales afectados están saturados de agua.

En los taludes de material de relleno construidos por el hombre, el primer tipo de daño rara vez suele ser catastrófico. Esto se debe a que en estos rellenos, ya que las fuerzas de inercia que produce el terremoto están aplicadas al talud durante periodos de tiempo muy breves, los daños se limitan a desplazamientos residuales limitados y agrietamientos.

En la segunda tipo de daño son una serie de fenómenos que se conocen genéricamente con el nombre de licuación. En estos casos el material licuado fluye, como si se tratara de un líquido viscoso y los daños suelen ser de magnitud considerable que en muchos casos de falla de presas de residuos y de agua pueden ser catastróficos.

La principal motivación de esta tesis es realizar el estudio sobre el comportamiento del fenómeno de licuefacción del material de relave, debido a la naturaleza sísmica de nuestro país donde la experiencia de sismos anteriores indica que muchos de los daños son causados por terremotos y numerosos casos debido a la licuefacción del terreno.

Asimismo, se aporta con información más actualizada sobre los antecedentes donde han ocurrido este fenómeno y la metodología de investigación de este

estudio en nuestro país, basándose en la recopilación de información que existe del fenómeno en el país.

Los comportamientos desfavorables de la falla por licuación del material de relave son deformaciones excesivas, disminución de la capacidad portante, amplificaciones de los movimientos sísmicos o licuefacción, siendo este último fenómeno el tema principal de esta tesis, pues las consecuencias de la falla de un suelo por licuefacción son catastróficas, las cuales pueden ser hundimientos, asentamientos diferenciales, colapso de la estructura.

Es por esto que se recomienda estudiar este problema y desarrollar herramientas que permitan a los ingenieros predecir los riesgos de depositar material de relave potencialmente licuable.

En consecuencia y en mérito a lo enunciado, el trabajo de investigación está dividido en siete capítulos, estructurado de la siguiente manera:

En el Capítulo I.- Se presenta el planteamiento del problema, comenzando desde la descripción de la realidad problemática, formulación del problema y objetivos de la investigación. Así mismo se define la justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación en estudio.

En el Capítulo II.- Se presenta el marco teórico de la investigación, partiendo desde el ámbito internacional, ámbito nacional. Asimismo se formulan las hipótesis de trabajo, estableciendo las variables, definición conceptual de las variables y operacionalización de las variables en el proceso. También se presenta la definición del fenómeno de licuación de suelos, Análisis de peligro sísmico, Potencial de licuación evaluando por método semi-empírico propuesto por Seed and Idriss, presentado por Youd et al (2001):

En el Capítulo III.- Se sintetiza el proceso metodológico, comenzando desde el tipo y nivel de la investigación, Método y diseño de la investigación, Población y muestra, Técnica e instrumentos de recolección de datos, análisis y presentación de resultados del desarrollo de la investigación.

En el Capítulo IV.- Se presenta las condiciones actuales de la zona en estudio iniciando desde la descripción del área del proyecto y entorno, ambientes físicos. Así mismo se presenta las condiciones inicial antes de construir la

presa norte, estudio de estabilidad elevación de presa norte (Marzo-2006), análisis de estabilidad global depositado de relaves zona norte expansión (Junio-2006) y estudio geotécnico para la elevación final presa norte (Marzo-2007), trabajos realizados por la empresa Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C. Finalmente se evalúa el peligro sísmico considerando las fuentes sismogénicas históricas de la zona, trabajo realizado por la empresa Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C.

En el Capítulo V.-. Se presenta el estudio del material de depósito de relave, partiendo de la investigación de campo: Generalidades, calicatas, prueba de penetración estándar (SPT), ensayo de sondeo para el control de humedad. Asimismo se continúa con las pruebas de laboratorio: Generalidades, análisis granulométrico, límites atterberg, humedad natural, densidad natural o peso unitario volumétrico, ensayo de corte directo, ensayo de compresión triaxial tipo no consolidado – no drenado (UU) y ensayo de permeabilidad pared flexible trabajos realizados por la empresa Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C.

En el Capítulo VI.-. Se evalúa el potencial de licuación de depósito de relave según la metodología de Seed and Idriss, presentado por Youd et al (2001): **1° Paso**, Realizar la mayor cantidad de investigaciones geotécnicas para definir con propiedad la estratigrafía del sitio y de forma complementaria los estudios de laboratorio para conocer el tipo de material, Hacer un estudio detallado de las tensiones verticales totales σ_v y de las tensiones verticales efectivas σ_v' para cada nivel, tanto para los perfiles estudiados, en su condición inicial, como para los mismos perfiles luego de terminada la obra. **2° Paso**, Realizar la evaluación del factor de corrección de la influencia de la tapa del suelo " C_N " para corregir el valor de N con la profundidad. **3° Paso**, Realizar la evaluación el valor normalizado del SPT " N_{70} ", teniendo el valor estandarizado de "N". **4° Paso**, Realizar la cálculo de la resistencia promedio a la licuefacción " N_{70CF} " mediante la corrección de contenido de finos. Para compensar este efecto se recomienda aumentar el número de golpes del SPT a medida que aumenta el contenido de finos del suelo granular, es decir el valor de $(N_1)_{70}$ debe ser incrementado en una cantidad $\Delta(N_1)_{60}$ que dependerá del contenido de finos del suelo. **5° Paso**, Realizar la evaluación del factor de reducción de tensiones

"Rd" que se define como un factor de flexibilidad de la columna de suelos desde la superficie a la profundidad. **6° Paso**, Realizar la evaluación de la Relación de Tensión Cíclica (CSR), asimismo la Relación de Resistencia Cíclica (CRR). **7° Paso**, Realizar el cálculo del factor de seguridad frente a la licuación "CRR/CSR" que representa la posibilidad que se produzca licuación o no.

En el Capítulo VII.- Se sintetiza la presentación de resultados: análisis e interpretación de los resultados, resultados de la investigación, contratación de hipótesis y discusión relacionada a la evaluación de potencial de licuación del material de relave en la mina cobriza.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones que se proponen como resultado de la investigación.

También se presenta las referencias bibliográficas y anexos que complementa el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se muestra el planteamiento del problema, comenzando desde la descripción de la realidad problemática, formulación del problema y objetivos de la investigación, caracterizando y delimitando en función a los alcances y efectos de nuestro tema de investigación. Así mismo se define la justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación en estudio.

1.1 Descripción de la realidad problemática

La extracción de minerales es una actividad que se realiza en el Perú desde tiempos precolombinos, claro que en esos tiempos la cantidad de roca chancada y desmante no era un problema.

Al pasar el tiempo esta actividad se ha ido perfeccionando, las primeras actividades ocasionaron problema de calidad de agua, debido a que los minerales eran lavados y el agua utilizada envenenaba las corrientes de agua matando a los peces y contaminando los campos de cultivo.

De igual manera la producción de desechos también se incrementó y la locación más conveniente para ser acumulados era usualmente sobre el curso más cercano de agua, con el propósito que estos desechos fuesen arrastrados por la corriente de agua sin medir de esta manera las consecuencias que traería la contaminación a la que se estaba exponiendo a los pobladores.

La descarga descontrolada de grandes cantidades de relaves directamente a ríos, lagos o playas del mar es frecuente; sin embargo, en la mayoría de las 176 minas en operación en el Perú, se han construido presas de relaves con el fin de mantener éstos residuos mineros lejos de los arroyos y ríos, es por eso que actualmente existe una cantidad desconocida de depósitos de relaves activos e inactivos. Muchos de estos depósitos han llegado o están por llegar a su máxima capacidad de almacenamiento, es por eso que se debe realizar una evaluación de potencial de licuación en el material de relave para obtener un mayor control en el volumen de almacenamiento de los residuos mineros.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema principal.

- ¿Cuáles son los factores que influyen en la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza en Huancavelica para evitar problemas de contaminación del suelo y calidad del agua?

1.2.2 Problema específico.

- ¿Cuáles son las características en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación para evitar problemas de deslizamiento del dique y relave depositado?
- ¿Cuáles son las causas que ocasionan la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problema de contaminación del suelo y calidad del agua?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo principal.

- Identificar los factores que influye en la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problemas de contaminación de suelos y calidad de agua, además de ocasionar problemas en la planta concentradora que se encuentra al pie de la presa.

1.3.2 Objetivo específico.

- Identificar las características en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación para evitar problemas de deslizamiento del dique y relave depositado.

- Identificar las causas que ocasiona la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problema de contaminación de suelos y calidad de agua.

1.4 Justificación de la investigación

Se evaluara el potencial de licuación en el material de relave con la finalidad de reducir el alto riesgo de la falla del material depositado y poder evitar la posibilidad de pérdida de vidas y propiedades en su alrededor.

Los rellenos de material de relave en las mina constituyen el tipo de estructura más utilizado en el país para la retención de residuos de mineralización. Asimismo este estudio de evaluación de potencial de licuación puede ser de gran valor para la estabilidad del material de relave y del dique mismo, si ésta se investiga completamente y se analiza objetivamente en beneficio de la sociedad y el medio ambiente.

1.5 Limitaciones de la investigación

La ingeniería geotécnica tratan de manera moderna los principales problemas relativos al deterioro del medio ambiente en la minería, enfatizando en los aspectos de las actividades más usuales de la ingeniería peruana concernientes a la construcción y performance de los depósitos de desechos que originan efluentes líquidos y desperdicios sólidos que actualmente deben cumplir con requisitos mínimos para evitar la contaminación ambiental de su entorno.

1.6 Viabilidad de la investigación

El reconocimiento por parte de la comunidad minera para poder analizar el potencial de licuefacción del material de relave e identificar sus consecuencias, puede ayudar a reducir problemas en el futuro.

Casi todas las fallas pueden ser prevenidas con un buen diseño, una construcción controlada y un mantenimiento constante, que son pasos requeridos en todos los trabajos exitosos de la ingeniería.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se muestra el marco teórico de la investigación, partiendo desde el ámbito internacional, ámbito nacional. Asimismo se formulan las hipótesis de trabajo, estableciendo las variables, definición conceptual de las variables y operacionalización de las variables en el proceso. También se presenta la definición del fenómeno de licuación de suelos, Análisis de peligro sísmico, Potencial de licuación evaluando por método semi-empírico propuesto por Seed and Idriss, presentado por Youd et al (2001).

Toda la información se obtuvo mediante la recolección los datos con la finalidad de dar a conocer definiciones conceptuales respecto al fenómeno de licuación, estos aspectos son muy importantes ya que es necesario entenderlo para el análisis de la evaluación del potencial de licuación.

2.1 Antecedentes de la investigación

En continuación se expone los casos observados a nivel mundial y nacional de la manifestación del fenómeno de licuefacción de suelos durante la ocurrencia de los terremotos moderados y severos.

2.1.1 En el ámbito internacional

Terremoto de Niigata en Japón (16 de junio de 1964)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de tambo de mora, este es llamado el terremoto de Niigata debido al gran daño extensivo causado por este en la ciudad, a pesar de estar situado cerca de 50 km al sur del epicentro.

Los daños fueron ocasionados principalmente por la perturbación del suelo antes que el efecto directo a las edificaciones. Debido a que la parte baja de la ciudad fue construida sobre una delgada capa de arena de formación reciente, y al producirse en movimiento se generó la licuación, varias viviendas empezaron a volcarse en bloques sobre sus cimentaciones a causa de ello, esto se puede apreciar en la Fig. 01 y 02.



Figura 01. Asentamiento e inclinación de edificio ocasionado por licuación de suelos. Sismo de Niigata, Japón. 16 de junio de 1964.

Fuente: Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos, UNI



Figura 02. Vista del fondo del terreno de departamentos kawagishi-cho localizado en Niigata, Japón, el edificio sufrió falla por capacidad de carga inducida por la licuación durante el sismo de Niigata del 16 de junio de 1964.

Fuente: Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos, UNI

Terremoto de Alaska en EEUU (27 de marzo de 1964)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), por ser parte del anillo del pacífico, la costa sur de Alaska ha experimentado varios terremotos. El terremoto de 1964 fue uno de los más grandes registrados a nivel mundial y asimismo de los mayor duración obteniéndose una magnitud de 9.2 y duración de más de 3 minutos, causando un daño severo en forma de deslizamientos y licuación en las capas de arena y arenas limosas en los suelos arcillosos debajo de la localidad de Anchorage, causaron, deslizamientos masivos. Las capas y lentes licuables disturbaron la sensibilidad de las arcillas y causaron que su resistencia caiga por debajo de niveles de estabilidad, esto se puede apreciar en la Fig. 03.



Figura 03. Efecto de la licuación es el desplazamiento lateral de un suelo con arena y arcilla. Las casas se deslizaron una distancia aproximada de 150m y el nivel del terreno bajo a 11m en la localidad de Tumagain Heihts en Anchorage.

Fuente: Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos, UNI

Terremoto de San Fernando en EEUU (9 de febrero de 1971)

Según Francisco José C. (2011), en el trabajo de respuesta sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, la presa (baja) San Fernando, producto del terremoto de 1971 sufrió un deslizamiento por el talud de aguas arriba del muro resistente (figura nº1 y figura nº2), el terremoto de San Fernando (también conocido como terremoto de Sylmar) golpeó ocurrió a las 6:00:55 am el 9 de febrero de 1971, con una magnitud en la escala Richter de 6,6 y una intensidad de X en escala de Mercalli, esto se puede apreciar en la Fig. 04.



Figura 04. Presa baja de San Fernando antes y después del colapso por el terremoto de 1971

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

La falla de la presa afortunadamente no produjo el colapso total del depósito, lo cual pudo provocar un desastre potencial por inundación de las grandes áreas pobladas aguas abajo de la presa.

Terremoto de Loma Prieta en EEUU (17 de octubre de 1989)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de tambo de mora, ocurrido en la falla de san Andrea con una magnitud de 6.9 (USGS), cuyo epicentro se ubicó a 16 km del noreste de santa cruz y cerca de 7km al sur de las montañas de loma prieta en california. Causó 63 muertes y 4757 heridos.

La licuación fue evidencia por hoyos de arena, volcanes de arena, desplazamiento lateral, asentamiento y desmoronamiento, ocurrido hasta 110 km de distancia del epicentro, causando daños severos en las edificaciones en el distrito de marina- san francisco, así como también a lo largo de la costa de Oakland y Alameda, en el este de la bahía de san francisco.

Entre las estructuras dañadas por efecto de la licuación se encuentran: edificios, puentes, carreteras redes de agua, puertos, aeropuertos y diques. Las condiciones del subsuelo, que amplificaron las aceleraciones en la bahía de san francisco, influenciaron significativamente el daño estructural y probablemente contribuyeron a los problemas de licuación en los rellenos de arena suelta que yacían sobre depósitos de suelos cohesivos profundos, esto se puede apreciar en la Fig. 05 y 06.



Figura 05. El terremoto de loma prieta después del colapso por el terremoto de 1989.

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM



Figura 06. Asentamiento por punzonamiento limitado por licuación debido a encontrarse en un suelo de relleno con arena y nivel freático alto en el distrito de marina.

Fuente: Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos, UNI

El Terremoto de Kobe o el Gran Terremoto de Hanshin (17 de enero de 1995)

Según la información recopilada por la página web Geografía y Medio Ambiente publicada (<http://historiaybiografias.com/kobe/>), Japón está localizado en el extremo occidental del llamado “Círculo de Fuego del Pacífico”, y es, sin lugar a dudas, uno de los países de mayor actividad sísmica y volcánica del mundo. Kobe forma parte de la llamada región Hanshin junto con Osaka y el área entre ambas, formando un abanico que da frente a la Bahía de Osaka.

Esta región es la segunda en concentración de actividad económica del Japón, y con sus más de 12 millones de habitantes es igualmente la segunda región más poblada, después de Kanto, la Región Metropolitana de Tokyo.

El epicentro del terremoto fue localizado en el extremo norte de la Isla Awaji. Ocurrieron réplicas a lo largo de una zona de 40 km. de extensión (dirección NNE-SSO) desde la parte norte de la Isla Awaji hasta el extremo occidental de Osaka.

Este gran terremoto ocurrió a las 5:46 de la mañana del Martes, 17 de enero 1995. Este terremoto también se conoce por los nombres siguientes: Kobe, Hyogo Sur, Hyogo-ken Nanbu. El terremoto tuvo una magnitud local de 7.2. La duración fue de unos 20 segundos. El foco del terremoto fue de menos de 20 Km. por debajo de Awaji-shima, una isla en el Mar de Japón interior. Esta isla se encuentra cerca de la ciudad de Kobe, que es una ciudad portuaria.

El terremoto fue particularmente devastador porque había un foco superficial. El sismo tuvo un “mecanismo de desgarre”. La ruptura de la superficie resultante tenía un desplazamiento horizontal promedio de alrededor de 1,5 metros en la falla Nojima ocasionando de la disminución de la resistencia del suelo, presentándose evidencia del fenómeno de licuación. Esta falla que corre a lo largo de la costa noroeste de la isla de Awaji. Los daños estructurales ocurridos en la autopista elevada que conecta las ciudades de Kobe y Osaka.

Se ha determinado que el asentamiento máximo ha sido de más de 3 metros y en algunos lugares paredes de muelle se han desplazado más de 5 metros lateralmente hacia el mar. La mayoría de las grúas de contenedores se descarrilaron y se dañaron como resultado del movimiento del suelo inducido por la licuación. Depósitos de arena y grava enlodaron áreas de patios de contenedores y vías vehiculares, sin embargo, hubo sólo daños ligeros en la parte central de las islas, en donde las construcciones en altura se construyeron sobre cimentación con pilotes y métodos de mejoramiento como drenaje de arena, esto se puede apreciar en las Figs. 07 al 09.



Figura 07. Desplazamiento lateral debido a licuación de suelos, ocasionó el hundimiento de 1.2- 2.00 metros de la superficie del pavimento y flujo local. Sismo del kobe 1995.

Fuente: Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos, UNI

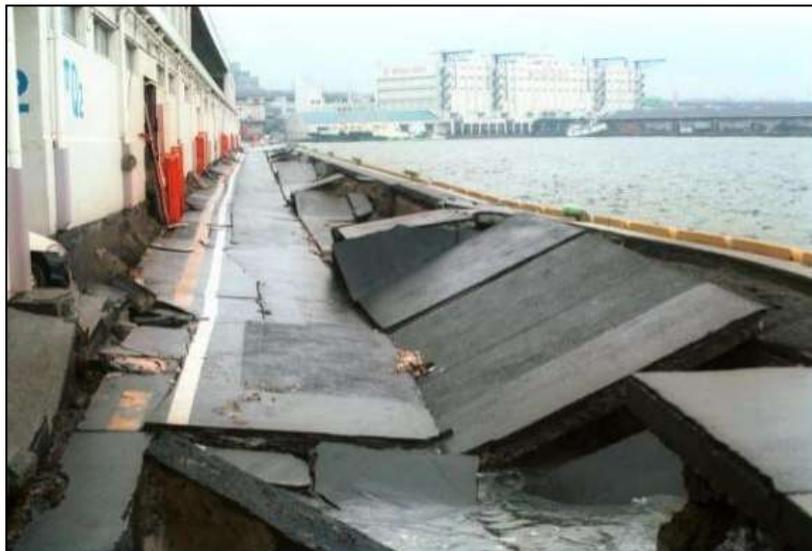


Figura 08. Desplazamiento lateral del muro de retención debido a licuación de suelos durante el sismo de kobe de 1995. Debido a que el muro de retención fue movido hacia afuera, la superficie del terreno se hundió.

Fuente: Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos, UNI



Figura 09. Colapso de un tramo del puente nishihomiya, debido al desplazamiento lateral de los muros de apoyo durante el sismo de kobe, 1995

Fuente: <http://historiaybiografias.com/kobe/>

Terremoto de Kocaeli en Turquía (17 de agosto de 1999)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de tambo de mora, el epicentro se encontró ubicado a menos de 80 km de Estambul y al sudoeste de la ciudad de Izmit, con la profundidad de 17 km y magnitud de 7.4, se produjo a lo largo de la rama norte de la falla de anatolia. Ocasiónó 15, 135 muertos y 23, 984 heridos. Estructuras de 4 a 7 pisos resultaron con colapsos y graves daños, mientras estructuras de 1 a 2 pisos resultaron con daños leves. La ciudad de Adazapari fue construida sobre sedimentos lagunares conteniendo estratos licuables de limos y arenas. Cientos de edificaciones se asentaron, volcaron o inclinaron a pesar de tener cimentaciones tipo losas reforzadas, esto se puede apreciar en la Fig. 10.



Figura 10. Edificación que se volcó debido a la licuación que indujo pérdida de la capacidad portante debajo de la cimentación tipo losa.

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

Terremoto de Chichi en Taiwán (21 de setiembre de 1999)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de Tambo de Mora, el terremoto ocurrió en la falla Chelungpu que forma parte de la colisión entre las placas de Filipinas y Euroasiáticas, la magnitud del terremoto fue de 7.6 con 15 km de profundidad. Los daños personales ocasionados fueron de 2,405 muertos y 10,718 heridos, siendo las ciudades más afectadas: el condado Taichung, Nantou y la ciudad Taichung. El daño por licuación fue significativo en Yuanlin sucediendo asentamientos, y pozos de agua repletos de arena, asimismo se observaron daños en las riberas de los ríos con asentamientos, fallas y desplazamientos laterales afectando las estructuras ribereñas. El puerto de Taichung sufrió daños pero se mantuvo funcional debido a que usó pilares construidos en caissons, esto se puede apreciar en la Fig. 11.



Figura 11. Daños del terremoto en condado de Taichung 21 de setiembre de 1999

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

Terremoto de Lefkada en Grecia (14 de agosto de 2003)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de tambo de mora, con una magnitud de 6.2 y una profundidad de 12 km en la costa noroeste de la isla de lefkada. Se registraron varios deslizamientos de rocas y taludes, asentamientos del terreno y desplazamientos laterales, así como también volcanes de arena y hoyos de arena tanto en la ciudad de lefkada como en los pueblos de Nydri Y Vassiliki, esto se puede apreciar en la Fig. 12.



Figura 12. Una casa danneggiata nell'isola di Leucade

Fuente: <http://www.repubblica.it/2003/h/sezioni/esteri/grecia/grecia/grecia.html>

Terremoto de Haití (12 de enero de 2010)

Según la enciclopedia Wikipedia (2015), este terremoto ocurrió tierra adentro, el 12 de enero de 2010, aproximadamente a una distancia de 15 km al sudoeste de Puerto Príncipe y a una profundidad de 13 km, a las 16: 53 UTC-5. Tuvo una magnitud de 7,0 en la escala de Richter y se sintió con una intensidad de grado X en la escala sismológica de Mercalli en Puerto Príncipe. También se registró en Cuba, Jamaica, y en el país limítrofe República Dominicana.

Mientras muchas viviendas colapsaron tras el terremoto, otros edificios gubernamentales de construcción más sólida como el Palacio Nacional que se derrumbó, donde se presentó estratos de suelo licuables.

El terremoto ha sido calificado como el mayor sismo registrado en Haití en doscientos años. Una de las consecuencias del terremoto fue el colapso de todas las líneas telefónicas y otros eventos desafortunados producto de la licuación de suelos, esto se puede apreciar en la Fig. 13.



Figura 13. Situación donde tuvo el viaducto se derrumbó por problemas de licuación

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

Terremoto de Chile (27 de febrero de 2010)

Según Francisco José C. (2011), en el trabajo de respuesta sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, el terremoto de Chile ocurrió el 27 de febrero del año 2010 a las 03:34 am, alcanzando una magnitud de $MW=8.8$ y afectando a la zona centro sur del país, justo frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura. El movimiento duró un lapso de 2 minutos y 45 segundos y se originó debido al desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en un área que abarca unos 450 km de longitud en dirección prácticamente norte-sur y por un ancho aproximado de 150 km (figura 3.7), el epicentro estuvo ubicado a 30,1 kilómetros de profundidad bajo la corteza terrestre.

Producto del sismo, un fuerte tsunami impactó las costas chilenas, destruyendo varias localidades ya devastadas por el impacto telúrico. El archipiélago de Juan Fernández, pese a no sentir el sismo, fue impactado por las marejadas que arrasaron con su único poblado, San Juan Bautista. El Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico generó pocos

minutos después del terremoto una alerta de tsunami para el océano Pacífico, que se extendió posteriormente a 53 países ubicados a lo largo de gran parte de su cuenca, llegando a Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, la Antártida, Nueva Zelanda, la Polinesia Francesa y las costas de Hawái.

Este terremoto dejó en evidencia un gran número de sitios donde ocurrió el fenómeno de licuefacción de suelos, extendiéndose entre La Calera y el Lago Llanquihue. Los principales patrones de daños incluyen la formación de grietas, asentamientos, desplazamiento lateral del suelo y formación de volcanes de arenas. Las estructuras que fueron afectadas con este fenómeno corresponden a viviendas, puentes y pasos a desnivel, puertos y muelles, tranques de relaves y estructuras enterradas.

En la Bahía de Coronel varios puertos fueron afectados por la licuefacción del terreno del borde costero y del fondo marino, como el Puerto de Coronel, Lo Rojas y el sifón industrial. La licuación del terreno del borde costero indujo el movimiento de éste hacia el mar, en una falla del tipo lateral spreading, arrastrando los pilotes que soportan las supraestructuras, esto se puede apreciar en la Fig. 14 y 15.



Figura 14. Falla del terreno del borde costero producto de la licuación del terreno en el borde costero

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM



Figura 15. Falla de los pilotes producto de la licuación del terreno en el borde cortero

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

2.1.2 En el ámbito nacional

Terremoto en Chimbote (31 de mayo de 1970)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de tambo de mora, a las 3:23 p.m. (hora local) del 31 de Mayo de 1970 ocurrió un terremoto de magnitud $M_s=7.8$ y profundidad focal de 45 Km, con epicentro aproximadamente a 50 Km de la costa del Perú, al Oeste de la ciudad de Chimbote. El terremoto activó un acelerógrafo en Lima, cuya aceleración máxima corregida fue de 0.11g. En Chimbote no se registraron aceleraciones; sin embargo la máxima intensidad del terremoto se calculó en grado IX en la escala de intensidades Mercalli Modificada. Ericksen et al., (1970) y Plafker et al., (1971) indicaron que en Casma, Puerto Casma y en zonas cercanas al litoral de Chimbote, se produjeron desplazamientos laterales del terreno causado por licuación de depósitos deltaicos y de playa, ocasionando grietas en el terreno que derrumbaron las estructuras que las cruzaron. La zona central de Chimbote fue evidentemente un área de

licuación de suelos, así como de asentamientos diferenciales de la cimentación. Carrillo (1970) indicó descensos en los terraplenes de acceso de casi todos los puentes de la Carretera Panamericana y asentamientos en las plataformas del Terminal Marítimo de Chimbote. También se presentó evidencias del fenómeno de licuación en los depósitos de arenas saturadas de la calle Elías Aguirre, en Chimbote. Según Morimoto et al., (1971) describieron la ocurrencia de licuación de suelos y prepararon un mapa de distribución de grietas en el terreno y volcanes de arena en Chimbote. En la zona pantanosa se produjo licuación generalizada, con grietas debido a compactación diferencial; y en la zona aluvial, licuación sub-superficial con grietas y volcanes de arena. En las Fotos 12, 13, 14 y 15 se ilustran algunos de los daños ocurridos en Chimbote debido a los efectos de licuación, esto se puede apreciar en la Fig. 16



Figura 16. Asentamiento y fisuramiento de carreteras asfaltadas en el oeste de Chimbote debido a licuación y desplazamiento lateral de depósitos lagunares y de playa. Sismo del 31 de mayo de 1970

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

Terremoto de Rioja y de Moyobamba (29 de mayo de 1990, 4 abril de 1991)

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de tambo de mora, el sismo del 29 de mayo de 1990 tuvo una magnitud de 6.0 en Rioja, mientras que el sismo del 4 de abril de 1991 tuvo una magnitud de 6.5 y una máxima intensidad en Moyobamba. Los sismos fueron causados por fallas activas entre las que destaca la falla o “nido de sísmico” de chazuta y falla Shitari ubicadas al sudoeste y noreste de la ciudad de Moyobamba, respectivamente.

El fenómeno de licuación se manifestó mediante la aparición de pequeños volcanes de arena, hundimientos del terreno de hasta de 4m, afloramiento del agua, grietas, desplazamientos laterales, reportándose grietas, desplazamientos laterales reportándose grietas de hasta 100m de longitud y 0.80 m de ancho, afectando redes de agua y desagüe y levantamiento de algunos buzones. Durante el terremoto de 1991, el C.E. 00494, construido de quincha, sufrió daños importantes debido a la ocurrencia de licuación debajo de su cimentación, esto se puede apreciar en la Fig. 17 y 18.



Figura 17. Detalles de subsidencia de la carretera durante el sismo de 1990. (Alva y Chang.2003)

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM



Figura 18. Daño a la escuela de TAHUISHCO debido a asentamiento diferencial y agrietamiento del terreno debido a licuación.

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

Terremoto de Pisco, caso Tambo de Mora (17 de agosto de 2007):

Según Renzo Vihelmo A. (2010), en el trabajo de evaluación del potencial de licuación de suelos de la ciudad de tambo de mora, el terremoto que azotó la costa sur central del Perú tuvo una magnitud de 8.0 cuyo epicentro estuvo ubicado a 74 km en dirección oeste de la ciudad de pisco y cuya profundidad fue de 26 km. El lugar con mayor intensidad presentada debido al sismo fue la ciudad de tambo de mora con una intensidad de IX en escala MM.

Entre los rasgos más importantes de la licuación que se presentas en la cuidad de tambo de mora y sus alrededores fueron la ocurrencia de una desplazamiento traslacional y/o rotacional por flujo por licuación de una franja de 3 a 4 km de largo por 400 m de ancho la cual se desplazó 6 m hacia el mar.

En la inspección técnica luego del sismo de GERR del EERI (2007) reportó asentamiento hasta de 1 m en las viviendas de 1 a 2 pisos, terraplenes de carreteras desplazados sea por deformación lateral y abultamientos secundarios, fallas de capacidad de carga parciales, vuelco de poste de luz, ruptura de las redes de agua y desagüe, confirmándose

la ocurrencia de licuación por la presencia de cráteres y volcanes de arena en la superficie del terreno, así como también la erupción de arenas con contenido de finos limosos, esto se puede apreciar en la Fig. 19.



Figura 19. Detalles de subsidencia de la panamericana sur durante el sismo de Ica en el 2007.

Fuente: Trabajo de Fin de Master, Respuesta Sísmica reciente en balsas de relaves chilenas y presas de material suelto, UPM

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Definiciones conceptuales

Amplificación Sísmica

La amplificación del movimiento del terreno se produce cuando el suelo tiene un período natural de vibración que coincide con el período de las ondas sísmicas, lo que se conoce como resonancia y que puede generar un aumento considerable en la amplitud de las vibraciones (Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006).

Calidad de Agua

Calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua (Enciclopedia Wikipedia, 2015).

Capacidad Portante del Suelo

En cimentaciones se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo (Enciclopedia Wikipedia, 2015).

Contaminación de Suelos

La contaminación del suelo consiste en la acumulación de sustancias a unos niveles tales que repercuten negativamente en el comportamiento de los suelos. Las sustancias, a esos niveles de concentración, se vuelven tóxicas para los organismos que viven en él (Enciclopedia Wikipedia, 2015).

Densificación

La densificación de depósitos de arena suelta se produce cuando el agua intersticial puede drenar fácilmente, generando el reordenamiento de las partículas del suelo por la variación en el índice de vacíos y por lo tanto su densificación. Este fenómeno causa variados tipos de daños debido a los cambios de volumen del terreno soportante, principalmente

asentamientos diferenciales (Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006).

Deslizamiento

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias masas independientes (Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006).

Fallas de Taludes

Los depósitos de suelos limitados por superficies inclinadas, están permanentemente sometidos a esfuerzos de corte cuyas magnitudes dependen de las alturas y de las inclinaciones de los taludes. Aumentos en las tensiones solicitantes o disminuciones de las fuerzas resistentes, pueden ocasionar problemas de inestabilidad como fallas de flujo y deslizamientos de bloques (Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006).

Fenómeno de Licuación

Es el comportamiento de suelos que estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado. Es un tipo de corrimiento, provocado por la inestabilidad de un talud. Es uno de los fenómenos más dramáticos y destructivos, además más polémicos y peor explicados que pueden ser inducidos en depósitos por acciones sísmicas (Enciclopedia Wikipedia, 2015).

Intensidad y Magnitud de los Terremotos

Existen dos maneras de medir la fuerza de un terremoto, la primera, llamada intensidad, está basada en el daño producido a las estructuras y en las reacciones de la gente, la segunda, llamada magnitud, mide la cantidad de energía liberada por el terremoto (Tesis Determinación

potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006).

Movilidad Cíclica

La Movilidad Cíclica es un fenómeno de licuación provocado por una carga cíclica, ocurre en depósitos de suelo con esfuerzos de corte estáticos menores que la resistencia del suelo. Las deformaciones debido a la movilidad cíclica se incrementan porque los esfuerzos estáticos y dinámicos subsisten durante un terremoto. El desplazamiento lateral, es un resultado común de la movilidad cíclica, puede ocurrir sobre terrenos suavemente inclinados y en terrenos llanos cercados por ríos y lagunas (Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006).

Nivel Freático

El nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica (Enciclopedia Wikipedia, 2015).

Presión de Poros de Agua

La Presión de poros de agua se refiere a la presión que ejerce el agua subterránea atrapada en el suelo o en la roca, en huecos situados entre el agregado llamados poros. La presión de los poros de agua por debajo del nivel freático se mide por piezómetros. Generalmente la presión vertical se puede asumir distribuida de forma parecida a la presión hidrostática (Enciclopedia Wikipedia, 2015).

Riesgo Sísmico

Se entiende por riesgo sísmico a la formulación estadística, que tiene por objeto la estimación de las características máximas que puede tener un sismo, en un determinado lugar y durante un período de tiempo especificado (Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006).

2.2.2. Formulación de hipótesis

2.2.2.1. Hipótesis principal

- Existen un factor que durante la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza influye significativamente en los problemas de contaminación de suelos y calidad de agua, además de generar problemas en las infraestructuras existentes en la zona.

2.2.2.2. Hipótesis específico.

- Las características en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación están directamente relacionadas con los problemas de deslizamiento del dique y relave depositado.
- Las causas que ocasiona la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza generan problema de contaminación de suelos y calidad de agua.

2.2.3. Variables.

2.1.3.1. Variable independiente.

- La falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza.

2.1.3.2. Variable dependiente.

- Problemas de contaminación de suelos y calidad de agua
- Problemas en las infraestructuras existentes en la zona.
- Problemas de deslizamiento del dique y del material de relave depositado.

2.2.4. Operacionalización de las variables

Tabla 01. Tabla de operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIONES CONCEPTUALES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
HIPOTESIS GENERAL				
La falla por licuación en el material relave Zona Norte en la mina Cobriza	Evaluación del Potencial de Licuación de depósito de relave	Cálculo del Factor de seguridad de Licuación de depósito de relave	Tensión Vertical Total σ_v y Tensión Vertical Efectiva σ_v'	σ_v Y σ_v'
			Factor de Corrección de Influencia de la Tapa del Suelo "CN"	CN
			Valor Normalizado del SPT "N ₇₀ "	N ₇₀
			Resistencia Promedio a la Licuefacción "N _{70CF} " mediante la corrección de Contenido de Finos.	N _{70CF}
			Factor de Reducción de Tensión "R _d "	R _d
			Relación de Tensión Cíclica (CSR) y la Relación de Resistencia Cíclica (CRR)	CSR Y CRR
			Factor de Seguridad de licuación (CRR/CSR)	CRR/CSR

Problemas de contaminación de suelos y calidad del agua	Contaminación de suelos	Causas	Contaminante del suelo natural o artificial	<ul style="list-style-type: none"> -Plaguicidas -Insecticidas -Herbicidas -Fungicidas -Actividad minera
		Consecuencias	Degradación paisajística	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de vertidos y acumulación de residuos en lugares no acondicionados - Generan una pérdida de calidad del paisaje - Abandono de la actividad agropecuaria y la desaparición de la fauna
			Pérdida de valor del suelo	<ul style="list-style-type: none"> -Económicamente, y sin considerar los costes de la recuperación de un suelo -Presencia de contaminantes en un área supone la desvalorización de la misma
	Contaminación del agua	Características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos	Principales consideraciones	<ul style="list-style-type: none"> -Características biológicas, químicas y físicas del agua -Productos residuales de las actividades humanas -Las descargas convencionales de contaminantes de fuentes fijas industriales.

HIPOTESIS SECUNDARIA N°1				
Características mecánicas en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación	Estudio del material de depósito de relave	Investigación de Campo	Perforaciones y Pruebas in-situ	-Calicata -Ensayo SPT -Ensayo DPL
		Investigación de Laboratorio	Pruebas de Laboratorio	-Densidad relativa -Límites Atterberg -Humedad-Densidad -Resistencia al Corte -Consolidación -Permeabilidad
Problemas de deslizamiento del dique y relave depositado	Diques	Definición básica de dique	Consideraciones previas	-Topografía -Naturaleza del material de desecho
		Planificación y estudios de diques	Preparación del área	-Estudios topográficos -Estudios hidrológicos -Estudios climatológicos -Estudios geotécnicos -Estudios del material a colocar -Estudios de sismicidad -Estudios de contaminación al medio ambiente
		Causas de fallas más frecuentes en diques	Roturas de presas	-Falla de fundación -Falla de la presa -Falla por overtopping -Erosión de la superficie de los taludes -Falla por sifonaje -Fallas por conductos de decantación -Licuefacción

HIPOTESIS SECUNDARIA N°2				
Causas que ocasiona la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza	Licuefacción	Susceptibilidad de licuefacción	Criterios de susceptibilidad	<ul style="list-style-type: none"> -Criterios históricos -Criterios geológicos -Criterios basados en el comportamiento del suelo -Criterios basados 1en el estado del suelo
			Suelos no cohesivos	<ul style="list-style-type: none"> -Suelos Suelos -Suelos Saturados -Suelos granulares -Suelos uniformemente gradados -Suelos con bajo contenido de finos
			Suelos con presencia de finos	<ul style="list-style-type: none"> -Fracción de arcilla -Limite liquido -Contenido de humedad natural -Índice de liquidez
Problemas de contaminación de suelos y calidad del agua	Contaminación de suelos	Causas	Contaminante del suelo natural o artificial	<ul style="list-style-type: none"> -Plaguicidas -Insecticidas -Herbicidas -Fungicidas -Actividad minera
		Consecuencias	Degradación paisajística	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de vertidos y acumulación de residuos en lugares no acondicionados - Generan una pérdida de calidad del paisaje - Abandono de la actividad agropecuaria y la desaparición de la fauna

			Pérdida de valor del suelo	<ul style="list-style-type: none"> -Económicamente, y sin considerar los costes de la recuperación de un suelo -Presencia de contaminantes en un área supone la desvalorización de la misma
	Contaminación del agua	Características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos	Principales consideraciones	<ul style="list-style-type: none"> -Características biológicas, químicas y físicas del agua -Productos residuales de las actividades humanas -Las descargas convencionales de contaminantes de fuentes fijas industriales.

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

2.3. Fenómeno de licuación de suelos

2.3.1. Introducción

El presente capítulo presenta los conceptos actuales que se dispone sobre el fenómeno de licuación de suelos. Se hace referente inicialmente a la definición del fenómeno de licuación de suelos y el comportamiento de suelos durante la licuación.

Luego se describe las condiciones sísmicas, geológicas, geotécnicas y del nivel freático para el desarrollo del fenómeno de licuefacción, estos aspectos son muy importantes, ya que de estos conceptos es necesario entenderlo para el análisis de la evaluación del potencial de licuación.

Seguidamente, se identifica los efectos que producen este fenómeno tanto en la superficie del terreno como en el subsuelo, lo cual eventualmente nos permite realizar un análisis previo de campo por inspección, para observar los indicios que hayan podido ocurrir a partir de este fenómeno en el sitio.

Asimismo se describe el análisis del peligro sísmico por medio del método probabilístico en el área en estudio, mediante este procedimiento nos permite estimar el sismo de diseño, cuyo valor se ha utilizado en el análisis del potencial de licuación del material de relave.

Finalmente se describe el procedimiento para el análisis del potencial de licuación de depósito de relave por método simplificado semi-empírico propuesto por Seed and Idriss, para obtener el factor de seguridad de licuefacción de valor promedio de 1.3, con la finalidad de determinado la aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave.

2.3.2. Definición de fenómeno de licuación de suelos

Según Rauch (1997), La licuación de suelos y las fallas del suelo relacionadas, son comúnmente asociadas a terremotos de gran intensidad, aunque también ha ocurrido ante cargas de impacto, cíclicas y explosiones. En el uso común, la licuación se refiere a la pérdida de

resistencia en suelos granulares sin cohesión debido al incremento de presión de poros durante la aplicación de una carga dinámica.

Según Sladen et al. (1985), Una definición más precisa de la licuación de suelos es: “La licuación es un fenómeno donde la masa de suelo pierde un gran porcentaje de su resistencia al corte, al ser solicitado por cargas monotonicas, cíclicas o de impacto, y fluye de una manera semejante al de un líquido hasta que los esfuerzos de corte actuantes sobre la masa son lo suficientemente bajos como la resistencia al corte reducida”.

Según Youd et al. (2001), la define como la transformación de un material granular de estado sólido a un estado licuado como consecuencia del incremento de presión de poros y la reducción del esfuerzo efectivo.

Asimismo, R.B. Seed et al (2003) define la licuación, termino “clásico” de licuación cíclica de presión de poros, en contrario a la “sensibilidad” de la perdida de resistencia debido a un esfuerzo cortante monotónico y/o reacomodo como resultado de un gran desplazamiento unidireccional monotónico cortante.

De una manera más general, la licuación de suelos ha sido definida como la transformación de un estado sólido a un estado licuado como la consecuencia del incremento de la presión de poros y la reducción del esfuerzo efectivo. Algunas fallas en el terreno atribuidas a la licuación de suelos son correctamente atribuidas a la movilidad cíclica, que será posteriormente definida, cuyas deformaciones causadas son diferentes a las caracterizadas en un comportamiento de flujo en el suelo que actúa como un líquido por licuación. Por ello, la definición más apropiada y concisa para la licuación de suelos ha sido el objeto de un continuo debate dentro de la ingeniería geotécnica.

Finalmente, se puede dar la siguiente definición al fenómeno de licuación de suelos: “ es el fenómeno natural que ocurre en suelos granulares cuya contenido de finos no son plásticos, en estado suelto a medianamente densos, que pasan a tener un comportamiento no drenado ante la imposibilidad de contraerse por la presencia de un incremento de la presión de poros debido a la acción de cargas dinámicas, lo que provoca

que el suelo pierda gradualmente su resistencia al corte durante la acción de dicha carga, provocando un paso del estado sólido a un líquido viscoso pudiendo ocasionar grandes deformaciones de corte en este estado”.

2.3.3. Comportamiento de suelos durante la licuación

Según Renzo Vihelmo A. (2010), el suelo adquiere un comportamiento no drenado cuando este se encuentra en un estado saturado con un nivel freático alto, dado que tiende a contraerse y la presión de poros aumenta; esto sucede en un suelo que a la vez que posea una densidad relativa baja, posea una baja permeabilidad local (caso de arenas limpias finas y/o limosas) o una impermeabilidad global (caso de un depósito de grava confinado por arcilla).

Durante el sismo, el primer elemento en reaccionar es el agua contenida en poros, lo que permite que la presión de poros aumente gradualmente, teóricamente al ser un suelo con permeabilidad media ese incremento de presión de poros debería disiparse rápidamente; sin embargo, al ser una carga cíclica “rápida” como la que ocurre en un sismo y estando el suelo en un estado suelto este tiende a contraerse lo que no permite la disipación rápida de la presión de poros y ante la continuidad de la carga la presión de poros va aumentando mientras el esfuerzo total en el suelo se mantiene constante, provocando que el esfuerzo efectivo comience a disminuir; esto provoca que se pierda contacto entre las partículas del suelo granular, lo que conlleva a una pérdida de su resistencia al esfuerzo cortante.

En lo que respecta a la presente investigación y de acuerdo a lo observado en campo, el fenómeno sucedió en un suelo con condiciones de baja permeabilidad local, como es el caso de arenas limpias o pobremente graduadas (SP) y/o arenas limosas (SM).

Asimismo, según la investigación de Seed et al (1988), se conoce que ante deformaciones extremas como las que ocurren después de la licuación de un suelo, su rigidez disminuye significativamente provocando grandes asentamientos en las estructuras que puedan yacer sobre este,

al mismo tiempo su amortiguamiento histórico aumenta lo que provocaría una de amplificación del sismo; sin embargo, durante la licuación este comportamiento debe ser evaluado y se están realizando investigaciones sobre este tema.

2.3.3.1. Flujo de licuación

Según Renzo Vihelmo A. (2010), El flujo por licuación produce los efectos más significativos relacionados al fenómeno de licuación causando gran inestabilidad y movimientos conocidos como fallas por flujo. El flujo por licuación puede ocurrir cuando el esfuerzo cortante necesario para mantener el equilibrio estático de una masa de suelo (esfuerzo cortante estático), es mayor que la resistencia en el estado licuado del suelo o su resistencia residual. Una vez alcanzado ese nivel de esfuerzo, las grandes deformaciones producidas por el flujo por licuación son realmente provocadas por los esfuerzos cortantes estáticos. Los esfuerzos cíclicos pueden simplemente llevar al suelo a un estado inestable o licuable, en el cual su resistencia disminuye lo suficiente para que los esfuerzos estáticos produzcan la falla por flujo.

2.3.3.2. Movilidad cíclica

Según Renzo Vihelmo A. (2010), La movilidad cíclica es otro fenómeno que puede ser también producto de grandes deformaciones permanentes durante el movimiento sísmico. Por el contrario al flujo por licuación, la movilidad cíclica ocurre cuando el esfuerzo cortante estático es menor que el esfuerzo cortante resistente del suelo licuable. Las deformaciones producidas por las fallas de la movilidad cíclica se desarrollan incrementándose durante el terremoto. Este fenómeno también se diferencia del flujo por licuación debido a que las deformaciones producidas por la movilidad cíclica son conducidas tanto por el esfuerzo cortante cíclico, como por el esfuerzo cortante estático. Estos tipos de deformaciones, denominadas desplazamiento lateral, pueden ocurrir en terrenos con pendientes muy suaves o en terrenos

virtualmente planos adyacentes a cuerpos de agua. Cuando se encuentra edificaciones presentes el desplazamiento lateral puede causar daño muy significativo.

Un caso especial de la movilidad cíclica es la licuación a nivel de terreno. Debido a que los esfuerzos cortantes estáticos horizontales que podrían conducir la deformación no existen, la licuación a nivel de terreno puede producir un movimiento grande y caótico conocido ente por la disipación como la oscilación del terreno durante el sacudimiento sísmico, produciendo pequeños movimientos laterales permanentes del suelo. Las fallas de la licuación a nivel de terreno son causadas por un flujo vertical de agua que ocurre inducido sísmicamente por la disipación del exceso de presión de poros. Dependiendo del tiempo de recorrido requerido para alcanzar el equilibrio hidráulico, la falla por licuación a nivel de terreno vertical y por lo tanto hundimiento del terreno que subyace, el desarrollo de volcanes y hoyos de arena son característicos de este tipo de falla.

2.3.4. Condición sísmicas, geológicas y geotécnicas para el desarrollo de licuación

Según Renzo Vihelmo A. (2010), Para llevar a cabo investigaciones en el sitio para evaluar el potencial de licuación de un depósito de suelo o para evaluar la posibilidad de que se haya producido o no la licuación, y dado que la licuación es un fenómeno muy complejo y que provoca grandes daños, varias condiciones se deben tener presentes durante la inspección de campo, y al realizar los análisis de laboratorio correspondientes

2.3.4.1. Condiciones sísmicas

- **Intensidad de Movimiento Sísmico:** según Alva (1998) se demuestra que en el Perú los diversos sismos ocurridos han producido consecuencias de licuación de suelos, la cual ha dejado evidencia histórica (Silgado, 1978). La correlación entre los sismos y problemas

de licuación tiene alta correlación con la intensidad de los primeros en especial en la costa y nor-oriental peruano.

- **Magnitud de Movimiento Sísmico:** la magnitud del movimiento sísmico está relacionada con la magnitud de los esfuerzos y deformaciones inducidos en el terreno. Dependiendo de la distancia hipo central, así como las características de los estratos por los que pasan las ondas generadas por el sismo, la magnitud del movimiento producirá ciertas aceleraciones que dependerán de las ondas de corte que lleguen a la superficie, se puede entender que el registro de esfuerzos cortantes obtenidos durante el sismo, es complicado debido a la naturaleza errática de estos, ocasionando diversos esfuerzos y deformaciones en el suelo cuya magnitud es proporcional a la magnitud del sismo.
- **Duración del Movimiento Sísmico,** los eventos sísmicos capaces de causar la licuación de suelos son muy fuertes pero a la vez de una duración muy corta, con algunas excepciones como el sismo ocurrido en Pisco, el que debido a su duración fue excepcional en comparación a la naturaleza de los sismos ocurridos en el Perú. La condición de corta duración del sismo no permitirá la disipación de la presión de poros en el suelo granular, provocando una condición prácticamente no drenada en el mismo, pero a su vez el movimiento deberá ser lo suficientemente duradero para que este exceso de presión de poros sobre pase el esfuerzo total, generando por lo tanto una condición de esfuerzo efectivo nulo, lo cual ocasiona la licuación de suelos.

2.3.4.2. Condiciones geológicas y geotécnicas

- **Registro Históricos:** una gran fuente de información sobre el comportamiento de licuación se han obtenido de investigaciones de campo post-sismo, de lo cual se conoce que en lugares donde se haya presentado la licuación, este fenómeno normalmente vuelve a ocurrir, cuando las condiciones del suelo y nivel freático se mantienen inalteradas (Youd, 1984). En realidad cuando sucede este fenómeno, el

suelo no se densifica, como ocurre en suelos sueltos, debido al incremento de presión de poros.

- **Condiciones Geológicas:** los depósitos de suelos que son susceptibles a la licuación se encuentran dentro de un rango estrecho de ambientes geológicos (Youd, 1991). Los ambientes de depositación, hidrológicos (posteriormente explicados) y la edad del depósito, contribuyen a la susceptibilidad a este fenómeno (Youd y Hoose, 1977) Los procesos geológicos que ordenan el suelo dentro de una distribución granulométrica uniforme ay los deposita en estado suelto produce depósitos de suelo con alta susceptibilidad a la licuación. Por lo tanto, depósitos fluviales, coluviales y eólicos al estar saturados, son probables fuentes de una ocurrencia futura de licuación de suelos. Aunque la licuación también ha sido observada en abanicos aluviales, llanuras aluviales, playas y terrazas, no posee la misma ocurrencia de los casos anteriores. Asimismo, la susceptibilidad de licuar de depósitos de suelos más antiguos es generalmente más baja que de los depósitos recientes. Los depósitos del holoceno son más susceptibles que los suelos del Pleistoceno, aunque la susceptibilidad incluso decrece dentro del mismo Holoceno.
- **Condiciones Granulométricas del Suelo:** Los suelos más susceptibles a la licuación son aquellos que poseen una granulometría uniforme o pobremente graduada, siendo las arenas fina pobremente gradadas con mayor tendencia a la licuación que las gruesas debido a su menor permeabilidad. El problema de licuación será mayor si el suelo tiene un coeficiente de uniformidad (CU) mayor o igual a 2.
- **Condiciones de la Plasticidad y Componente del Contenido de Finos del Suelo:** han existido varios criterios para definir la susceptibilidad a la licuación basados en el contenido de finos y el limite liquido de los mismo, R.B. Seed et al (2003) muestra dos criterios de autores diferentes y presenta el suyo destacando el hecho de que más que la influencia del contenido de finos, muchos más depende de la naturaleza de sus componentes y su plasticidad.

- **Condiciones de Estado del Suelo:** El estado inicial de un suelo es definido por su densidad y esfuerzo efectivo, para que el suelo sea susceptible a la licuación este debe presentar un estado de esfuerzos y una densidad relativa tal que promuevan esa condición de licuación; esas condiciones de esfuerzo y densidad relativa pueden considerarse cuando el suelo posea un esfuerzo dado; y asimismo, presentar densidades entre 30% a 60% (muy suelto a medianamente denso) (Nspt 0 a 25 golpes/30cm) para que sea altamente susceptible a la licuación, es en este caso en el que la relación de vacíos del suelos es alta por lo cual su comportamiento es contractivo ante la acción de cargar que es lo que provoca el aumento de presión de poros. Asimismo, para una densidad relativa dada con mayor esfuerzo de confinamiento inicial, se aumenta la resistencia a la licuación. Además, otro factor que influye en el equilibrio inicial entre los esfuerzos cortantes en el suelo es su geometría, en el caso que se encuentre en un talud provocaría una mayor tendencia a licuarse ya que presenta mayores esfuerzos cortantes estáticos iniciales que la perturbación generada por el sismo en un terreno plano.

2.3.4.3. Condiciones de nivel freático

Es una de las condiciones más importantes para que se produzca la licuación. La presión de poros es producida por el agua que ocupa los vacíos existentes entre las partículas del suelo debido a la posición del nivel freático. Además, la licuación ocurre solo en suelos saturados, por lo que la profundidad de dicho nivel también influye en la susceptibilidad a la licuación. La susceptibilidad decrece con el incremento en la profundidad, Los efectos de la licuación son comúnmente observados en lugares en donde el nivel freático se encuentra algunos metros debajo de la superficie. En lugares donde el nivel freático fluctúa significativamente, los peligros de ocurrencia de licuación también esta presentes.

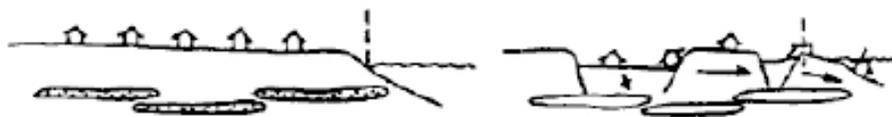
2.3.5. Efectos ocasionados por la licuación

Según Renzo Vihelmo A. (2010), Los efectos ocasionados por la licuación de suelos en el terreno se pueden dividir en dos, de acuerdo al tipo de comportamiento que haya adoptado el suelo, es decir, el flujo por licuación ocasiona las deformaciones más grandes, los estimados de estas grandes deformaciones producidas por este fenómeno pueden ser hechas con una mediana exactitud, estas “grandes” deformaciones o desplazamientos (>1m) sin usualmente el resultado principal tanto del asentamiento inducido por gravedad como por el reacomodo geométrico del suelo y/o la masa estructural requerida para establecer su reequilibrio estático. La mayoría de deformaciones para estos casos usualmente ocurren luego de que un fuerte movimiento haya cesado, por lo que las fuerzas cíclicas inerciales no son muy importante al conducir las deformaciones, aunque sí lo son al iniciar la licuación inducida al ablandamiento del terreno, esto se puede apreciar en la Fig. 20.

 Zona licuada con baja resistencia residual no drenada



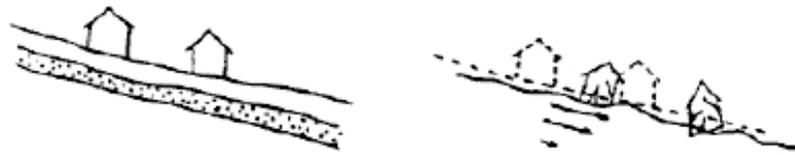
(a) Límite de Falla / Desplazamiento Lateral por Flujo



(b) Límite de Falla / Desplazamiento Lateral por Traslación



(c) Falla por Flujo



(d) Desplazamiento Translacional



(e) Desplazamiento Rotacional y/o Translacional

Figura 20. Ejemplo esquemático del flujo por licuación induciendo inestabilidad (R.B. Seed et al., 2003)

Fuente: Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006.

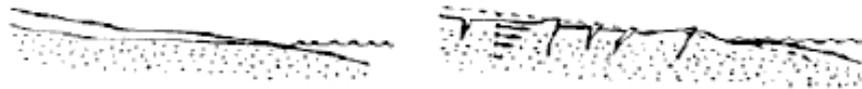
Por el contrario, los efectos inducidos por la movilidad cíclica, es decir, cuando se llega al estado licuado pero los esfuerzos cortantes actuantes son menores a la resistencia de licuada pero los esfuerzos cortantes actuantes son menores a la resistencia de licuada, que contrastan del ocasionado por el flujo por licuación que están dominados por el desplazamiento conducido principalmente por la fuerza de gravedad luego del cese de un fuerte sacudimiento, los desplazamientos “pequeños o moderados” están fuertemente afectados por las fuerzas cíclicas inerciales producidas por el movimiento. Además, esos pequeños desplazamiento son usualmente controlados en gran parte por un ablandamiento ocasionado por el exceso de presión de poros inducido cíclicamente, seguido por la dilatación y la subsecuente educción de

presión de poros (y el restablecimiento de resistencia y rigidez), esto se puede apreciar en la Fig. 21 y 22.

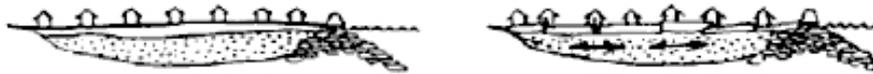
 Zona Licuada



(a) Desplazamiento hacia una cara libre



(b) Desplazamiento talud abajo o grada abajo



(c) Localizado, Desplazamiento diferenciales preferenciales no direccionados

Figura 21. Ejemplo esquemático de la movilidad cíclica induciendo traslación lateral (R.B. Seed et al., 2003)

Fuente: Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006.



(a) Abultamiento de terreno debido a densificación cíclica y/o reconsolidación volumétrica



(b) Abultamiento secundario del suelo debido a la erosión de la erupción de un volcán de arena



(c) Desplazamiento global rotacional o traslacional de sitio



(d) Asentamiento o desplazamiento cortantes limitadas



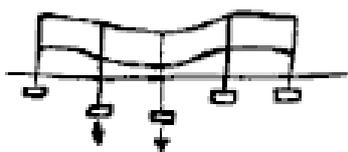
(e) Desplazamiento lateral y aparición de cráteres



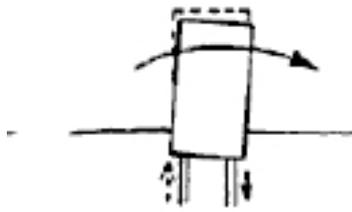
(f) Movimiento de suelo localizado



(g) Falla completa portante



(h) Falla portante parcial o punzonamiento limitado



- (i) Asentamiento de cimentación debido al ablandamiento del suelo exacerbado por un levantamiento inercial.

Figura 22. Ejemplo esquemático de la movilidad cíclica induciendo desplazamiento verticales (R.B. Seed et al., 2003)

Fuente: Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006.

2.4. Análisis del peligro sísmico

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C. en el estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza, la evaluación del peligro sísmico del Proyecto se han efectuado los siguientes pasos:

- a) Determinar la sismicidad regional,
- b) Identificar las características sismo tectónicas,
- c) Estimar la atenuación de los efectos sísmicos regionales y
- d) Estimar el sismo de diseño.

La evaluación del peligro sísmico se ha efectuado por medio del método probabilístico, para finalmente proponer niveles sísmicos del movimiento máximo del suelo en el área del proyecto. Además, se proponen valores del coeficiente sísmico para el diseño pseudo-estático de taludes y muros.

2.4.1. Historia sísmica del área de influencia

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., la fuente básica de datos de intensidades sísmicas de los sismos históricos es el trabajo de Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992), que describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú y que además tienen influencia en la zona en estudio, los cuales se pueden apreciar en las Figuras 23 y 24.

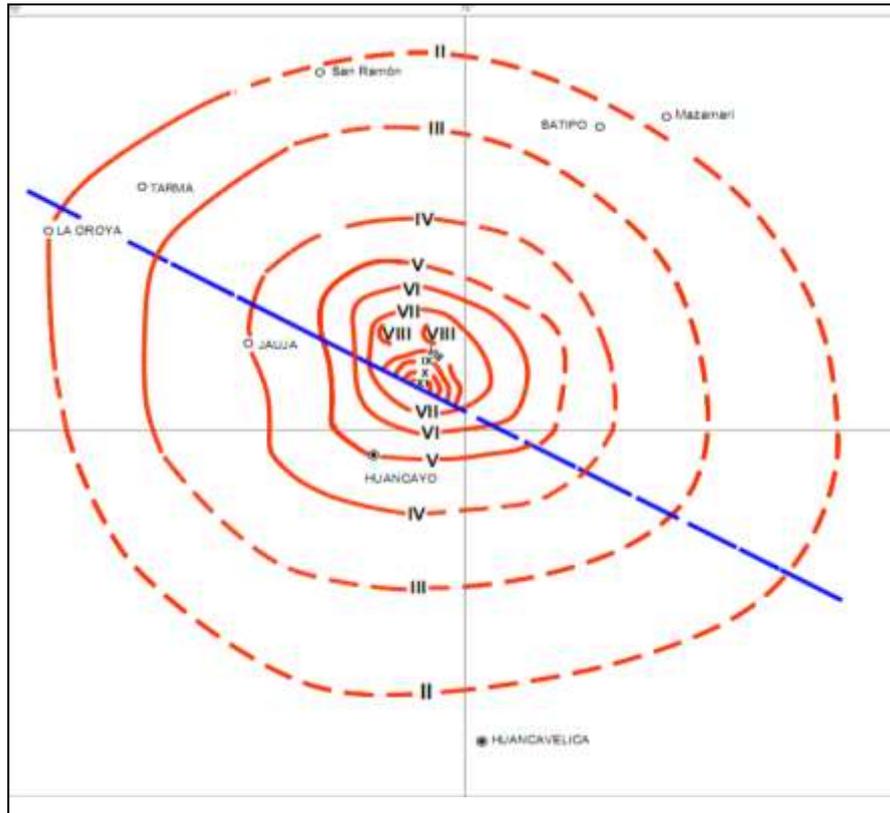


Figura 23. Curva Isosista referente a los sismos de los años 1971 (E. Deza 1971).

Fuente: Evaluación de riesgo sísmico crecimiento deposito relave el limonar, cobriza (2010)

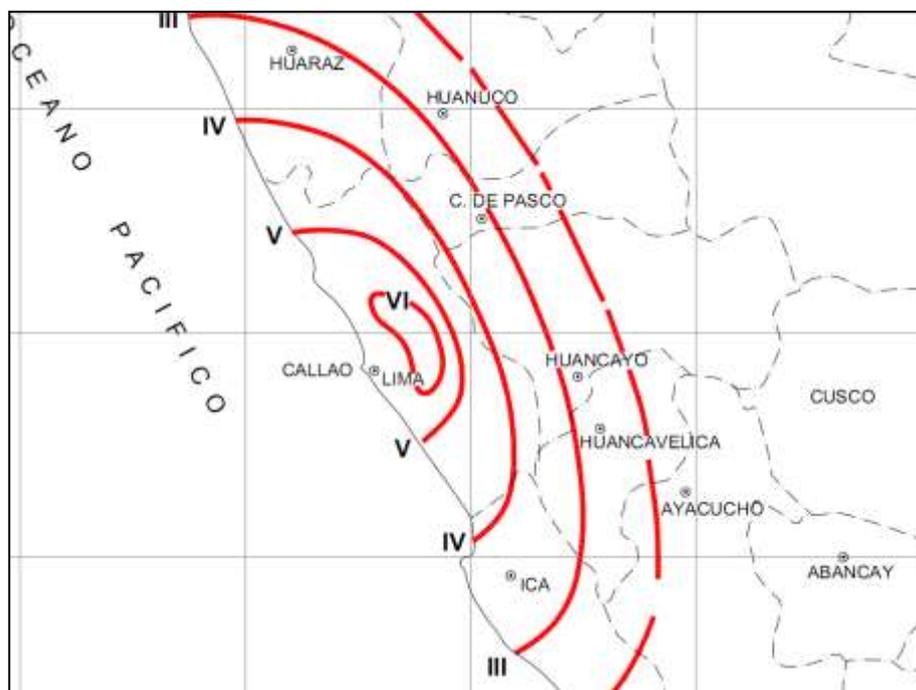


Figura 24. Curvas Isosista referente al sismo del año 1993 (P. Huaco y Zamudio 1993).

Fuente: Evaluación de riesgo sísmico crecimiento deposito relave el limonar, cobriza (2010)

Los sismos más importantes que afectaron la región y cuya historia se conoce son: el sismo del 9 de Julio de 1586 con intensidades de IX MM en Lima y Callao; el sismo del 13 de Noviembre de 1655 con intensidades IX MM en El Callao y VIII MM en Lima; el sismo del 20 de Octubre de 1687, con intensidades de VIII-IX MM en Lima y IX MM en Cañete; el sismo del 28 de Octubre de 1746, con intensidades de X MM en Chancay y Huaura, IX-X MM en Lima, Barranca y Pativilca y VIII MM en Cañete y la Cordillera Negra; el sismo del 30 de Marzo de 1828 con intensidad VIII MM en Lima; el sismo del 4 de Marzo de 1904 con intensidades de VII-VIII MM en Lima; el sismo del 24/05/1940, con intensidades de VIII MM en Lima, percibido desde Guayaquil (III MM) hasta Arica (III MM); el sismo del 17 de Octubre de 1966, con intensidades de VIII MM en Huacho y VII MM en Lima; y el sismo del 3 de Octubre de 1974 con intensidades de VIII en Lima y VII en Cañete.

Se concluye que de acuerdo a la historia sísmica del área en estudio (400 años), han ocurrido sismos de intensidades de VI-VII en la escala Mercalli Modificada. Además, en zonas de la costa, como las ciudades de Chancay y Huaura han ocurrido intensidades máximas de hasta X MM grados, en Lima y en Cañete IX MM grados.

2.4.2. Distribución espacial de los sismos

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., la ubicación de hipocentros ha mejorado en tiempos recientes, por lo que puede considerarse los siguientes períodos en la obtención de datos sismológicos.

- 1) Antes de 1900 : datos históricos descriptivos de sismos destructores.
- 2) 1900 - 1963 : datos instrumentales aproximados.
- 3) 1963 - 1992 : datos instrumentales más precisos.

Se debe indicar que esta información se encuentra recopilada en el catálogo sísmico del Proyecto SISRA (1985), actualizado hasta el año 1992 con los datos verificados publicados por el ISC. En la figura 24 se presenta la distribución de epicentros en el área de influencia del proyecto, elaborado en base al catálogo sísmico del Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina) patrocinado por el CERESIS.

Dichas figuras presenta los sismos ocurridos entre 1963 y 1992, con magnitudes en función de las ondas de cuerpo, m_b . Además, se ha dibujado las diferentes profundidades focales de sismos superficiales (0-70 km), sismos intermedios (71-300 km) y sismos profundos (más de 300 km), los cuales se pueden apreciar en las Figuras 25 y 26.

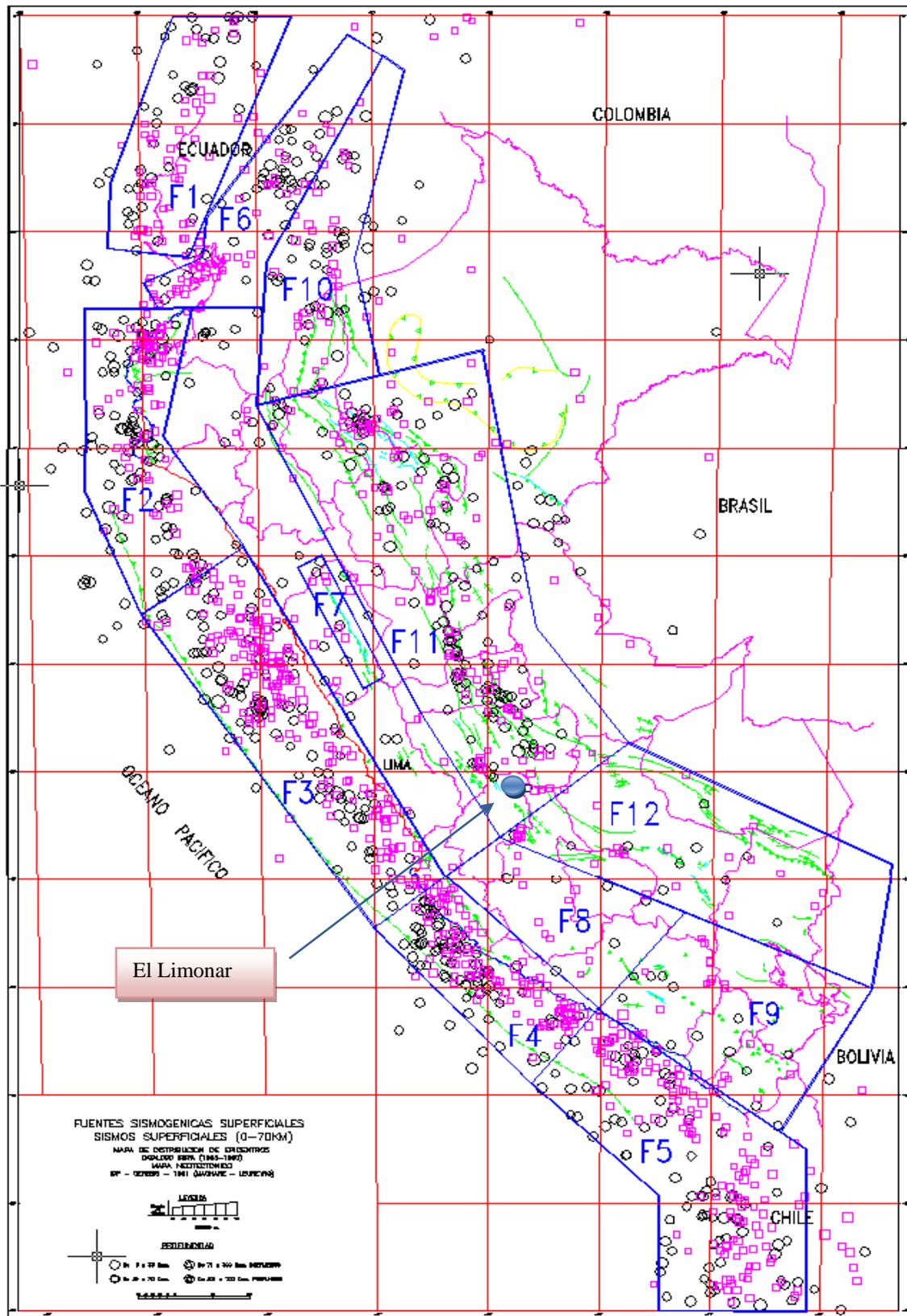
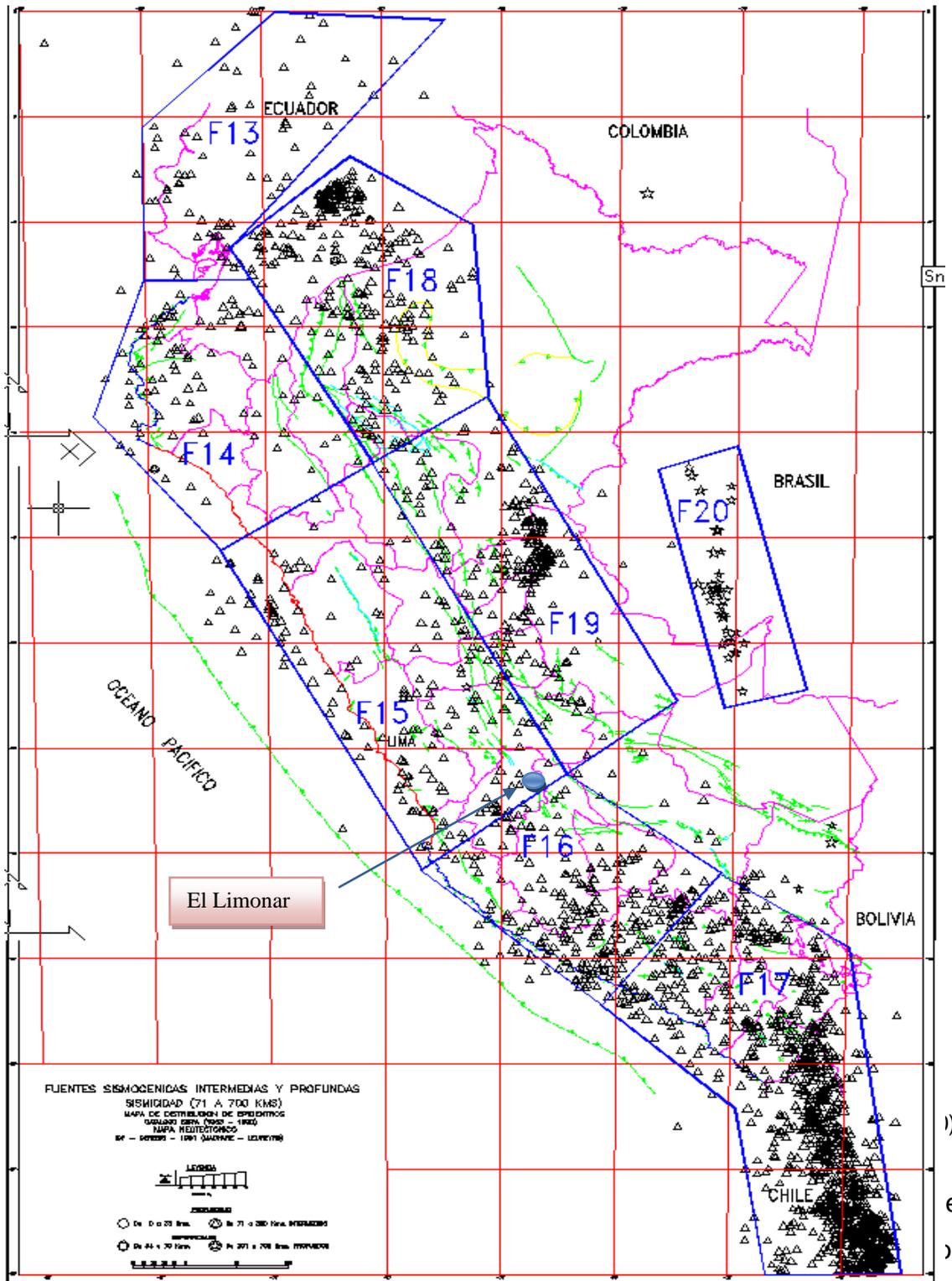


Figura 25. Fuentes Sismogénicas Superficiales y Continentales

Fuente: Evaluación de riesgo sísmico crecimiento deposito relave el limonar, cobriza (2010)



actividad sísmica se concentra en el mar, paralelo a la costa. Se aprecia la subducción de la Placa de Nazca, ya que hacia el continente la profundidad focal de los sismos aumenta. También se producen sismos en el continente que son superficiales e intermedios, y que estarían relacionados a fallas existentes. En el perfil transversal perpendicular a la costa, que pasa por el

área del proyecto, se aprecia la subducción de la Placa de Nazca y los sismos continentales.

2.4.3. Estudio sísmico probabilístico

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., el peligro sísmico puede evaluarse probabilísticamente con el método desarrollado por Cornell (1968). La primera parte del método consiste en una revisión de la actividad sísmica del pasado, para determinar las fuentes sismogénicas considerando las características tectónicas de la región. Luego se determina la recurrencia de las zonas sismogénicas y con la atenuación sísmica se calculan los valores probables de intensidades sísmicas.

2.4.4. Fundamento de análisis del peligro sísmico

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., el peligro sísmico se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo, tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli modificada u otro parámetro.

La ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio y la Teoría de las Probabilidades es aplicable en el análisis del riesgo de su ocurrencia. Aplicando esta teoría se puede demostrar que si la ocurrencia de un evento A depende de la ocurrencia de otros eventos: E_1, E_2, \dots, E_n , mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos; entonces, de acuerdo al teorema de la "probabilidad total" se tiene para la probabilidad de ocurrencia de A:

$$P(A) = \sum_i^n P(A/E_i) \cdot P(E_i)$$

Donde $P(A/E_i)$ es la probabilidad condicional que ha ocurra, dado que E_i ocurra. La intensidad generalizada (I) de un sismo en el lugar fijado puede

considerarse dependiente del tamaño del sismo (la magnitud o intensidad epicentral) y de la distancia al lugar de interés. Si el tamaño del sismo (S) y su localización (R) son considerados como variables aleatorias continuas y definidas por sus funciones de densidad de probabilidad, $f_S(s)$ y $f_R(r)$ respectivamente; entonces el peligro sísmico definido por la probabilidad que la intensidad I sea igual o mayor que una intensidad dada, será: $P(I \geq i)$ y está dada por:

$$P(I \geq y) = \iint P[I/(s,r)] f_S(s) f_R(r) ds dr$$

Esta es la expresión que resume la teoría desarrollada por Cornell en 1968 para analizar el peligro sísmico. La evaluación de esta integral es efectuada por el programa de cómputo RISK desarrollado por R. McGuire (1976) en el cálculo del peligro sísmico, mostrado en el más adelante.

2.4.5. Evaluación de fuentes sismogénicas

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., la actividad sísmica en el Perú es el resultado de la interacción de las placas Sudamericana y de Nazca, y el proceso de reajuste tectónico del Aparato Andino.

Esto nos permite agrupar a las fuentes en Fuentes de Subducción y Fuentes Continentales. Las Fuentes de Subducción modelan la interacción de las placas Sudamericana y de Nazca. Las Fuentes Continentales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina. Se han presentado las fuentes como áreas, ya que no existen suficientes datos para modelar fallas como fuentes lineales en este tipo de análisis.

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., La mayor parte de los sismos ocurridos en el área considerada es producto de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana. La Placa de Nazca penetra debajo de la Sudamericana a ángulos variables. La Placa de Nazca se profundiza a medida que avanza hacia el Continente, por

lo que pueden distinguirse las Fuentes de Subducción Superficial (F3 y F4) (ver figura 25), Fuentes de Subducción Intermedia (F15, F16 y F19) (ver figura 26). La Fuente de Subducción Profunda F20 no influye en el proyecto. Las Fuentes de Subducción Superficial, Intermedia y Profunda tienen profundidades focales promedio de 50, 120 y 600 km respectivamente. Las fuentes F7, F8, F11 y F12 están asociadas a la sismicidad regional andina con profundidades focales superficiales, sin estar asociadas a fallas activas.

2.4.6. Análisis estadístico de recurrencia

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., el catálogo instrumental de sismos comienza a principios de siglo para la zona en referencia. La información existente hasta el año 1963 es incompleta, ya que no se cuenta con valores de magnitud de ondas de cuerpo m_b y profundidad focal. Se decidió utilizar la información a partir de 1963 para la realización del análisis estadístico de recurrencia.

La recurrencia de terremotos se determina de acuerdo a la expresión de Richter (1958):

$$\text{Log } N = a - bM$$

Dónde:

N = número de sismos de magnitud M ó mayor por unidad de tiempo.
 a, b = parámetros que dependen de la región.

La expresión anterior también se puede escribir como:

$$N = \Gamma_0 e^{-\beta M}$$

Dónde:

$\Gamma_0 = 10^a$ es el número de sismos por unidad de tiempo con $M > 0$
 $\beta = b \times \ln 10$

Los parámetros estadísticos de recurrencia para cada una de las fuentes sismogénicas se han calculado utilizando la magnitud M , definida por $M = \text{máx. } \{m_b, M_s\}$. Se calculó la siguiente relación entre estas dos magnitudes, de manera de utilizar cualquiera de ellas para homogenizar la muestra de datos.

$$m_b = 3.30 + 0.40 M_s$$

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., en el análisis estadístico de los parámetros de recurrencia se utilizó el método de la máxima verosimilitud, considerando los datos de 1963-1992. Este método ajusta la recta al valor medio de los datos sobre la magnitud mínima de homogeneidad, incluida la máxima magnitud observada, normalizando el aporte que hacen los sismos de diferentes magnitudes. Esto hace que el valor de b refleje de mejor forma el estudio de los esfuerzos de la región.

La tasa μ es la tasa media anual de ocurrencia de eventos mayores o iguales que la magnitud mínima de homogeneidad. Para determinar la tasa μ se utiliza una variación del diagrama de Gutenberg y Richter, que consiste en dibujar un número acumulativo de eventos mayores a una determinada magnitud versus el tiempo. De estos gráficos se puede determinar la magnitud mínima de homogeneidad (M_{min}) y la tasa μ .

La magnitud mínima de homogeneidad corresponderá al gráfico cuyo diagrama acumulativo versus tiempo muestre un comportamiento lineal monotónicamente creciente.

2.4.7. Ley de atenuación

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C., se ha utilizado para los sismos de subducción la ley de atenuación de aceleraciones propuesta por Casaverde y Vargas (1980). Esta ley está basada en los registros de acelerógrafos de las componentes horizontales de diez sismos peruanos registrados en Lima y alrededores.

Es notoria la menor atenuación de los sismos peruanos en comparación con las atenuaciones de sismos en otras partes del mundo. Los sismos fueron registrados en acelerógrafos instalados en el local del Instituto Geológico en la Plaza Habich, el Instituto Geofísico en la Avenida Arequipa, en Zárate, en la casa del Dr. Huaco en Las Gardenias y en La Molina, la ley es:

Atenuación de aceleraciones

$$a = 68.7 e^{0.8M_s} (R + 25)^{-1.0}$$

Donde:

a = aceleración en cm/s^2

M_s = magnitud de las ondas superficiales

R = distancia hipocentral en km.

Es evidente que existe escasez de datos de registros de aceleraciones en el Perú. Los datos que se tienen son de la ciudad de Lima. Sin embargo, debe notarse que existe bastante dispersión en los datos de atenuación de energía sísmica con distancia hipocentral.

La figura 27 presenta la Ley de Atenuación de Aceleraciones utilizada en conjunción con las fuentes sismogénicas de subducción.

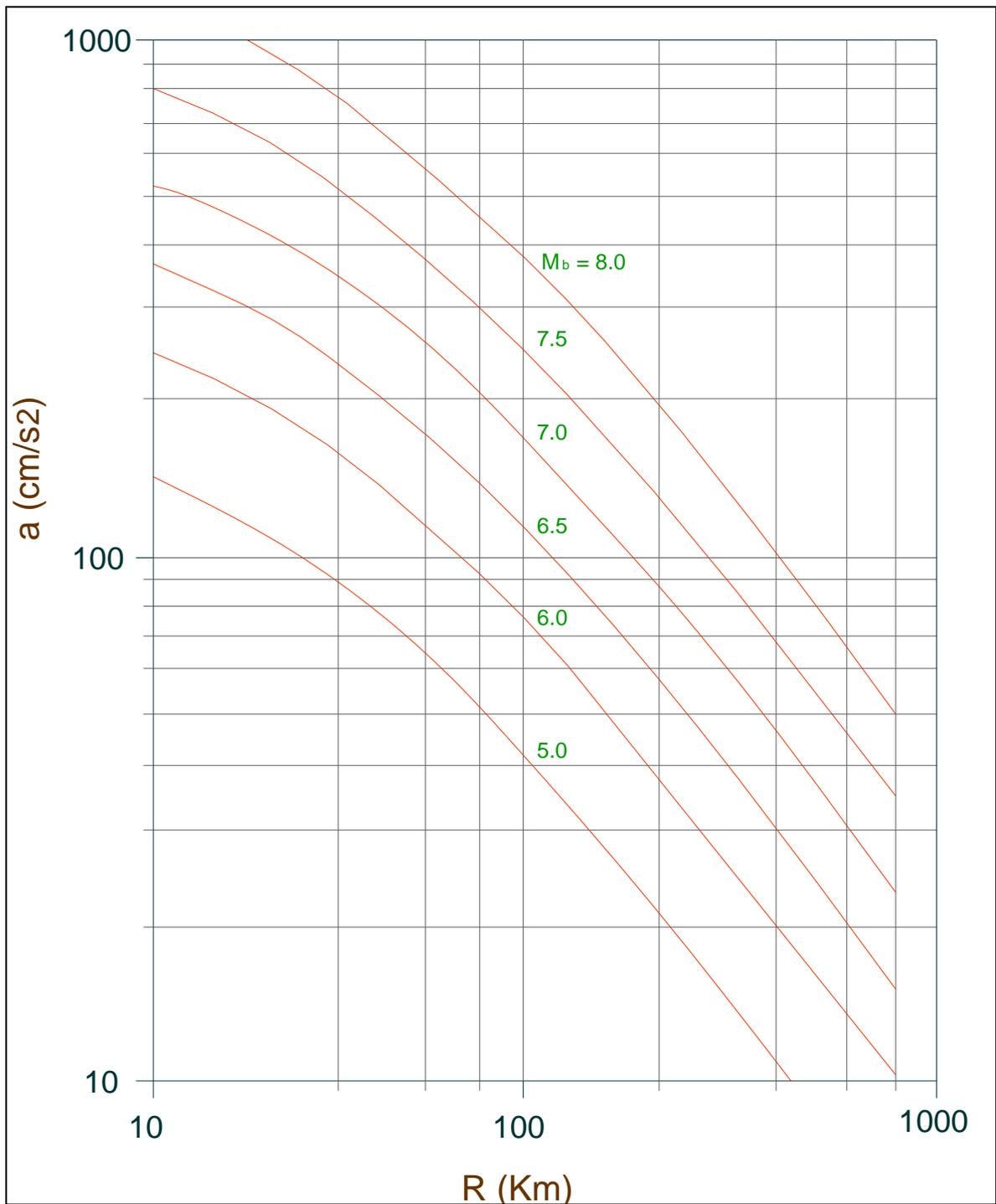


Figura 27. Ley de atenuación para terremotos de subducción

Fuente: Evaluación de riesgo sísmico crecimiento deposito relave el limonar, cobriza (2010)

La figura 28 presenta la Ley de Atenuación de Aceleraciones utilizada en relación a las fuentes sísmo-génico continental. Para las fuentes continentales superficiales (F7, F8, F11 y F12) se ha utilizado la ley de atenuación de aceleraciones propuesta por R. McGuire (1974). Esta ley de atenuación fue deducida para la costa Oeste de los Estados Unidos, estando asociada a fallas continentales y su expresión es:

Atenuación de Aceleraciones

$$a = 472 \times 10^{0.28M_s} (R+25)^{-1.3}$$

Que expresada en forma logarítmica resulta:

$$\ln a = 6.156 + 0.64M_s - 1.30 \ln (R+25)$$

Donde:

a= aceleración en cm/s^2

M_s = magnitud de las ondas superficiales

R = distancia hipo central en km.

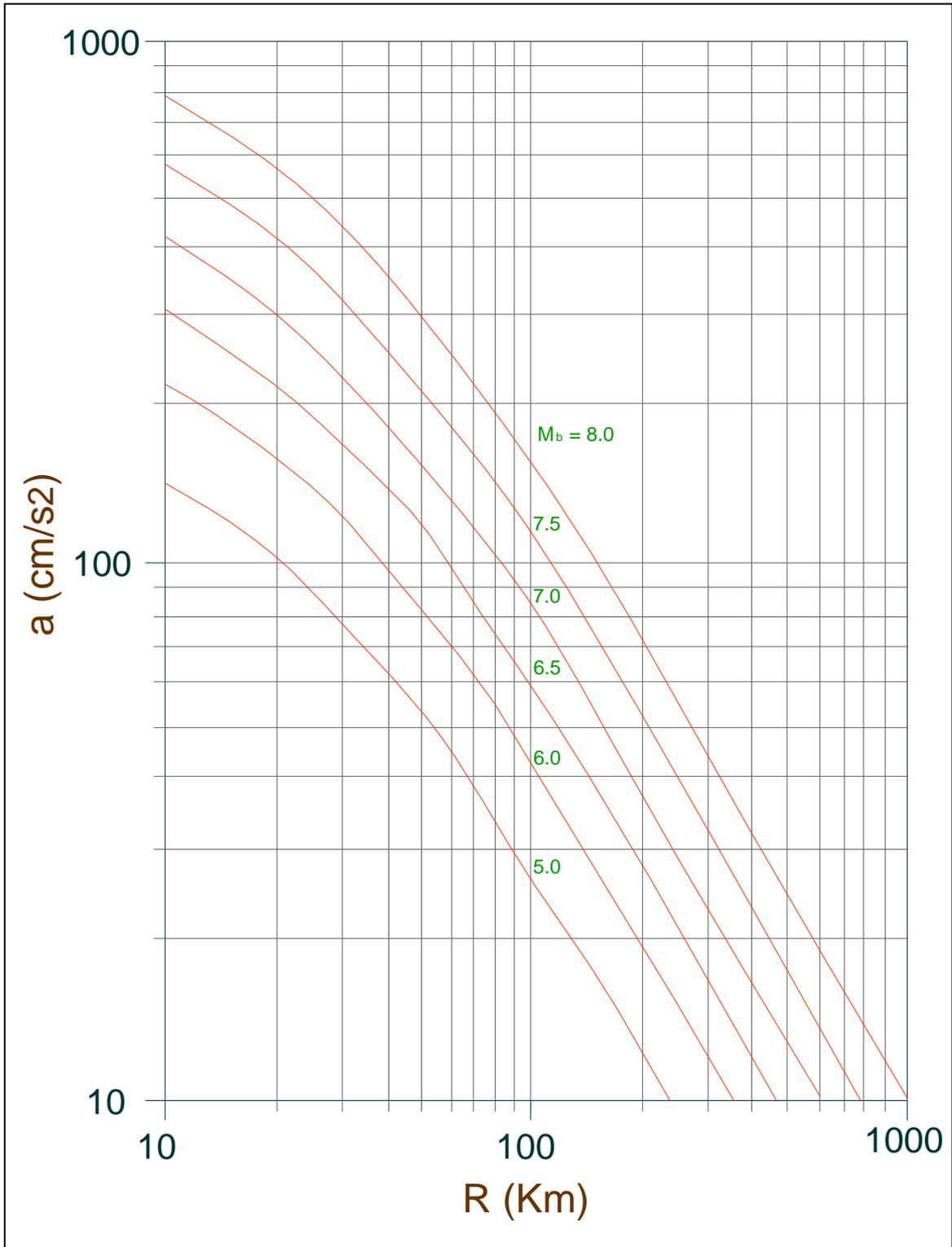


Figura 28. Ley de atenuación para terremotos continentales.

Fuente: Evaluación de riesgo sísmico crecimiento deposito relave el limonar, cobriza (2010)

2.5. Potencial de licuación evaluado por método semi-empírico propuesto por Seed and Idriss (2001)

2.5.1. Antecedentes

Según lo propuesto por Seed & Idriss (1971), la evaluación del potencial de licuación de un depósito arenoso, se realiza frecuentemente mediante pruebas in situ, utilizando para ello, procedimientos simplificados. Es innegable que el procedimiento que ha tenido una gran aceptación a nivel mundial, el cual está basado en la prueba de penetración estándar (SPT). Desde el año 1977, este procedimiento ha sido revisado y actualizado con el fin de mejorar el nivel predictivo del mismo [Varela & Donovan, 1977]. Paralelo al ensayo de penetración estándar (SPT), se han venido desarrollando métodos simplificados basados en otras pruebas in situ, tales como el CPTU y el DMT. Un estado del arte interesante sobre los métodos que siguen el formato de Seed, ha sido presentada en el informe del Workshop, editado por Youd [Youd et al., 1997], y cuyo resumen fue publicado en la revista de Geotecnia de la ASCE [Youd et al., 2001]. El método más ampliamente usado para evaluar licuefacción es el procedimiento simplificado propuesto por Seed and Idriss en el año 1971. Este procedimiento se basa principalmente en observaciones empíricas y en datos obtenidos fundamentalmente en los ensayos de SPT que realizamos en el campo y ensayos de laboratorio.

Según Green (2001), el procedimiento simplificado es presentado en términos de demanda, capacidad y factor de seguridad, donde demanda es la carga impartida al suelo por el terremoto o movimientos cíclico y el factor de seguridad se define entre capacidad y demanda. Para el propósito de evaluación de licuefacción usando el enfoque de tensión cíclica, la carga normalmente se caracteriza en términos de la relación de tensión cíclica (CSR, Cyclic Stress Ratio).

El primer paso en el procedimiento simplificado es calcular la CSR, también llamada relación de tensión sísmica (SSR, Seismic Stress Ratio), cuando es causada por un terremoto. Debemos destacar que cuando nos

referimos a relaciones de tensiones cíclicas estamos hablando de relacionar las tensiones de corte “t” con las tensiones verticales efectivas en el mismo punto “ σ'_v ”, para evaluar el proceso y obtener el coeficiente de seguridad.

2.5.2. Tensión vertical total “ σ_v ”. y tensión vertical efectiva “ σ'_v ”.

Según Youd et al. (2001), se tiene que hacer un estudio detallado de las tensiones verticales totales σ_v de tensiones verticales efectivas σ'_v por cada cambio de estrato. Debe tener en cuenta la posible fluctuación de los niveles de la napa de agua, para las distintas etapas del año. Además deberá considerar, la posible variación de la napa de agua luego de concluida la obra.

$$\sigma_v = \gamma H \times h$$

Si la masa de arena suelta saturada, es solicitada por un movimiento cíclico, con cargas cíclicas que se producen en fracciones de segundos, el agua no tendrá tiempo de drenar y se generarán presiones neutras positivas que anularán la tensión de confinamiento lo que llevará a generar el proceso de licuefacción de la masa granular.

En un suelo arenoso o areno limoso, saturado, de reducida densidad relativa, tiene lugar el proceso de licuación cuando es sometido a un esfuerzo vibratorio que provoca un incremento de la presión neutra con el tiempo, hasta valores comparables a la tensión vertical total, transformándolo en una masa líquida sin resistencia al corte. En la figura 29 se presenta un ejemplo esquemático del cálculo de la tensión total y tensión efectiva.

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu v$$

Dónde:

σ_v : Tensión total vertical

σ'_v : Tensión efectiva vertical

γH : Densidad húmeda

μ_v : Presión de poros

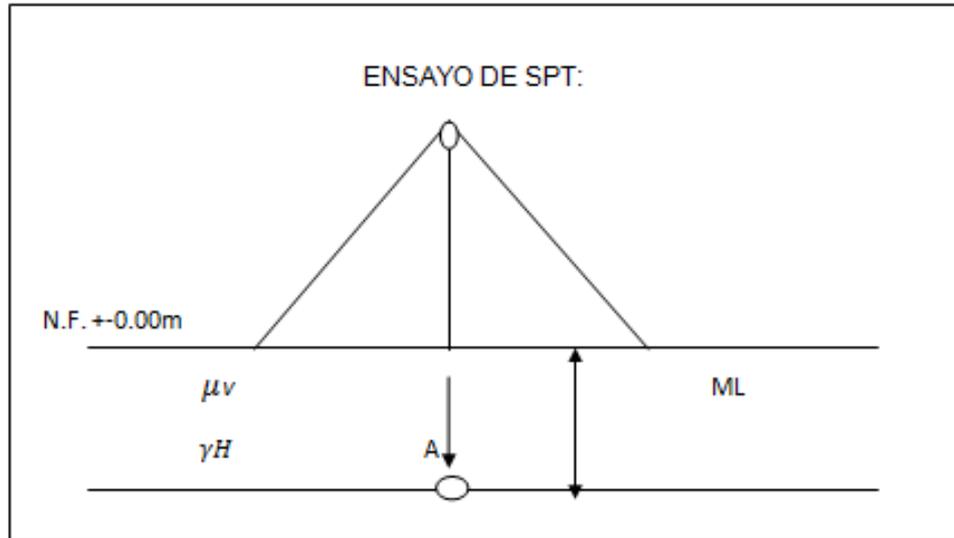


Figura 29. Ejemplo esquemático del cálculo de la tensión total y tensión efectiva

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

En los suelos granulares sueltos y saturados, el proceso es distinto ya que cuando son sometidos a un esfuerzo de corte y no tienen posibilidad de drenar, experimentan grandes deformaciones e intentan densificarse lo que genera presiones del agua de poros positivas que como no tienen la posibilidad de drenar y disiparse afectan el valor de las tensiones efectivas de la presión de confinamiento y prácticamente la anulan, logrando con ello que la masa granular se transforme en una masa fluida que carece totalmente de resistencia.

A este proceso se lo denomina LICUEFACCIÓN y como se explicó, se genera en los suelos granulares sueltos y saturados que tienen alguna restricción al drenaje cuando se los somete a esfuerzos de corte. En la figura 30 se presenta la relación de la densidad de la masa de suelo granular y la deformación.

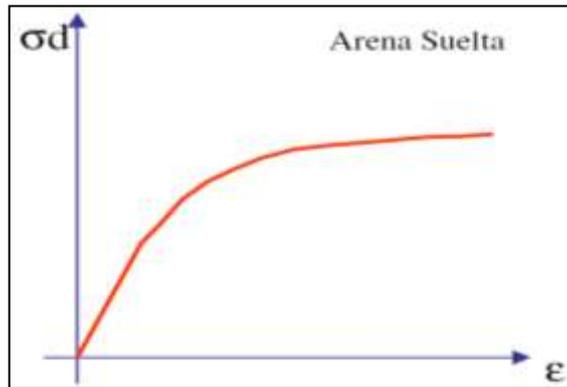


Figura 30. Relación de la densidad de la masa de suelo granular y la deformación

Fuente: Proceso de Licuefacción de suelos, UNLP

2.5.3. Factor de corrección para el cálculo del C_{70}

Según Youd et al. (2001), evaluar los valores de los ensayos de penetración SPT a través del N° de golpes teniendo en cuenta una eficiencia del 60% con respecto a la eficiencia nominal o teórica del ensayo SPT.

Esto se hace porque a nivel mundial los equipos para ejecutar el SPT, no utilizan la misma metodología para el lanzamiento del martinete de 63,5 kg de peso para impactar en cada golpe a la cañería que conecta en profundidad con el saca muestras normalizado de Terzaghi.

Donde el valor de C_{70} se obtiene como el producto de varios factores de corrección, que se pueden obtener de la tabla 02, en ella se detallan varios factores de corrección para la eficiencia de los equipos considerados no estandarizados dados por distintos autores.

$$C_{70} = C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

Dónde:

C_N : Factor para normalizar N_m a una tensión efectiva de sobrecarga

C_E : Factor de corrección por la relación de energía del martillo (ER)

C_B : Factor de corrección por el diámetro de la tubería

C_R : Factor de corrección por la longitud del varillaje

C_S : Factor de corrección para muestras con o sin revestimiento

FACTOR	VARIABLE	SIMBOLO	CORRECCIÓN
Presión de sobrecarga		C_N	$C_N \leq 1.7$
Relación de energía	Martillo cilíndrico	C_E	0,5 - 1,0
	Martillo de seguridad		0,7 - 1,2
	Martillo automático cilíndrico		0,8 - 1,3
Diámetro de la perforación	65 - 115 mm	C_B	1,00
	150 mm		1,05
	200 mm		1,15
Longitud de varilla	3 - 4 m	C_R	0,75
	4 - 6 m		0,85
	6 - 10 m		0,95
	10 - 30 m		1,00
	> 30 m		< 1,00
Tipo de muestreador	Cuchara estándar 1,0	C_S	1,00
	Cuchara sin liners		1.1-1.3

Tabla 02. Factores de corrección para los valores de N medidos en el SPT (Youd et al., 1997).

Fuente: Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006.

N_m = Medida de la resistencia a la penetración estándar

Donde N_m es el valor medido de la resistencia a la penetración estándar. El ingeniero debería familiarizarse con los detalles del procedimiento del SPT para evitar o minimizar los errores asociados con el ensayo y para ganar experiencia en la selección de los factores de corrección apropiados (Youd et al., 1997).

C_N = Factor para normalizar N_{70} a una tensión efectiva de sobrecarga o
Influencia de la tapada del suelo

Según Youd et al. (2001), teniendo el valor estandarizado de N_m que hemos llamado N_{70} , tenemos ahora que obtener el valor normalizado del SPT, que llamaremos $(N_1)_{60}$. Esta corrección que corresponde aplicar únicamente a los suelos granulares, deriva de los cambios que experimentan los suelos de este tipo con la presión de confinamiento, que en los mantos naturales es una función directa de la tapada o más directamente de la profundidad "z" a la que se ejecuta el ensayo.

La corrección a aplicar para obtener el ensayo normalizado y eliminar las variaciones de la presión de confinamiento, tiene en cuenta una presión efectiva de la tapada efectiva σ'_v equivalente a la presión de 1 atmósfera que equivale a 98.10 kPa o a 1 kg/cm² o a 10 tn/m².

$$C_N = \frac{2.2}{(1.2 + \sigma'_v / Pa)}$$

Dónde:

P_a es igual a la presión atmosférica en las mismas unidades que la presión efectiva de confinamiento (σ'_v). Los valores de C_N no deben ser mayores de 1.7 para depósitos muy superficiales.

C_E = Factor de corrección por la relación de energía del martillo (ER)

Sin embargo los trabajos que permiten calcular el potencial de Licuefacción y que están basados en el ensayo SPT, están referidos a un equipo estándar de ensayo que transmite una energía del 70 % de la nominal teórica, por lo tanto hay que corregir los ensayos que tenemos hechos con una energía E_1 a esta nueva energía E_{70} haciendo

$$C_E = \frac{N \cdot E_1}{E_{70}}$$

Donde "N" es el N° de golpes logrado para una energía E_1 y N_{70} es el N° de golpes que se requeriría utilizando una energía del 70 %.

C_B = Factor de corrección por el diámetro de la tubería o Corrección de diámetro de perforación.

65 - 115 mm	⇒	1.00
150 mm	⇒	1.05
200 mm	⇒	1.15

C_R = Factor de corrección por la longitud del varillaje o Corrección de longitud de la barra.

>10	m.	⇒	1.00
6-10	m.	⇒	0.95
4 - 6	m.	⇒	0.85
3 - 4	m.	⇒	0.75

C_S = Factor de corrección para muestras con o sin revestimiento - Corrección por la toma de muestras.

a.-	Espesor lineal	1.00
b.-	Espesor Lineal: arena densa, arcilla	0.80
c.-	Arena poco densa	0.90

Los coeficientes correspondientes según workshop de 1997, se recomienda utilizar la fórmula propuesta por Kayen [Kayen et al., 1992]

2.5.4. Valor normalizado del SPT " $(N_1)_{60}$ "

Según Youd et al. (2001), el valor de resistencia a la penetración estándar corregido se designa como $(N_1)_{60}$ y se obtiene de:

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

2.5.5. Resistencia promedio a la licuefacción " N_{70cf} " mediante la corrección de contenido de finos.

Según Youd et al. (2001), el valor de $(N_1)_{60}$ calculado en el paso anterior, representa una medida de la densidad relativa del depósito o de la resistencia promedio a la licuefacción de arenas limpias con contenido de finos (CF) pasante por el tamiz N° 200, menor al 5%. Cuando el contenido de finos de la arena investigada es mayor del 5%, el valor de $(N_1)_{60}$ debe ser corregido. Esto se debe a que el grado de drenaje durante la ejecución del ensayo de penetración SPT, disminuye con el incremento del contenido de finos (CF), por lo tanto, el número de golpes medido durante el ensayo, subestima la resistencia a la licuefacción en las arenas limosas.

Para compensar este efecto se recomienda aumentar el número de golpes del SPT a medida que aumenta el contenido de finos del suelo granular, es decir el valor de $(N_1)_{60}$ debe ser incrementado en una cantidad que dependerá del contenido de finos del suelo

$$(N_1)_{60CF} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$$

Donde α y β son coeficientes, que dependen del contenido de finos y cuyos valores se presentan en la siguiente tabla:

FC	α	β
FC \leq 5%	0	1
5% \leq FC \leq 35%	exp [1.76- 190/FC ²]	[0.99 + (FC ^{1.5})] 1000
FC \geq 35%	5.0	1.2

Donde FC es el contenido de finos medido en el laboratorio con las muestras tomadas con el ensayo de penetración estándar. Estas ecuaciones se utilizan para cálculos de resistencia a la licuefacción en forma generalizada. Se ha comprobado que el cálculo de las curvas CRR en función del valor de $(N_1)_{60}$ y del contenido de finos, para terremotos de magnitud 7,5 entrega curvas esencialmente idénticas a las graficadas en la figura 4.10 (Youd et al., 2001).

2.5.6. Factor de reducción de tensión "r_d"

Según Youd et al. (2001), las siguientes ecuaciones pueden ser usadas para estimar los valores del factor de reducción por la profundidad, con el valor de z en metros:

$r_d = 1,000 - 0,00765 z$	para	$z \leq 9,15$
$r_d = 1,174 - 0,02670 z$	para	$9,15 < z \leq 23$
$r_d = 0,744 - 0,00800 z$	para	$23 < z \leq 30$
$r_d = 0,500$	para	$z > 30$

Donde z es la misma profundidad que se utiliza para calcular las tensiones verticales totales y efectivas, las cuales se pueden obtener usando los principios básicos de la mecánica de suelos.

2.5.7. Relación de tensiones cíclica (CSR) y la relación de resistencia cíclica (CRR)

2.5.7.1. Relación de tensiones cíclicas CSR

Según Youd et al. (2001), el nivel de carga impuesto por un movimiento sísmico en un suelo, es una función del movimiento del terreno a que el suelo está sometido. Es importante reconocer que todo el movimiento del terreno afecta el suelo, por lo tanto, la amplitud, la frecuencia y la duración del movimiento son parámetros que deben considerarse (Kramer y Stewart, 2004).

Para el propósito de evaluación de licuefacción usando el enfoque de tensión cíclica, la carga normalmente se caracteriza en términos de la relación de tensión cíclica (CSR, Cyclic Stress Ratio). El primer paso en el procedimiento simplificado es calcular la CSR, también llamada relación de tensión sísmica (SSR, Seismic Stress Ratio), cuando es causada por un terremoto.

Según Youd et al. (2001), para desarrollar la ecuación CSR de un terremoto, se considera una columna de suelo por unidad de ancho y longitud, que se mueve como un cuerpo rígido en respuesta a la aceleración horizontal máxima ejercida por el terremoto. Estas condiciones se muestran en la figura 31.

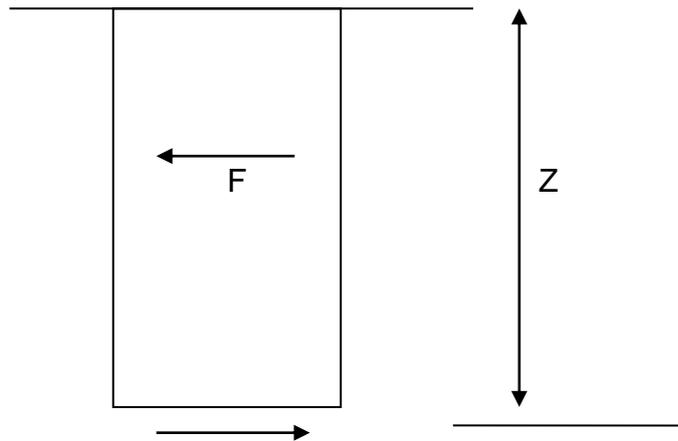


Figura 31. Condiciones asumidas para derivar la ecuación CSR del terremoto (Day, 2002).

Fuente: Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006.

$$F = ma = \left(\frac{W}{g}\right)a = \left(\frac{\gamma_t z}{g}\right)a_{max} = \sigma_v \left(\frac{a_{max}}{g}\right)$$

Dónde:

F = fuerza sísmica horizontal

m = masa de la columna de suelo, $m = W / g$

W = peso de la columna de suelo, para las condiciones asumidas de ancho y longitud unitarias, entonces $W = \gamma_t * Z$

γ_t = peso unitario total del suelo

z = profundidad de la columna de suelo desde la superficie

a = aceleración, en este caso corresponde a la aceleración máxima horizontal causada por el terremoto

a_{max} = aceleración máxima horizontal, también llamada PGA (Peak Ground Acceleration)

σ_v = tensión vertical total en la base de la columna de suelo, z

Según Youd et al. (2001), la aceleración máxima horizontal corresponde a la aceleración máxima de la superficie del terreno que debiera esperarse en ausencia de licuefacción (Kramer y Stewart, 2004). Como muestra la figura 5.1, la fuerza sísmica horizontal que actúa en la columna rígida de suelo es igual a la fuerza de corte máxima en la base de la columna. Como se asume que la base de la columna de suelo es unitaria, entonces la fuerza de corte máxima es igual a la tensión de corte máxima ($\tau_{\text{máx.}}$), y la ecuación se puede expresar como:

$$\tau_{\text{máx.}} = F = \sigma_v \left(\frac{a_{\text{max}}}{g} \right)$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación por la tensión vertical efectiva (σ'_v), entonces:

$$\left(\frac{\tau_{\text{max}}}{\sigma'_v} \right) = F = \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) * \left(\frac{a_{\text{max}}}{g} \right)$$

Como la columna de suelo no se comporta realmente como un cuerpo rígido durante un terremoto, pues el suelo es deformable, Seed e Idriss incorporaron un factor de reducción de profundidad (r_d) al lado derecho de la ecuación:

$$\left(\frac{\tau_{\text{max}}}{\sigma'_v} \right) = F = r_d \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) * \left(\frac{a_{\text{max}}}{g} \right)$$

En el método simplificado de Seed, el registro normalmente irregular de un terremoto, se convierte en una función uniforme equivalente de tensión cíclica, la que se expresa como:

$$\tau_{\text{cyc}} = 0.65 \tau_{\text{max}}$$

Según Youd et al. (2001), La tensión de corte cíclica equivalente generalmente se toma como igual al 65 % de la tensión de corte cíclica máxima, a este valor se llegó comparando los niveles de generación de presión de poros causados por las historias de tensiones de corte transitorias de los terremotos con los niveles causados por las historias de tensiones de corte armónicas uniformes obtenidas en laboratorio (Kramer y Stewart, 2004).

Seed and Idriss [Seed & Idriss, 1971], [Seed & Idriss, 1982], propusieron la siguiente expresión para el cálculo del CSR:

$$CSR = \left(\frac{\tau}{\sigma'_v} \right) = 0.65 \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) * \left(\frac{a_{max}}{g} \right) r_d$$

Dónde:

- τ = Es la tensión de corte promedio
- a_{max} = Aceleración pico horizontal en la superficie del terreno general por el sismo o por una carga cíclica
- g = Aceleración de la gravedad
- σ_v y σ'_v = Son las tensiones totales y efectivas verticales respectivamente
- r_d = coeficiente de reducción de tensiones, debido a la flexibilidad del suelo.

La aceleración pico horizontal en la superficie del terreno general por el sismo o por una carga cíclica se obtuvo de mediante un estudio de peligro sísmico, dato que nos proporcionó empresa consultora "GEO MASTER S.A.C"

2.6.7.2. Relación de resistencia cíclica (CRR)

Según Youd et al. (2001), un método adecuado para evaluar la relación de resistencia cíclica (CRR), consistiría en la recuperación y posterior ensayo de muestras de laboratorio. Desafortunadamente la recuperación de muestras inalteradas es muy complicada, por lo que se acude a pruebas de campo, tales como el SPT, CPTU y DMT. En la siguiente sección se presentará un resumen de las técnicas utilizadas en la presente tesis para evaluar licuación.

Métodos semi-empíricos para evaluar CRR, por Ensayo de Penetración estándar - SPT:

En el Workshop de 1997 los autores [Youd et al., 1997], realizan una ligera modificación a la curva inicialmente propuesta por Seed [Seed & Idriss, 1971].

Dónde:

$$CRR_{7.5} = \left(\frac{1}{34 - (N_1)_{70}} \right) + \left(\frac{(N_1)_{70}}{135} \right) + \left(\frac{50}{(10(N_1)_{70} + 45)^2} \right) - \left(\frac{1}{200} \right)$$

$(N_1)_{70}$: Es el número de golpes del ensayo SPT normalizados para una energía del 70% $CRR_{7.5}$, es la relación de resistencia cíclica para un sismo de magnitud 7.5

Esta ecuación es válida para $(N_1)_{70} < 30$. Para $(N_1)_{70} \geq 30$ las arenas limpias son muy densas, y por tanto clasifican como no licuables.

En el workshop de 2001 [Youd et al., 1997], los autores proponen utilizar la expresión desarrollada por I. M. Idriss con la asistencia de R. B. Seed, para la corrección de $(N_1)_{70}$, para el equivalente a una arena limpia $(N_1)_{70cs}$.

2.6.8. Factores de escala de magnitud

Según Youd et al. (2001), para ajustar la curva base simplificada para magnitudes diferentes de 7,5, Seed e Idriss introdujeron factores de corrección, los que fueron llamados factores de escala de magnitud (MSF, Magnitud Scaling Factor).

Como en el artículo original de Seed e Idriss se utilizaron los factores de escala para corregir la magnitud, en adelante se seguirá usando este criterio. Para ilustrar la influencia del factor de escala en la evaluación del potencial de licuefacción, se presenta la siguiente ecuación:

$$CRR_{corr} = CRR_{7.5} \times MSF$$

$$CRR_{corr} = \frac{CSR_{7.5}}{MSF}$$

Los factores de escala han sido estudiados por varios autores, los que son resumidos por Youd et al. (1997) en la tabla 03.

Magnitud	Seed e Idriss (1982)	Idriss	Ambraseys (1988)	Arango (1996)		Andrus y Stokoe	Youd y Noble		
							PL<20%	PL<32%	PL<50%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
5,5	1,43	2,20	2,86	3,00	2,20	2,80	2,86	3,42	4,44
6,0	1,32	1,76	2,20	2,00	1,65	2,10	1,93	2,35	2,92
6,5	1,19	1,44	1,69	1,60	1,40	1,60	1,34	1,66	1,99
7,0	1,08	1,19	1,30	1,25	1,10	1,25	1,00	1,20	1,39
7,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00
8,0	0,94	0,84	0,67	0,75	0,85	0,80			0,73
8,5	0,89	0,72	0,44			0,65			0,56

Tabla 03. Valores de los factores de escala definidos por varios investigadores (Youd et al., 1997).

Fuente: Tesis Determinación potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, 2006.

Finalmente, los investigadores han encontrado valores que son demasiado conservadores para una magnitud menores 7.5, por tanto se ha sugerido un rango de factores de escala que permite a los ingenieros escoger un valor que este dentro del rango de acuerdo a la seguridad requerida para una aplicación dada. Tales rangos recomendados de la tabla anterior son los siguientes:

Magnitud	MSF
5.5	2.20 – 2.80
6.0	1.76 – 2.10
6.5	1.44 – 1.60
7.0	1.19 – 1.25
7.5	1.00
8.0	0.84
8.5	0.72

Por lo tanto, para el análisis del potencial de licuación para una magnitud de $M_w = 7.5$ se está considerando un factor de escala de magnitud de 1.00 en todos los casos analizados para esta tesis de investigación.

2.5.9. Factor de seguridad de licuación (CRR/CSR)

Según Youd et al. (2001), normalmente el potencial de licuefacción se presenta en términos de un factor de seguridad. El cálculo de este factor de seguridad es el paso final en una evaluación de riesgo de licuefacción.

Si la relación de tensión cíclica (CSR) es mayor que la relación de resistencia cíclica (CRR), la licuefacción se iniciará durante el terremoto, por el contrario, si la CSR es menor que la CRR, entonces la licuefacción no se inicia. Como señala Green (2001), el factor de seguridad se define como la razón entre capacidad y demanda:

$$FS = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Demanda}}$$

O en términos de relaciones cíclicas (Day, 2002):

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

La licuefacción se inicia si el factor de seguridad es menor que 1. A mayor factor de seguridad, mayor es la resistencia del suelo a la licuefacción. Sin embargo, un suelo con un factor de seguridad ligeramente superior a 1, podría licuarse durante un movimiento o sismo. En general, se considera seguro un valor del factor de seguridad mayor que 1,3.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

Según Balestrinis Acuña (2006): " El marco Metodológico: Esta referido al momento que alude al conjunto de procedimiento lógicos, tecno- operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objetivo de ponerlos en manifiesto y sistematizarlos, a propósitos de permitir descubrir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados".

A partir de esta idea se presenta a continuación el enfoque metodológico que encaminara el desarrollo de esta tesis:

3.1. Tipos y nivel de la investigación

Stracuzzi y Pestana (2006) afirma que: " el tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se va a realizar orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios".

De acuerdo al planteamiento de los autores antes señalados y considerando la meta establecida en el objetivo general de esta investigación, se puede establecer que es una **tipo de investigación aplicada** según el énfasis en la naturaleza de los datos es **cuantitativa** porque los datos de los estudios de campo y laboratorio se utilizaran para calcular el potencial de licuefacción. Posteriormente, es de **nivel explicativo** porque se identifica los factores que influye durante los análisis realizados y se explica el potencial de licuefacción del material de relave existente mediante los resultados obtenidos. Asimismo es de **nivel correlacional** porque se relacionan los datos de las pruebas de campo y laboratorio con los valores obtenidos del análisis del potencial de licuefacción.

3.2. Método y diseño de la investigación

La importancia del diseño de la investigación se refiere, según Pallela S. Santa y Martins P. Feliberto (2006), a "la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio".

Provincia: Churcampa
Departamento: Huancavelica
Área: 40,900m²

3.4. Técnicas e instrumentos de la relación de datos

Según Sabino, C (1992), La información procesada tiene un valor inestimable, por cierto, que puedan a no resolver las preguntas iniciales formuladas por el investigador. Pero no obstante, esa información no nos habla por sí misma, no es capaz por sí sola de darnos las respuestas deseadas hasta tanto no se efectúe sobre ella un trabajo de análisis e interpretación.

Una vez desarrolladas las técnicas de recolección de datos antes descritas, estas arrojarán una serie de datos provenientes de las muestras. La forma en que se analizarán los resultados será cuantitativa, mejor conocido como **análisis cuantitativo**, porque para obtener las muestras se deberá efectuar trabajos de campo (calicatas, perforaciones, Ensayo SPT) en el material de relave a una profundidad determinada con la finalidad de obtener las características del relave. De igual forma se obtendrá muestras del relave para los respectivos ensayos de laboratorio.

3.5. Análisis y presentación de resultados

Según Llisterri Joaquim (2011), el análisis y presentación de los resultados es una "presentación breve del campo en el que se enmarca el estudio, contextualizando el tema que el investigador ha acotado dentro de este campo y mostrando en interés del problema elegido". Presentación que se realiza luego de obtener los resultados a través del instrumento de recolección.

En esta parte de la investigación se realizará el análisis de las pruebas de campo y laboratorio para demuestran mediante el procedimiento simplificado de Seed and Idriss (2001) la existencia de un alto potencial de licuación del material de relave, donde también se ha utilizado software como Excel.

CAPÍTULO IV: CONDICIONES DE LA ZONA EN ESTUDIO

En el presente capítulo muestra las condiciones de la zona en estudio, comenzando de la descripción del área del proyecto, entorno y ambientes físicos. Así mismo se presenta las condiciones inicial antes de construir la presa norte, estudio de estabilidad elevación de presa norte (Marzo-2006), análisis de estabilidad global depositado de relaves zona norte expansión (Junio-2006) y estudio geotécnico para la elevación final presa norte y la evaluación del peligro sísmico (Marzo-2007), asimismo se analiza el peligro sísmico considerando las fuentes sismogénicas históricas de la zona, todos estos trabajos han sido realizados por la empresa Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C.

Toda la información se obtuvo mediante la recolección los datos con la finalidad de poder reconocer el material de relave en la zona en estudio. En la figura 32 se muestra una vista panorámica de la zona norte.



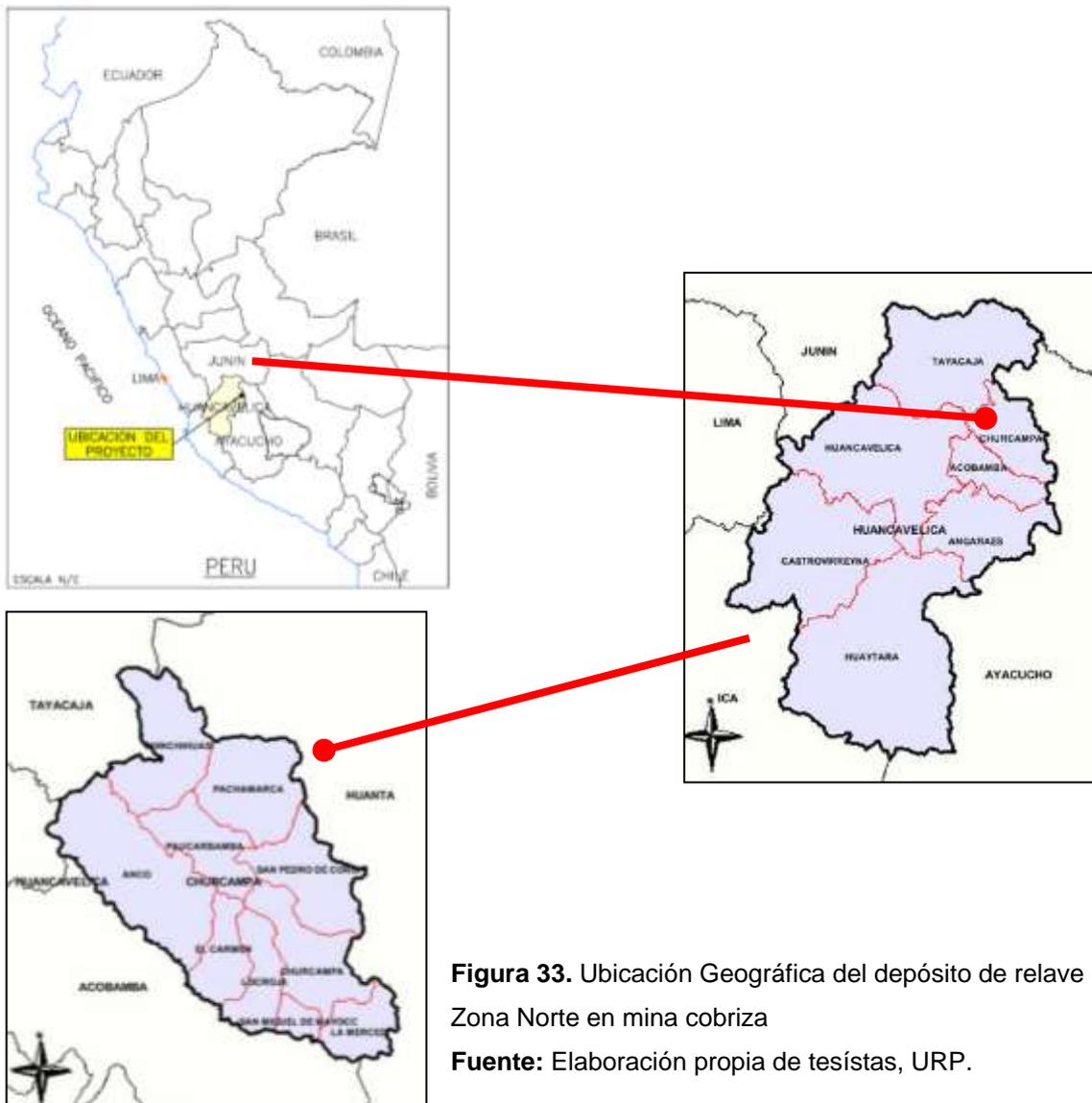
Figura 32. Vista panorámica de la Zona Norte, se aprecia la presa de relaves con sus ampliaciones, el dique de refuerzo y el relleno que influyen en el talud natural hacia el Rio Mantaro

Fuente: Informe Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master

4.1. Descripción del área del proyecto y entorno

4.1.1. Ubicación

Según Klohn Crippen B. (2006) en el estudio Plan de cierre conceptual de la mina cobriza, el Depósito de Relaves, está ubicado a 3,564 m.s.n.m., en las coordenadas UTM de 8 611 205N y 566 351E, sobre la margen izquierda del río Mantaro en la sierra oriental del Perú, en el flanco Este de la Cordillera Central de los Andes de las actividades mineras han sido ubicados en depósitos de relaves. Encontrándose todos los depósitos en mención aguas debajo de la Planta Concentradora, en el distrito de San Pedro de Coris, Departamento de Huancavelica y Provincia de Churcampa – Perú, esto se puede apreciar en la Fig. 33.



4.1.2. Centros poblados cercanos

Según Klohn Crippen B. (2006) en el estudio Plan de cierre conceptual de la mina cobriza, actualmente la mina cobriza cuenta con un campamento minero, con capacidad para albergar aprox. 2,500 trabajadores dependientes de la empresa DOE RUM S.A. y con una población estable actual de aproximadamente 4,000 habitantes, esto se puede apreciar en la Fig. 34.

Las poblaciones Aledañas al son:

- ✓ PACHAMARCA
- ✓ SAN PEDRO DE CORIS
- ✓ PAUCABAMBA
- ✓ CHURCAMP



Figura 34. Mapa provincial de Churcampa, Junín – Perú

Fuente: http://www.perutoptours.com/index08chu_mapa_churcampa.html

4.2. Ambiente físico

4.2.1. Temperatura

Según Klohn Crippen B. (2006) en base a las estimaciones realizadas en el estudio hidrológico de línea base de la UDP Cobriza se estima lo siguiente:

- Temperatura media anual: 21.2 °C.
- Temperatura máxima: 31.6 °C.
- Temperatura mínima: 11.7 °C.

4.2.2. Humedad

Según Klohn Crippen B. (2006) la humedad en Cobriza se caracteriza por ser normal a seca. En el informe hidrológico de línea base se estima que el valor promedio anual de humedad es de 60%.

Los meses más húmedos son los comprendidos entre enero y marzo, mientras que los meses de mayo a noviembre son los más secos.

4.2.3. Evaporación

Según Klohn Crippen B. (2006) la evaporación promedio en Cobriza calculada en el estudio hidrológico de línea base es de 789 mm/año.

4.2.4. Precipitación

Según Klohn Crippen B. (2006), la precipitación media anual en Cobriza es de 406.3 mm/año según los resultados del método de regresión lineal empleado en estudio hidrológico de línea base.

La época de lluvias en la mina está comprendida entre los meses de diciembre y abril, en la que se descarga aproximadamente el 70% de la precipitación anual.

4.2.5. Geología

Según Klohn Crippen B. (2006) las rocas aflorantes en el área de la mina Cobriza consisten principalmente en lutitas, correlacionadas con el grupo Tarma (Paleozoico inferior).

La estructura principal del área de la mina está definida por el “Anticlinal de Coris”, con rumbo NW y dobla hundida él SE-NW.

Las fallas de mayor importancia son la falla de Parco (al sur), las fallas Coris y Huaribamba (al norte) y la falla Cobriza la cual es un contacto pizarra intrusito (al este).

4.2.6. Hidrología

Según Klohn Crippen B. (2006) las instalaciones de la mina Cobriza se encuentran ubicadas dentro de la cuenca hidrográfica del río Mantaro, sobre la margen izquierda del mismo dentro de la zona comprendida entre la presa Tablachaca y la casa de máquinas Campo Armiño de la central hidroeléctrica Antúnez de Mayolo.

La cuenca total del área del proyecto tiene una extensión de 17.9 km², la cual puede sub-dividirse en dos micro-cuencas tales como:

- Micro-cuenca Zona Cobriza, la cual ocupa un área de 7.8 km² teniendo como cauce principal la quebrada Barranquilla en cuya cabecera se ubica la zona de campamentos Parco y en la parte baja se encuentra adyacente a la presa de relaves El Platanal.

- Micro-cuenca Zona La Expansión, con un área de 9.9 km² cuyo principal drenaje es la quebrada Machahuay.

De los registros de caudales reportados en la estación hidrográfica Cobriza mostrados en los anuarios hidrometeorológicos de la cuenca del Mantaro (julio de 1962- diciembre de 1968) se registró un caudal promedio diario de 223 m³ /s, un máximo de 1588 m³ /s y un mínimo de 76 m³ /s.

4.2.7. Sismicidad

Según Klohn Crippen B. (2006), considerando las instalaciones para el almacenamiento de relaves a rehabilitar como parte de los trabajos de cierre como estructuras de alto riesgo y siguiendo el criterio establecido en la “Guía para la elaboración de planes de cierre de minas” del Ministerio de energía y Minas, se calcula la aceleración máxima de diseño proveniente de cálculos probabilísticos para un periodo de retorno de 500 años. En consecuencia, en el caso de utilizar el método pseudo-estático para el análisis de estabilidad de taludes existentes en la mina, los valores de las aceleraciones básicas de diseño a emplear es de:

a básica de diseño = 0,27 g (para período de retorno de 500 años).

4.2.8. Suelos

Según Klohn Crippen B. (2006), los suelos donde se ubica la mina Cobriza en la zona oeste de la unidad minera pertenecen a la clasificación F3c-P2e-X.

Para caracterizar el grado de contaminación de los suelos, se recolectaron muestras de suelo en lugares representativos de la zona. Muestras que se vienen analizando para estimar volúmenes y medidas de remediación.

4.2.9. Aguas superficial

Según Klohn Crippen B. (2006), la fuente principal de agua de la Mina Cobriza es el río Huaribamba ubicada a 5 km al noroeste de las instalaciones de la mina el cual aporta un caudal promedio de 480 l/s (7600 gal/min), teniendo como fuentes auxiliares al río Lucumayo y los manantiales Larian, Soccus Huaycos.

El acceso hacia la toma se hace a través de la galería principal del nivel 51 el cual atraviesa el cerro Coris una longitud de 2,600 m.

Los parámetros monitoreados en los cuerpos receptores se evaluaron con respecto a la Ley General de Agua para Clase III (riego y consumo de animales), debido a que este es el uso de agua que se prevé en el área de influencia del proyecto y aguas abajo del mismo, luego del cierre.

Los resultados de las muestras de efluentes son comparados con los niveles máximos permisibles (NMP) para descargas de efluentes líquidos, provenientes de operaciones mineras y metalúrgicas aprobados mediante Resolución Ministerial 011 96-EM/VMM de enero de 1996.

La calidad del agua en el río Mantaro ha excedido muy pocas veces los criterios establecidos por la Ley General de Aguas Clase III dentro de la zona del proyecto, siendo la mina Cobriza la que haya producido estas esporádicas excedencias.

4.2.10. Aguas subterránea

Según Klohn Crippen B. (2006), el estudio de las condiciones hidrogeológicas se llevó a cabo durante una visita a la zona del proyecto entre los días 12 y 14 de junio del 2006. La visita consistió en el reconocimiento de la zona de estudio, incluyendo los sectores Cobriza y La Expansión.

Las concentraciones de metales de los puntos de monitoreo de agua subterránea están por debajo de los Niveles Máximos Permisibles (NMP) para efluentes mineros. Las concentraciones de sólidos totales suspendidos reportadas en las estaciones MS-1 y MS-2 se encuentra por encima del nivel máximo establecido, pero cabe mencionar que ambas estaciones no son puntos de descarga de la mina sino son puntos intermedios dentro del sistema de control de sedimentos, mientras que en la estación MS-3 (punto de descarga final de la mina) se encuentra dentro de los estándares lo cual es un indicativo del buen funcionamiento del sistema existente.

4.2.11. Geoquímica

Según Klohn Crippen B. (2006), las muestras recolectadas durante los trabajos de campo fueron seleccionadas con el fin de caracterizar adecuadamente los depósitos de desmonte y relaves dentro de la zona del proyecto.

Las muestras de roca de desmonte y relaves fueron analizados para obtener los siguientes parámetros:

- Especies de azufre (Azufre Total, Sulfatos por extracción de HCl y Sulfatos por extracción de Ca_2CO_3)
 - Carbono total
 - Potencial de acidez
 - Potencial de neutralización
 - pH pasta
 - Metales por ICP

Los resultados de laboratorio y su posterior análisis indicaron que en general los materiales de botaderos de desmonte y relaves tienen potencial de generación de drenaje ácido de roca.

4.3. Condición inicial antes de construir la presa norte

Según Klohn Crippen B. (2006), a continuación se muestra las condiciones Iniciales de la zona Norte antes de la construcción de la presa de relaves, esto es considerando solo el suelo natural y el talud hacia el río Mantaro, esto se puede apreciar en la Fig. 35 y 36.



Figura 35. Zona Norte en octubre del 2005 antes de la construcción de la presa
Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master.

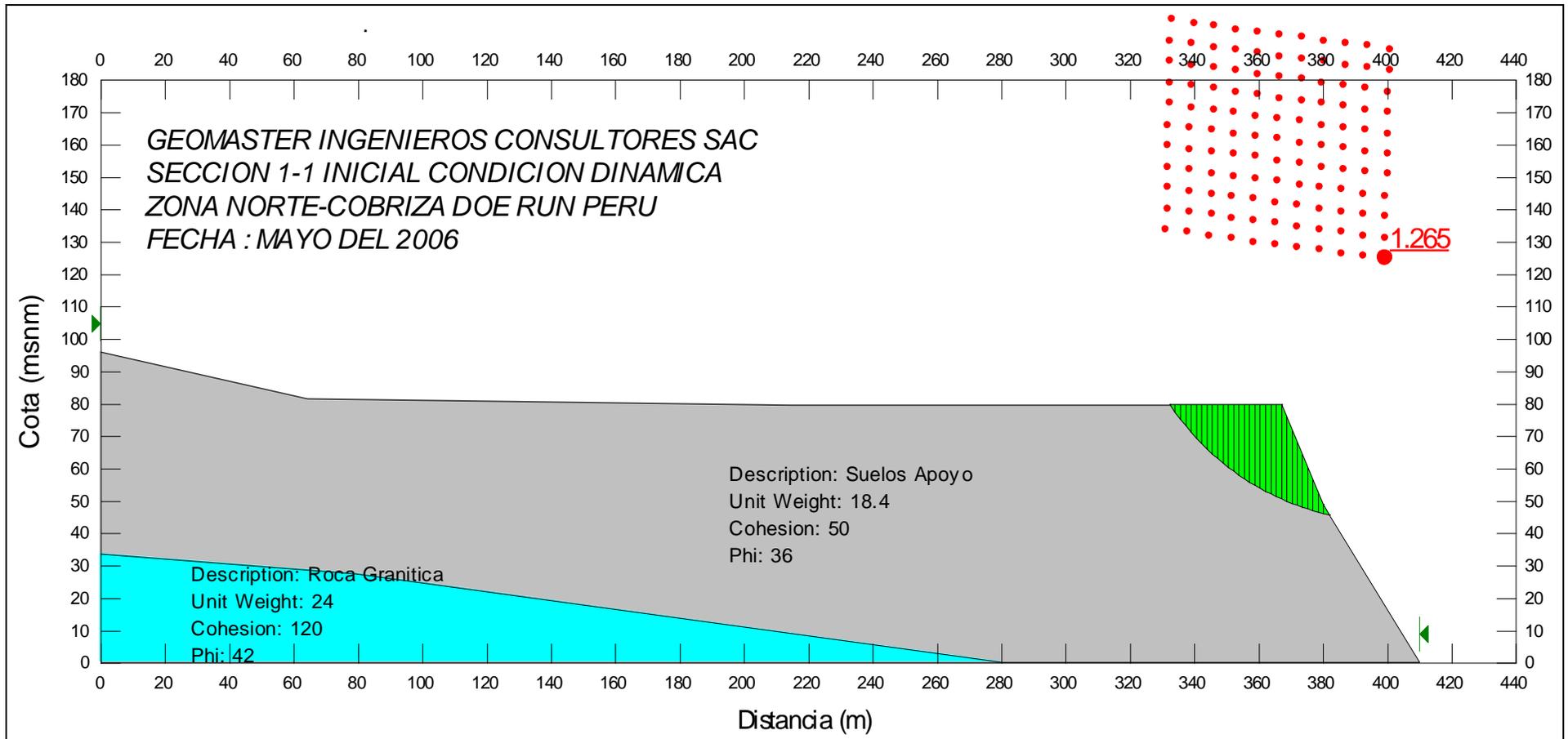


Figura 36. Vista de la condición de la zona norte antes de la construcción de la presa
Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master.

En la zona se realizaron los siguientes estudios para su estabilidad de la presa y material de relave Zona Norte

4.4. Estudio de estabilidad elevación de presa norte (marzo-2006)

El presente estudio tiene por objetivo principal evaluar la estabilidad global de la presa de relaves zona norte en su condición actual, además de proyectar la sobre elevación del dique intermedio de relave que se viene construyendo a fin de conseguir un mayor volumen de almacenamiento, así mismo determinar si la sobre elevación del dique de relave puede llegar hasta la cota donde se viene impermeabilizando el talud del cerro, comprobando si esta ampliación cumple los requisitos de estabilidad o en su defecto realizar los análisis correspondientes a fin de encontrar la mejor solución que garantice mediante trabajos complementarios de reforzamiento una mayor elevación del dique hasta alcanzar la cota proyectada, consiguiendo que la presa continúe en operación por un período de tiempo mayor, esto se puede apreciar en la Fig. 37



Figura 37. Vista Frontal de dique que se viene conformando a 40m del dique de inicial de relaves

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master

El estudio ha considerado la determinación de las características de resistencia al esfuerzo cortante del material de la sobre elevación conformado por relave drenado mediante ensayos de corte directo y compresiones triaxiales, además utilizando correlaciones adecuadas de acuerdo a los valores de resistencia encontrados mediante los ensayos de campo SPT y DPL, esto se puede apreciar en la Fig. 38.



Figura 38. Vista dique de relave inicial de la presa norte

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master

Se efectuaron 3 ensayos de penetración Estándar (SPT) tanto en el material del dique intermedio que se viene conformando como en el material del relave en pulpa depositado justamente en la zona entre el dique de relaves inicial y el pie de la sobre elevación del talud del dique intermedio que se está conformando para conocer su resistencia a la penetración y poder correlacionar sus parámetros de resistencia, estos valores de resistencia se determinaron a cada 1m de profundidad en promedio, se complementaron 03 Ensayo de

penetración Ligera del tipo (DPL) para determinar la resistencia con la profundidad en forma casi continua a cada 10cm de profundidad.

Los registros y correlaciones adoptadas han sido utilizando las normas alemanas DIN 4094 para DPL y Norma ASTM D1586 para SPT con los nuevos conceptos de corrección de energía según JOSEPH BOWLES y SEED and IDRIS 2004, esto se puede apreciar en la Fig. 39 y 40.





Figura 39. Secuencia del equipo SPT y recuperación de muestra con la caña partida.
Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master



Figura 40. Secuencia de los trabajos de resistencia con el DPL

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master

Los análisis mecánicos e hidráulicos del material de relave en condición drenada y en pulpa, así como la aplicación de teorías y modelamientos de la Geotecnia han sido desarrolladas con la finalidad de establecer las condiciones actuales de estratigrafía para la sobre elevación del dique intermedio de relaves, para establecer los adecuados criterios de diseño geotécnico para las obras complementarias de reforzamiento, tomando en cuenta que en todos los casos se deben satisfacer las condiciones de estabilidad de los taludes de los depósitos de relave si se produjeran fallas profundas o superficiales y adicionalmente un análisis de estabilidad externa e interna del dique de respaldo.

4.5. Análisis de estabilidad global depósito de relaves zona norte expansión - cobriza (junio-2006)

El presente estudio tiene por objetivo principal evaluar la estabilidad global de la presa de relaves zona norte en su condición actual, además de proyectar la sobre elevación del dique intermedio de relave que se viene construyendo a fin de conseguir un mayor volumen de almacenamiento, así mismo determinar si la sobre elevación del dique de relave puede llegar hasta la cota donde se viene impermeabilizando el talud del cerro, comprobando si esta ampliación cumple los requisitos de estabilidad o en su defecto realizar los análisis correspondientes a fin de encontrar la mejor solución que garantice mediante trabajos complementarios de reforzamiento una mayor elevación del dique hasta alcanzar la cota proyectada, consiguiendo que la presa continúe en operación por un período de tiempo mayor.

Por otro lado, de los estudios realizados para la construcción de la presa, estudios complementarios de elevación y reforzamiento se han podido conocer todas las características geotécnicas de los materiales que involucran la zona en estudio, y a partir de ellos, conocer los parámetros necesarios que permita el desarrollo de la estabilidad global para un análisis de los taludes en condiciones Estática y pseudo-estática en 03 secciones principales a lo largo de toda la presa, zona de botadero y que involucre el talud hacia el río Mantaro, esto se puede apreciar en las Figs. 41 al 44.



Figura 41. Dique intermedio que se viene construyendo para la ampliación de la presa de relaves.

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master.



Figura 42. Zona del botadero que se viene conformando un terraplén de soporte al dique de la presa.

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master.



Figura 43. Zona del botadero que ha permitido conformar un terraplén de 24m de altura apoyando en el dique de refuerzo a la presa norte.

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master.



Figura 44. Zona del botadero con un relleno de 24m, sobre el terreno natural de la Zona Norte y que influye sobre el talud hacia el río Mantaro.

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultor Geo Master.

Teniendo estas consideraciones se ha podido hacer 04 modelamientos comparativos que miden la influencia de las cargas en los taludes naturales hacía el río Mantaro.

La primera evaluación de estabilidad consiste en conocer el Factor de Seguridad de la zona Norte en las condiciones cuando no existía la presa octubre del 2003.

La segunda evaluación es considerando la construcción de la presa norte con sus diques de arranque y diques de refuerzo con las elevaciones de los dos diques intermedios construidos de material de relave hasta su máxima elevación proyectada en marzo del 2005.

La tercera evaluación considera en material colocado en la zona del botadero en la parte aguas abajo de la presa, en la que se ha construido un terraplén de 50m de ancho y 24m de altura a lo largo del dique de refuerzo de la presa, cuya topografía esta actualiza a abril del 2006

La cuarta situación considera la posibilidad de utilizar el depósito formado entre la presa norte y el botadero como una nueva zona para disponer relave, adaptándola a una poza de emergencia cuyo volumen máximo a almacenar según los planos proporcionados es de 150000 m³ esta posibilidad es considerando que el relave que se va a depositar en la nueva presa en el limonar tenga que dejarse de disponer por causa de emergencia.

Estos cálculos de la estabilidad global del conjunto depósito de relave, suelo natural, rellenos y diques para posibles fallas superficial y profunda mediante análisis en condiciones límite de estabilidad de taludes con la ayuda del programa GEO SLOPE 5.11 bajo condiciones estática y pseudo-estática (dinámica) obteniéndose los factores de seguridad correspondientes a las diferentes geometrías adoptadas, para finalmente determinar la influencia de estas cargas en los taludes hacía el río Mantaro.

4.6. Estudio geotécnico para la elevación final presa norte (marzo-2007)

El actual depósito de Relaves - Zona Norte, se encuentra ubicado en la Zona Baja del lugar denominado Zona Industrial, en la parte posterior de la Planta Concentradora, donde actualmente la presa ha dejado de recibir relave desde julio del año 2006 debido a que a partir de dicha fecha se concluyó con la construcción de la presa el Limonar que es la que actualmente recibe todo el relave fino que produce la Mina Cobriza, desde dicha fecha solo se ha depositado relave en la presa norte para casos de emergencia lo que ha permitido que durante este periodo continúe su drenaje haciendo que la condición del relave saturado pase a un relave no saturado, pero manteniendo aun un contenido de humedad por debajo de su límite líquido, lo que ayuda a que no se generen presiones de poros elevadas.

La presa en evaluación tiene una extensión aproximada de 14,110m² con dimensiones en promedio de 137m de largo (dique frontal a cerro) y 103m de ancho (dique lateral a cerro).

Según los planos proporcionados por la empresa DOE RUN PERU y el último levantamiento de marzo desarrollado para la elaboración del presente expediente, la presa en estudio está comprendida dentro de los límites de propiedad de la Minera COBRIZA.

La zona investigada corresponde al depósito de relave y a la actual sobre elevación que se viene desarrollando en la presa con la finalidad de reforzar el dique frontal, pues se están uniendo en un solo los diques de relave iniciales que se habían construido dentro de la presa con la finalidad de aumentar su capacidad de almacenamiento y tener un mayor período de disposición, debido a que el dique de arranque inicial por su pequeña altura y la forma de disposición del material de relave no ha permitido que se pueda continuar con el almacenamiento del relave a mayor altura que la corona del dique.

En la figura 45 y 46 se muestra el dique que se viene conformando con material de relave.



Figura 45. Vista del dique de relave frontal que se viene elevando hasta alcanzar al dique intermedio.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007.



Figura 46. Vista del dique de relave en la parte frontal que se viene elevando hasta homogenizar con el dique interior.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007.

En tal sentido se ha visto la necesidad de hacer nuevas evaluaciones geotécnicas para conformar un nuevo dique final con material de relave en condición drenada que es traído del sector del antiguo espesador que por sus características de alta resistencia y buena cementación a medida que pierde humedad garantiza un elemento sólido y rígido como muro de sostenimiento, este dique viene siendo conformado y la necesidad de garantizar su estabilidad ha motivado la realización de este estudio geotécnico que de manera técnica se pueda evaluar su estabilidad en condiciones estáticas y dinámicas, permitiendo mediante modelamientos geotécnicos establecer la seguridad de que es factible su construcción y hasta que altura máxima se puede llegar, esto se puede apreciar en las Figs. 47 al 49.



Figura 47. Zona del relave drenado en la zona del espesador que es llevado para la conformación del dique en la presa norte.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007.



Figura 48. Dique de relave que se viene elevando hasta alcanzar al dique intermedio en la presa norte.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007.



Figura 49. Depósito de relave zona norte donde se nota que el relave a drenado debido que no recibe relave desde julio del 2006.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007.

El Estudio presentado para la elaboración del expediente técnico considera que la exploración mediante calicatas en la zona del dique que se viene conformando, de los cuales se extrajeron muestras inalteradas para los ensayos especiales y normales del material de relave drenado, además de muestreos del relave de forma alterados, esto se puede apreciar en la Fig. 50.





Figura 50. Toma de muestras representativas del material de relave drenado que es utilizado para la conformación del dique

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007

Así mismo se efectuaron 06 ensayos de penetración Estándar (SPT) en el material del relave depositado distribuidos en toda su área y cercanos al dique de relave para conocer su resistencia a la penetración y poder correlacionar sus parámetros de resistencia, estos valores de resistencia se determinaron de forma continua desde la superficie hasta una profundidad de 11m en promedio. Los registros y correlaciones adoptadas han sido utilizando las normas ASTM D1586 para SPT con los nuevos conceptos de corrección de energía según JOSEPH BOWLES y SEED and IDRIS 2004, esto se puede apreciar en la Fig. 51 y 52.



Figura 51. Procedimiento de prueba del ensayo SPT dentro del depósito de relaves en la presa Norte

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007





Figura 52. Procedimiento de recuperación de muestra con la caña partida después de evaluar la resistencia del relave, colocándose de forma secuencial dentro de la caja porta testigo.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007

Los análisis mecánicos e hidráulicos del material de relave en condición drenada y el depositado, así como la aplicación de teorías y modelamientos de la Geotecnia han sido desarrollada con la finalidad de establecer las condiciones actuales de estratigrafía del material utilizado en la sobre elevación de los diques y adecuados criterios de diseño geotécnico para las obras complementarias de crecimiento y reforzamiento, tomando en cuenta que en todos los casos se deben satisfacer las condiciones de estabilidad de los taludes de los depósitos de relave si se produjeran fallas profundas o superficiales y adicionalmente un análisis de estabilidad externa e interna de los dique de refuerzo

4.7. Evaluación del peligro sísmico

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C. en el estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza, Para evaluar el Peligro Sísmico de la zona de emplazamiento del Depósito de Relaves existente - Zona Norte de la

Mina de Cobriza, se ha empleado la información sísmica existente en el cuadrángulo indicado, de 14°S a 18.5° S y de 69° hasta 74.5°.

El siguiente análisis documenta los resultados de la revisión y el análisis de la sismicidad histórica, sismicidad instrumental y geotectónica existente en el área del Proyecto, localizado dentro de los límites de la Unidad Operativa de Cobriza de **DOE RUN PERÚ**, en la zona de expansión.

4.7.1. Evaluación de fuentes sismogénicas

Se han utilizado las fuentes sismogénicas definidas por Castillo (1993). La determinación de estas fuentes sismogénicas se ha basado en el mapa de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas de nuestro país.

La tabla 04 presenta las coordenadas geográficas de las fuentes sismogénicas de subducción superficial y continental y la tabla 05 presenta las coordenadas de las fuentes de subducción intermedia y profunda.

Tabla 04. Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas

FUENTES	COORDENADAS GEOGRAFICAS			
FUENTE 1	-80.29	+02.00	-78.32	+02.00
	-81.39	-00.97	-79.65	-01.21
	-81.52	-02.39	-80.19	-02.50
FUENTE 2	-82.00	-03.39	-80.17	-03.45
	-82.00	-06.83	-80.67	-05.42
	-81.17	-09.00	-79.67	-07.90
FUENTE 3	-81.17	-09.00	-79.27	-07.90
	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
FUENTE 4	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
	-74.16	-17.87	-73.00	-16.53
	-74.16	-17.97	-73.00	-16.53

FUENTE 5	-71.85	-19.87	-69.21	-19.00
	-71.85	-22.00	-69.21	-22.00
FUENTE 6	-77.50	+01.58	-76.92	+01.19
	-79.83	-01.65	-78.90	-02.53
	-79.96	-02.46	-78.97	-03.43
	-80.92	-02.96	-80.79	-03.44
FUENTE 7	-78.28	-08.20	-77.86	-08.07
	-77.21	-10.47	-76.83	-10.23
FUENTE 8	-75.84	-13.87	-74.76	-13.13
	73.00	-16.53	-71.41	-14.67
FUENTE 9	73.00	-16.53	-71.41	-14.67
	-69.71	-18.67	-68.12	-16.13
FUENTE 10	-76.92	+01.19	-76.50	+01.00
	-78.90	-02.53	-77.35	-02.40
	-79.10	-05.20	-77.00	-04.77
FUENTE 11	-79.10	-05.20	-75.10	-04.33
	-76.34	-10.67	-74.17	-09.33
	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
FUENTE 12	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
	-68.12	-16.13	-67.76	-13.80

Fuente: Informe de evaluación del riesgo sísmico para el análisis de estabilidad del crecimiento depósito de relaves – cobriza (febrero 2010)

Tabla 05. Coordenadas geográficas de las fuentes de subducción intermedias y profundas

FUENTES	COORDENADAS GEOGRAFICAS			
FUENTE 13	-78.73	+02.00	-76.00	+01.82
	-81.00	-00.67	-79.59	-02.55
	-81.00	-03.07	-79.20	-03.07

FUENTE 14	-81.00	-03.07	-79.20	-03.07
	-81.93	-05.73	-78.60	-04.00
	-79.80	-08.13	-77.17	-06.53
FUENTE 15	-79.80	-08.13	-77.17	06.53
	-76.38	-14.30	-73.86	-12.46
FUENTE 16	-76.38	-14.30	-73.86	-12.46
	-73.28	-16.87	-71.21	-14.40
FUENTE 17	-73.28	-16.87	-71.21	-14.40
	-70.86	-18.80	-68.93	-15.73
	-70.38	-22.00	-67.98	-22.00
FUENTE 18	-79.59	-02.55	-77.50	-00.73
	-78.60	-04.00	-75.51	-02.06
	-77.17	-06.53	-75.27	-05.33
FUENTE 19	-77.17	-06.53	-75.27	-05.33
	-73.86	-12.46	-72.03	-11.13
FUENTE 20	-72.31	-06.67	-71.00	-06.33
	-71.14	-11.30	-69.69	-01.93

Fuente: Informe de evaluación del riesgo sísmico para el análisis de estabilidad del crecimiento depósito de relaves – cobriza (febrero 2010)

4.7.2. Determinación del peligro sísmico

Se ha determinado el peligro sísmico del proyecto, utilizando la metodología e información pertinente disponibles en la literatura. Se ha empleado el programa de cómputo RISK desarrollado por R. Mc Guire (1976) con datos de la ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1980) para los sismos de subducción y de Mc Guire (1974) para los sismos continentales. Se ha usado las fuentes sismogénicas y parámetros de recurrencia definidos por Castillo (1993). Se emplearon las coordenadas geográficas de las siguientes localidades en estudio.

LUGAR	COORDENADAS GEOGRAFICAS (°)	
PAMPA CORIS	- 74.44	- 12.57

El peligro sísmico anual se presenta en el eje de abscisas de dichas figuras como la inversa del período de retorno. La tabla 06 muestra las máximas aceleraciones esperadas para períodos de retorno de 30, 50, 100, 200, 400, 475 y 1000 años.

Tabla 06. Aceleraciones máximas esperadas (% g)

COORDENADAS	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	30	50	100	200	400	475	1000
-74.44, -12.57	0.13	0.15	0.20	0.25	0.31	0.33	0.40
-74.19, -12.57	0.12	0.15	0.19	0.24	0.30	0.31	0.38
-73.94, -12.57	0.12	0.14	0.18	0.23	0.29	0.30	0.37
-73.69, -12.57	0.11	0.14	0.17	0.22	0.28	0.29	0.35
-74.44, -12.32	0.13	0.15	0.19	0.25	0.31	0.32	0.39
-74.19, -12.32	0.12	0.15	0.19	0.24	0.29	0.31	0.38
-73.94, -12.32	0.12	0.14	0.18	0.23	0.28	0.30	0.36
-73.69, -12.32	0.12	0.14	0.17	0.22	0.27	0.29	0.35
-74.44, -12.07	0.12	0.15	0.19	0.24	0.30	0.31	0.38
-74.19, -12.07	0.12	0.14	0.18	0.23	0.29	0.30	0.37
-73.94, -12.07	0.12	0.14	0.18	0.23	0.28	0.29	0.35
-73.69, -12.07	0.11	0.13	0.17	0.21	0.27	0.28	0.34
-74.44, -11.82	0.12	0.15	0.19	0.24	0.29	0.31	0.38
-74.19, -11.82	0.12	0.14	0.18	0.23	0.29	0.30	0.36
-73.94, -11.82	0.12	0.14	0.18	0.22	0.28	0.29	0.35
-73.69, -11.82	0.11	0.13	0.17	0.21	0.27	0.28	0.33

Fuente: Informe de evaluación del riesgo sísmico para el análisis de estabilidad del crecimiento depósito de relaves – cobriza (febrero 2010)

La selección del movimiento sísmico depende del tipo de obra. Para el proyecto, se considera un período de retorno de 475 años para el sismo de diseño que corresponde a estructuras con vida útil de 50 años y un nivel de excedencia del valor de aceleración propuesto de 10%, mostrando que la aceleración máxima pico instrumental esperada para el presente estudio 0.30g y de 0.40g para periodo de retorno mayores a 900 años.

La repuesta estructural de las obras de ingeniería derivada por métodos espectrales deberá considerar, a partir del valor de aceleración propuesto la amplificación estructural y las reducciones por ductilidad, amortiguamiento y los coeficientes de seguridad de diseño.

4.7.3. Estudio sísmico determinístico

El análisis determinístico de los efectos sísmicos en el área de emplazamiento del proyecto consiste en:

- 1) Relacionar eventos sísmicos a fallas activas o potencialmente activas para determinar sus efectos epicentrales y su atenuación al lugar.
- 2) Si se presentan fallas del Cuaternario independientemente de la actividad sísmica, éstas son capaces de producir sismos de una magnitud suficiente para producir una ruptura de la mitad de la longitud de la traza de la falla mapeada. Los efectos epicentrales son atenuados del punto más cercano a la falla, al lugar.

En base a lo anterior y al catálogo histórico e instrumental se determinará el sismo extremo para cada zona sismogénica a ser considerada. El Sismo Extremo se define como el sismo más grande que una zona sismogénica puede producir, bajo las condiciones tectónicas conocidas. Una obra civil debe diseñarse de modo tal que en el caso improbable que dicho sismo ocurra y se produzcan daños considerables a la obra, no se producirá la rotura catastrófica.

En seguida se determina el Sismo de Diseño, que es el sismo más grande que se espera ocurra una vez en la vida del proyecto. En este caso se determina el Sismo de Diseño asociado a un período de retorno de 475 años.

4.7.4.1. Sismo Extremo

Considerando los sismos de la zona de subducción, es posible definir dos áreas concentradas de actividad con influencia significativa en la zona del proyecto: la primera fuera de la costa (a distancias focales promedio del orden de 100 km) y la otra al este del proyecto (a distancias focales mínimas de 80 km).

Los sismos continentales superficiales que son significativos para el área del proyecto estarían a distancias mínimas de 50 km o podrían estar asociados a las fallas indicadas.

La máxima magnitud creíble de los sismos de subducción se determinó en base al catálogo sísmico existente desde 1900 y al gráfico acumulado de número de sismos vs magnitud. La atenuación sísmica de aceleraciones se realizó utilizando la Ley de Atenuación propuesta por Casaverde y Vargas (1980) para zonas de subducción en el Perú.

$$a = 68.7 e^{0.8 M_s} (R+25)^{-1.0}$$

Donde:

a = aceleración en cm/seg²

M_s = magnitud expresada en ondas de superficie

R = distancia hipocentral en km.

Para el caso del sismo continental superficial se asumió una magnitud de M_s = 7.1 en base al catálogo sísmico y posibles

longitudes de ruptura de 40 km. Se utilizó la expresión de Slemmons (1982) de fallas normales para determinar la magnitud:

$$M_s = 0.809 + 1.341 \log L$$

Donde:

M_s = Magnitud expresada en ondas de superficie

L = Longitud de ruptura en metros

La ley de atenuación para fallas del tipo transcurso fue la propuesta por Patwardhan et al (1978):

$$a = 224 e^{0.823 M_s} (R+C)^{-1.56}$$

Donde:

$$C = 0.864e^{0.46 M_s}$$

En resumen:

SISMO EXTREMO

Fuente	Distancia (km)	M_s	$a_{\text{máx}}$ (%g) Subducción	$a_{\text{máx}}$ (%g) Transcurso
Zona costera de subducción	100	8.0	0.34	-
Zona continental de subducción	80	7.2	0.21	-
Zona continental superficial	50	7.1	-	0.10

La mayor aceleración es producida por un sismo de la zona continental de subducción igual a 0.21 g.

4.7.4.2. Sismo de diseño

Se utilizó la misma metodología anterior para determinar el Sismo de Diseño, pero con valores diferentes de Ms. El valor de Ms del número acumulado de sismos entre el período de medición vs la magnitud sísmica para la zona de subducción, en consecuencia:

SISMO DE DISEÑO

Fuente	Distancia (km)	Ms	a_{máx} (%g) Subducción	a_{máx} (%g) Transcurso
Zona costera de subducción	100	7.7	0.27	-
Zona continental de subducción	80	6.8	0.15	-
Zona continental superficial	50	6.7	-	0.08

Finalmente, el valor de la aceleración de diseño elegida para el análisis del potencial de licuación del material de relave es de 0.27g, producido por un sismo de la zona continental de subducción.

CAPÍTULO V: ESTUDIO DEL MATERIAL DE DEPÓSITO DEL RELAVE

En el presente capítulo se muestra el estudio del material de depósito de relave, partiendo de la investigación de campo: Generalidades, calicatas, prueba de penetración estándar (SPT), ensayo de sondeo para el control de humedad. Asimismo se continúa con las pruebas de laboratorio: Generalidades, análisis granulométrico, límites atterberg, humedad natural, densidad natural o peso unitario volumétrico, ensayo de corte directo, ensayo de compresión triaxial tipo no consolidado – no drenado (UU) y ensayo de permeabilidad pared flexible trabajos realizados por la empresa Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C.

Esta información se ha procesado con la finalidad de analizar e interpretar el potencial de licuefacción del material de relave en la zona en estudio.

5.1. Investigación de campo

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C. en el estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza, con la finalidad de obtener muestras inalteradas para los ensayos de caracterización y especiales de resistencia se realizaron un total de 02 calicatas a cielo abierto; cuyo material de la sobre elevación está compuesto básicamente de relave drenado o aireado, las dimensiones de las calicatas son de 1.80m. de ancho por 2.10m. de largo, con una profundidad máxima de 1.90 m.

La ubicación de las calicatas son las sgtes:

CALICATA C – 0 1	568274.47E	8608718.75N
CALICATA C – 0 2	568246.28E	8608767.81N

Así mismo se efectuaron dentro de la presa en el relave depositado 06 ensayos de penetración estándar SPT llegando hasta una profundidad de exploración

de 10.8 m, el ensayo nos va a permitir determinar la resistencia del relave depositado con la profundidad y al mismo tiempo nos permite extraer muestras alteradas con cada ensayo efectuado mediante la caña partida que posee el equipo.

La ubicación de los ensayos de penetración SPT son las sgtes:

Ensayos dentro del depósito a una cota actual aproximada de 2330.0 msnm.

ENSAYO	COORDENADAS		PROFUNDIDAD
SPT 01	568096.00 E	8608648.00 N	6.00 METROS
SPT 02	568158.00 E	8608650.00 N	10.80 METROS
SPT 03	568130.00 E	8608670.00 N	10.35 METROS
SPT 04	568149.00 E	8608745.00 N	10.20 METROS
SPT 05	568090.00 E	8608700.00 N	10.05 METROS
SPT 06	568195.00 E	8608635.00 N	5.10 METROS

Las muestras extraídas de los ensayos de penetración de los materiales de relaves drenado que conforman la sobre elevación actual, el cual se encuentra conformado sobre el relave en pulpa, fueron analizados en nuestro laboratorio bajo las especificaciones y Normas especialmente preparadas para este caso, obteniéndose las propiedades Físicas, Mecánicas y de identificación de las muestras alteradas, además de los factores de comportamiento mecánico, hidráulico, elástico, parámetros de resistencia y deformación de los relaves mediante ensayos normales y especiales.

Podemos indicar que el programa de campo para el estudio fue el siguiente:

- Ejecución de 06 ensayos de penetración Estándar SPT.
- Ejecución de 02 Muestreos de material Inalterado del relave drenado en cajas de 40cm * 20cm y 25cm de altura.

- Ejecución de 03 sondeos mediante pruebas efectuadas con tubos de pared delgada para control de humedad.
- Obtención de 03 muestras representativas del relave depositado.
- Clasificación Manual Visual de Suelos Norma ASTM D 2487

En los Anexos 01 y 02 se presentan los resultados de Ensayos de Campo y Laboratorio realizados.

5.2 Ensayos de penetración estándar SPT

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C. en el estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza, los ensayos de penetración estándar fueron desarrollados utilizando tuberías de perforación AQ con un muestreador de caña partida de diámetro de 60 mm estandarizado para el ensayo SPT, las mismas que son hincadas mediante golpes con un martillo que cae de una altura de 76 cm. con peso de 140 Lb. Que es impulsado por un motor ó Malacate sujeto a una soga que corre a través de una polea.

Se contabilizo el número de golpes por cada 15 cm de penetración para una penetración total de 45 cm. sobre el material de relave en drenado.

Los ensayos de resistencia del relave con la profundidad fueron efectuados de forma continua desde la superficie del relave depositado hasta una profundidad máxima de 10.80m, empleándose líneas de tuberías de 1.5” de diámetro cuyas longitudes variaban entre 0.90m, 1.50m., 3.0m., para alcanzar las profundidades de inicio de los ensayos se utilizó posteadora manual tipo Auger de mayor diámetro que obtenían las muestras sin humedecimiento del sondaje con la finalidad de obtener muestras lo más representativas posibles a su condición actual, esto se puede apreciar en la Fig. 53.



Figura 53. Uso de la posteadora manual tipo AUGER para recuperar muestras de forma continua y para alcanzar el inicio del ensayo de resistencia SPT.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007

Las muestras o testigos de relave obtenidos en forma continua fueron colocados en la caja de madera porta testigos, de dimensiones 50cm. de ancho por 1m de largo aproximadamente, debidamente muestrados y con separadores que permitan la distribución en forma secuencial, esto se puede apreciar en la Fig. 54.





Figura 54. Forma de obtención de las muestras con la caña partida que es colocado en la caja porta testigo para sus ensayos de laboratorio.

Fuente: Informe de Estudio Geotécnico elevación final presa norte marzo 2007

Posteriormente las cajas han sido pintadas con los datos de identificación más importantes como son: Ubicación del ensayo, Profundidad total alcanzada, Intervalo de la Profundidad, Número de Caja, como se puede apreciar en las fotografías que se anexan.

En gabinete los números de golpes obtenidos en campo se normalizan con la siguiente formula:

$$N_{70} = NC_N \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4$$

Donde:

- C_N : Presión calculada de sobrecarga.
- η_1 : Corrección de martillo.
- η_2 : Corrección de longitud de la barra.
- η_3 : Corrección por la toma muestras.
- η_4 : Corrección de diámetro de perforación.

5.2.1 Equipos utilizados

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C. en el estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza, para la ejecución de los ensayos realizados se contaron con los siguientes equipos, materiales y herramientas:

Equipo de penetración estándar del tipo SPT montada sobre un trípode variable de hasta 5m de altura, equipado con todos los accesorios necesarios de perforación, como son:

- 01 Martillo de acero de 140 Lb de peso según norma ASTM
 - 01 Motores o Malacates para guiar el martillo de 7HP
 - 01 Trípodes desmoldable de acero telescópico de 5m de altura.
 - 01 Poleas para guiar los golpes del martillo
 - 02 Sogas para sujetar el martillo que gira a través de la polea
 - Barras de Perforación guías Línea AQ de hasta 25 ml.
-
- 1) Herramientas para las operaciones de izamiento del varillado, acople y desacople de las tuberías AQ y caña partida.
 - 2) Accesorios para desmontaje de muestras y colocación de tuberías
 - 3) Muestreadores de caña Partida del tipo SPT con puntas cónicas
 - 4) 6 Cajas Porta testigos de madera para colocación de muestras recuperadas.
 - 5) Cajas de madera y cartón para obtención de muestras alteradas e inalteradas para ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.
 - 6) 01 Posteadoras Manuales de cuchara abierta y cerrada para obtención de muestras

5.2.2 Resumen de los trabajos

Los ensayos SPT realizados dentro del depósito de relaves sobre el relave depositado, alcanzaron las profundidades máximas de 10.80m, de forma general se ha podido encontrar que hasta los 6m de profundidad el material de relave se encuentra con una resistencia a la penetración baja con valores por debajo de 5 golpes/pie. Continuando con aumento progresivo hasta los 10m que se paralizan los ensayos por encontrarse cerca de la geomembrana de apoyo que no se quiso dañar.

. La siguiente Tabla describe el resumen de los sondeos realizados:

N° de Ensayo	Profundidad (m)
SPT N°01	6.00
SPT N°02	10.80
SPT N°03	10.35
SPT N°04	10.20
SPT N°05	10.05
SPT N°06	5.10
TOTAL	52.50

5.2.3 Registro general de los trabajos ejecutados

Según los estudios realizados por Geo Master Ingenieros Consultores S.A.C. en el estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza, en este estudio de evaluación del depósito de relaves se han realizados 06 nuevos ensayos SPT dentro de la poza, con la finalidad de evaluar las condiciones del material de relave depositado después de haber drenado desde julio del 2006 sin que se continúe depositando relave en la presa norte.

Las tablas siguientes muestran los resultados obtenidos:

SPT - 01:

En el gráfico 01 muestra los resultados obtenidos registraron una resistencia promedio de 4 golpes por cada 30cm de penetración en los primeros 4.40m, para luego ir aumentando de forma lineal hasta alcanzar el rechazo a los 6.0m con más de 50 golpes por cada 30cm de penetración.

En la tabla 07 muestra los resultados obtenidos y las correcciones de energía de los valores N en la que se puede correlacionar su valor del ángulo de fricción.

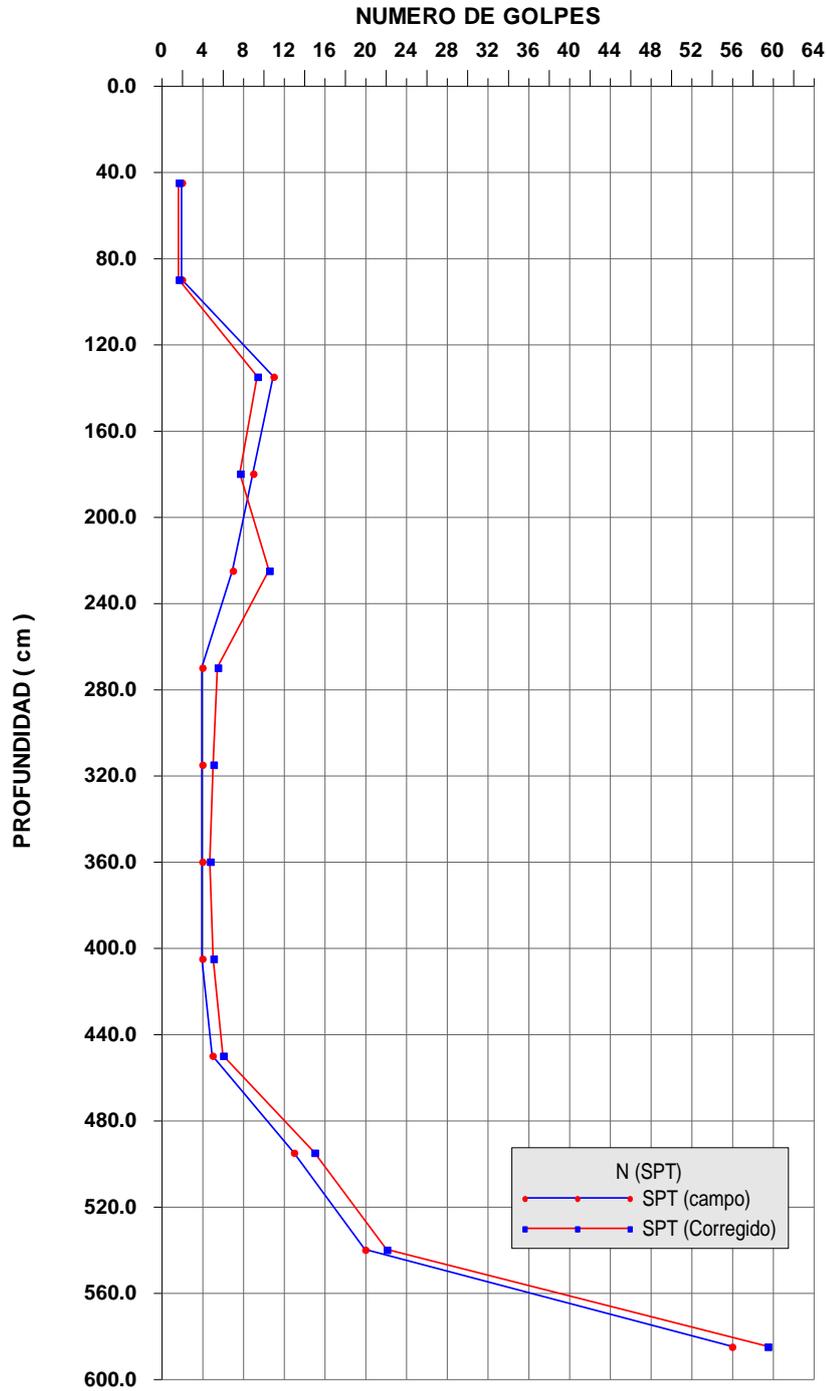
Tabla 07. Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 01.

Datos			Resultados								
Prof. (m.)	N	γ_s (Kg/m ³)	σ' (KPa)	N	C_N	η_1	η_2	η_3	η_4	N'_{70}	ϕ
0,00											
	1	2400	6,300	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
0,45	1	2400	12,600	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
0,90	1	2400	18,900	11	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	9,43	28,0
	3										
	7	2400	25,200	9	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	7,72	26,8
1,35	4										
	2	2400	31,500	7	1,765	1,143	0,75	1,00	1,00	10,59	28,8
	4										
1,80	5	2400	37,800	4	1,611	1,143	0,75	1,00	1,00	5,52	25,0
	2										
	2	2400	44,100	4	1,491	1,143	0,75	1,00	1,00	5,11	24,6
2,25	3										
	3	2400	50,400	4	1,395	1,143	0,75	1,00	1,00	4,78	24,3
2,70	4										
	2	2400	56,700	4	1,315	1,143	0,85	1,00	1,00	5,11	24,6
3,15	2										
	2	2400	63,000	5	1,248	1,143	0,85	1,00	1,00	6,06	25,4
3,60	2										
	2	2400	69,300	13	1,190	1,143	0,85	1,00	1,00	15,03	31,4
4,05	2										
	3	2400	75,600	20	1,139	1,143	0,85	1,00	1,00	22,13	35,0
4,50	3										
	2	2400	81,900	56	1,094	1,143	0,85	1,00	1,00	59,52	47,7
4,95	2										
	11	2400									
	10										
5,40	7	2400									
	13										
	17	2400									
	21										
5,85	35	2400									

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
Y ANÁLISIS DE LA SOBRE ELEVACIÓN

SPT - 01



MSc. M.A.H.A.

Gráfico 01. Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 01.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SPT - 02:

En el gráfico 02 muestra este ensayo que alcanzó la profundidad de 10.80m, los resultados obtenidos registraron una resistencia promedio de 2 golpes por cada 30cm de penetración en los primeros 6.00m, para luego ir aumenta de forma lineal hasta alcanzar un valor de 14 golpes por cada 30cm de penetración.

En la tabla 08 muestra los resultados obtenidos y las correcciones de energía de los valores N en la que se puede correlacionar su valor del ángulo de fricción.

Tabla 08. Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 02.

Datos			Resultados								
Prof. (m.)	N	γ_s (Kg/m ³)	σ' (KPa)	N	C_N	η_1	η_2	η_3	η_4	N'_{70}	ϕ
0,00	1	2400	6,300	4	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	3,43	22,9
	1										
0,45	3	2400	12,600	4	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	3,43	22,9
	2										
0,90	2	2400	18,900	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
1,35	1	2400	25,200	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	2										
1,80	1	2400	31,500	2	1,765	1,143	0,75	1,00	1,00	3,03	22,4
	1										
2,25	1	2400	37,800	2	1,611	1,143	0,75	1,00	1,00	2,76	22,0
	1										
2,70	1	2400	44,100	2	1,491	1,143	0,75	1,00	1,00	2,56	21,8
	1										
3,15	1	2400	50,400	2	1,395	1,143	0,75	1,00	1,00	2,39	21,6
	1										
3,60	1	2400	56,700	2	1,315	1,143	0,85	1,00	1,00	2,56	21,8
	1										
4,05	1	2400	63,000	2	1,248	1,143	0,85	1,00	1,00	2,42	21,6

	1										
4,50	1										
	1	2400	69,300	3	1,190	1,143	0,85	1,00	1,00	3,47	22,9
	2										
4,95	1										
	1	2400	75,600	3	1,139	1,143	0,85	1,00	1,00	3,32	22,7
	2										
5,40	1										
	1	2400	81,900	2	1,094	1,143	0,85	1,00	1,00	2,13	21,2
	1										
5,85	1										
	1	2400	88,200	3	1,055	1,143	0,85	1,00	1,00	3,07	22,4
	2										
6,30	1										
	4	2400	94,500	4	1,019	1,143	0,95	1,00	1,00	4,43	23,9
	2										
6,75	2										
	3	2400	100,800	6	0,987	1,143	0,95	1,00	1,00	6,43	25,8
	3										
7,20	3										
	3	2400	107,100	7	0,957	1,143	0,95	1,00	1,00	7,27	26,4
	3										
7,65	4										
	3	2400	113,400	6	0,930	1,143	0,95	1,00	1,00	6,06	25,4
	3										
8,10	3										
	2	2400	119,700	6	0,905	1,143	0,95	1,00	1,00	5,90	25,3
	3										
8,55	3										
	4	2400	126,000	5	0,882	1,143	0,95	1,00	1,00	4,79	24,3
	3										
9,00	2										
	6	2400	132,300	9	0,861	1,143	0,95	1,00	1,00	8,41	27,3
	5										
9,45	4										
	4	2400	138,600	8	0,841	1,143	0,95	1,00	1,00	7,31	26,5
	4										
9,90	4										
	7	2400	144,900	12	0,823	1,143	1,00	1,00	1,00	11,29	29,3
	6										
10,35	6										
	6	2400	151,200	14	0,805	1,143	1,00	1,00	1,00	12,88	30,2
	7										
10,80	7										

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
Y ANÁLISIS DE LA SOBRE ELEVACIÓN

SPT - 02

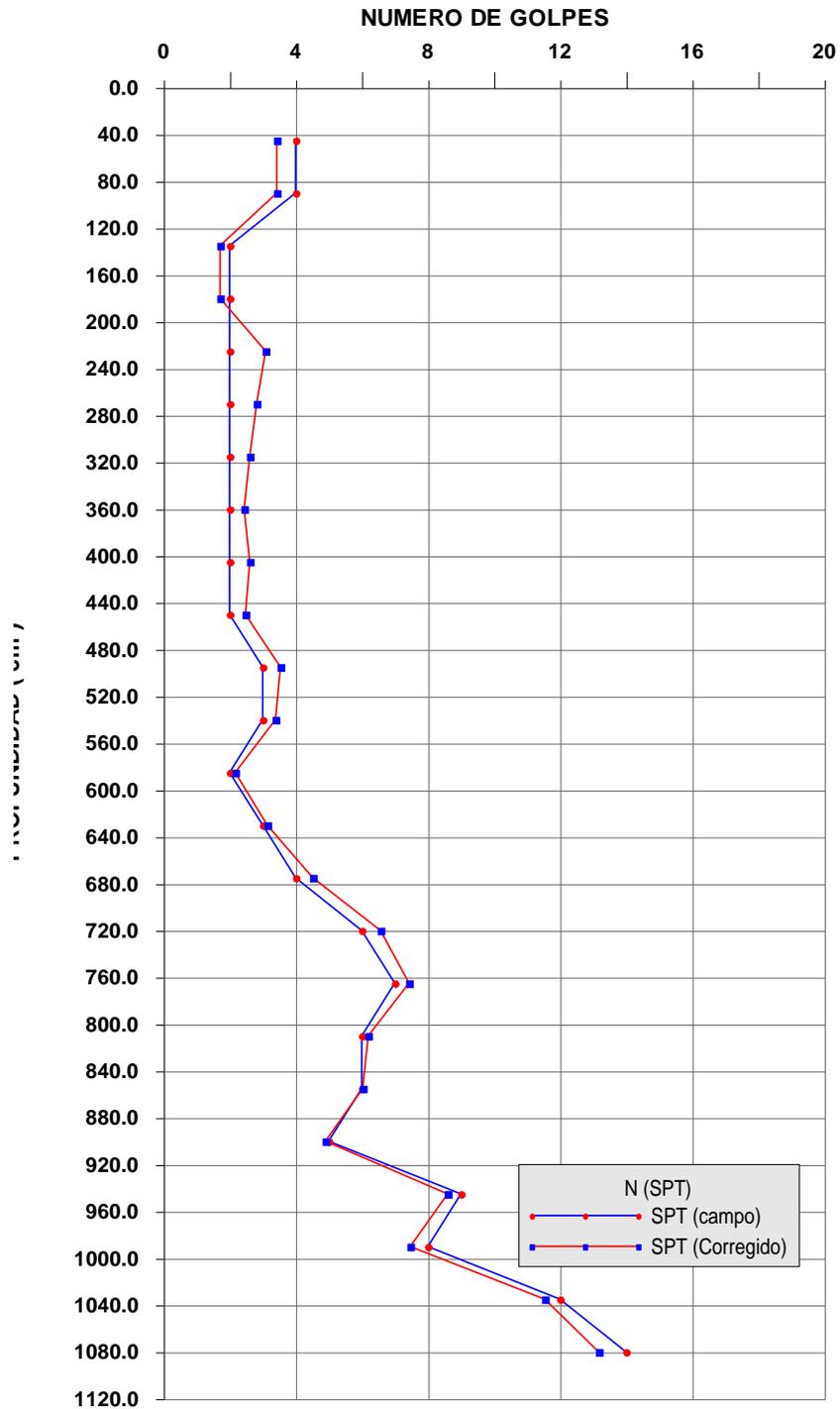


Gráfico 02. Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 02.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SPT - 03:

En el gráfico 03 muestra este ensayo que alcanzó la profundidad de 10.50m, los resultados obtenidos registraron una resistencia promedio de 2 golpes por cada 30cm de penetración en los primeros 6.00m, para luego ir aumenta de forma lineal hasta alcanzar un valor de 14 golpes por cada 30cm de penetración.

En la tabla 09 muestra los resultados obtenidos y las correcciones de energía de los valores N en la que se puede correlacionar su valor del ángulo de fricción.

Tabla 09. Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 03.

Datos			Resultados								
Prof. (m.)	N	γ_s (Kg/m ³)	σ' (KPa)	N	C_N	η_1	η_2	η_3	η_4	N'_{70}	ϕ
0,60	1	2400	14,700	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
1,05	1	2400	21,000	3	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	2,57	21,8
	2										
1,50	1	2400	27,300	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
1,95	1	2400	33,600	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
2,40	1	2400	39,900	2	1,568	1,143	0,75	1,00	1,00	2,69	22,0
	1										
2,85	1	2400	46,200	2	1,457	1,143	0,75	1,00	1,00	2,50	21,7
	1										
3,30	1	2400	52,500	2	1,367	1,143	0,75	1,00	1,00	2,34	21,5
	1										
3,75	1	2400	58,800	2	1,292	1,143	0,85	1,00	1,00	2,51	21,7
	1										
4,20	1	2400	65,100	2	1,228	1,143	0,85	1,00	1,00	2,39	21,6
	1										
4,65	1	2400	71,400	2	1,172	1,143	0,85	1,00	1,00	2,28	21,4

	1										
5,10	1										
	1										
	1	2400	77,700	2	1,124	1,143	0,85	1,00	1,00	2,18	21,3
5,55	1										
	1										
	1	2400	84,000	3	1,081	1,143	0,85	1,00	1,00	3,15	22,5
6,00	2										
	2										
	2	2400	90,300	3	1,042	1,143	0,95	1,00	1,00	3,39	22,8
6,45	1										
	2										
	1	2400	96,600	2	1,008	1,143	0,95	1,00	1,00	2,19	21,3
6,90	1										
	4										
	1	2400	102,900	2	0,976	1,143	0,95	1,00	1,00	2,12	21,2
7,35	1										
	1										
	1	2400	109,200	3	0,948	1,143	0,95	1,00	1,00	3,09	22,5
7,80	2										
	3										
	2	2400	115,500	4	0,922	1,143	0,95	1,00	1,00	4,00	23,5
8,25	2										
	3										
	3	2400	121,800	6	0,897	1,143	0,95	1,00	1,00	5,84	25,3
8,70	3										
	4										
	4	2400	128,100	9	0,875	1,143	0,95	1,00	1,00	8,55	27,4
9,15	5										
	6										
	6	2400	134,400	13	0,854	1,143	0,95	1,00	1,00	12,06	29,7
9,60	7										
	7										
	8	2400	140,700	18	0,835	1,143	1,00	1,00	1,00	17,18	32,6
10,05	10										
	8										
	10	2400	147,000	20	0,817	1,143	1,00	1,00	1,00	18,68	33,3
10,50	10										

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
Y ANÁLISIS DE LA SOBRE ELEVACIÓN

SPT - 03

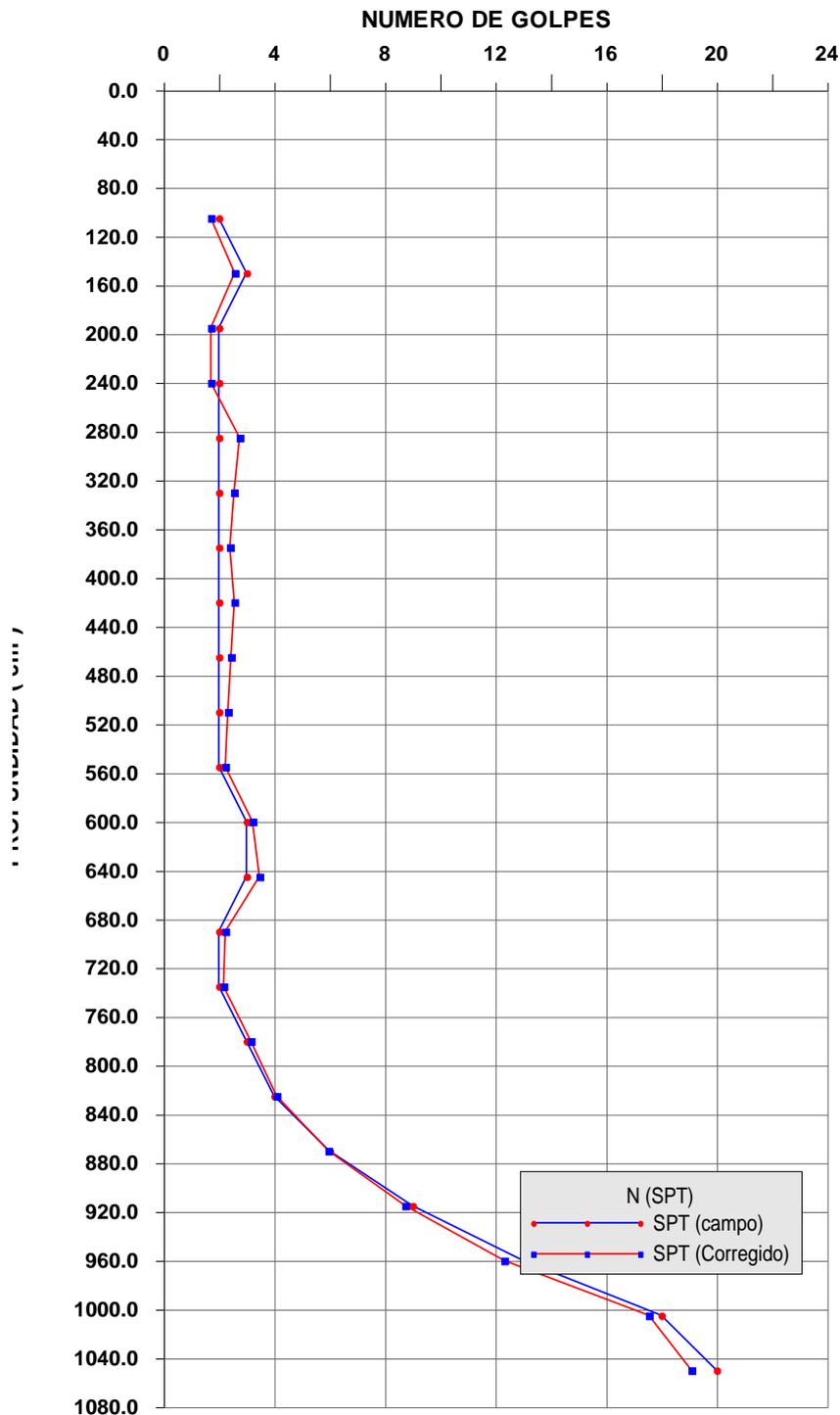


Gráfico 03. Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 03.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SPT - 04:

En el gráfico 04 muestra este ensayo que alcanzó la profundidad de 10.05m, los resultados obtenidos registraron una resistencia variable de N entre 2 a 9 golpes en los 6m iniciales, para luego continuar con un valor de resistencia constante de 9 golpes por cada 30cm de penetración.

En la tabla 10 muestra los resultados obtenidos y las correcciones de energía de los valores N en la que se puede correlacionar su valor del ángulo de fricción.

Tabla 10. Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 04.

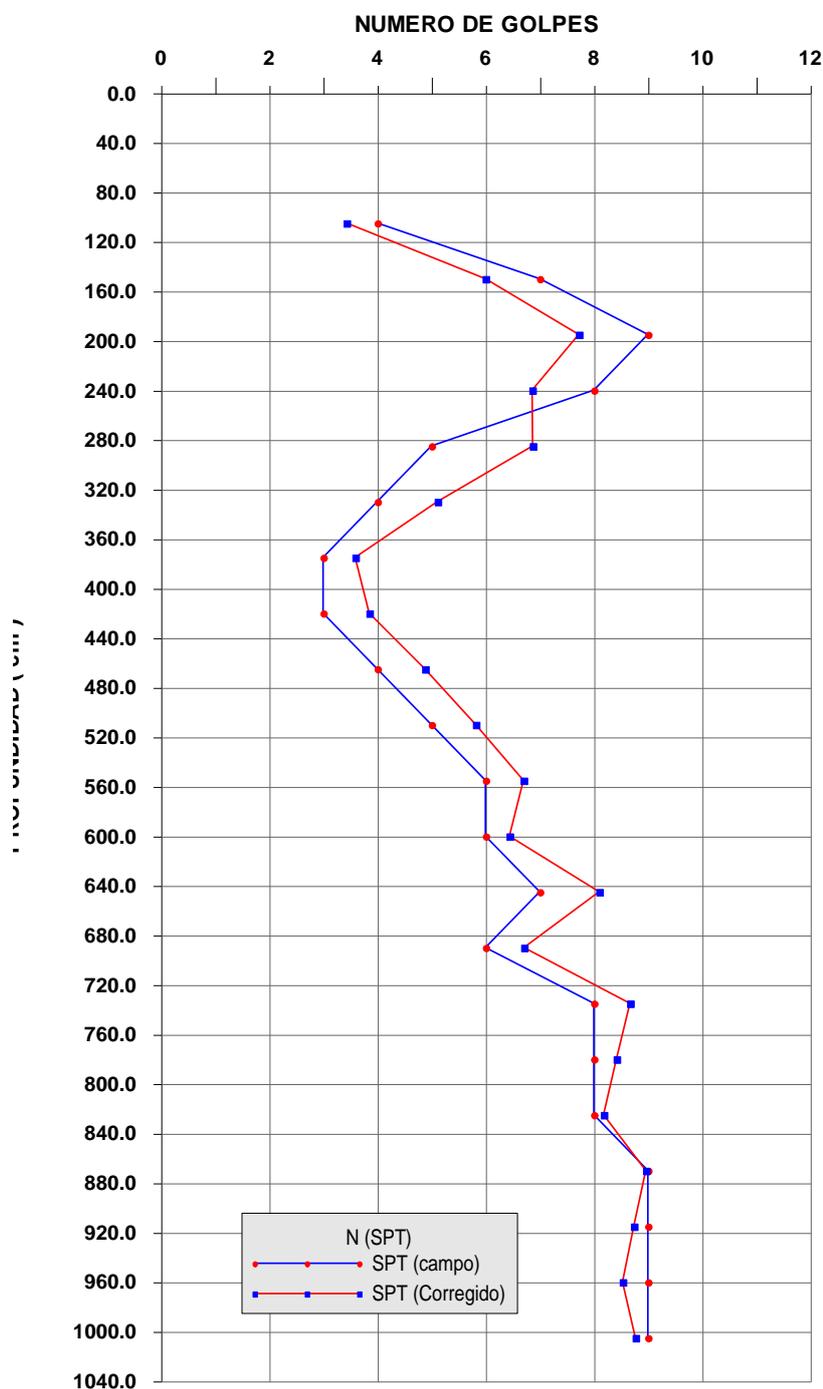
Datos			Resultados								
Prof. (m.)	N	γ_s (Kg/m3)	σ' (KPa)	N	C_N	η_1	η_2	η_3	η_4	N'_{70}	ϕ
0,60	2	2400	14,700	4	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	3,43	22,9
	3										
1,05	1	2400	21,000	7	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	6,00	25,4
	3										
1,50	4	2400	27,300	9	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	7,72	26,8
	3										
1,95	4	2400	33,600	8	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	6,86	26,1
	2										
2,40	5	2400	39,900	5	1,568	1,143	0,75	1,00	1,00	6,72	26,0
	3										
2,85	2	2400	46,200	4	1,457	1,143	0,75	1,00	1,00	5,00	24,5
	3										
3,30	1	2400	52,500	3	1,367	1,143	0,75	1,00	1,00	3,52	23,0
	1										
3,75	1	2400	58,800	3	1,292	1,143	0,85	1,00	1,00	3,77	23,2
	2										
4,20	1	2400	65,100	4	1,228	1,143	0,85	1,00	1,00	4,77	24,3
	2										
4,65	2	2400	71,400	5	1,172	1,143	0,85	1,00	1,00	5,69	25,1
	1										
5,10	2										
	3										

	2	2400	77,700	6	1,124	1,143	0,85	1,00	1,00	6,55	25,9
	2										
5,55	4										
	3	2400	84,000	6	1,081	1,143	0,85	1,00	1,00	6,30	25,6
	3										
6,00	3										
	3	2400	90,300	7	1,042	1,143	0,95	1,00	1,00	7,92	26,9
	3										
6,45	4										
	3	2400	96,600	6	1,008	1,143	0,95	1,00	1,00	6,57	25,9
	3										
6,90	3										
	3	2400	102,900	8	0,976	1,143	0,95	1,00	1,00	8,48	27,4
	4										
7,35	4										
	4	2400	109,200	8	0,948	1,143	0,95	1,00	1,00	8,24	27,2
	4										
7,80	4										
	2	2400	115,500	8	0,922	1,143	0,95	1,00	1,00	8,01	27,0
	4										
8,25	4										
	4	2400	121,800	9	0,897	1,143	0,95	1,00	1,00	8,77	27,6
	5										
8,70	4										
	4	2400	128,100	9	0,875	1,143	0,95	1,00	1,00	8,55	27,4
	4										
9,15	5										
	4	2400	134,400	9	0,854	1,143	0,95	1,00	1,00	8,35	27,3
	5										
9,60	4										
	4	2400	140,700	9	0,835	1,143	1,00	1,00	1,00	8,59	27,4
	5										
10,05	4										

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
Y ANÁLISIS DE LA SOBRE ELEVACIÓN

SPT - 04



MSc. M.A.H.A.

Gráfico 04. Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 04.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SPT - 05:

En el gráfico 05 muestra este ensayo que alcanzó la profundidad de 10.05m, los resultados obtenidos registraron una resistencia constante promedio de 4 golpes por cada 30cm de penetración en los 6m iniciales, para luego continuar con un valor de resistencia que aumenta de forma lineal con la profundidad hasta alcanzar valores de rechazo de más de 50 golpes por cada 30cm de penetración.

En la tabla 11 muestra los resultados obtenidos y las correcciones de energía de los valores N en la que se puede correlacionar su valor del ángulo de fricción.

Tabla 11. Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 05.

Datos			Resultados								
Prof. (m.)	N	γ_s (Kg/m ³)	σ' (KPa)	N	C_N	η_1	η_2	η_3	η_4	N'_{70}	ϕ
0,60	2	2400	14,700	3	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	2,57	21,8
	2										
1,05	1	2400	21,000	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
1,50	1	2400	27,300	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
1,95	1	2400	33,600	2	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	1,71	20,5
	1										
2,40	1	2400	39,900	2	1,568	1,143	0,75	1,00	1,00	2,69	22,0
	1										
2,85	1	2400	46,200	2	1,457	1,143	0,75	1,00	1,00	2,50	21,7
	1										
3,30	1	2400	52,500	2	1,367	1,143	0,75	1,00	1,00	2,34	21,5
	1										
3,75	1	2400	58,800	2	1,292	1,143	0,85	1,00	1,00	2,51	21,7
	1										
4,20	2	2400	65,100	4	1,228	1,143	0,85	1,00	1,00	4,77	24,3
	2										
4,65	2										

	2	2400	71,400	3	1,172	1,143	0,85	1,00	1,00	3,42	22,8
	1										
5,10	2										
	2	2400	77,700	4	1,124	1,143	0,85	1,00	1,00	4,37	23,9
	2										
5,55	2										
	2	2400	84,000	4	1,081	1,143	0,85	1,00	1,00	4,20	23,7
	2										
6,00	2										
	2	2400	90,300	5	1,042	1,143	0,95	1,00	1,00	5,66	25,1
	2										
6,45	3										
	3	2400	96,600	6	1,008	1,143	0,95	1,00	1,00	6,57	25,9
	3										
6,90	3										
	4	2400	102,900	6	0,976	1,143	0,95	1,00	1,00	6,36	25,7
	3										
7,35	3										
	3	2400	109,200	8	0,948	1,143	0,95	1,00	1,00	8,24	27,2
	3										
7,80	5										
	5	2400	115,500	9	0,922	1,143	0,95	1,00	1,00	9,01	27,7
	5										
8,25	4										
	5	2400	121,800	14	0,897	1,143	0,95	1,00	1,00	13,64	30,7
	7										
8,70	7										
	8	2400	128,100	19	0,875	1,143	0,95	1,00	1,00	18,05	33,0
	8										
9,15	11										
	11	2400	134,400	30	0,854	1,143	0,95	1,00	1,00	27,82	37,4
	15										
9,60	15										
	17	2400	140,700	55	0,835	1,143	1,00	1,00	1,00	52,49	45,7
	20										
10,05	35										

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
Y ANÁLISIS DE LA SOBRE ELEVACIÓN

SPT - 05

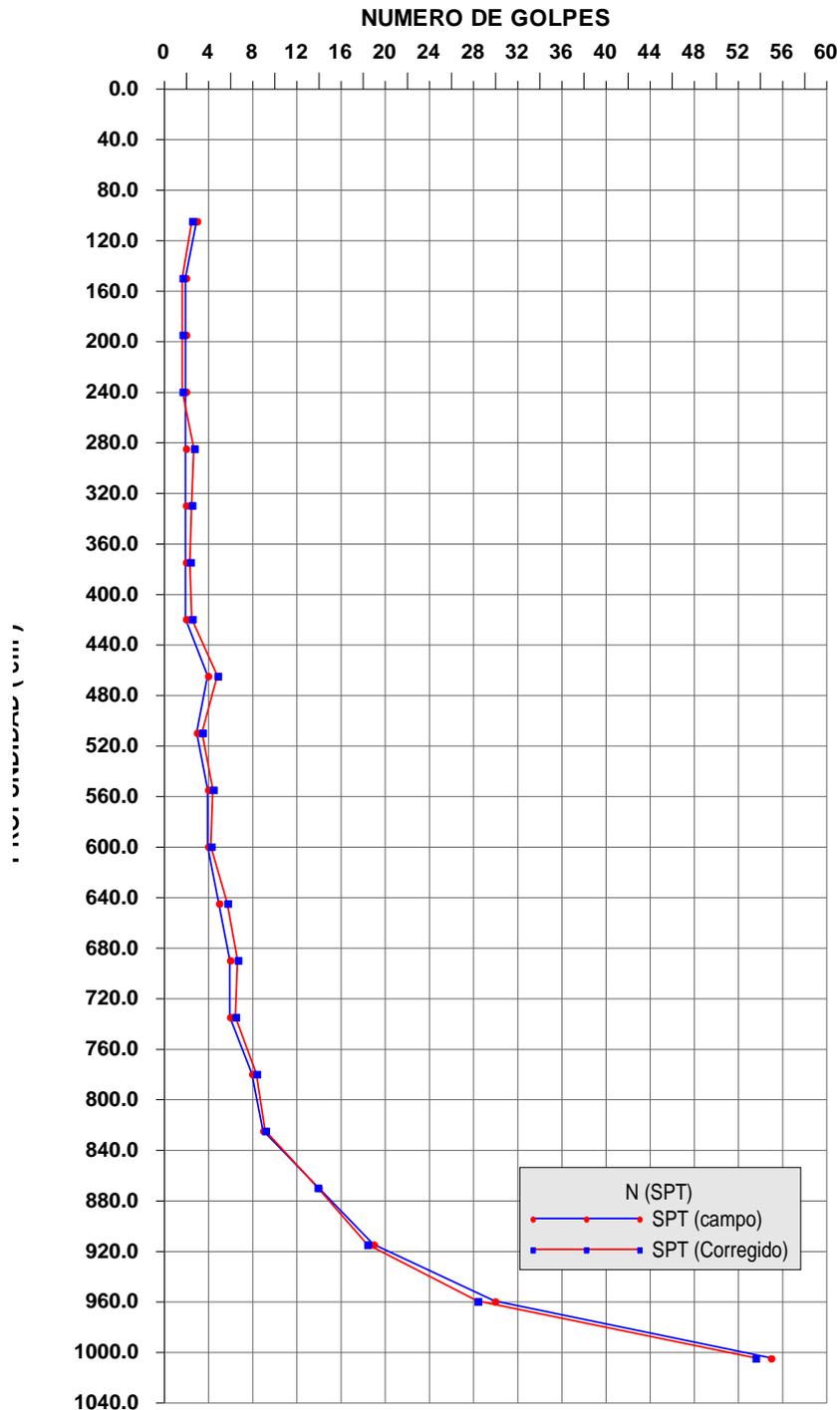


Gráfico 05. Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 05.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SPT - 06:

En el gráfico 06 muestra este ensayo que alcanzó la profundidad de 5.00m, los resultados obtenidos registraron una resistencia variable con la profundidad con promedio de 7 golpes por cada 30cm de penetración en los 3m iniciales, para luego continuar con un valor de resistencia que disminuyen de forma lineal con la profundidad hasta alcanzar valores promedios de 3 golpes por cada 30cm de penetración.

En la tabla 12 muestra los resultados obtenidos y las correcciones de energía de los valores N en la que se puede correlacionar su valor del ángulo de fricción.

Tabla 12. Cuadro de resultados obtenidos de la resistencia promedio de Nro. De golpes, correcciones de energía, ángulo de fricción del ensayo SPT 06.

Datos			Resultados								
Prof. (m.)	N	γ_s (Kg/m ³)	σ' (KPa)	N	C_N	η_1	η_2	η_3	η_4	N'_{70}	ϕ
0,00											
	2	2400	6,300	5	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	4,29	23,8
0,45	3										
	3	2400	12,600	9	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	7,72	26,8
	5										
0,90	4										
	4	2400	18,900	8	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	6,86	26,1
	4										
1,35	4										
	5	2400	25,200	10	1,000	1,143	0,75	1,00	1,00	8,57	27,4
	5										
1,80	5										
	4	2400	31,500	6	1,765	1,143	0,75	1,00	1,00	9,08	27,8
	3										
2,25	3										
	3	2400	37,800	5	1,611	1,143	0,75	1,00	1,00	6,91	26,2
	3										
2,70	2										
	2	2400	44,100	5	1,491	1,143	0,75	1,00	1,00	6,39	25,7
	2										
3,15	3										
	2	2400	50,400	2	1,395	1,143	0,75	1,00	1,00	2,39	21,6
	1										
3,60	1										
	1	2400	56,700	3	1,315	1,143	0,85	1,00	1,00	3,83	23,3
	1										
4,05	2										
	2	2400	63,000	4	1,248	1,143	0,85	1,00	1,00	4,85	24,3
	2										
4,50	2										
	3	2400	69,300	3	1,190	1,143	0,85	1,00	1,00	3,47	22,9
	2										
4,95	1										

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
Y ANÁLISIS DE LA SOBRE ELEVACIÓN

SPT - 06

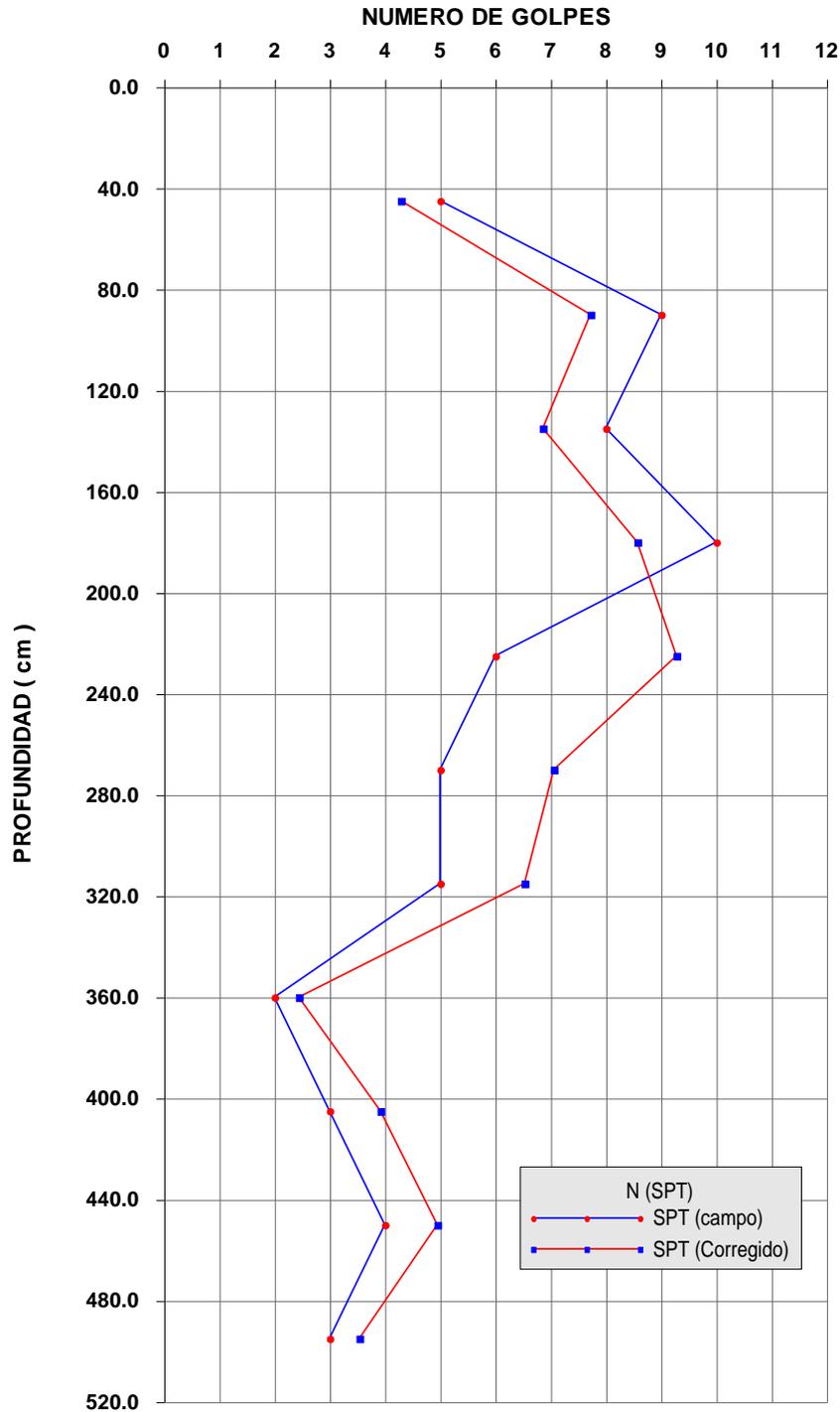


Gráfico 06. Relación de Nro. De golpes y profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 06.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

5.3. Sondeo para control de humedad

Los sondeos por medio de la porteadora manual y muestras recuperadas con la caña partida del ensayo SPT, nos han permitido recuperar las muestras de forma continua con la profundidad de exploración, habiéndose determinado el contenido de humedad del material de relave depositado, los resultados obtenidos arrojan valores de húmedas en el rango de 9 a 14% lo que confirma que el relave ha disminuido su contenido de humedad con respecto a los valores de humedad cuando la poza estaba en operación.

El contenido de humedad obtenido determina que dichos valores están por debajo de su valor de límite líquido lo que puede garantizar que el suelo no se encuentra saturado y las presiones de poros intersticiales son bajas o nulas, disminuyendo notablemente el riesgo de licuación en la poza.

Las muestras o testigos de relave obtenidas en forma continua fueron colocados en cajas de madera porta testigos, de dimensiones 50cm de ancho por 1m de largo aproximadamente, con separadores internos para almacenar 4 corridas de 1m cada una y envuelto en bolsa especiales para mantener su contenido de humedad, estas muestras están distribuidas en forma secuencial separándose cada corrida con tacos de madera que limitan las profundidades alcanzadas, esto se puede apreciar en la Fig. 55.

Posteriormente las cajas han sido pintadas con los datos de identificación más importantes como son: Ubicación del Sondeo, Número del Sondeo, Profundidad total alcanzada, Intervalo de la Profundidad, Número de Caja, como se puede apreciar en las fotografías que se anexan.





Figura 55. Secuencia de recuperación de muestra con la porteadora manual y caña partida del SPT para control de humedad con la profundidad

Fuente: Informe de Estudio Estabilidad Global Presa Norte Final, Consultora Geo Master

5.3.1. Memoria descriptiva de los sondajes

1) Instalación de equipos SPT

El equipo de SPT es preparado para su instalación en la proximidad del punto a sondear, su izamiento en todo momento debe conservar la forma un triángulo equilátero, una vez izado y posesionado se debe ser aplomado y ubicado el punto exacto a perforar para posteriormente fijar las patas del trípode e iniciar las labores.

2) Instalación del motor guía

Para facilitar el ascenso y caída del martillo guía de perforación se emplea un motor denominado Malacate sujeto a una de las patas del trípode, este motor debe ser alineado a la polea que se encuentra en la parte superior del trípode, para evitar pandeos laterales y asegurar que el descenso sea de acuerdo a la altura moderada que permita una penetración continua.

3) Martillo 140 libras

El martillo usado como elemento de percusión, su peso debe tener relación directa con la altura de caída y tipo de material a explorar y recuperar, controlando en todo momento que no exceda el metro lineal asignado para una determinada corrida o penetración.

4) Tubo muestreador tipo shellby

Para obtener una buena recuperación se usó tubos muestreadores tipo Shellby de 2" de pared delgada, su ingreso a una determinada profundidad debe ser registrada para establecer el tipo de estrato que se muestrea, para su extracción del tubo una vez realizada la penetración no será necesario la rotación de la tubería para la recuperación, ya que el equipo posee una canastilla de entrapamiento que impide que el material caiga al momento de extraer la tubería, en lo posible la extracción debe tener pocos golpes y si es posible extraerlo en forma manual.

5) Caja portatestigos

Estas se usan para conservar y registrar el material que se extrae en cada profundidad, su registro dependerá de la cantidad recuperada,

cada metro lineal de corrida o penetración deben ser señaladas con tacos separadores donde se muestre el avance y la profundidad de perforación.

5.3.2. Registro general de los trabajos ejecutados

Hasta las profundidades sondeadas en todos las penetraciones en el depósito de relave compuesto de relave drenado, se detectó la presencia de forma general que el relave es homogéneo y con un contenido de humedad que no ha presentado variación significativa en el toda el área y profundidad del depósito.

Las muestras extraídas de todos los sondeos realizados y colocados en las cajas porta testigos fueron enviadas al Laboratorio donde se realizaron sus ensayos correspondientes, de los 6 sondeos realizados, se determinó que el rango de los contenidos de humedad promedio varían entre 9.15% para el Sondeo N° 04 y 14.40% para el sondeo N° 01.

Es muy importante mencionar que el Contenido de Humedad o agua de una muestra es definido en MECANICA DE SUELOS como la relación entre el peso del agua y el peso de la materia sólida, expresada en porcentaje.

$$\% w = Pw/Ps*100\%$$

En los gráficos 07 al 12 muestra el contenido de humedad Natural encontrado con la profundidad para cada sondaje realizado, esto se puede apreciar en los gráficos 07 al 12.

SONDEO N°01

COTA 2330

PROFUNDIDAD (m)	% DE HUMEDAD
0.50 – 1.00	14.40%
1.00 – 2.00	12.47%

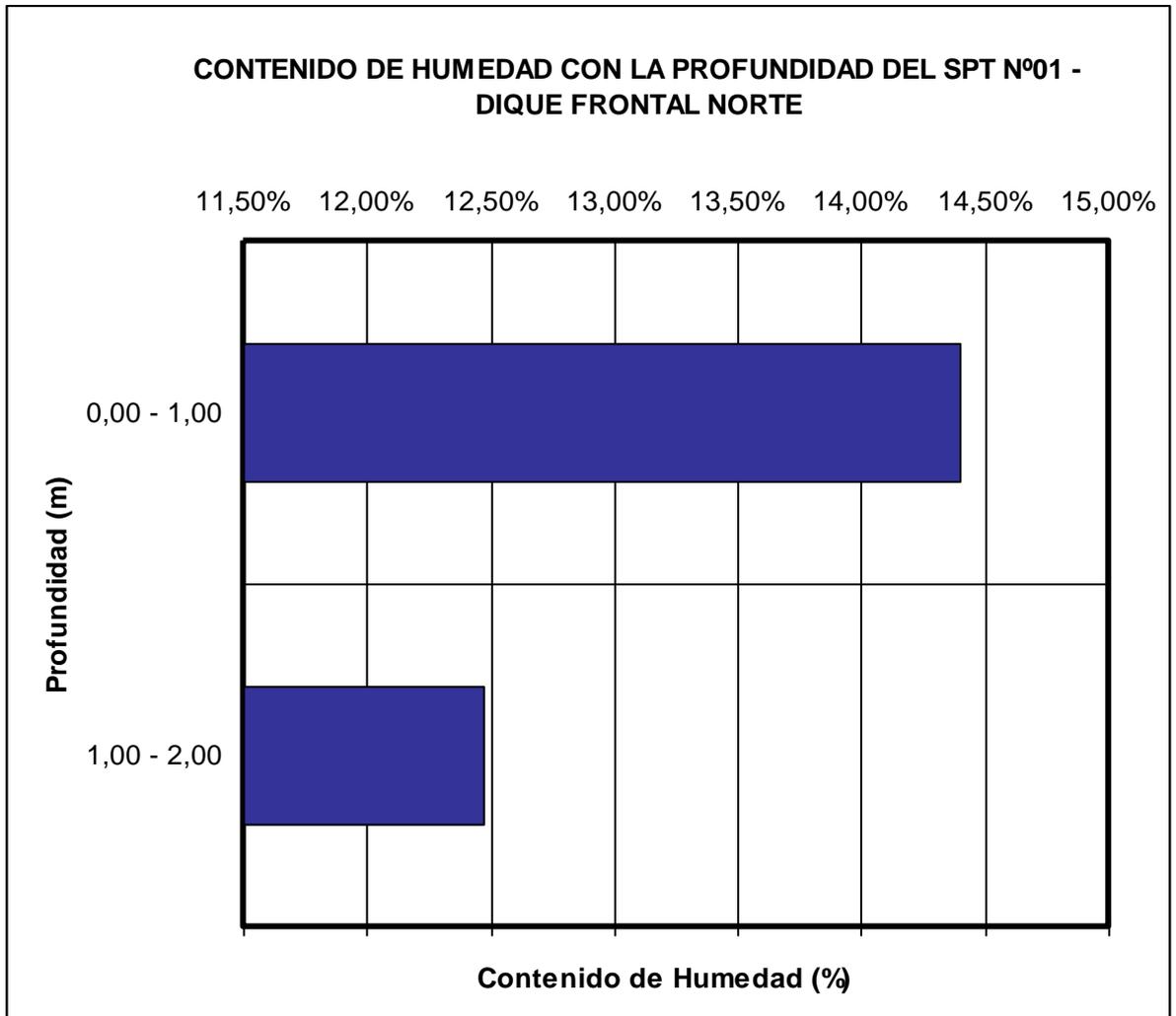


Gráfico 07. Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 01.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SONDEO N°02

COTA 2330.0

PROFUNDIDAD (m)	% DE HUMEDAD
0.00 – 1.00	11.70%
1.00 – 2.00	8.76 %

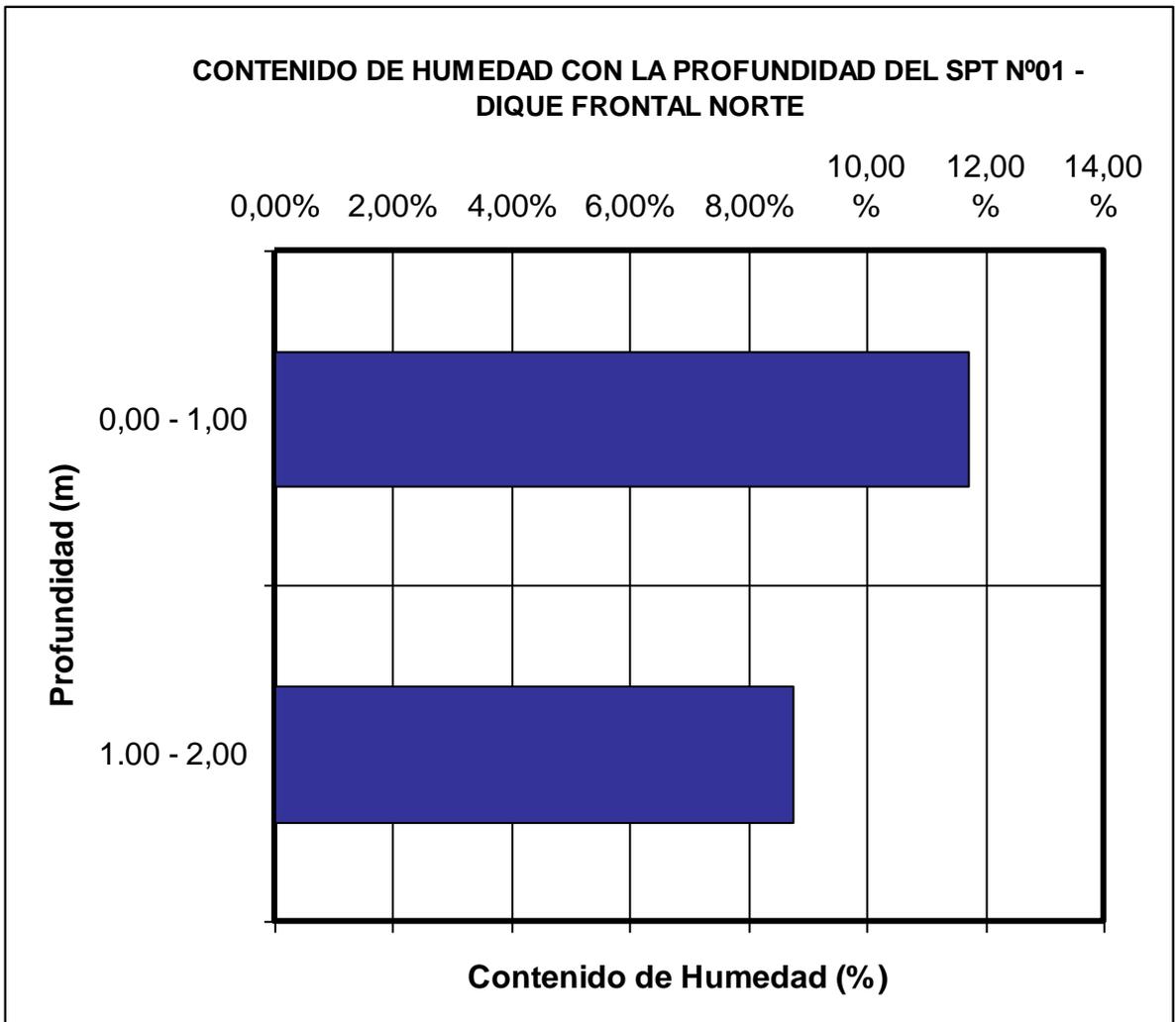


Gráfico 08. Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 02.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SONDEO N°03

COTA 2330

PROFUNDIDAD (m)	% DE HUMEDAD
0.00 – 1.00	10.44 %
1.00 – 10.35	10.40 %

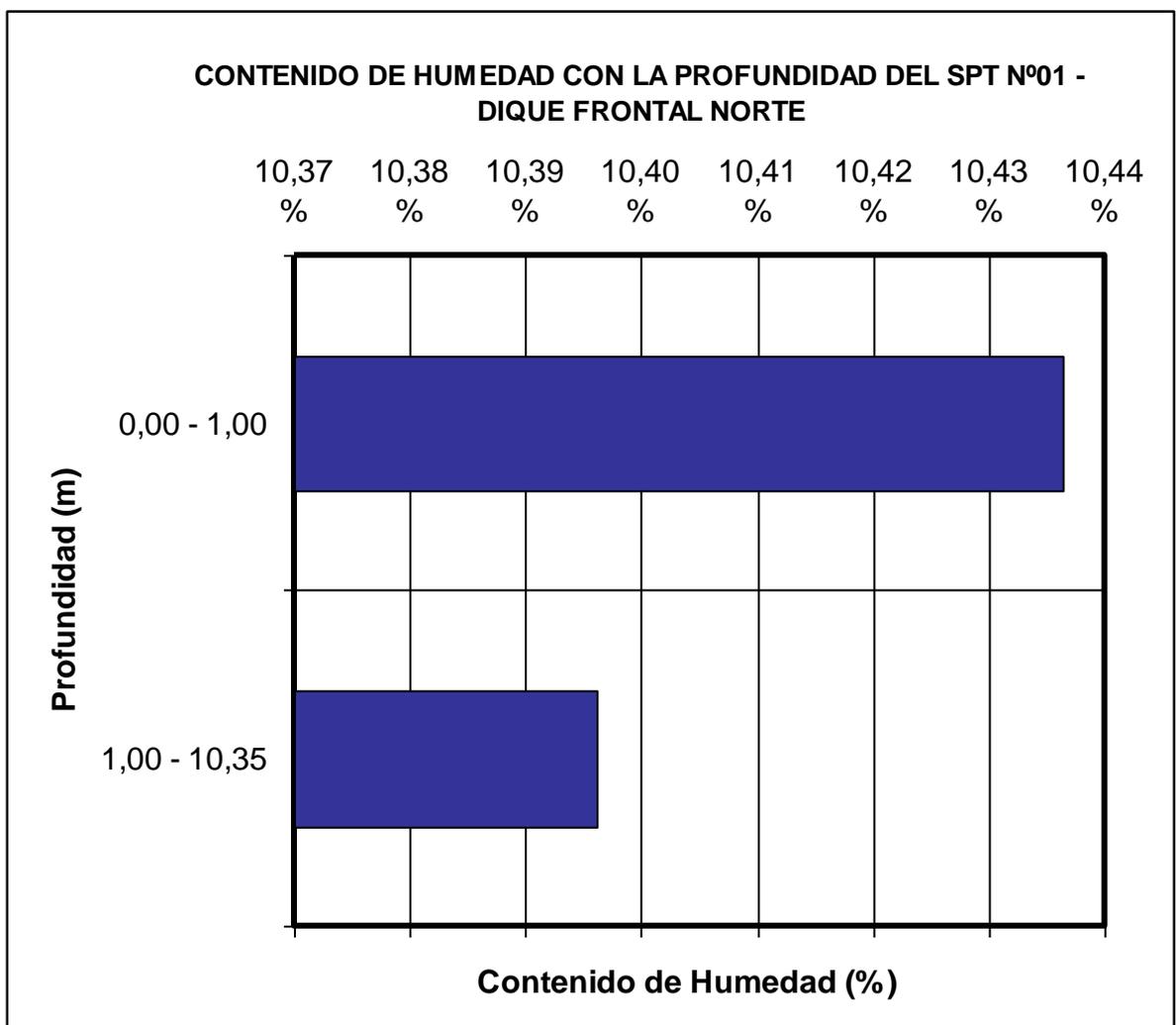


Gráfico 09. Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 03.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SONDEO Nº 04

COTA 2330

PROFUNDIDAD (m)	% DE HUMEDAD
0.00 – 10.30	9.15 %

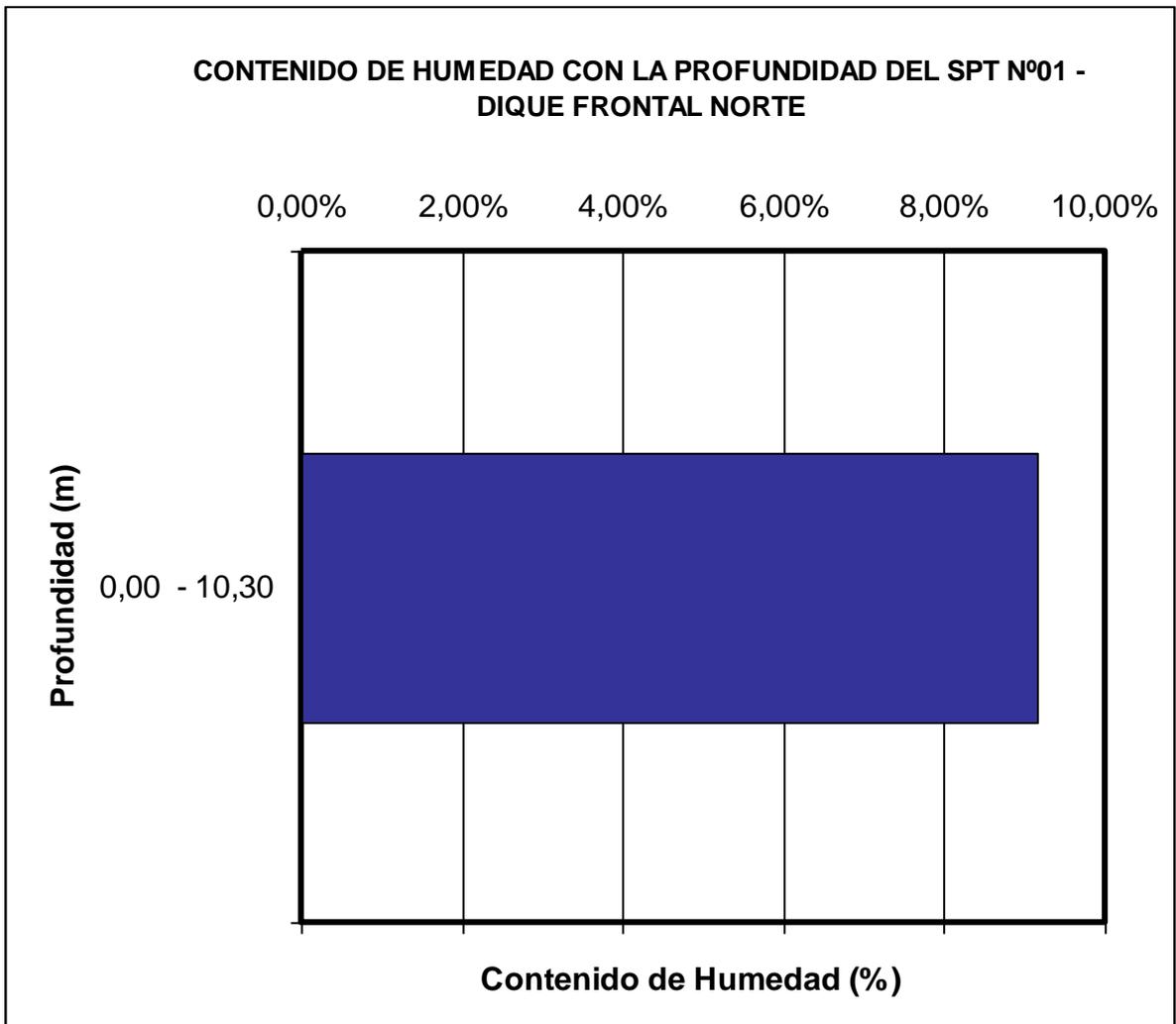


Gráfico 10. Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 04.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SONDEO Nº 05

COTA 2330

PROFUNDIDAD (m)	% DE HUMEDAD
0.00 – 1.00	9.89 %
1.00 – 2.00	10.39 %

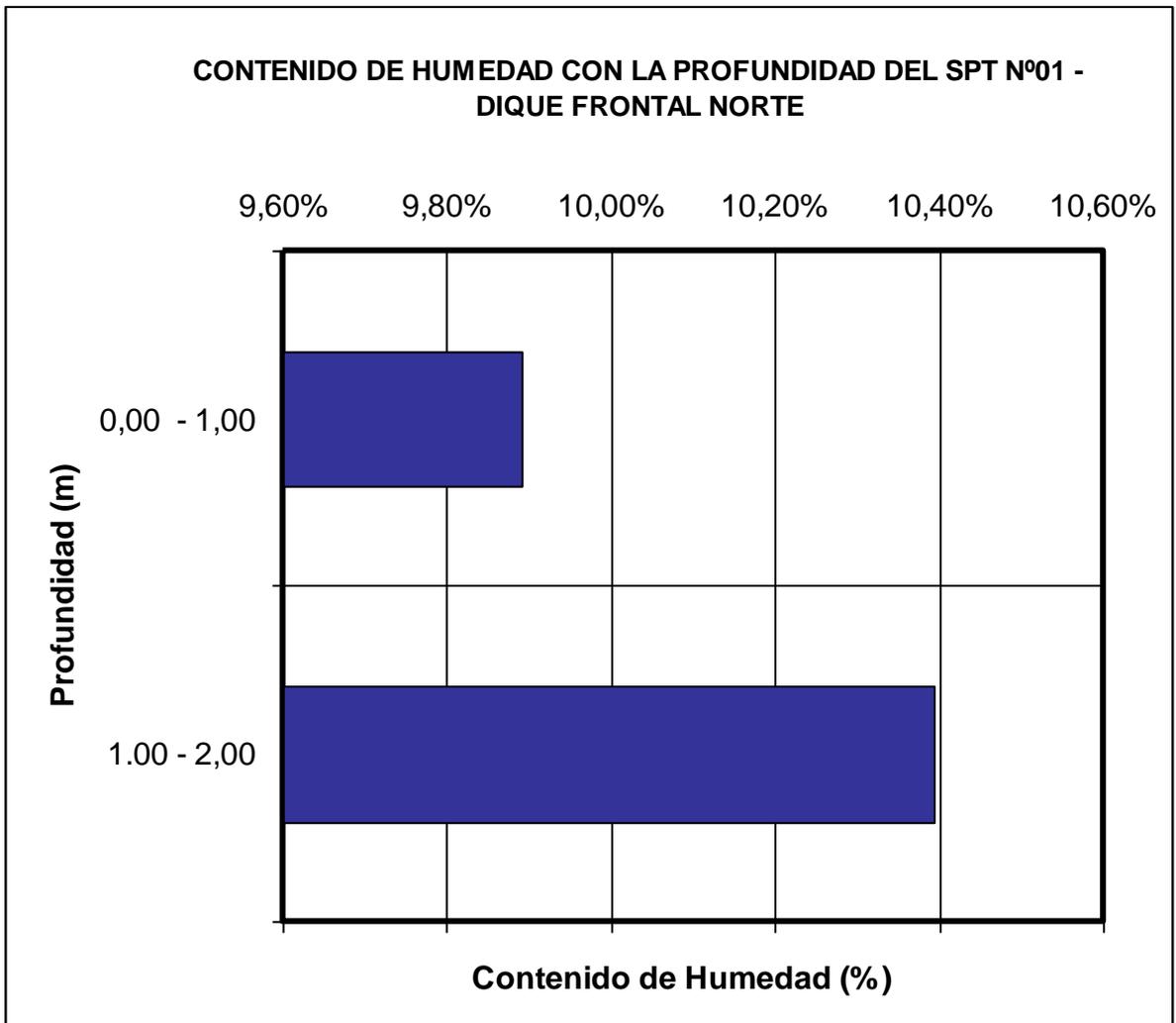


Gráfico 11. Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 05.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

SONDEO Nº 06

COTA 2330

PROFUNDIDAD (m)	% DE HUMEDAD
0.00 – 1.00	9.88 %
1.00 – 5.10	10.83 %

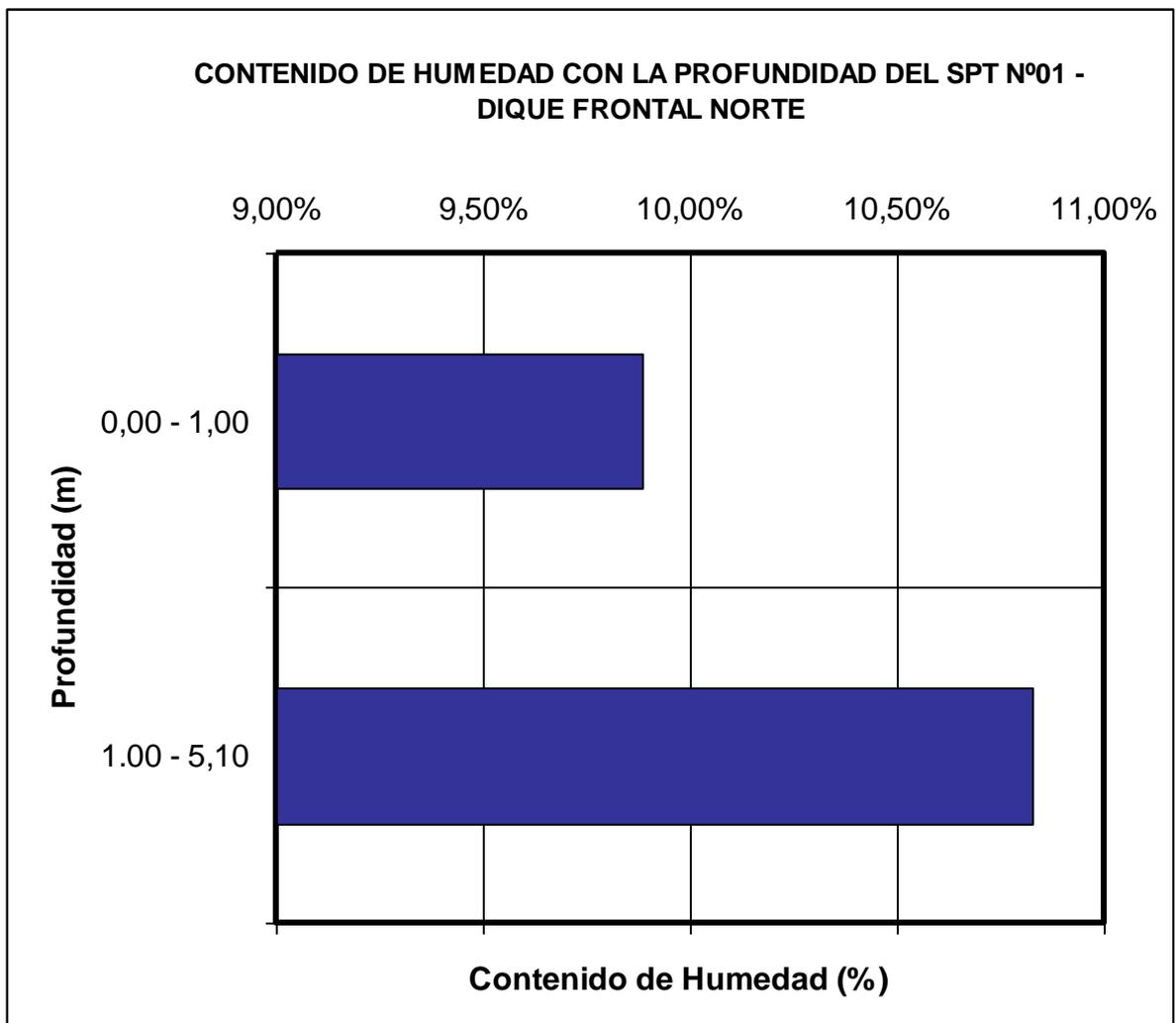


Gráfico 12. Relación de contenido de humedad y la profundidad de acuerdo al resultado obtenido del ensayo SPT 06.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza.

5.3. Pruebas de laboratorio

5.3.1. Generalidades

En la campaña de exploración del relave se tomaron muestras de los diferentes ensayos efectuados (SPT y Sondeos) para sus diferentes estratos, de los materiales utilizados en la conformación del dique y de los relaves en pulpa para su posterior clasificación en el laboratorio de Mecánica de suelos y determinar los ensayos necesarios a cada material según su aplicación o función que va a desarrollar.

Con las muestras obtenidas se realizaron los siguientes ensayos de acuerdo a las Normas Standards de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

- * Análisis Granulométrico por tamizado Norma ASTM D 422
- * Clasificación de Suelos Norma ASTM D 2487
- * Ensayos de Límites de Consistencia Norma ASTM D 4318

- * Límite Líquido Norma ASTM D 423
- * Límite Plástico Norma ASTM D 424

- * Contenido de Humedad Natural en Laboratorio Norma ASTM D 2216

- * Ensayo de Peso Unitario o Volumétrico del relave Norma ASTM D 2937

- * Ensayo de Corte Directo del relave drenado y en Pulpa Norma ASTM D 3080

- * Ensayo de Compresión Triaxial del tipo UU Norma ASTM D 2850

5.3.2. Análisis Granulométrico

Se realizaron los ensayos granulométricos de las muestras de los materiales para la conformación del dique tomadas de las muestras alteradas e inalteradas, además de las muestras recuperadas a través del ensayo de penetración Estándar efectuados sobre el depósito de relaves. Se obtuvieron 11 muestras representativas de los ensayos de SPT efectuados, los cuales se resumirán a continuación:

Para los ensayos de SPT:

SPT N°01	: 2 Muestras
SPT N°02	: 2 Muestras
SPT N°03	: 2 Muestras
SPT N°04	: 1 Muestras
SPT N°05	: 2 Muestras
SPT N°06	: 2 Muestras

Siendo realizados los análisis granulométricos de cada muestra en el Laboratorio según la norma ASTM D-422, se obtuvieron los siguientes resultados, esto se puede apreciar en las tablas 13 al 18.

Ensayos de penetración estándar (SPT)

SPT N°01

Tabla 13. Cuadro de resultados obtenidos del Análisis Granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 01

SPT N°01	PROFUNDIDAD	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO	% FINO
MUESTRA 01	0.00 – 1.0	ML	A - 4	76.28
MUESTRA 02	1.00 – 2.00	ML	A - 4	85.95

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°02

Tabla 14. Cuadro de resultados obtenidos del Análisis Granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 02

SPT N°02	PROFUNDIDAD	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO	% FINO
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	ML	A - 4	74.04
MUESTRA 02	1.00 – 2.00	ML	A - 4	82.19

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°03

Tabla 15. Cuadro de resultados obtenidos del Análisis Granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 03

SPT N°03	PROFUNDIDAD	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO	% FINO
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	ML	A - 4	84.45
MUESTRA 02	1.00 – 10.35	ML	A - 4	73.49

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°04

Tabla 16. Cuadro de resultados obtenidos del Análisis Granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 04

SPT N°04	PROFUNDIDAD	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO	% FINO
MUESTRA 01	0.00 – 10.30	ML	A - 4	67.81

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°05

Tabla 17. Cuadro de resultados obtenidos del Análisis Granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 05

SPT N°05	PROFUNDIDAD	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO	% FINO
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	ML	A - 4	87.24
MUESTRA 02	1.00 – 2.00	ML	A - 4	94.08

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°06

Tabla 18. Cuadro de resultados obtenidos del Análisis Granulométrico de la muestra en el ensayo SPT 06

SPT N°06	PROFUNDIDAD	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO	% FINO
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	ML	A - 4	74.80
MUESTRA 02	1.00 – 5.10	ML	A - 4	79.68

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

5.3.3. Límites Atterberg

De igual forma se calcularon para las muestras obtenidas de los ensayos de penetración Estándar, de los sondeos efectuados y de las muestras extraídas del relave en pulpa y del dique conformado, los ensayos de límites de consistencia o Atterberg más importantes como Límite Líquido y el Límite Plástico los cuales se muestran en resumen en la tabla 19 siguientes:

Tabla 19. Cuadro de resultados obtenidos de Limites Atterberg de las muestras en los ensayos SPT's

SPT	PROFUNDIDAD	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P (%)
SPT N°01	0.00 – 2.00	N.P.	N.P.	N.P.
SPT N°02	0.00 – 2.00	N.P.	N.P.	N.P.
SPT N°03	0.00 – 10.35	N.P.	N.P.	N.P.
SPT N°04	0.00 – 10.30	N.P.	N.P.	N.P.
SPT N°05	0.00 – 2.00	N.P.	N.P.	N.P.
SPT N°06	0.00 – 5.10	N.P.	N.P.	N.P.

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

5.3.4. Ensayo Contenido de Humedad

Realizado los ensayos de penetración Estándar SPT, se tomaron muestras extraídas del muestreador de la caña partida, para obtener su Contenido de Humedad con la que podemos definir el estado de humedad del suelo, el cual podría estar en condiciones de baja humedad, húmedo o saturado y así evaluar los parámetros en su condición más desfavorable (caso saturado) si así el suelo se presentara. Así mismo a fin de determinar los grados de saturación del relave en pulpa se extrajeron muestra representativas que determinaron parámetros como relación de vacíos y gravedad específica.

Las tablas 20 al 25, se muestra los resúmenes de los valores de las humedades naturales obtenidas de cada muestra obtenida

SPT N°01

Tabla 20. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo Contenido de Humedad de la muestra en el ensayo SPT 01.

SPT N°01	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA 01	0.50 – 1.00	14.40%
MUESTRA 02	1.00 – 2.00	12.47%

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°02

Tabla 21. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo Contenido de Humedad de la muestra en el ensayo SPT 02.

SPT N°02	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	11.70%
MUESTRA 02	1.00 – 2.00	8.76 %

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°03

Tabla 22. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo Contenido de Humedad de la muestra en el ensayo SPT 03.

SPT N°03	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	10.44 %
MUESTRA 02	1.00 – 10.35	10.40 %

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°04

Tabla 23. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo Contenido de Humedad de la muestra en el ensayo SPT 04.

SPT N°04	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA 01	0.00 – 10.30	9.15 %

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°05

Tabla 24. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo Contenido de Humedad de la muestra en el ensayo SPT 05.

SPT N°05	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	9.89 %
MUESTRA 02	1.00 – 2.00	10.39 %

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

SPT N°06

Tabla 25. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo Contenido de Humedad de la muestra en el ensayo SPT 06.

SPT N°06	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA 01	0.00 – 1.00	9.88 %
MUESTRA 02	1.00 – 5.10	10.83 %

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

5.3.5. Densidad natural o Peso unitario volumétrico

Para las muestras obtenidas del material de relave tanto en las cajas como en las bolsas, se realizaron los ensayos para calcular el Peso Específico Natural o Volumétrico, obteniéndose muestras inalteradas de los relaves drenados mediante el cual se pudo obtener en laboratorio el peso unitario volumétrico para diferentes estados de humedad.

Estos resultados se muestran en la tabla 26 que resume los valores encontrados

Tabla 26. Cuadro de resultados obtenidos de densidad natural de las muestras en las calicatas

MUESTRA	LUGAR	DENSIDAD NATURAL (gr/cm ³)			HUMEDAD NATURAL (%)		
CAJA N°01	CALICATA N°01	2.32	2.52	2.68	3.96	3.06	2.38
CAJA N°02	CALICATA N°02	2.39	2.39	2.41	4.68	4.84	3.69
RELAVE EN PULPA	PRESA DE RELAVE	2.38	2.40	2.35	16.79	15.98	17.83

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

5.3.6. Ensayo de Corte Directo

Una vez obtenidas las muestras representativas para su análisis en el laboratorio se prosiguió a ejecutar los Ensayos de Corte Directo según la norma ASTM D 3080 en muestras inalteradas y remoldiadas del material de relave a diferentes contenidos de humedad y también del relave en Pulpa con la finalidad de encontrar sus parámetros de resistencia del material estudiado, los cuales fueron efectuados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Ricardo Palma.

En las tablas 27 y 28 se muestran los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados:

Parámetros de Resistencia

Tabla 27. Cuadro de resultados de los Parámetros de Resistencia en el Ensayo Corte Directo de las muestras en las calicatas

MATERIAL RELAVE	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)	Angulo de Fricción (ϕ)	COHESION (Kg/cm ²)
CAJA N°01	3.130	2.507	35.28	0.87
CAJA N°02	4.403	2.397	40.70	0.91
RELAVE EN PULPA	16.867	2.377	44.42	0.04

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

Parámetros de Resistencia Residual

Tabla 28. Cuadro de resultados de los Parámetros de Resistencia Residual en el ensayo corte directo de las muestras en las calicatas

MATERIAL RELAVE	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)	Angulo de Fricción (ϕ)	COHESION (Kg/cm ²)
CAJA N°01	3.130	2.507	34.22	0.54
CAJA N°02	4.403	2.397	40.03	0.40
RELAVE EN PULPA	16.867	2.377	43.30	0.03

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

5.3.7. Ensayo de Compresión Triaxial tipo No Consolidado – No Drenado (UU)

Se realizó el ensayo de Compresión Triaxial del tipo UU, no consolidado y no drenado según la Norma ASTM D2850, en el laboratorio Geotécnico de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID).

Este ensayo se realizó en muestras inalteradas, extraída de las cajas 01 y 03 que fueron moldeadas del relave aireado, obteniéndose sus parámetros de resistencia y deformación, los mismos que fueron corroborados con los diferentes ensayos de Corte Directo a diferentes contenidos de humedad de las distintas cajas y bolsas obtenidas.

Obteniéndose los siguientes tabla 29:

Tabla 29. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo de Compresión Triaxial No Consolidado – No Drenado de las muestras en las calicatas

MUESTRA	TIPO	ANGULO DE FRICCIÓN (ϕ_u)	COHESION (Kg/cm ²)
CAJA 02	Inalterado	40.8 °	0.40
CAJA 04	Inalterado	40.1 °	0.60

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

5.3.8. Ensayo de Permeabilidad pared flexible

Del material de relave que fueron muestreados en las cajas con muestra Inalterada se tallaron especímenes inalterados y se enviaron muestras al laboratorio geotécnico del CISMID para su ensayo de Permeabilidad del tipo Pared Flexible según la Norma ASTM D 5084, con la finalidad de determinar la velocidad del paso del fluido a través de sus vacíos, con lo

que podemos conocer el tiempo de percolación de las aguas retenidas en los relaves (Estudio Geotécnico de la Presa de Relaves).

Los ensayos fueron realizados en dos muestras de las cajas 01 y 03 que se muestran en la tabla 30 obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 30. Cuadro de resultados obtenidos del Ensayo Permeabilidad pared flexible de las muestras en las calicatas

MUESTRA	TIPO	Humedad Inicial	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	PERMEABILIDAD (cm/sg)
CAJA 01	Inalterado	18.7	2.457	1.1 E-06
CAJA 03	Inalterado	17.7	2.507	1.1 E-06

Fuente: Estudio geotécnico para modificar la licencia de construcción de la cancha de relaves zona norte expansión – cobriza

De los resultados obtenidos se puede ver que el agua retenida en los relaves tiene una velocidad de flujo muy baja por lo que las aguas quedarán retenidas en sus vacíos y su tiempo de percolación es muy alto, pudiéndose captar esta agua mediante un sistema de drenaje con tuberías con filtros.

CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE LICUACIÓN DE DEPÓSITO DE RELAVE SEGÚN MÉTODO DE SEED AND IDRIS, PRESENTADO POR YOUNG ET AL (2001)

En el presente capítulo se realiza el análisis de potencial de licuefacción del material de relave según la metodología simplificada de Seed and Idriss, presentado por Youd et al (2001), de acuerdo a los resultados obtenidos de las muestras en los ensayos de campo y laboratorio.

6.1. Cálculo de la tensión vertical total σ_v y tensión vertical efectiva σ_v'

CASO I:

En las tablas 31 al 36 se muestran los resultados de los esfuerzos verticales totales, esfuerzos de presión de poros y esfuerzos verticales efectivos para la condición no drenada (NF= +0.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 31. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 01, considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
0.45	12.36	4.4	7.94
0.90	24.71	8.8	15.88
1.35	37.07	13.2	23.82
1.80	49.42	17.7	31.76
2.25	61.78	22.1	39.70
2.70	72.88	26.5	46.39
3.15	85.03	30.9	54.13
3.60	97.17	35.3	61.86
4.05	109.32	39.7	69.59
4.50	121.47	44.1	77.32
4.95	133.61	48.6	85.05
5.40	145.76	53.0	92.79
5.85	157.91	57.4	100.52

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP.

SPT N°2:

Tabla 32. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 02, considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
0.45	12.064	4.41	7.65
0.90	24.127	8.83	15.30
1.35	36.191	13.24	22.95
1.80	48.254	17.66	30.60
2.25	60.318	22.07	38.25
2.70	72.382	26.49	45.89
3.15	84.445	30.90	53.54
3.60	96.509	35.32	61.19
4.05	108.572	39.73	68.84
4.50	120.636	44.15	76.49
4.95	129.207	48.56	80.65
5.40	140.953	52.97	87.98
5.85	152.699	57.39	95.31
6.30	164.445	61.80	102.64
6.75	176.191	66.22	109.97
7.20	187.937	70.63	117.31
7.65	199.683	75.05	124.64
8.10	211.429	79.46	131.97
8.55	223.176	83.88	139.30
9.00	234.922	88.29	146.63
9.45	246.668	92.70	153.96
9.90	258.414	97.12	161.29
10.35	270.160	101.53	168.63
10.80	281.906	105.95	175.96

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 33. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 03, considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
1.05	27.83	10.3	17.530
1.50	39.76	14.7	25.043

Continúa Tabla 33.

1.95	51.69	19.1	32.556
2.40	63.61	23.5	40.069
2.85	75.54	28.0	47.582
3.30	87.47	32.4	55.095
3.75	99.36	36.8	62.573
4.20	111.28	41.2	70.081
4.65	123.21	45.6	77.590
5.10	135.13	50.0	85.099
5.55	147.05	54.4	92.607
6.00	158.98	58.9	100.116
6.45	170.90	63.3	107.625
6.90	182.82	67.7	115.133
7.35	194.82	72.1	122.713
7.80	206.74	76.5	130.226

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 34. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 04, considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
1.05	27.506	10.3	17.205
1.50	39.294	14.7	24.579
1.95	51.082	19.1	31.953
2.40	62.870	23.5	39.326
2.85	74.659	28.0	46.700
3.30	86.447	32.4	54.074
3.75	98.235	36.8	61.448
4.20	110.023	41.2	68.821
4.65	121.811	45.6	76.195
5.10	133.600	50.0	83.569
5.55	145.388	54.4	90.942
6.00	157.176	58.9	98.316
6.45	168.964	63.3	105.690
6.90	180.752	67.7	113.063
7.35	192.541	72.1	120.437
7.80	204.329	76.5	127.811
8.25	216.117	80.9	135.185
8.70	227.905	85.3	142.558
9.15	239.693	89.8	149.932
9.60	251.482	94.2	157.306

Continúa Tabla 34.

10.05	263.270	98.6	164.679
--------------	----------------	-------------	----------------

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 35. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 05, considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
1.05	27.692	10.3	17.392
1.50	39.560	14.7	24.845
1.95	51.429	19.1	32.299
2.40	63.297	23.5	39.753
2.85	75.165	28.0	47.206
3.30	87.033	32.4	54.660
3.75	98.901	36.8	62.114
4.20	110.769	41.2	69.567
4.65	122.637	45.6	77.021
5.10	135.117	50.0	85.086
5.55	147.039	54.4	92.594
6.00	158.962	58.9	100.102
6.45	170.884	63.3	107.609
6.90	182.806	67.7	115.117
7.35	194.728	72.1	122.624
7.80	206.650	76.5	130.132
8.25	218.572	80.9	137.640
8.70	230.494	85.3	145.147
9.15	242.416	89.8	152.655
9.60	254.339	94.2	160.163
10.05	266.261	98.6	167.670

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 36. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 06, considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0.00			
0.45	11.867	4.415	7.453
0.90	23.734	8.829	14.905

Continúa Tabla 36.

1.35	35.909	13.244	22.665
1.80	47.879	17.658	30.221
2.25	59.848	22.073	37.776
2.70	71.818	26.487	45.331
3.15	83.787	30.902	52.886
3.60	95.757	35.316	60.441
4.05	107.727	39.731	67.996
4.50	119.696	44.145	75.551
4.95	131.666	48.560	83.107

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO II:

En las tablas 37 al 42 se muestran los resultados de los esfuerzos verticales totales, esfuerzos de presión de poros y esfuerzos verticales efectivo para la condición drenado (NF= -2.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 37. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 01, considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0.00			
0.45	12.355	0.0	12.36
0.90	24.710	0.0	24.71
1.35	37.066	0.0	37.07
1.80	49.421	0.0	49.42
2.25	61.776	2.5	59.32
2.70	72.881	6.9	66.01
3.15	85.027	11.3	73.75
3.60	97.174	15.7	81.48
4.05	109.321	20.1	89.21
4.50	121.468	24.5	96.94
4.95	133.614	28.9	104.67
5.40	145.761	33.4	112.41
5.85	157.908	37.8	120.14

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 38. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 02, considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
0.45	12.064	0.00	12.06
0.90	24.127	0.00	24.13
1.35	36.191	0.00	36.19
1.80	48.254	0.00	48.25
2.25	60.318	2.45	57.87
2.70	72.382	6.87	65.51
3.15	84.445	11.28	73.16
3.60	96.509	15.70	80.81
4.05	108.572	20.11	88.46
4.50	120.636	24.53	96.11
4.95	129.207	28.94	100.27
5.40	140.953	33.35	107.60
5.85	152.699	37.77	114.93
6.30	164.445	42.18	122.26
6.75	176.191	46.60	129.59
7.20	187.937	51.01	136.93
7.65	199.683	55.43	144.26
8.10	211.429	59.84	151.59
8.55	223.176	64.26	158.92
9.00	234.922	68.67	166.25
9.45	246.668	73.08	173.58
9.90	258.414	77.50	180.91
10.35	270.160	81.91	188.25
10.80	281.906	86.33	195.58

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 39. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 03, considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
1.05	27.831	0.0	27.831
1.50	39.758	0.0	39.758

Continúa Tabla 39.

1.95	51.686	0.0	51.686
2.40	63.613	3.9	59.689
2.85	75.541	8.3	67.202
3.30	87.468	12.8	74.715
3.75	99.360	17.2	82.193
4.20	111.283	21.6	89.701
4.65	123.206	26.0	97.210
5.10	135.130	30.4	104.719
5.55	147.053	34.8	112.227
6.00	158.976	39.2	119.736
6.45	170.899	43.7	127.245
6.90	182.822	48.1	134.753
7.35	194.816	52.5	142.333
7.80	206.744	56.9	149.846

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 40. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 04, considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
1.05	27.506	0.0	27.506
1.50	39.294	0.0	39.294
1.95	51.082	0.0	51.082
2.40	62.870	3.9	58.946
2.85	74.659	8.3	66.320
3.30	86.447	12.8	73.694
3.75	98.235	17.2	81.068
4.20	110.023	21.6	88.441
4.65	121.811	26.0	95.815
5.10	133.600	30.4	103.189
5.55	145.388	34.8	110.562
6.00	157.176	39.2	117.936
6.45	168.964	43.7	125.310
6.90	180.752	48.1	132.683
7.35	192.541	52.5	140.057
7.80	204.329	56.9	147.431
8.25	216.117	61.3	154.805
8.70	227.905	65.7	162.178
9.15	239.693	70.1	169.552

Continúa Tabla 40.

9.60	251.482	74.6	176.926
10.05	263.270	79.0	184.299

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 41. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 05, considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ'_v (kpa)
0			
1.05	27.692	0.0	27.692
1.50	39.560	0.0	39.560
1.95	51.429	0.0	51.429
2.40	63.297	3.9	59.373
2.85	75.165	8.3	66.826
3.30	87.033	12.8	74.280
3.75	98.901	17.2	81.734
4.20	110.769	21.6	89.187
4.65	122.637	26.0	96.641
5.10	135.117	30.4	104.706
5.55	147.039	34.8	112.214
6.00	158.962	39.2	119.722
6.45	170.884	43.7	127.229
6.90	182.806	48.1	134.737
7.35	194.728	52.5	142.244
7.80	206.650	56.9	149.752
8.25	218.572	61.3	157.260
8.70	230.494	65.7	164.767
9.15	242.416	70.1	172.275
9.60	254.339	74.6	179.783
10.05	266.261	79.0	187.290

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 42. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 06, considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ'_v (kpa)
0.00			
0.45	11.867	0.00	11.867

Continúa Tabla 42.

0.90	23.734	0.00	23.734
1.35	35.909	0.00	35.909
1.80	47.879	0.00	47.879
2.25	59.848	2.45	57.396
2.70	71.818	6.87	64.951
3.15	83.787	11.28	72.506
3.60	95.757	15.70	80.061
4.05	107.727	20.11	87.616
4.50	119.696	24.53	95.171
4.95	131.666	28.94	102.727

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO III:

En las tablas 43 al 48 se muestran los resultados de los esfuerzos verticales totales, esfuerzos de presión de poros y esfuerzos verticales efectivo para una condición drenada (NF= -2.00m), estimando una aceleración mínimo necesaria de 0.10g donde el material de relave empiece a licuar, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 43. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 01, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0.00			
0.45	12.36	0.00	12.36
0.90	24.71	0.00	24.71
1.35	37.07	0.00	37.07
1.80	49.42	0.00	49.42
2.25	61.78	2.45	59.32
2.70	72.88	6.87	66.01
3.15	85.03	11.28	73.75
3.60	97.17	15.70	81.48
4.05	109.32	20.11	89.21
4.50	121.47	24.53	96.94
4.95	133.61	28.94	104.67
5.40	145.76	33.35	112.41
5.85	157.91	37.77	120.14

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 44. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 02, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
0.45	12.06	0.00	12.06
0.90	24.13	0.00	24.13
1.35	36.19	0.00	36.19
1.80	48.25	0.00	48.25
2.25	60.32	2.45	57.87
2.70	72.38	6.87	65.51
3.15	84.45	11.28	73.16
3.60	96.51	15.70	80.81
4.05	108.57	20.11	88.46
4.50	120.64	24.53	96.11
4.95	129.21	28.94	100.27
5.40	140.95	33.35	107.60
5.85	152.70	37.77	114.93
6.30	164.45	42.18	122.26
6.75	176.19	46.60	129.59
7.20	187.94	51.01	136.93
7.65	199.68	55.43	144.26
8.10	211.43	59.84	151.59
8.55	223.18	64.26	158.92
9.00	234.92	68.67	166.25
9.45	246.67	73.08	173.58
9.90	258.41	77.50	180.91
10.35	270.16	81.91	188.25
10.80	281.91	86.33	195.58

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3

Tabla 45. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 03, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
1.05	27.83	0.00	27.83
1.50	39.76	0.00	39.76

Continúa Tabla 45.

1.95	51.69	0.00	51.69
2.40	63.61	3.92	59.69
2.85	75.54	8.34	67.20
3.30	87.47	12.75	74.72
3.75	99.36	17.17	82.19
4.20	111.28	21.58	89.70
4.65	123.21	26.00	97.21
5.10	135.13	30.41	104.72
5.55	147.05	34.83	112.23
6.00	158.98	39.24	119.74
6.45	170.90	43.65	127.24
6.90	182.82	48.07	134.75
7.35	194.82	52.48	142.33
7.80	206.74	56.90	149.85

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP.

SPT N°4:

Tabla 46. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 04, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0			
1.05	27.51	0.00	27.51
1.50	39.29	0.00	39.29
1.95	51.08	0.00	51.08
2.40	62.87	3.92	58.95
2.85	74.66	8.34	66.32
3.30	86.45	12.75	73.69
3.75	98.24	17.17	81.07
4.20	110.02	21.58	88.44
4.65	121.81	26.00	95.81
5.10	133.60	30.41	103.19
5.55	145.39	34.83	110.56
6.00	157.18	39.24	117.94
6.45	168.96	43.65	125.31
6.90	180.75	48.07	132.68
7.35	192.54	52.48	140.06
7.80	204.33	56.90	147.43
8.25	216.12	61.31	154.80
8.70	227.91	65.73	162.18
9.15	239.69	70.14	169.55
9.60	251.48	74.56	176.93
10.05	263.27	78.97	184.30

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 47. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 05, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v'
0			
1.05	27.69	0.00	27.69
1.50	39.56	0.00	39.56
1.95	51.43	0.00	51.43
2.40	63.30	3.92	59.37
2.85	75.16	8.34	66.83
3.30	87.03	12.75	74.28
3.75	98.90	17.17	81.73
4.20	110.77	21.58	89.19
4.65	122.64	26.00	96.64
5.10	135.12	30.41	104.71
5.55	147.04	34.83	112.21
6.00	158.96	39.24	119.72
6.45	170.88	43.65	127.23
6.90	182.81	48.07	134.74
7.35	194.73	52.48	142.24
7.80	206.65	56.90	149.75
8.25	218.57	61.31	157.26
8.70	230.49	65.73	164.77
9.15	242.42	70.14	172.27
9.60	254.34	74.56	179.78
10.05	266.26	78.97	187.29

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 48. Cuadro de los esfuerzos verticales totales, presión de poros y esfuerzo total efectivos en el SPT 06, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)
0.00			
0.45	11.87	0.00	11.87
0.90	23.73	0.00	23.73
1.35	35.91	0.00	35.91
1.80	47.88	0.00	47.88
2.25	59.85	2.45	57.40

Continúa Tabla 48.

2.70	71.82	6.87	64.95
3.15	83.79	11.28	72.51
3.60	95.76	15.70	80.06
4.05	107.73	20.11	87.62
4.50	119.70	24.53	95.17
4.95	131.67	28.94	102.73

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

6.2. Cálculo del factor de corrección para el cálculo del C_{70}

Se debe tener en cuenta de evaluar los valores de los ensayos de penetración SPT a través del N° de golpes teniendo en cuenta una eficiencia del 70% con respecto a la eficiencia nominal o teórica del ensayo SPT.

CASO I:

En las tablas 49 al 54 se muestran los resultados del factor de corrección C_{70} para la condición no drenada (NF= +0.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando las correcciones visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 49. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01, considerando un NF +0.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.70	1.14	0.75	1.00	1.00	1.46
1.62	1.14	0.75	1.00	1.00	1.38
1.52	1.14	0.75	1.00	1.00	1.31
1.44	1.14	0.75	1.00	1.00	1.24
1.37	1.14	0.75	1.00	1.00	1.18
1.32	1.14	0.75	1.00	1.00	1.13
1.26	1.14	0.75	1.00	1.00	1.08
1.20	1.14	0.75	1.00	1.00	1.03
1.15	1.14	0.75	1.00	1.00	0.99
1.11	1.14	0.75	1.00	1.00	0.95
1.06	1.14	0.75	1.00	1.00	0.91
1.03	1.14	0.75	1.00	1.00	0.88
0.99	1.14	0.75	1.00	1.00	0.85

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:**Tabla 50.** Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02, considerando un NF +0.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.721	1.14	0.75	1.00	1.00	1.48
1.622	1.14	0.75	1.00	1.00	1.39
1.534	1.14	0.75	1.00	1.00	1.32
1.455	1.14	0.75	1.00	1.00	1.25
1.384	1.14	0.75	1.00	1.00	1.19
1.319	1.14	0.75	1.00	1.00	1.13
1.260	1.14	0.75	1.00	1.00	1.08
1.206	1.14	0.75	1.00	1.00	1.03
1.157	1.14	0.75	1.00	1.00	0.99
1.111	1.14	0.75	1.00	1.00	0.95
1.088	1.14	0.75	1.00	1.00	0.93
1.049	1.14	0.75	1.00	1.00	0.90
1.013	1.14	0.75	1.00	1.00	0.87
0.979	1.14	0.75	1.00	1.00	0.84
0.948	1.14	0.75	1.00	1.00	0.81
0.918	1.14	0.75	1.00	1.00	0.79
0.891	1.14	0.75	1.00	1.00	0.76
0.864	1.14	0.75	1.00	1.00	0.74
0.840	1.14	0.75	1.00	1.00	0.72
0.816	1.14	0.75	1.00	1.00	0.70
0.794	1.14	0.75	1.00	1.00	0.68
0.774	1.14	0.75	1.00	1.00	0.66
0.754	1.14	0.75	1.00	1.00	0.65
0.735	1.14	0.75	1.00	1.00	0.63

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:**Tabla 51.** Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03, considerando un NF +0.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{60}
1.596	1.14	0.75	1.00	1.00	1.37
1.512	1.14	0.75	1.00	1.00	1.30
1.436	1.14	0.75	1.00	1.00	1.23
1.368	1.14	0.75	1.00	1.00	1.17
1.306	1.14	0.75	1.00	1.00	1.12
1.249	1.14	0.75	1.00	1.00	1.07
1.197	1.14	0.75	1.00	1.00	1.03

Continúa Tabla 51.

CN	CE	CB	CR	CS	C ₆₀
1.600	1.14	0.75	1.00	1.00	1.37
1.517	1.14	0.75	1.00	1.00	1.30
1.442	1.14	0.75	1.00	1.00	1.24
1.374	1.14	0.75	1.00	1.00	1.18
1.313	1.14	0.75	1.00	1.00	1.13
1.256	1.14	0.75	1.00	1.00	1.08
1.205	1.14	0.75	1.00	1.00	1.03
1.157	1.14	0.75	1.00	1.00	0.99
1.113	1.14	0.75	1.00	1.00	0.95

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 52. Cuadro de los valores de C₇₀ en el SPT 04, considerando un NF +0.00

CN	CE	CB	CR	CS	C ₇₀
1.600	1.14	0.75	1.00	1.00	1.37
1.517	1.14	0.75	1.00	1.00	1.30
1.442	1.14	0.75	1.00	1.00	1.24
1.374	1.14	0.75	1.00	1.00	1.18
1.313	1.14	0.75	1.00	1.00	1.13
1.256	1.14	0.75	1.00	1.00	1.08
1.205	1.14	0.75	1.00	1.00	1.03
1.157	1.14	0.75	1.00	1.00	0.99
1.113	1.14	0.75	1.00	1.00	0.95
1.072	1.14	0.75	1.00	1.00	0.92
1.034	1.14	0.75	1.00	1.00	0.89
0.999	1.14	0.75	1.00	1.00	0.86
0.966	1.14	0.75	1.00	1.00	0.83
0.935	1.14	0.75	1.00	1.00	0.80
0.906	1.14	0.75	1.00	1.00	0.78
0.879	1.14	0.75	1.00	1.00	0.75
0.853	1.14	0.75	1.00	1.00	0.73
0.829	1.14	0.75	1.00	1.00	0.71
0.806	1.14	0.75	1.00	1.00	0.69
0.785	1.14	0.75	1.00	1.00	0.67
0.764	1.14	0.75	1.00	1.00	0.66

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:**Tabla 53.** Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05, considerando un NF +0.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.600	1.14	0.75	1.00	1.00	1.37
1.517	1.14	0.75	1.00	1.00	1.30
1.442	1.14	0.75	1.00	1.00	1.24
1.374	1.14	0.75	1.00	1.00	1.18
1.313	1.14	0.75	1.00	1.00	1.13
1.256	1.14	0.75	1.00	1.00	1.08
1.205	1.14	0.75	1.00	1.00	1.03
1.157	1.14	0.75	1.00	1.00	0.99
1.113	1.14	0.75	1.00	1.00	0.95
1.072	1.14	0.75	1.00	1.00	0.92
1.034	1.14	0.75	1.00	1.00	0.89
0.999	1.14	0.75	1.00	1.00	0.86
0.966	1.14	0.75	1.00	1.00	0.83
0.935	1.14	0.75	1.00	1.00	0.80
0.906	1.14	0.75	1.00	1.00	0.78
0.879	1.14	0.75	1.00	1.00	0.75
0.853	1.14	0.75	1.00	1.00	0.73
0.829	1.14	0.75	1.00	1.00	0.71
0.806	1.14	0.75	1.00	1.00	0.69
0.785	1.14	0.75	1.00	1.00	0.67
0.764	1.14	0.75	1.00	1.00	0.66

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:**Tabla 54.** Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 06, considerando un NF +0.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.724	1.14	0.75	1.00	1.00	1.478
1.627	1.14	0.75	1.00	1.00	1.395
1.537	1.14	0.75	1.00	1.00	1.318
1.459	1.14	0.75	1.00	1.00	1.251
1.388	1.14	0.75	1.00	1.00	1.190
1.324	1.14	0.75	1.00	1.00	1.135
1.265	1.14	0.75	1.00	1.00	1.084
1.211	1.14	0.75	1.00	1.00	1.038
1.162	1.14	0.75	1.00	1.00	0.996
1.117	1.14	0.75	1.00	1.00	0.957

Continúa Tabla 54.

1.075	1.14	0.75	1.00	1.00	0.921
-------	------	------	------	------	-------

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO II:

En las tablas 55 al 60 se muestran los resultados del factor de corrección C_{70} para la condición drenado (NF= -2.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando las correcciones visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 55. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01, considerando un NF -2.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.70	1.14	0.75	1.00	1.00	1.457
1.52	1.14	0.75	1.00	1.00	1.299
1.39	1.14	0.75	1.00	1.00	1.195
1.29	1.14	0.75	1.00	1.00	1.107
1.22	1.14	0.75	1.00	1.00	1.045
1.17	1.14	0.75	1.00	1.00	1.007
1.13	1.14	0.75	1.00	1.00	0.966
1.08	1.14	0.75	1.00	1.00	0.929
1.04	1.14	0.75	1.00	1.00	0.894
1.01	1.14	0.75	1.00	1.00	0.862
0.97	1.14	0.75	1.00	1.00	0.832
0.94	1.14	0.75	1.00	1.00	0.804
0.91	1.14	0.75	1.00	1.00	0.778

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 56. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02, considerando un NF -2.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.663	1.14	0.75	1.00	1.00	1.426
1.521	1.14	0.75	1.00	1.00	1.304
1.402	1.14	0.75	1.00	1.00	1.202
1.300	1.14	0.75	1.00	1.00	1.115
1.229	1.14	0.75	1.00	1.00	1.054
1.178	1.14	0.75	1.00	1.00	1.010

Continúa Tabla 56.

1.131	1.14	0.75	1.00	1.00	0.969
1.087	1.14	0.75	1.00	1.00	0.932
1.047	1.14	0.75	1.00	1.00	0.897
1.009	1.14	0.75	1.00	1.00	0.865
0.990	1.14	0.75	1.00	1.00	0.849
0.958	1.14	0.75	1.00	1.00	0.821
0.928	1.14	0.75	1.00	1.00	0.795
0.899	1.14	0.75	1.00	1.00	0.771
0.873	1.14	0.75	1.00	1.00	0.748
0.848	1.14	0.75	1.00	1.00	0.727
0.824	1.14	0.75	1.00	1.00	0.706
0.801	1.14	0.75	1.00	1.00	0.687
0.780	1.14	0.75	1.00	1.00	0.669
0.760	1.14	0.75	1.00	1.00	0.652
0.741	1.14	0.75	1.00	1.00	0.635
0.723	1.14	0.75	1.00	1.00	0.620
0.705	1.14	0.75	1.00	1.00	0.605
0.689	1.14	0.75	1.00	1.00	0.591

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 57. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03, considerando un NF -2.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.483	1.14	0.75	1.00	1.00	1.271
1.370	1.14	0.75	1.00	1.00	1.175
1.274	1.14	0.75	1.00	1.00	1.092
1.217	1.14	0.75	1.00	1.00	1.043
1.167	1.14	0.75	1.00	1.00	1.000
1.122	1.14	0.75	1.00	1.00	0.961
1.080	1.14	0.75	1.00	1.00	0.925
1.040	1.14	0.75	1.00	1.00	0.892
1.004	1.14	0.75	1.00	1.00	0.861
0.970	1.14	0.75	1.00	1.00	0.832
0.939	1.14	0.75	1.00	1.00	0.805
0.909	1.14	0.75	1.00	1.00	0.779
0.881	1.14	0.75	1.00	1.00	0.755
0.855	1.14	0.75	1.00	1.00	0.733
0.830	1.14	0.75	1.00	1.00	0.711
0.807	1.14	0.75	1.00	1.00	0.691

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 58. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 04, considerando un NF -2.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.375	1.14	0.75	1.00	1.00	1.274
1.279	1.14	0.75	1.00	1.00	1.178
1.222	1.14	0.75	1.00	1.00	1.096
1.173	1.14	0.75	1.00	1.00	1.047
1.128	1.14	0.75	1.00	1.00	1.005
1.086	1.14	0.75	1.00	1.00	0.967
1.047	1.14	0.75	1.00	1.00	0.931
1.011	1.14	0.75	1.00	1.00	0.897
0.977	1.14	0.75	1.00	1.00	0.866
0.945	1.14	0.75	1.00	1.00	0.838
0.916	1.14	0.75	1.00	1.00	0.810
0.888	1.14	0.75	1.00	1.00	0.785
0.862	1.14	0.75	1.00	1.00	0.761
0.837	1.14	0.75	1.00	1.00	0.739
0.814	1.14	0.75	1.00	1.00	0.718
0.792	1.14	0.75	1.00	1.00	0.698
0.771	1.14	0.75	1.00	1.00	0.679
0.751	1.14	0.75	1.00	1.00	0.661
0.732	1.14	0.75	1.00	1.00	0.644
0.715	1.14	0.75	1.00	1.00	0.628

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 59. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05, considerando un NF -2.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.484	1.14	0.75	1.00	1.00	1.272
1.372	1.14	0.75	1.00	1.00	1.176
1.276	1.14	0.75	1.00	1.00	1.094
1.219	1.14	0.75	1.00	1.00	1.045
1.169	1.14	0.75	1.00	1.00	1.003
1.124	1.14	0.75	1.00	1.00	0.964
1.082	1.14	0.75	1.00	1.00	0.928
1.043	1.14	0.75	1.00	1.00	0.894
1.007	1.14	0.75	1.00	1.00	0.863
0.970	1.14	0.75	1.00	1.00	0.832
0.939	1.14	0.75	1.00	1.00	0.805

Continúa Tabla 59.

0.909	1.14	0.75	1.00	1.00	0.779
0.881	1.14	0.75	1.00	1.00	0.755
0.855	1.14	0.75	1.00	1.00	0.733
0.830	1.14	0.75	1.00	1.00	0.712
0.807	1.14	0.75	1.00	1.00	0.692
0.785	1.14	0.75	1.00	1.00	0.673
0.764	1.14	0.75	1.00	1.00	0.655
0.744	1.14	0.75	1.00	1.00	0.638
0.725	1.14	0.75	1.00	1.00	0.622
0.708	1.14	0.75	1.00	1.00	0.607

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 60. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 06, considerando un NF -2.00

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.665	1.14	0.75	1.00	1.00	1.428
1.526	1.14	0.75	1.00	1.00	1.308
1.405	1.14	0.75	1.00	1.00	1.204
1.303	1.14	0.75	1.00	1.00	1.117
1.232	1.14	0.75	1.00	1.00	1.057
1.181	1.14	0.75	1.00	1.00	1.013
1.135	1.14	0.75	1.00	1.00	0.973
1.091	1.14	0.75	1.00	1.00	0.935
1.051	1.14	0.75	1.00	1.00	0.901
1.014	1.14	0.75	1.00	1.00	0.869
0.979	1.14	0.75	1.00	1.00	0.839

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO III:

En las tablas 61 al 66 se muestran los resultados del factor de corrección C_{70} para la condición drenado (NF= -2.00m), estimando una aceleración mínimo necesaria de 0.10g donde el material de relave empiece a licuar, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 61. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 01, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.70	1.14	0.75	1.00	1.00	1.457
1.52	1.14	0.75	1.00	1.00	1.299
1.39	1.14	0.75	1.00	1.00	1.195
1.29	1.14	0.75	1.00	1.00	1.107
1.22	1.14	0.75	1.00	1.00	1.045
1.17	1.14	0.75	1.00	1.00	1.007
1.13	1.14	0.75	1.00	1.00	0.966
1.08	1.14	0.75	1.00	1.00	0.929
1.04	1.14	0.75	1.00	1.00	0.894
1.01	1.14	0.75	1.00	1.00	0.862
0.97	1.14	0.75	1.00	1.00	0.832
0.94	1.14	0.75	1.00	1.00	0.804
0.91	1.14	0.75	1.00	1.00	0.778

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 62. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 02, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.663	1.14	0.75	1.00	1.00	1.426
1.521	1.14	0.75	1.00	1.00	1.304
1.402	1.14	0.75	1.00	1.00	1.202
1.300	1.14	0.75	1.00	1.00	1.115
1.229	1.14	0.75	1.00	1.00	1.054
1.178	1.14	0.75	1.00	1.00	1.010
1.131	1.14	0.75	1.00	1.00	0.969
1.087	1.14	0.75	1.00	1.00	0.932
1.047	1.14	0.75	1.00	1.00	0.897
1.009	1.14	0.75	1.00	1.00	0.865
0.990	1.14	0.75	1.00	1.00	0.849
0.958	1.14	0.75	1.00	1.00	0.821
0.928	1.14	0.75	1.00	1.00	0.795
0.899	1.14	0.75	1.00	1.00	0.771
0.873	1.14	0.75	1.00	1.00	0.748
0.848	1.14	0.75	1.00	1.00	0.727
0.824	1.14	0.75	1.00	1.00	0.706

Continúa Tabla 62.

0.801	1.14	0.75	1.00	1.00	0.687
0.780	1.14	0.75	1.00	1.00	0.669
0.760	1.14	0.75	1.00	1.00	0.652
0.741	1.14	0.75	1.00	1.00	0.635
0.723	1.14	0.75	1.00	1.00	0.620
0.705	1.14	0.75	1.00	1.00	0.605
0.689	1.14	0.75	1.00	1.00	0.591

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 63. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 03, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.483	1.14	0.75	1.00	1.00	1.271
1.370	1.14	0.75	1.00	1.00	1.175
1.274	1.14	0.75	1.00	1.00	1.092
1.217	1.14	0.75	1.00	1.00	1.043
1.167	1.14	0.75	1.00	1.00	1.000
1.122	1.14	0.75	1.00	1.00	0.961
1.080	1.14	0.75	1.00	1.00	0.925
1.040	1.14	0.75	1.00	1.00	0.892
1.004	1.14	0.75	1.00	1.00	0.861
0.970	1.14	0.75	1.00	1.00	0.832
0.939	1.14	0.75	1.00	1.00	0.805
0.909	1.14	0.75	1.00	1.00	0.779
0.881	1.14	0.75	1.00	1.00	0.755
0.855	1.14	0.75	1.00	1.00	0.733
0.830	1.14	0.75	1.00	1.00	0.711
0.807	1.14	0.75	1.00	1.00	0.691

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 64. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 04, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.375	1.14	0.75	1.00	1.00	1.274
1.279	1.14	0.75	1.00	1.00	1.178
1.222	1.14	0.75	1.00	1.00	1.096

Continúa Tabla 64.

1.173	1.14	0.75	1.00	1.00	1.047
1.128	1.14	0.75	1.00	1.00	1.005
1.086	1.14	0.75	1.00	1.00	0.967
1.047	1.14	0.75	1.00	1.00	0.931
1.011	1.14	0.75	1.00	1.00	0.897
0.977	1.14	0.75	1.00	1.00	0.866
0.945	1.14	0.75	1.00	1.00	0.838
0.916	1.14	0.75	1.00	1.00	0.810
0.888	1.14	0.75	1.00	1.00	0.785
0.862	1.14	0.75	1.00	1.00	0.761
0.837	1.14	0.75	1.00	1.00	0.739
0.814	1.14	0.75	1.00	1.00	0.718
0.792	1.14	0.75	1.00	1.00	0.698
0.771	1.14	0.75	1.00	1.00	0.679
0.751	1.14	0.75	1.00	1.00	0.661
0.732	1.14	0.75	1.00	1.00	0.644
0.715	1.14	0.75	1.00	1.00	0.628

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 65. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 05, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.484	1.14	0.75	1.00	1.00	1.272
1.372	1.14	0.75	1.00	1.00	1.176
1.276	1.14	0.75	1.00	1.00	1.094
1.219	1.14	0.75	1.00	1.00	1.045
1.169	1.14	0.75	1.00	1.00	1.003
1.124	1.14	0.75	1.00	1.00	0.964
1.082	1.14	0.75	1.00	1.00	0.928
1.043	1.14	0.75	1.00	1.00	0.894
1.007	1.14	0.75	1.00	1.00	0.863
0.970	1.14	0.75	1.00	1.00	0.832
0.939	1.14	0.75	1.00	1.00	0.805
0.909	1.14	0.75	1.00	1.00	0.779
0.881	1.14	0.75	1.00	1.00	0.755
0.855	1.14	0.75	1.00	1.00	0.733
0.830	1.14	0.75	1.00	1.00	0.712
0.807	1.14	0.75	1.00	1.00	0.692
0.785	1.14	0.75	1.00	1.00	0.673
0.764	1.14	0.75	1.00	1.00	0.655

Continúa Tabla 64.

0.744	1.14	0.75	1.00	1.00	0.638
0.725	1.14	0.75	1.00	1.00	0.622
0.708	1.14	0.75	1.00	1.00	0.607

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP.

SPT N°6:

Tabla 66. Cuadro de los valores de C_{70} en el SPT 06, considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

CN	CE	CB	CR	CS	C_{70}
1.665	1.14	0.75	1.00	1.00	1.428
1.526	1.14	0.75	1.00	1.00	1.308
1.405	1.14	0.75	1.00	1.00	1.204
1.303	1.14	0.75	1.00	1.00	1.117
1.232	1.14	0.75	1.00	1.00	1.057
1.181	1.14	0.75	1.00	1.00	1.013
1.135	1.14	0.75	1.00	1.00	0.973
1.091	1.14	0.75	1.00	1.00	0.935
1.051	1.14	0.75	1.00	1.00	0.901
1.014	1.14	0.75	1.00	1.00	0.869
0.979	1.14	0.75	1.00	1.00	0.839

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP.

6.3. Cálculo del valor normalizado del SPT " N_{70} "

Los cuadros siguientes muestran los resultados del valor normalizado del SPT (N_{70}) para la condición no drenada (NF= +0.00m):

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

CASO I:

En las tablas 67 al 70 se muestran los resultados del valor normalizado del SPT (N_{70}) para la condición no drenada (NF= +0.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 67. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 01, considerando un NF +0.00.

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
0.45	2.915
0.90	2.770
1.35	14.378
1.80	11.139
2.25	8.227
2.70	4.509
3.15	4.306
3.60	4.121
4.05	3.951
4.50	4.743
4.95	11.861
5.40	17.578
5.85	47.474

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 68. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 02, considerando un NF +0.00.

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
0.45	1.476
0.90	1.391
1.35	1.315
1.80	1.247
2.25	1.186
2.70	1.131
3.15	1.080
3.60	1.034
4.05	0.992
4.50	0.953
4.95	0.933
5.40	0.899
5.85	0.868
6.30	0.840
6.75	0.813
7.20	0.787

Continúa Tabla 68.

7.65	0.763
8.10	0.741
8.55	0.720
9.00	0.700
9.45	0.681
9.90	0.663
10.35	0.646
10.80	0.630

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3 y SPT N°4:

Tabla 69. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 03 y 04, considerando un NF +0.00.

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
1.05	1.368
1.50	1.296
1.95	1.231
2.40	1.173
2.85	1.119
3.30	1.071
3.75	1.026
4.20	0.985
4.65	0.947
5.10	0.912
5.55	0.880
6.00	0.849
6.45	0.821
6.90	0.795
7.35	0.769
7.80	0.746
PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
1.05	1.371
1.50	1.300
1.95	1.236
2.40	1.178
2.85	1.125
3.30	1.077
3.75	1.033

Continúa Tabla 69.

4.20	0.992
4.65	0.954
5.10	0.919
5.55	0.887
6.00	0.856
6.45	0.828
6.90	0.802
7.35	0.777
7.80	0.754
8.25	0.732
8.70	0.711
9.15	0.691
9.60	0.673
10.05	0.655

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5 y SPT N°6:

Tabla 70. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 05 y 06, considerando un NF +0.00.

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
1.05	4.108
1.50	2.595
1.95	2.467
2.40	2.350
2.85	2.244
3.30	2.147
3.75	2.058
4.20	1.976
4.65	3.800
5.10	2.737
5.55	3.519
6.00	3.397
6.45	4.105
6.90	4.768
7.35	4.619
7.80	5.972
8.25	6.521
8.70	9.854
9.15	13.001
9.60	19.974
10.05	35.655

Continúa Tabla 70.

PROFUNDIDAD (M)	N ₇₀
0.00	
0.45	2.956
0.90	2.790
1.35	14.497
1.80	11.255
2.25	8.329
2.70	4.539
3.15	4.338
3.60	4.154
4.05	3.985
4.50	4.786
4.95	11.976

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP.

CASO II:

En las tablas 71 al 73 se muestran los resultados del valor normalizado del SPT (N₇₀) para la condición drenado (NF= -2.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1 y SPT N°2:

Tabla 71. Cuadro de los valores de N₇₀ en el SPT 01 y 02, considerando un NF -2.00.

PROFUNDIDAD (M)	N ₇₀
0.00	
0.45	2.915
0.90	2.598
1.35	13.148
1.80	9.962
2.25	7.315
2.70	4.028
3.15	3.865
3.60	3.715
4.05	3.576
4.50	4.309
4.95	10.815
5.40	16.079
5.85	43.558

Continúa Tabla 71.

PROFUNDIDAD (M)	N₇₀
0	
0.45	1.426
0.90	1.304
1.35	1.202
1.80	1.115
2.25	1.054
2.70	1.010
3.15	0.969
3.60	0.932
4.05	0.897
4.50	0.865
4.95	0.849
5.40	0.821
5.85	0.795
6.30	0.771
6.75	0.748
7.20	0.727
7.65	0.706
8.10	0.687
8.55	0.669
9.00	0.652
9.45	0.635
9.90	0.620
10.35	0.605
10.80	0.591

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3 y SPT N°4:

Tabla 72. Cuadro de los valores de N₇₀ en el SPT 03 y 04, considerando un NF -2.00.

PROFUNDIDAD (M)	N₇₀
0	
1.05	5.096
1.50	8.248
1.95	9.864
2.40	8.378
2.85	5.026
3.30	3.866
3.75	2.792

Continúa Tabla 72.

4.20	2.692
4.65	3.466
5.10	4.188
5.55	4.863
6.00	4.711
6.45	5.329
6.90	4.433
7.35	5.742
7.80	5.582
8.25	5.431
8.70	5.949
9.15	5.796
9.60	5.651
10.05	5.513
PROFUNDIDAD (M)	N₇₀
0	
1.05	1.271
1.50	1.175
1.95	1.092
2.40	1.043
2.85	1.000
3.30	0.961
3.75	0.925
4.20	0.892
4.65	0.861
5.10	0.832
5.55	0.805
6.00	0.779
6.45	0.755
6.90	0.733
7.35	0.711
7.80	0.691

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5 y SPT N°6:

Tabla 73. Cuadro de los valores de N₇₀ en el SPT 05 y 06, considerando un NF -2.00.

PROFUNDIDAD (M)	N₇₀
0	
1.05	3.817

Continúa Tabla 73.

1.50	2.353
1.95	2.188
2.40	2.089
2.85	2.005
3.30	1.927
3.75	1.855
4.20	1.788
4.65	3.452
5.10	2.495
5.55	3.219
6.00	3.117
6.45	3.777
6.90	4.397
7.35	4.270
7.80	5.534
8.25	6.055
8.70	9.169
9.15	12.122
9.60	18.656
10.05	33.362
PROFUNDIDAD (M)	N₇₀
0.00	
0.45	2.855
0.90	2.616
1.35	13.247
1.80	10.055
2.25	7.396
2.70	4.051
3.15	3.890
3.60	3.742
4.05	3.604
4.50	4.345
4.95	10.910

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO III:

En las tablas 74 al 79 se muestran los resultados del valor normalizado del SPT (N_{70}) para la condición drenada ($N_F = -2.00m$), estimando una aceleración mínimo necesaria de 0.10g donde el material de relave empiece a licuar, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 74. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 01 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0.00	
0.45	2.91
0.90	2.60
1.35	13.15
1.80	9.96
2.25	7.32
2.70	4.03
3.15	3.87
3.60	3.72
4.05	3.58
4.50	4.31
4.95	10.81
5.40	16.08
5.85	43.56

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 75. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 02 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
0.45	5.70
0.90	5.22
1.35	2.40
1.80	2.23
2.25	2.11
2.70	2.02
3.15	1.94
3.60	1.86
4.05	1.79
4.50	1.73
4.95	2.55

Continúa Tabla 75.

5.40	2.46
5.85	1.59
6.30	2.31
6.75	2.99
7.20	4.36
7.65	4.94
8.10	4.12
8.55	4.01
9.00	3.26
9.45	5.72
9.90	4.96
10.35	7.26
10.80	8.27

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 76. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 03 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
1.05	2.54
1.50	3.52
1.95	2.18
2.40	2.09
2.85	2.00
3.30	1.92
3.75	1.85
4.20	1.78
4.65	1.72
5.10	1.66
5.55	1.61
6.00	2.34
6.45	2.27
6.90	1.47
7.35	1.42
7.80	2.07

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 77. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 04 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
1.05	5.10
1.50	8.25
1.95	9.86
2.40	8.38
2.85	5.03
3.30	3.87
3.75	2.79
4.20	2.69
4.65	3.47
5.10	4.19
5.55	4.86
6.00	4.71
6.45	5.33
6.90	4.43
7.35	5.74
7.80	5.58
8.25	5.43
8.70	5.95
9.15	5.80
9.60	5.65
10.05	5.51

Fuente: Elaboración propia de tesisistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 78. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 05 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0	
1.05	3.82
1.50	2.35
1.95	2.19
2.40	2.09
2.85	2.01

Continúa Tabla 78.

3.30	1.93
3.75	1.86
4.20	1.79
4.65	3.45
5.10	2.50
5.55	3.22
6.00	3.12
6.45	3.78
6.90	4.40
7.35	4.27
7.80	5.53
8.25	6.06
8.70	9.17
9.15	12.12
9.60	18.66
10.05	33.36

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 79. Cuadro de los valores de N_{70} en el SPT 06 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70}
0.00	
0.45	2.86
0.90	2.62
1.35	13.25
1.80	10.06
2.25	7.40
2.70	4.05
3.15	3.89
3.60	3.74
4.05	3.60
4.50	4.35
4.95	10.91

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

6.4. Cálculo de la resistencia promedio a la licuefacción " N_{70cf} " mediante la corrección de contenido de finos

El valor de $(N_1)_{70}$ calculado en el cálculo anterior, representa una medida de la densidad relativa del depósito o de la resistencia promedio a la licuefacción de arenas limpias con contenido de finos (CF) pasante por el tamiz N° 200, menor al 5%.

CASO I:

En las tablas 80 al 84 se muestran los resultados de la resistencia promedio a la licuefacción para la condición no drenada (NF= +0.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 80. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 01 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70CF}
0	
0.45	8.498
0.90	8.324
1.35	22.254
1.80	18.367
2.25	14.872
2.70	10.411
3.15	10.168
3.60	9.945
4.05	9.741
4.50	10.691
4.95	19.233
5.40	26.093
5.85	61.969

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°2:**Tabla 81.** Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 02 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70CF}
0	
0.45	12.084
0.90	11.676
1.35	8.157
1.80	7.994
2.25	7.847
2.70	7.714
3.15	7.593
3.60	7.482
4.05	7.380
4.50	7.286
4.95	8.358
5.40	8.238
5.85	7.084
6.30	8.022
6.75	8.900
7.20	10.668
7.65	11.412
8.10	10.335
8.55	10.183
9.00	9.199
9.45	12.355
9.90	11.366
10.35	14.304
10.80	15.584

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:**Tabla 82.** Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 03 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70CF}
0	
1.05	11.582
1.50	15.921
1.95	18.350
2.40	16.309

Continúa Tabla 82.

2.85	11.751
3.30	10.169
3.75	8.717
4.20	8.570
4.65	9.580
5.10	10.515
5.55	11.384
6.00	11.166
6.45	11.956
6.90	10.772
7.35	12.458
7.80	12.234
8.25	12.023
8.70	12.677
9.15	12.465
9.60	12.265
10.05	12.076

Fuente: Elaboración propia de tesisistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 83. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 04 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70CF}
0	
1.05	8.283
1.50	9.665
1.95	7.955
2.40	7.814
2.85	7.686
3.30	7.569
3.75	7.463
4.20	7.364
4.65	7.273
5.10	7.189
5.55	7.111
6.00	8.058
6.45	7.956
6.90	6.907
7.35	6.847
7.80	7.686

Fuente: Elaboración propia de tesisistas, URP.

SPT N°5 y SPT N°6:

Tabla 84. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 05 y 06 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0	
1.05	9.930
1.50	8.115
1.95	7.960
2.40	7.820
2.85	7.692
3.30	7.576
3.75	7.469
4.20	7.371
4.65	9.560
5.10	8.284
5.55	9.223
6.00	9.077
6.45	9.926
6.90	10.721
7.35	10.542
7.80	12.166
8.25	12.825
8.70	16.824
9.15	20.602
9.60	28.968
10.05	47.786
PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0.00	
0.45	8.547
0.90	8.348
1.35	22.396
1.80	18.506
2.25	14.994
2.70	10.446
3.15	10.205
3.60	9.985
4.05	9.782
4.50	10.744
4.95	19.372

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO II:

En las tablas 85 al 88 se muestran los resultados de la resistencia promedio a la licuefacción para la condición drenada (NF= -2.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1 y SPT N°2:

Tabla 85. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 01 y 02 considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70CF}
0	
0.45	11.843
0.90	11.261
1.35	7.885
1.80	7.675
2.25	7.529
2.70	7.423
3.15	7.326
3.60	7.237
4.05	7.154
4.50	7.077
4.95	8.055
5.40	7.956
5.85	6.909
6.30	7.775
6.75	8.591
7.20	10.231
7.65	10.932
8.10	9.946
8.55	9.815
9.00	8.909
9.45	11.859
9.90	10.947
10.35	13.707
10.80	14.921
PROFUNDIDAD (M)	N_{70CF}
0.00	
0.45	8.498
0.90	8.118

Continúa Tabla 85.

1.35	20.778
1.80	16.955
2.25	13.778
2.70	9.833
3.15	9.638
3.60	9.458
4.05	9.292
4.50	10.171
4.95	17.978
5.40	24.295
5.85	57.269

Fuente: Elaboración propia de tesisistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 86. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 03 considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70CF}
0	
1.05	11.115
1.50	14.898
1.95	16.837
2.40	15.053
2.85	11.032
3.30	9.639
3.75	8.351
4.20	8.231
4.65	9.159
5.10	10.025
5.55	10.835
6.00	10.653
6.45	11.395
6.90	10.320
7.35	11.890
7.80	11.698
8.25	11.517
8.70	12.139
9.15	11.956
9.60	11.781
10.05	11.616

Fuente: Elaboración propia de tesisistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 87. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 04 considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0	
1.05	8.051
1.50	9.229
1.95	7.621
2.40	7.503
2.85	7.401
3.30	7.307
3.75	7.221
4.20	7.141
4.65	7.066
5.10	6.996
5.55	6.931
6.00	7.805
6.45	7.719
6.90	6.759
7.35	6.707
7.80	7.489

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5 y SPT N°6:

Tabla 88. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 05 y 06 considerando un NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0	
1.05	9.580
1.50	7.823
1.95	7.625
2.40	7.507
2.85	7.406
3.30	7.313
3.75	7.226
4.20	7.146
4.65	9.143
5.10	7.994
5.55	8.862
6.00	8.740

Continúa Tabla 88.

6.45	9.532
6.90	10.276
7.35	10.124
7.80	11.640
8.25	12.266
8.70	16.003
9.15	19.546
9.60	27.388
10.05	45.034
PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0.00	
0.45	8.426
0.90	8.139
1.35	20.896
1.80	17.066
2.25	13.875
2.70	9.862
3.15	9.668
3.60	9.490
4.05	9.325
4.50	10.214
4.95	18.092

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO III:

En las tablas 89 al 94 se muestran los resultados de la resistencia promedio a la licuefacción para la condición drenada (NF= -2.00m), estimando una aceleración mínimo necesaria de 0.10g donde el material de relave empiece a licuar, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 89. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 01 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0.00	
0.45	8.50
0.90	8.12

Continúa Tabla 89.

1.35	20.78
1.80	16.95
2.25	13.78
2.70	9.83
3.15	9.64
3.60	9.46
4.05	9.29
4.50	10.17
4.95	17.98
5.40	24.29
5.85	57.27

Fuente: Elaboración propia de tesisistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 90. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 02 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0	
0.45	11.84
0.90	11.26
1.35	7.88
1.80	7.68
2.25	7.53
2.70	7.42
3.15	7.33
3.60	7.24
4.05	7.15
4.50	7.08
4.95	8.06
5.40	7.96
5.85	6.91
6.30	7.78
6.75	8.59
7.20	10.23
7.65	10.93
8.10	9.95
8.55	9.82
9.00	8.91

Continúa Tabla 90.

9.45	11.86
9.90	10.95
10.35	13.71
10.80	14.92

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 91. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 03 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0	
1.05	8.05
1.50	9.23
1.95	7.62
2.40	7.50
2.85	7.40
3.30	7.31
3.75	7.22
4.20	7.14
4.65	7.07
5.10	7.00
5.55	6.93
6.00	7.80
6.45	7.72
6.90	6.76
7.35	6.71
7.80	7.49

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 92. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 04 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0	
1.05	11.12
1.50	14.90

Continúa Tabla 92.

1.95	16.84
2.40	15.05
2.85	11.03
3.30	9.64
3.75	8.35
4.20	8.23
4.65	9.16
5.10	10.03
5.55	10.84
6.00	10.65
6.45	11.39
6.90	10.32
7.35	11.89
7.80	11.70
8.25	11.52
8.70	12.14
9.15	11.96
9.60	11.78
10.05	11.62

Fuente: Elaboración propia de tesisistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 93. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 05 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0	
1.05	9.58
1.50	7.82
1.95	7.63
2.40	7.51
2.85	7.41
3.30	7.31
3.75	7.23
4.20	7.15
4.65	9.14
5.10	7.99
5.55	8.86
6.00	8.74
6.45	9.53

Continúa Tabla 93.

6.90	10.28
7.35	10.12
7.80	11.64
8.25	12.27
8.70	16.00
9.15	19.55
9.60	27.39
10.05	45.03

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 94. Cuadro de los valores de N_{70cf} en el SPT 06 considerando un NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	N_{70cf}
0.00	
0.45	8.43
0.90	8.14
1.35	20.90
1.80	17.07
2.25	13.87
2.70	9.86
3.15	9.67
3.60	9.49
4.05	9.32
4.50	10.21
4.95	18.09

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

6.5. Cálculo del factor de reducción de tensión "Rd"

Según Youd et al. (1997), la siguiente ecuación pueden ser usadas para estimar los valores del factor de reducción por la profundidad, con el valor de z en metros,

$r_d = 1,000 - 0,00765 z$	para	$z \leq 9,15$
$r_d = 1,174 - 0,02670 z$	para	$9.15 < z \leq 23$

Donde z es la misma profundidad que se utiliza para calcular las tensiones verticales totales y efectivas.

El valor del factor de reducción de tensión se ha calculado para el caso I: no drenada (NF= +0.00m) y el caso II: condición drenado (NF= -2.00m), ambos casos con una aceleración $a=0.27g$. Asimismo el caso III: condición drenada (NF= -2.00m) estimando una aceleración mínimo necesaria de 0.10g donde el material de relave empiece a licuar, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

6.6. Cálculo de la relación de tensiones cíclica (CSR) y la relación de resistencia cíclica (CRR)

CASO I:

En las tablas 95 al 100 se muestran los resultados del valor de resistencia cíclica y tensión cíclica para la condición no drenada (NF= +0.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 95. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 01 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
0.45	0.272	0.100
0.90	0.271	0.099
1.35	0.270	0.246
1.80	0.269	0.196
2.25	0.268	0.159
2.70	0.270	0.117
3.15	0.269	0.115
3.60	0.268	0.113
4.05	0.267	0.111
4.50	0.266	0.119
4.95	0.265	0.206
5.40	0.264	0.315
5.85	0.263	0.418

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 96. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 02 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
0.45	0.276	0.132
0.90	0.275	0.128
1.35	0.274	0.097
1.80	0.273	0.096
2.25	0.272	0.095
2.70	0.271	0.094
3.15	0.270	0.093
3.60	0.269	0.092
4.05	0.268	0.091
4.50	0.267	0.090
4.95	0.271	0.099
5.40	0.270	0.098
5.85	0.269	0.088
6.30	0.268	0.096
6.75	0.267	0.104
7.20	0.266	0.119
7.65	0.265	0.126
8.10	0.264	0.116
8.55	0.263	0.115
9.00	0.262	0.106
9.45	0.259	0.134
9.90	0.256	0.125
10.35	0.252	0.153
10.80	0.249	0.166

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 97. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 03 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
1.05	0.276	0.098
1.50	0.275	0.110
1.95	0.274	0.096

Continúa Tabla 97.

2.40	0.274	0.094
2.85	0.273	0.093
3.30	0.272	0.092
3.75	0.271	0.091
4.20	0.270	0.091
4.65	0.269	0.090
5.10	0.268	0.089
5.55	0.267	0.089
6.00	0.266	0.096
6.45	0.265	0.096
6.90	0.264	0.087
7.35	0.263	0.086
7.80	0.262	0.093

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 98. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 04 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
1.05	0.278	0.127
1.50	0.277	0.169
1.95	0.276	0.196
2.40	0.275	0.173
2.85	0.274	0.129
3.30	0.273	0.115
3.75	0.273	0.102
4.20	0.272	0.101
4.65	0.271	0.109
5.10	0.270	0.118
5.55	0.269	0.126
6.00	0.268	0.124
6.45	0.267	0.131
6.90	0.266	0.120
7.35	0.265	0.135
7.80	0.264	0.133
8.25	0.263	0.131
8.70	0.262	0.137
9.15	0.261	0.136
9.60	0.257	0.134
10.05	0.254	0.132

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 99. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 05 considerando un NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CSR
0		
1.05	0.277	0.112
1.50	0.276	0.097
1.95	0.275	0.096
2.40	0.274	0.094
2.85	0.273	0.093
3.30	0.272	0.092
3.75	0.271	0.092
4.20	0.270	0.091
4.65	0.270	0.109
5.10	0.268	0.098
5.55	0.267	0.106
6.00	0.266	0.105
6.45	0.265	0.112
6.90	0.264	0.120
7.35	0.263	0.118
7.80	0.262	0.133
8.25	0.261	0.139
8.70	0.260	0.179
9.15	0.259	0.223
9.60	0.256	0.409
10.05	0.252	0.277

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 100. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 06 considerando NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0.00		
0.45	0.278	0.101
0.90	0.278	0.099
1.35	0.275	0.248
1.80	0.274	0.198
2.25	0.273	0.160
2.70	0.272	0.117
3.15	0.271	0.115
3.60	0.270	0.113

Continúa Tabla 100.

4.05	0.269	0.111
4.50	0.268	0.120
4.95	0.268	0.208

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO II:

En las tablas 101 al 106 se muestran los resultados del valor de resistencia cíclica y tensión cíclica para la condición drenada (NF= -2.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 101. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 01 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0.00		
0.45	0.175	0.100
0.90	0.174	0.097
1.35	0.174	0.225
1.80	0.173	0.180
2.25	0.180	0.148
2.70	0.190	0.112
3.15	0.197	0.110
3.60	0.204	0.108
4.05	0.208	0.107
4.50	0.212	0.115
4.95	0.216	0.192
5.40	0.218	0.279
5.85	0.220	0.376

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 102. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 02 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
0.45	0.175	0.130
0.90	0.174	0.124
1.35	0.174	0.095
1.80	0.173	0.093

Continúa Tabla 102.

2.25	0.180	0.092
2.70	0.190	0.091
3.15	0.198	0.090
3.60	0.204	0.090
4.05	0.209	0.089
4.50	0.213	0.088
4.95	0.218	0.096
5.40	0.220	0.096
5.85	0.223	0.087
6.30	0.225	0.094
6.75	0.226	0.101
7.20	0.228	0.115
7.65	0.229	0.121
8.10	0.230	0.113
8.55	0.230	0.111
9.00	0.231	0.104
9.45	0.230	0.130
9.90	0.228	0.122
10.35	0.226	0.147
10.80	0.224	0.159

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 103. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 03 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
1.05	0.174	0.096
1.50	0.173	0.106
1.95	0.173	0.093
2.40	0.184	0.092
2.85	0.193	0.091
3.30	0.200	0.090
3.75	0.206	0.089
4.20	0.211	0.089
4.65	0.215	0.088
5.10	0.218	0.088
5.55	0.220	0.087
6.00	0.222	0.094
6.45	0.224	0.094
6.90	0.226	0.086

Continúa Tabla 103.

7.35	0.227	0.085
7.80	0.228	0.092

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 104. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 04 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
1.05	0.174	0.123
1.50	0.173	0.159
1.95	0.173	0.179
2.40	0.184	0.161
2.85	0.193	0.122
3.30	0.201	0.110
3.75	0.207	0.099
4.20	0.211	0.098
4.65	0.215	0.106
5.10	0.218	0.113
5.55	0.221	0.121
6.00	0.223	0.119
6.45	0.225	0.126
6.90	0.226	0.116
7.35	0.228	0.130
7.80	0.229	0.128
8.25	0.230	0.127
8.70	0.230	0.132
9.15	0.231	0.131
9.60	0.229	0.129
10.05	0.227	0.128

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 105. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 05 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
1.05	0.174	0.109
1.50	0.173	0.094
1.95	0.173	0.093

Continúa Tabla 105.

2.40	0.184	0.092
2.85	0.193	0.091
3.30	0.200	0.090
3.75	0.206	0.090
4.20	0.211	0.089
4.65	0.215	0.106
5.10	0.218	0.096
5.55	0.220	0.103
6.00	0.222	0.102
6.45	0.224	0.109
6.90	0.226	0.116
7.35	0.227	0.114
7.80	0.228	0.128
8.25	0.229	0.134
8.70	0.229	0.170
9.15	0.230	0.210
9.60	0.228	0.350
10.05	0.226	0.238

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 106. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 06 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0.00		
0.45	0.175	0.100
0.90	0.174	0.097
1.35	0.174	0.227
1.80	0.173	0.182
2.25	0.180	0.149
2.70	0.190	0.112
3.15	0.198	0.110
3.60	0.204	0.109
4.05	0.209	0.107
4.50	0.213	0.115
4.95	0.216	0.193

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

CASO III:

En las tablas 107 al 112 se muestran los resultados del valor de resistencia cíclica y tensión cíclica para la condición drenada (NF= -2.00m) estimando una aceleración mínimo necesaria de 0.10g donde el material de relave empiece a licuar, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 107. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 01 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0.00		
0.45	0.065	0.100
0.90	0.065	0.097
1.35	0.064	0.225
1.80	0.064	0.180
2.25	0.067	0.148
2.70	0.070	0.112
3.15	0.073	0.110
3.60	0.075	0.108
4.05	0.077	0.107
4.50	0.079	0.115
4.95	0.080	0.192
5.40	0.081	0.279
5.85	0.082	0.376

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:

Tabla 108. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 02 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
0.45	0.065	0.130
0.90	0.065	0.124
1.35	0.064	0.095
1.80	0.064	0.093

Continúa Tabla 108.

2.25	0.067	0.092
2.70	0.070	0.091
3.15	0.073	0.090
3.60	0.075	0.090
4.05	0.077	0.089
4.50	0.079	0.088
4.95	0.081	0.096
5.40	0.082	0.096
5.85	0.082	0.087
6.30	0.083	0.094
6.75	0.084	0.101
7.20	0.084	0.115
7.65	0.085	0.121
8.10	0.085	0.113
8.55	0.085	0.111
9.00	0.086	0.104
9.45	0.085	0.130
9.90	0.084	0.122
10.35	0.084	0.147
10.80	0.083	0.159

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:

Tabla 109. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 03 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
1.05	0.064	0.096
1.50	0.064	0.106
1.95	0.064	0.093
2.40	0.068	0.092
2.85	0.071	0.091
3.30	0.074	0.090
3.75	0.076	0.089
4.20	0.078	0.089
4.65	0.079	0.088
5.10	0.081	0.088
5.55	0.082	0.087
6.00	0.082	0.094
6.45	0.083	0.094

Continúa Tabla 109.

6.90	0.084	0.086
7.35	0.084	0.085
7.80	0.084	0.092

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:

Tabla 110. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 04 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		
1.05	0.064	0.123
1.50	0.064	0.159
1.95	0.064	0.179
2.40	0.068	0.161
2.85	0.072	0.122
3.30	0.074	0.110
3.75	0.077	0.099
4.20	0.078	0.098
4.65	0.080	0.106
5.10	0.081	0.113
5.55	0.082	0.121
6.00	0.083	0.119
6.45	0.083	0.126
6.90	0.084	0.116
7.35	0.084	0.130
7.80	0.085	0.128
8.25	0.085	0.127
8.70	0.085	0.132
9.15	0.085	0.131
9.60	0.085	0.129
10.05	0.084	0.128

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°5:

Tabla 111. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 05 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0		

Continúa Tabla 111.

1.05	0.064	0.109
1.50	0.064	0.094
1.95	0.064	0.093
2.40	0.068	0.092
2.85	0.072	0.091
3.30	0.074	0.090
3.75	0.076	0.090
4.20	0.078	0.089
4.65	0.080	0.106
5.10	0.081	0.096
5.55	0.082	0.103
6.00	0.082	0.102
6.45	0.083	0.109
6.90	0.084	0.116
7.35	0.084	0.114
7.80	0.084	0.128
8.25	0.085	0.134
8.70	0.085	0.170
9.15	0.085	0.210
9.60	0.084	0.350
10.05	0.084	0.238

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°6:

Tabla 112. Cuadro de los valores de CSR y CRR en el SPT 06 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CSR	CRR
0.00		
0.45	0.065	0.100
0.90	0.065	0.097
1.35	0.064	0.227
1.80	0.064	0.182
2.25	0.067	0.149
2.70	0.070	0.112
3.15	0.073	0.110
3.60	0.076	0.109
4.05	0.077	0.107
4.50	0.079	0.115
4.95	0.080	0.193

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

6.7. Cálculo del factor de seguridad de licuación (CRR/CSR)

Normalmente, el potencial de licuefacción se presenta en términos de un factor de seguridad. El cálculo de este factor de seguridad es el paso final en una evaluación de riesgo de licuefacción. Si la relación de tensión cíclica (CSR) es mayor que la relación de resistencia cíclica (CRR), la licuefacción se iniciará durante el terremoto, por el contrario, si la CSR es menor que la CRR, entonces la licuefacción no se inicia.

CASO I:

En las tablas 113 al 118 se muestran los resultados del factor de seguridad frente a la licuación para la condición no drenada (NF= +0.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 113. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 01 considerando NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
0.45	0.368	SI LICUA
0.90	0.364	SI LICUA
1.35	0.909	SI LICUA
1.80	0.728	SI LICUA
2.25	0.592	SI LICUA
2.70	0.432	SI LICUA
3.15	0.426	SI LICUA
3.60	0.420	SI LICUA
4.05	0.415	SI LICUA
4.50	0.448	SI LICUA
4.95	0.777	SI LICUA
5.40	1.193	SI LICUA
5.85	1.589	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°2:**Tabla 114.** Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 02 considerando NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
0.45	0.478	SI LICUA
0.90	0.466	SI LICUA
1.35	0.355	SI LICUA
1.80	0.351	SI LICUA
2.25	0.348	SI LICUA
2.70	0.345	SI LICUA
3.15	0.343	SI LICUA
3.60	0.340	SI LICUA
4.05	0.338	SI LICUA
4.50	0.337	SI LICUA
4.95	0.366	SI LICUA
5.40	0.363	SI LICUA
5.85	0.329	SI LICUA
6.30	0.359	SI LICUA
6.75	0.388	SI LICUA
7.20	0.448	SI LICUA
7.65	0.475	SI LICUA
8.10	0.440	SI LICUA
8.55	0.437	SI LICUA
9.00	0.405	SI LICUA
9.45	0.519	SI LICUA
9.90	0.490	SI LICUA
10.35	0.607	SI LICUA
10.80	0.667	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°3:**Tabla 115.** Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 03 considerando NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	0.356	SI LICUA
1.50	0.400	SI LICUA
1.95	0.348	SI LICUA
2.40	0.345	SI LICUA
2.85	0.342	SI LICUA
3.30	0.340	SI LICUA
3.75	0.338	SI LICUA
4.20	0.336	SI LICUA
4.65	0.334	SI LICUA
5.10	0.333	SI LICUA
5.55	0.332	SI LICUA
6.00	0.363	SI LICUA
6.45	0.361	SI LICUA
6.90	0.329	SI LICUA
7.35	0.329	SI LICUA
7.80	0.356	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP.

SPT N°4:**Tabla 116.** Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 04 considerando NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	0.458	SI LICUA
1.50	0.611	SI LICUA
1.95	0.708	SI LICUA
2.40	0.630	SI LICUA
2.85	0.470	SI LICUA
3.30	0.419	SI LICUA
3.75	0.374	SI LICUA

Continúa Tabla 116.

4.20	0.371	SI LICUA
4.65	0.404	SI LICUA
5.10	0.436	SI LICUA
5.55	0.467	SI LICUA
6.00	0.462	SI LICUA
6.45	0.490	SI LICUA
6.90	0.451	SI LICUA
7.35	0.511	SI LICUA
7.80	0.505	SI LICUA
8.25	0.500	SI LICUA
8.70	0.525	SI LICUA
9.15	0.519	SI LICUA
9.60	0.519	SI LICUA
10.05	0.519	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°5:

Tabla 117. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 05 considerando NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	0.406	SI LICUA
1.50	0.351	SI LICUA
1.95	0.347	SI LICUA
2.40	0.344	SI LICUA
2.85	0.342	SI LICUA
3.30	0.339	SI LICUA
3.75	0.337	SI LICUA
4.20	0.335	SI LICUA
4.65	0.405	SI LICUA
5.10	0.367	SI LICUA
5.55	0.398	SI LICUA
6.00	0.395	SI LICUA
6.45	0.425	SI LICUA
6.90	0.453	SI LICUA
7.35	0.448	SI LICUA
7.80	0.506	SI LICUA
8.25	0.532	SI LICUA
8.70	0.688	SI LICUA
9.15	0.861	SI LICUA

Continúa Tabla 117.

9.60	1.598	NO LICUA
10.05	1.096	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°6:

Tabla 118. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 06 considerando NF +0.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.00		
0.45	0.361	SI LICUA
0.90	0.356	SI LICUA
1.35	0.900	SI LICUA
1.80	0.720	SI LICUA
2.25	0.586	SI LICUA
2.70	0.430	SI LICUA
3.15	0.424	SI LICUA
3.60	0.418	SI LICUA
4.05	0.413	SI LICUA
4.50	0.446	SI LICUA
4.95	0.777	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

CASO II:

En las tablas 119 al 124 se muestran los resultados del factor de seguridad frente a la licuación para la condición drenado (NF= -2.00m) y una aceleración de diseño de 0.27g, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 119. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 01 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.00		
0.45	0.572	SI LICUA
0.90	0.556	SI LICUA
1.35	1.297	SI LICUA
1.80	1.042	SI LICUA
2.25	0.824	SI LICUA
2.70	0.588	SI LICUA
3.15	0.557	SI LICUA
3.60	0.532	SI LICUA
4.05	0.513	SI LICUA
4.50	0.540	SI LICUA
4.95	0.889	SI LICUA
5.40	1.277	SI LICUA
5.85	1.708	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°2:

Tabla 120. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 02 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
0.45	0.742	SI LICUA
0.90	0.714	SI LICUA
1.35	0.547	SI LICUA

Continúa Tabla 120.

1.80	0.539	SI LICUA
2.25	0.512	SI LICUA
2.70	0.480	SI LICUA
3.15	0.457	SI LICUA
3.60	0.440	SI LICUA
4.05	0.426	SI LICUA
4.50	0.415	SI LICUA
4.95	0.443	SI LICUA
5.40	0.434	SI LICUA
5.85	0.390	SI LICUA
6.30	0.419	SI LICUA
6.75	0.446	SI LICUA
7.20	0.506	SI LICUA
7.65	0.531	SI LICUA
8.10	0.491	SI LICUA
8.55	0.484	SI LICUA
9.00	0.449	SI LICUA
9.45	0.565	SI LICUA
9.90	0.533	SI LICUA
10.35	0.652	SI LICUA
10.80	0.711	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°3:

Tabla 121. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 03 considerando NF -2.00.

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	0.553	SI LICUA
1.50	0.613	SI LICUA
1.95	0.537	SI LICUA
2.40	0.500	SI LICUA
2.85	0.471	SI LICUA
3.30	0.450	SI LICUA
3.75	0.434	SI LICUA
4.20	0.421	SI LICUA
4.65	0.411	SI LICUA

Continúa Tabla 121.

5.10	0.403	SI LICUA
5.55	0.396	SI LICUA
6.00	0.424	SI LICUA
6.45	0.418	SI LICUA
6.90	0.380	SI LICUA
7.35	0.376	SI LICUA
7.80	0.403	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°4:

Tabla 122. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 04 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	0.707	SI LICUA
1.50	0.917	SI LICUA
1.95	1.036	SI LICUA
2.40	0.874	SI LICUA
2.85	0.633	SI LICUA
3.30	0.548	SI LICUA
3.75	0.479	SI LICUA
4.20	0.463	SI LICUA
4.65	0.492	SI LICUA
5.10	0.519	SI LICUA
5.55	0.546	SI LICUA
6.00	0.533	SI LICUA
6.45	0.558	SI LICUA
6.90	0.512	SI LICUA
7.35	0.572	SI LICUA
7.80	0.561	SI LICUA
8.25	0.552	SI LICUA
8.70	0.575	SI LICUA
9.15	0.567	SI LICUA
9.60	0.564	SI LICUA
10.05	0.562	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°5:

Tabla 123. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 05 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	0.629	SI LICUA
1.50	0.544	SI LICUA
1.95	0.537	SI LICUA
2.40	0.500	SI LICUA
2.85	0.471	SI LICUA
3.30	0.450	SI LICUA
3.75	0.434	SI LICUA
4.20	0.421	SI LICUA
4.65	0.492	SI LICUA
5.10	0.441	SI LICUA
5.55	0.469	SI LICUA
6.00	0.460	SI LICUA
6.45	0.486	SI LICUA
6.90	0.512	SI LICUA
7.35	0.504	SI LICUA
7.80	0.561	SI LICUA
8.25	0.585	SI LICUA
8.70	0.743	SI LICUA
9.15	0.914	SI LICUA
9.60	1.534	NO LICUA
10.05	1.054	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°6:

Tabla 124. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 06 considerando NF -2.00

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.00		
0.45	0.569	SI LICUA
0.90	0.557	SI LICUA
1.35	1.306	NO LICUA
1.80	1.049	SI LICUA
2.25	0.828	SI LICUA
2.70	0.589	SI LICUA
3.15	0.557	SI LICUA
3.60	0.532	SI LICUA
4.05	0.513	SI LICUA
4.50	0.540	SI LICUA
4.95	0.891	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

CASO III:

En las tablas 125 al 130 se muestran los resultados del factor de seguridad frente a la licuación para la condición drenado (NF= -2.00m) estimando una aceleración mínimo necesaria de 0.10g donde el material de relave empiece a licuar, considerando el procedimiento visto en el Capítulo II: Marco Teórico.

SPT N°1:

Tabla 125. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 01 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.00		
0.45	1.5	NO LICUA

Continúa Tabla 125

0.90	1.5	NO LICUA
1.35	3.5	NO LICUA
1.80	2.8	NO LICUA
2.25	2.2	NO LICUA
2.70	1.6	NO LICUA
3.15	1.5	NO LICUA
3.60	1.4	NO LICUA
4.05	1.4	NO LICUA
4.50	1.5	NO LICUA
4.95	2.4	NO LICUA
5.40	3.4	NO LICUA
5.85	4.6	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°2:

Tabla 126. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 02 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.45	2.0	NO LICUA
0.90	1.9	NO LICUA
1.35	1.5	NO LICUA
1.80	1.5	NO LICUA
2.25	1.4	NO LICUA
2.70	1.3	NO LICUA
3.15	1.2	SI LICUA
3.60	1.2	SI LICUA
4.05	1.2	SI LICUA
4.50	1.1	SI LICUA
4.95	1.2	SI LICUA
5.40	1.2	SI LICUA
5.85	1.1	SI LICUA
6.30	1.1	SI LICUA
6.75	1.2	SI LICUA
7.20	1.4	NO LICUA
7.65	1.4	NO LICUA
8.10	1.3	NO LICUA

Continúa Tabla 126.

8.55	1.3	NO LICUA
9.00	1.2	SI LICUA
9.45	1.5	NO LICUA
9.90	1.4	NO LICUA
10.35	1.8	NO LICUA
10.80	1.9	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°3:

Tabla 127. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 03 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	1.5	NO LICUA
1.50	1.7	NO LICUA
1.95	1.4	NO LICUA
2.40	1.3	NO LICUA
2.85	1.3	NO LICUA
3.30	1.2	SI LICUA
3.75	1.2	SI LICUA
4.20	1.1	SI LICUA
4.65	1.1	SI LICUA
5.10	1.1	SI LICUA
5.55	1.1	SI LICUA
6.00	1.1	SI LICUA
6.45	1.1	SI LICUA
6.90	1.0	SI LICUA
7.35	1.0	SI LICUA
7.80	1.1	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°4:

Tabla 128. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 04 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	1.9	NO LICUA
1.50	2.5	NO LICUA
1.95	2.8	NO LICUA
2.40	2.4	NO LICUA
2.85	1.7	NO LICUA
3.30	1.5	NO LICUA
3.75	1.3	NO LICUA
4.20	1.3	NO LICUA
4.65	1.3	NO LICUA
5.10	1.4	NO LICUA
5.55	1.5	NO LICUA
6.00	1.4	NO LICUA
6.45	1.5	NO LICUA
6.90	1.4	NO LICUA
7.35	1.5	NO LICUA
7.80	1.5	NO LICUA
8.25	1.5	NO LICUA
8.70	1.6	NO LICUA
9.15	1.5	NO LICUA
9.60	1.5	NO LICUA
10.05	1.5	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°5:

Tabla 129. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 05 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0		
1.05	1.7	NO LICUA
1.50	1.5	NO LICUA
1.95	1.4	NO LICUA
2.40	1.3	NO LICUA
2.85	1.3	NO LICUA

Continúa Tabla 129.

3.30	1.2	SI LICUA
3.75	1.2	SI LICUA
4.20	1.1	SI LICUA
4.65	1.3	NO LICUA
5.10	1.2	SI LICUA
5.55	1.3	NO LICUA
6.00	1.2	SI LICUA
6.45	1.3	NO LICUA
6.90	1.4	NO LICUA
7.35	1.4	NO LICUA
7.80	1.5	NO LICUA
8.25	1.6	NO LICUA
8.70	2.0	NO LICUA
9.15	2.5	NO LICUA
9.60	4.1	NO LICUA
10.05	2.8	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT Nº 6:

Tabla 130. Cuadro de los factores de seguridad (CSR/CRR) en el SPT 06 considerando NF -2.00, con una aceleración 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.00		
0.45	1.5	NO LICUA
0.90	1.5	NO LICUA
1.35	3.5	NO LICUA
1.80	2.8	NO LICUA
2.25	2.2	NO LICUA
2.70	1.6	NO LICUA
3.15	1.5	NO LICUA
3.60	1.4	NO LICUA
4.05	1.4	NO LICUA
4.50	1.5	NO LICUA
4.95	2.4	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

CAPÍTULO VII: PRESENTACION DE RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra la presentación de resultados, comenzando con el análisis e interpretación de los resultados, resultados de la investigación, contratación de hipótesis y discusión relacionada a la evaluación de potencial de licuación del material de relave en la mina cobriza.

7.1. Análisis e interpretación de los resultados

La evaluación del potencial de licuación del material de relave se ha utilizado la metodología propuesta por Seed and Idriss, presentado por Youd et al (2001) para las siguientes condiciones: CASO I: una condición inicial (no drenada) con un nivel freático de $z=+0.00$ m y utilizando una aceleración de diseño $a=0.27g$, CASO II: una condición en proceso de drenado con un nivel freático de $z=-2.00$ m y utilizando una aceleración de diseño $a=0.27g$ y CASO III: una condición en proceso de drenado con un nivel freático de $z=-2.00$ m con al finalidad de determinar la aceleración mínima necesaria cuyo valor es $a=0.10g$ donde se iniciaría el proceso de licuación.

Finalmente, los resultados obtenidos del análisis de licuación refleja que hay un riesgo de licuación en su totalidad para el CASO I y CASO II, debido a que según el ensayo de clasificación de suelos, el tipo de material de relave es limo de baja plasticidad (ML) siendo un factor importante y se identificó que el nivel freático es otro factor importante. Así mismo para el CASO III se obtuvo una aceleración mínima de $a=0.10g$, donde se demuestra que el movimiento cíclico vibratorio (reflejado en la aceleración inducida por la maquinaria) proveniente de los trabajos de compactación realizado en el dique de contención aledaño a la zona analizada aumentaría el potencial de licuación.

7.2. Resultados de la investigación

CASO I:

Los cuadros siguientes muestran los resultados de los factores de seguridad frente a la licuación obtenidos para una condición no drenado (NF= +0.00m):

SPT N°1:

En la tabla 131 muestra la relación de resistencia cíclica se obtiene bajos resultados debido a los Nro. de golpes en el tramo de 0.45 m - 0.90 m con valores por debajo de 5 golpes, asimismo en el tramo 0.90 m – 1.35 m donde aumenta relativamente el Nro. a 11 golpes, se encuentra en el tramo de 1.35 m – 4.50 m con valores por debajo de 10 golpes, asimismo en el tramo 4.50 m – 5.85 m donde aumenta relativamente el Nro. a 56 golpes, esto se interpreta que se cuenta con estratos del material de relave en condición muy suelto y otras en condición relativamente densa.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto debido a que existe más presión mediante va aumentado la profundidad de análisis (altura máx.=5.85m), otro factor que aumentó la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

En la gráfica 13 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad de 5.40 m lo cual se interpreta que el material de relave si licua considerando que el nivel freático está en la superficie del terreno, por otro lado en la nivel 5.85 m. se obtuvo un factor de 1.59 lo cual supera el ratio admisible, por lo tanto se interpreta que a esta profundidad el material de relave ya no fallará por licuación.

Tabla 131. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 01 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
0.45	76.28	ML	2	7.94	8.50	7.5	0.272	0.100	0.37	SI LICUA
0.90	76.28	ML	2	15.88	8.32	7.5	0.271	0.099	0.36	SI LICUA
1.35	85.95	ML	11	23.82	22.25	7.5	0.270	0.246	0.91	SI LICUA
1.80	85.95	ML	9	31.76	18.37	7.5	0.269	0.196	0.73	SI LICUA
2.25	85.95	ML	7	39.70	14.87	7.5	0.268	0.159	0.59	SI LICUA
2.70	85.95	ML	4	46.39	10.41	7.5	0.270	0.117	0.43	SI LICUA
3.15	85.95	ML	4	54.13	10.17	7.5	0.269	0.115	0.43	SI LICUA
3.60	85.95	ML	4	61.86	9.95	7.5	0.268	0.113	0.42	SI LICUA
4.05	85.95	ML	4	69.59	9.74	7.5	0.267	0.111	0.41	SI LICUA
4.50	85.95	ML	5	77.32	10.69	7.5	0.266	0.119	0.45	SI LICUA
4.95	85.95	ML	13	85.05	19.23	7.5	0.265	0.206	0.78	SI LICUA
5.40	85.95	ML	20	92.79	26.09	7.5	0.264	0.315	1.19	SI LICUA
5.85	85.95	ML	56	100.52	61.97	7.5	0.263	0.418	1.59	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-01

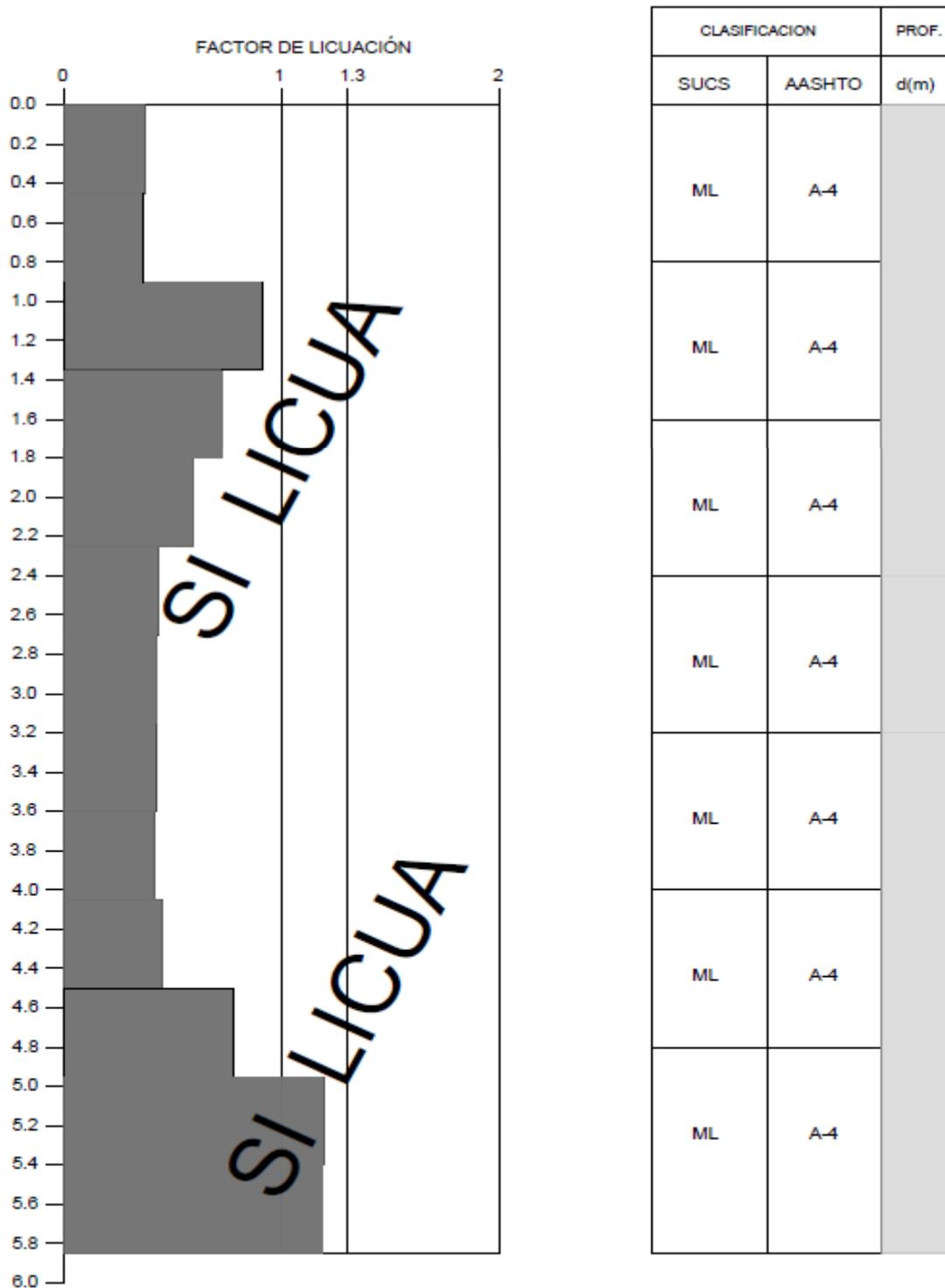


Gráfico 13. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 01, considerando NF +0.00

Fuente: Elaboración propia de tesístas, URP

SPT N°2

En la tabla 132 muestra la relación de resistencia cíclica se obtiene bajos resultados debido a los Nro. de golpes en el tramo de 0.45 m - 9.90 m con valores por debajo de 5 golpes, asimismo en el tramo 10.35m - 10.80m donde aumenta relativamente en Nro. de golpes, esto se interpreta que el material de relave está en condición muy suelto.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto fue debido a que existe más presión mediante va aumentado la altura de análisis (altura máx.=10.80m), otro factor que aumentó la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

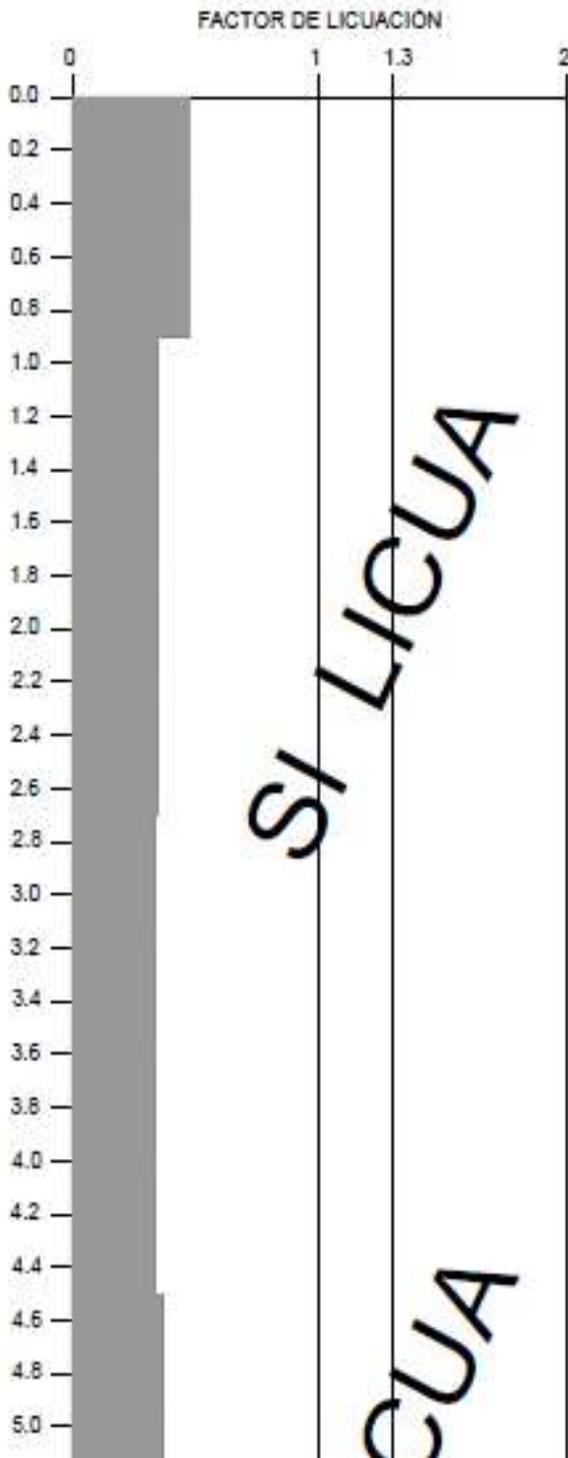
En la gráfica 14 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad de 10.80 m lo cual se interpreta que el material de relave es totalmente licuable considerando que nivel freático está en la superficie del terreno.

Tabla 132. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenara (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 02 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
0.45	74.04	ML	4	7.65	12.084	7.5	0.276	0.132	0.48	SI LICUA
0.90	74.04	ML	4	15.30	11.676	7.5	0.275	0.128	0.47	SI LICUA
1.35	82.19	ML	2	22.95	8.157	7.5	0.274	0.097	0.36	SI LICUA
1.80	82.19	ML	2	30.60	7.994	7.5	0.273	0.096	0.35	SI LICUA
2.25	82.19	ML	2	38.25	7.847	7.5	0.272	0.095	0.35	SI LICUA
2.70	82.19	ML	2	45.89	7.714	7.5	0.271	0.094	0.35	SI LICUA
3.15	82.19	ML	2	53.54	7.593	7.5	0.270	0.093	0.34	SI LICUA
3.60	82.19	ML	2	61.19	7.482	7.5	0.269	0.092	0.34	SI LICUA
4.05	82.19	ML	2	68.84	7.380	7.5	0.268	0.091	0.34	SI LICUA
4.50	82.19	ML	2	76.49	7.286	7.5	0.267	0.090	0.34	SI LICUA
4.95	82.19	ML	3	80.65	8.358	7.5	0.271	0.099	0.37	SI LICUA
5.40	82.19	ML	3	87.98	8.238	7.5	0.270	0.098	0.36	SI LICUA
5.85	82.19	ML	2	95.31	7.084	7.5	0.269	0.088	0.33	SI LICUA
6.30	82.19	ML	3	102.64	8.022	7.5	0.268	0.096	0.36	SI LICUA
6.75	82.19	ML	4	109.97	8.900	7.5	0.267	0.104	0.39	SI LICUA
7.20	82.19	ML	6	117.31	10.668	7.5	0.266	0.119	0.45	SI LICUA
7.65	82.19	ML	7	124.64	11.412	7.5	0.265	0.126	0.48	SI LICUA
8.10	82.19	ML	6	131.97	10.335	7.5	0.264	0.116	0.44	SI LICUA
8.55	82.19	ML	6	139.30	10.183	7.5	0.263	0.115	0.44	SI LICUA
9.00	82.19	ML	5	146.63	9.199	7.5	0.262	0.106	0.41	SI LICUA
9.45	82.19	ML	9	153.96	12.355	7.5	0.259	0.134	0.52	SI LICUA
9.90	82.19	ML	8	161.29	11.366	7.5	0.256	0.125	0.49	SI LICUA
10.35	82.19	ML	12	168.63	14.304	7.5	0.252	0.153	0.61	SI LICUA
10.80	82.19	ML	14	175.96	15.584	7.5	0.249	0.166	0.67	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-02



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 14.

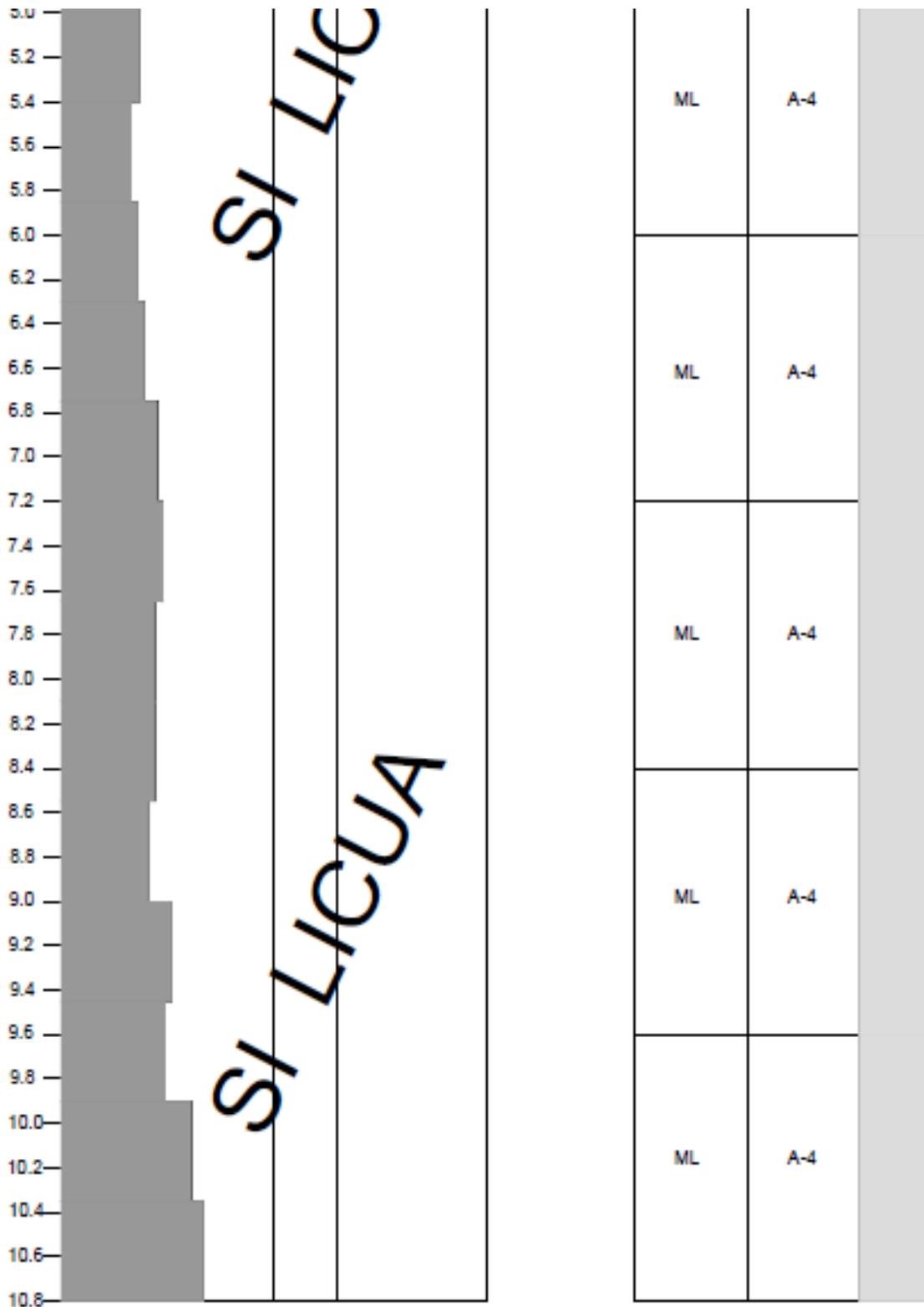


Gráfico 14. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 02, considerando NF +0.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°3

En la tabla 133 muestra la relación de resistencia cíclica se obtiene bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 1.05 m - 7.80 m con valores por debajo de 5 golpes, esto se interpreta que el material de relave está en condición muy suelto.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto fue debido a que existe más presión mediante va aumentado la altura de análisis (altura máx.=7.80mtr), otro factor que aumentó la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

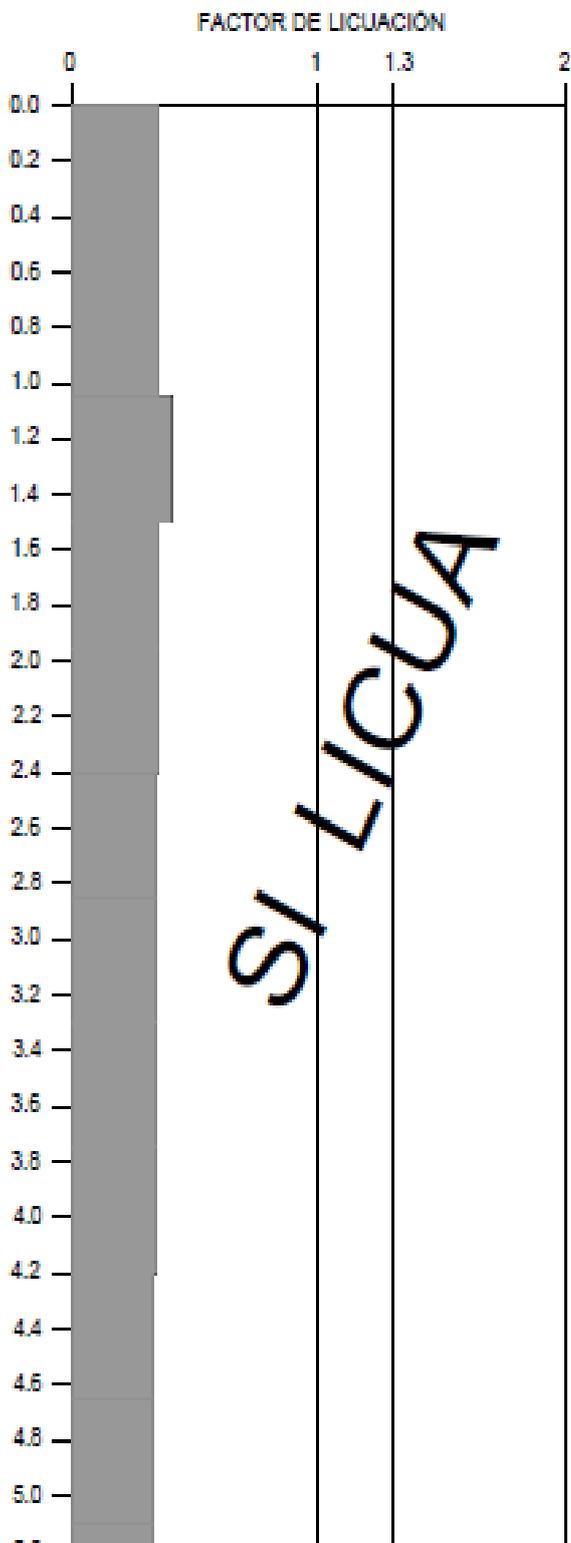
En la gráfica 15 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad de 7.80 m lo cual se interpreta que el material de relave es totalmente licuable considerando que nivel freático está en la superficie del terreno.

Tabla 133. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 03 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	73.49	ML	2	17.530	8.283	7.5	0.276	0.098	0.356	SI LICUA
1.50	73.49	ML	3	25.043	9.665	7.5	0.275	0.110	0.400	SI LICUA
1.95	73.49	ML	2	32.556	7.955	7.5	0.274	0.096	0.348	SI LICUA
2.40	73.49	ML	2	40.069	7.814	7.5	0.274	0.094	0.345	SI LICUA
2.85	73.49	ML	2	47.582	7.686	7.5	0.273	0.093	0.342	SI LICUA
3.30	73.49	ML	2	55.095	7.569	7.5	0.272	0.092	0.340	SI LICUA
3.75	73.49	ML	2	62.573	7.463	7.5	0.271	0.091	0.338	SI LICUA
4.20	73.49	ML	2	70.081	7.364	7.5	0.270	0.091	0.336	SI LICUA
4.65	73.49	ML	2	77.590	7.273	7.5	0.269	0.090	0.334	SI LICUA
5.10	73.49	ML	2	85.099	7.189	7.5	0.268	0.089	0.333	SI LICUA
5.55	73.49	ML	2	92.607	7.111	7.5	0.267	0.089	0.332	SI LICUA
6.00	73.49	ML	3	100.116	8.058	7.5	0.266	0.096	0.363	SI LICUA
6.45	73.49	ML	3	107.625	7.956	7.5	0.265	0.096	0.361	SI LICUA
6.90	73.49	ML	2	115.133	6.907	7.5	0.264	0.087	0.329	SI LICUA
7.35	73.49	ML	2	122.713	6.847	7.5	0.263	0.086	0.329	SI LICUA
7.80	73.49	ML	3	130.226	7.686	7.5	0.262	0.093	0.356	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP

SPT-03



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 15.

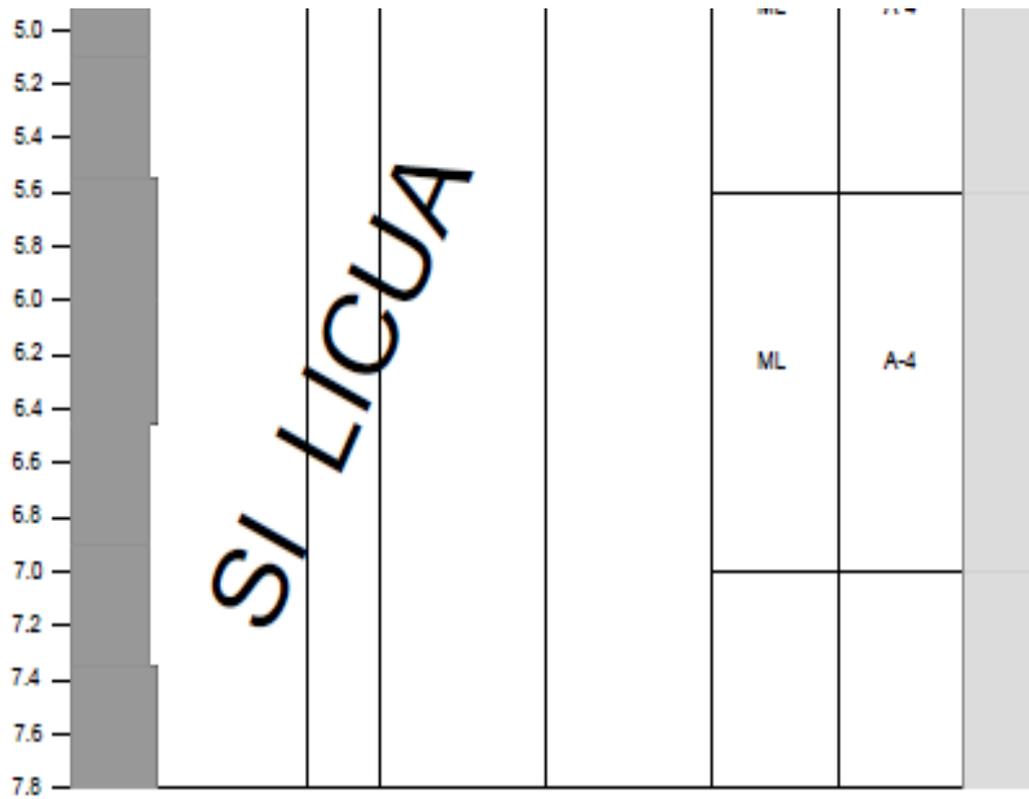


Gráfico 15. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 03, considerando NF +0.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°4

En la tabla 134 muestra la relación de resistencia cíclica se obtuvo bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 1.05 m – 10.05m con valores por debajo de 10 golpes, esto se interpreta que el material de relave está muy suelto.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto fue debido a que existe más presión mediante va aumentado la altura de análisis (altura máx.=10.05 m), otro factor que aumentó la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

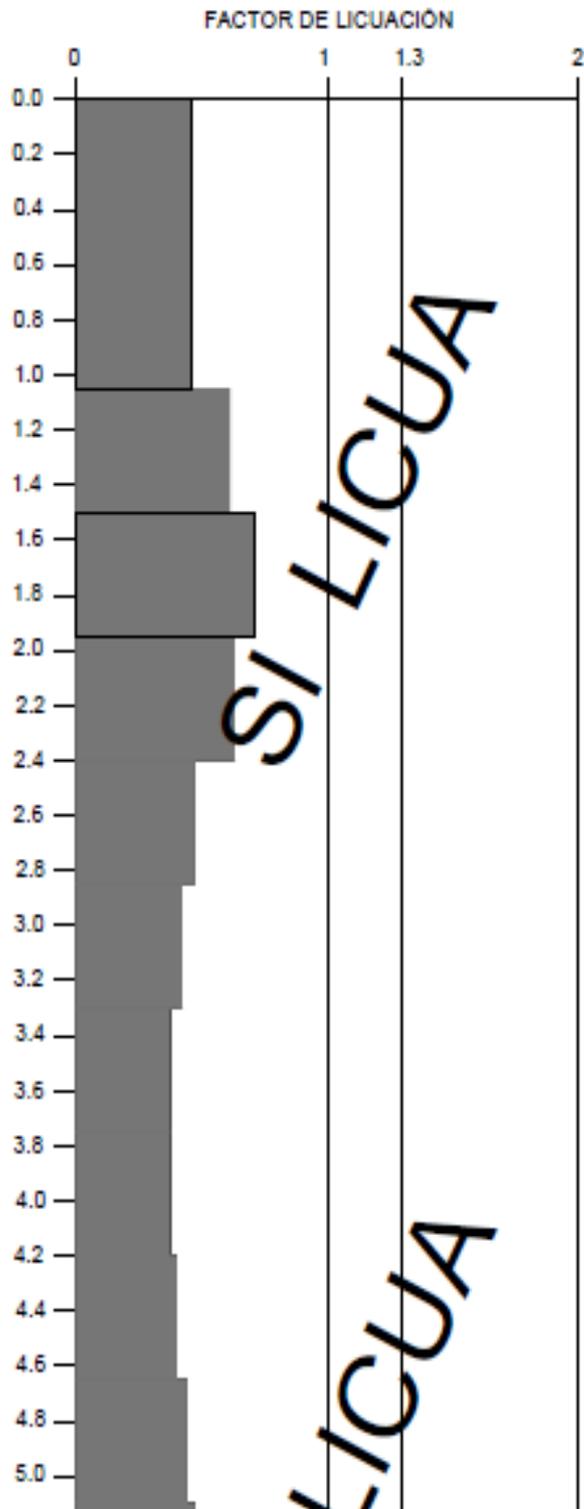
En la gráfica 16 muestra que el material de relave tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad de 10.05 m lo cual se interpreta que el material de relave es totalmente licuable considerando que nivel freático está en la superficie del terreno.

Tabla 134. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 04 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	67.81	ML	4.0	17.205	11.582	7.5	0.278	0.127	0.46	SI LICUA
1.50	67.81	ML	7.0	24.579	15.921	7.5	0.277	0.169	0.61	SI LICUA
1.95	67.81	ML	9.0	31.953	18.350	7.5	0.276	0.196	0.71	SI LICUA
2.40	67.81	ML	8.0	39.326	16.309	7.5	0.275	0.173	0.63	SI LICUA
2.85	67.81	ML	5.0	46.700	11.751	7.5	0.274	0.129	0.47	SI LICUA
3.30	67.81	ML	4.0	54.074	10.169	7.5	0.273	0.115	0.42	SI LICUA
3.75	67.81	ML	3.0	61.448	8.717	7.5	0.273	0.102	0.37	SI LICUA
4.20	67.81	ML	3.0	68.821	8.570	7.5	0.272	0.101	0.37	SI LICUA
4.65	67.81	ML	4.0	76.195	9.580	7.5	0.271	0.109	0.40	SI LICUA
5.10	67.81	ML	5.0	83.569	10.515	7.5	0.270	0.118	0.44	SI LICUA
5.55	67.81	ML	6.0	90.942	11.384	7.5	0.269	0.126	0.47	SI LICUA
6.00	67.81	ML	6.0	98.316	11.166	7.5	0.268	0.124	0.46	SI LICUA
6.45	67.81	ML	7.0	105.690	11.956	7.5	0.267	0.131	0.49	SI LICUA
6.90	67.81	ML	6.0	113.063	10.772	7.5	0.266	0.120	0.45	SI LICUA
7.35	67.81	ML	8.0	120.437	12.458	7.5	0.265	0.135	0.51	SI LICUA
7.80	67.81	ML	8.0	127.811	12.234	7.5	0.264	0.133	0.51	SI LICUA
8.25	67.81	ML	8.0	135.185	12.023	7.5	0.263	0.131	0.50	SI LICUA
8.70	67.81	ML	9.0	142.558	12.677	7.5	0.262	0.137	0.52	SI LICUA
9.15	67.81	ML	9.0	149.932	12.465	7.5	0.261	0.136	0.52	SI LICUA
9.60	67.81	ML	9.0	157.306	12.265	7.5	0.257	0.134	0.52	SI LICUA
10.05	67.81	ML	9.0	164.679	12.076	7.5	0.254	0.132	0.52	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-04



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 16.

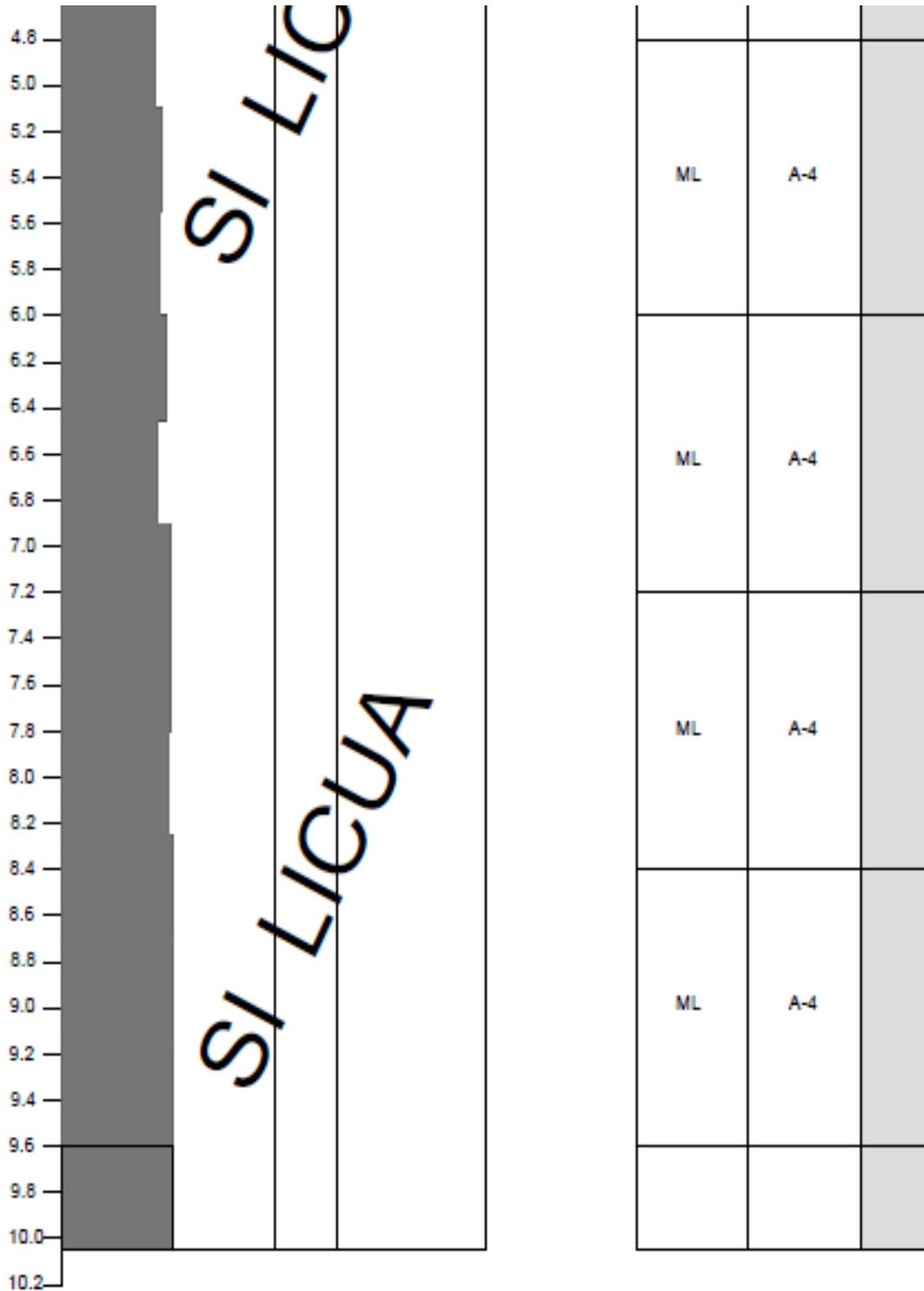


Gráfico 16. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 04, considerando NF +0.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°5

En la tabla 135 muestra la relación de resistencia cíclica se obtuvo bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 1.05 m - 8.25 m con valores por debajo de 10 golpes, esto refleja que el material de relave está muy suelto; se continúa con el tramo 8.70m - 10.05m donde el valor de N va aumentando progresivamente hasta llegar a los 55 golpes, lo cual se interpreta que a esta profundidad el material de relave está más denso y esto significa que no fallará por licuación.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto fue debido a que existe más presión mediante va aumentado la altura de análisis (altura máx. 10.05 m), otro factor que aumentó la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

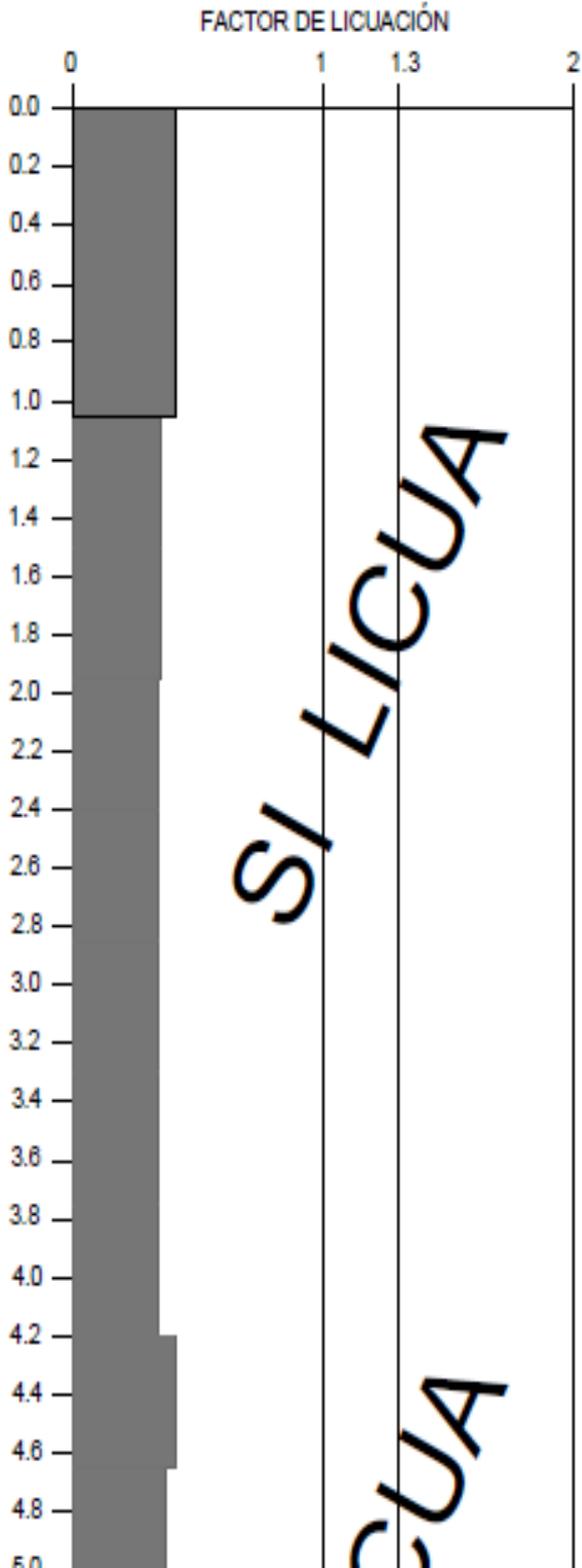
En la gráfica 17 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad de 9.15 m lo cual se interpreta que el material de relave si licua considerando que nivel freático está en la superficie del terreno, por otro lado en la nivel 9.60 m se obtuvo un factor de 1.60 lo cual supera el ratio admisible, lo cual se interpreta que a esa profundidad el material de relave ya no fallará por licuación, asimismo en el nivel 10.05m se obtuvo un factor de 1.10 lo cual según la metodología de evaluación del potencial de licuación establecido por Seed and Idriss se interpreta que el material de relave va a tener la posibilidad de fallar por licuación.

Tabla 135. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 05 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	94.08	ML	3.0	17.392	9.930	7.5	0.277	0.112	0.41	SI LICUA
1.50	94.08	ML	2.0	24.845	8.115	7.5	0.276	0.097	0.35	SI LICUA
1.95	94.08	ML	2.0	32.299	7.960	7.5	0.275	0.096	0.35	SI LICUA
2.40	94.08	ML	2.0	39.753	7.820	7.5	0.274	0.094	0.34	SI LICUA
2.85	94.08	ML	2.0	47.206	7.692	7.5	0.273	0.093	0.34	SI LICUA
3.30	94.08	ML	2.0	54.660	7.576	7.5	0.272	0.092	0.34	SI LICUA
3.75	94.08	ML	2.0	62.114	7.469	7.5	0.271	0.092	0.34	SI LICUA
4.20	94.08	ML	2.0	69.567	7.371	7.5	0.270	0.091	0.34	SI LICUA
4.65	94.08	ML	4.0	77.021	9.560	7.5	0.270	0.109	0.41	SI LICUA
5.10	94.08	ML	3.0	85.086	8.284	7.5	0.268	0.098	0.37	SI LICUA
5.55	94.08	ML	4.0	92.594	9.223	7.5	0.267	0.106	0.40	SI LICUA
6.00	94.08	ML	4.0	100.102	9.077	7.5	0.266	0.105	0.40	SI LICUA
6.45	94.08	ML	5.0	107.609	9.926	7.5	0.265	0.112	0.42	SI LICUA
6.90	94.08	ML	6.0	115.117	10.721	7.5	0.264	0.120	0.45	SI LICUA
7.35	94.08	ML	6.0	122.624	10.542	7.5	0.263	0.118	0.45	SI LICUA
7.80	94.08	ML	8.0	130.132	12.166	7.5	0.262	0.133	0.51	SI LICUA
8.25	94.08	ML	9.0	137.640	12.825	7.5	0.261	0.139	0.53	SI LICUA
8.70	94.08	ML	14.0	145.147	16.824	7.5	0.260	0.179	0.69	SI LICUA
9.15	94.08	ML	19.0	152.655	20.602	7.5	0.259	0.223	0.86	SI LICUA
9.60	94.08	ML	30.0	160.163	28.968	7.5	0.256	0.409	1.60	NO LICUA
10.05	94.08	ML	55.0	167.670	47.786	7.5	0.252	0.277	1.10	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-05



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 17.

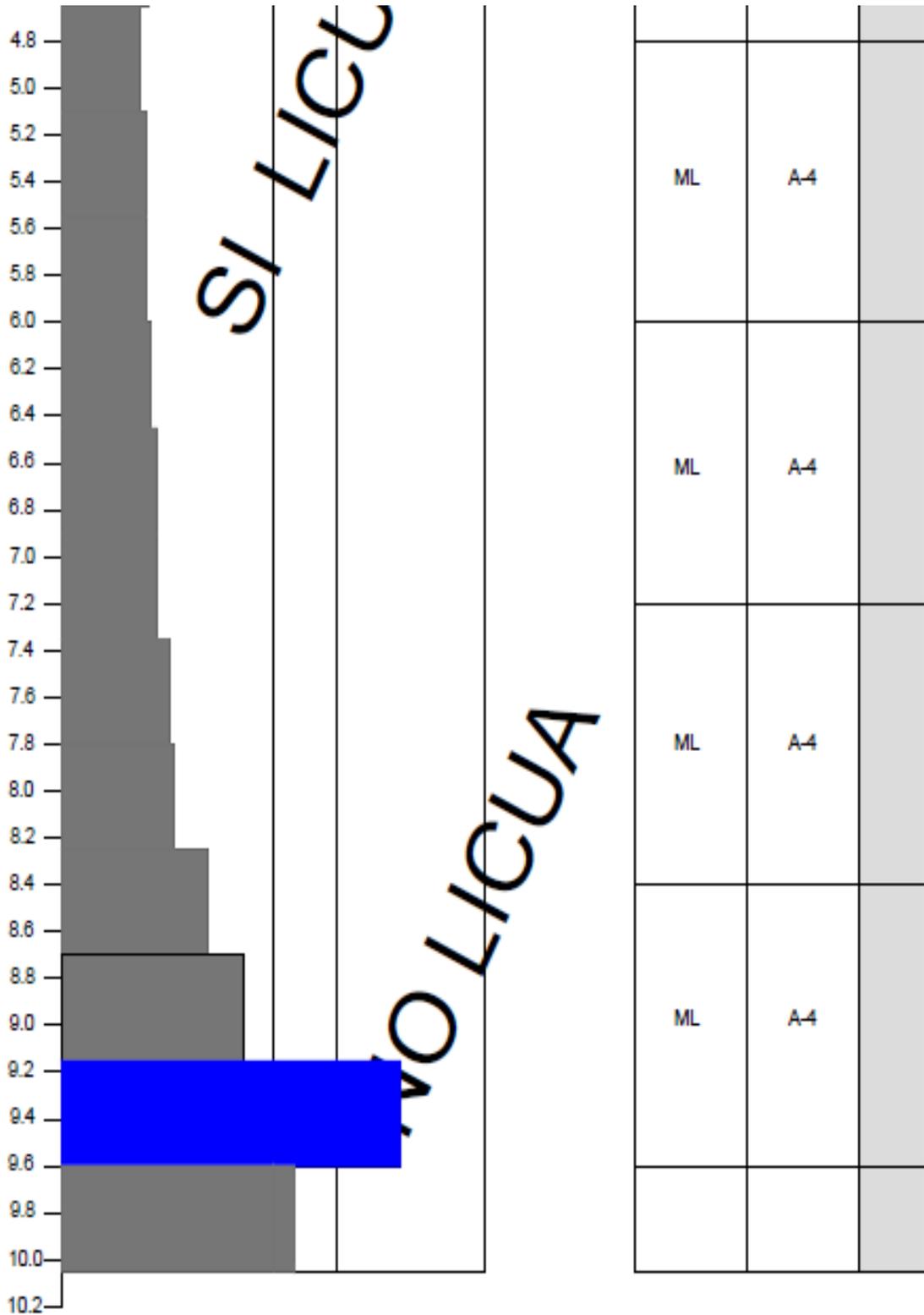


Gráfico 17. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 05, considerando NF +0.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°6

En la tabla 136 muestra la relación de resistencia cíclica se obtuvo bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 0.45 m - 4.50 m con valores por debajo de 10 golpes esto refleja que el material de relave está muy suelto, se continúa con el tramo 4.50m - 4.95m donde el valor de N aumenta hasta llegar a los 13 golpes, lo cual se interpreta que a esta profundidad el material de relave está un poco más denso, aun así fallaría por licuación.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto fue debido a que existe más presión mediante el aumento de la altura de análisis (altura máx.=4.95m), otro factor que aumentó la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

En la gráfica 18 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1 hasta una profundidad de 4.95m, lo cual se interpreta que el material de relave si licua considerando que el nivel freático está en la superficie del terreno.

Tabla 136. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 06 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0.00										
0.45	76.280	ML	2.00	7.453	8.547	7.5	0.278	0.101	0.361	SI LICUA
0.90	76.280	ML	2.00	14.905	8.348	7.5	0.278	0.099	0.356	SI LICUA
1.35	85.950	ML	11.00	22.665	22.396	7.5	0.275	0.248	0.900	SI LICUA
1.80	85.950	ML	9.00	30.221	18.506	7.5	0.274	0.198	0.720	SI LICUA
2.25	85.950	ML	7.00	37.776	14.994	7.5	0.273	0.160	0.586	SI LICUA
2.70	85.950	ML	4.00	45.331	10.446	7.5	0.272	0.117	0.430	SI LICUA
3.15	85.950	ML	4.00	52.886	10.205	7.5	0.271	0.115	0.424	SI LICUA
3.60	85.950	ML	4.00	60.441	9.985	7.5	0.270	0.113	0.418	SI LICUA
4.05	85.950	ML	4.00	67.996	9.782	7.5	0.269	0.111	0.413	SI LICUA
4.50	85.950	ML	5.00	75.551	10.744	7.5	0.268	0.120	0.446	SI LICUA
4.95	85.950	ML	13.00	83.107	19.372	7.5	0.268	0.208	0.777	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-06

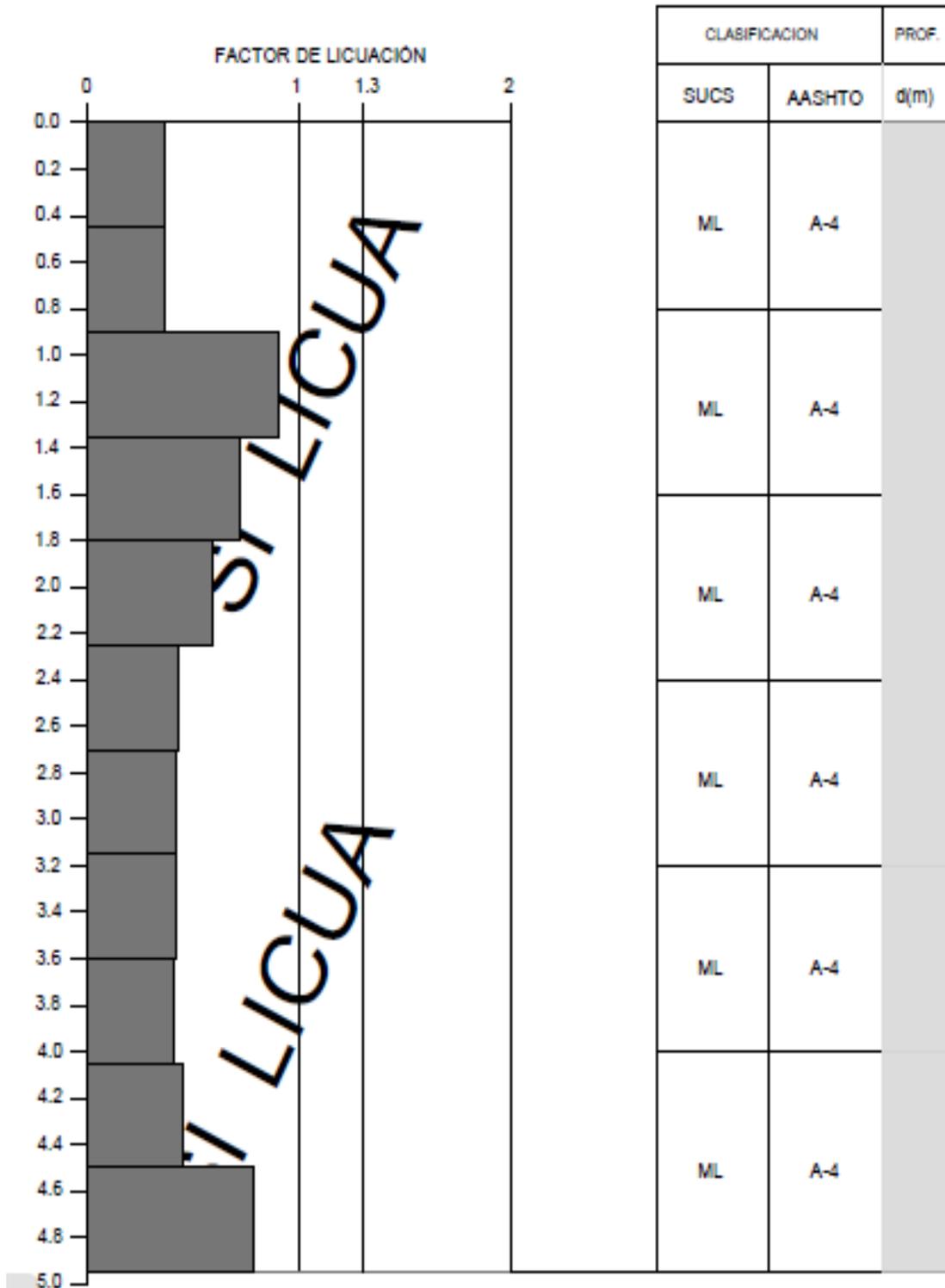


Gráfico 18. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 06, considerando NF +0.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

CASO II:

Los cuadros siguientes muestran los resultados de los factores de seguridad frente a la licuación obtenidos para una condición drenado (NF= -2.00m):

SPT N°1

Haciendo un comparativo entre el análisis no drenado y el análisis drenado, la relación de resistencia cíclica varía un poco pero la tensión cíclica disminuye, ya que nosotros estamos reduciendo el N.F.

En la tabla 137 muestra la relación de resistencia cíclica se observa que en el tramo de 0.45 m - 0.90 m estuvo por debajo de 10 golpes, esto refleja que el material está muy suelto; en el nivel de 1.35 el material aumento el N, en el tramo 1.80m - 4.95m estuvo por debajo de 10 golpes, en el tramo 5.40m - 5.85m la resistencia que se mide en golpes tuvo un incremento considerable llegando así a los 56 golpes, lo cual se interpreta que en la altura material está más denso y en este caso no falló por licuación.

La relación de tensión cíclica se obtuvo una disminución ya que al reducir el nivel freático disminuyó la presión de poro y por ende la presión del agua, es decir hasta un nivel freático de -2.00 m el esfuerzo normal será igual al esfuerzo efectivo, otro factor que aumenta la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

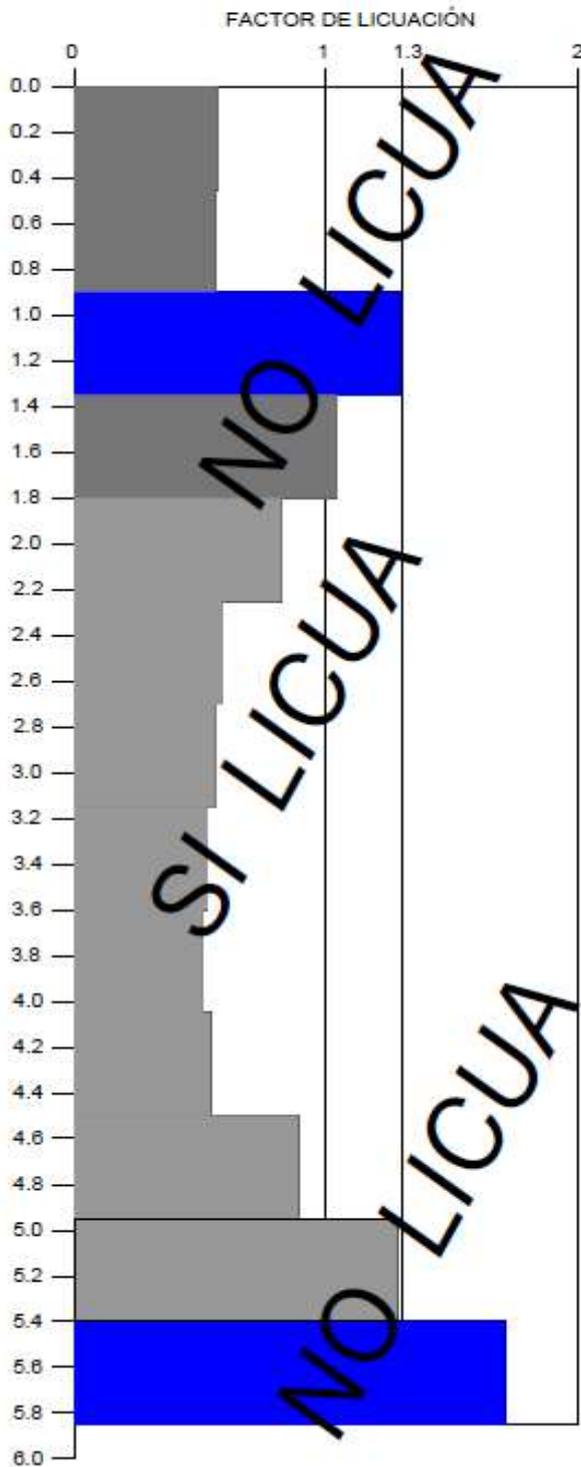
En la gráfica 19 muestra que el material tiene factor de licuación menor a 1.3 en los tramos 0.45m - 0.90 m, 1.80m - 4.95m, donde tuvo mucha importancia la disminución del N.F. lo cual significa que aumento el factor de licuación; por otro lado en el nivel 5.45m - 5.85m se obtuvo un factor de 1.3 y 1.71 respectivamente, lo cual supera el ratio admisible, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave ya no fallará por licuación.

Tabla 137. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 01 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0.00										
0.45	76.28	ML	2	12.36	8.50	7.5	0.175	0.100	0.57	SI LICUA
0.90	76.28	ML	2	24.71	8.12	7.5	0.174	0.097	0.56	SI LICUA
1.35	85.95	ML	11	37.07	20.78	7.5	0.174	0.225	1.30	NO LICUA
1.80	85.95	ML	9	49.42	16.96	7.5	0.173	0.180	1.04	SI LICUA
2.25	85.95	ML	7	59.32	13.78	7.5	0.180	0.148	0.82	SI LICUA
2.70	85.95	ML	4	66.01	9.83	7.5	0.190	0.112	0.59	SI LICUA
3.15	85.95	ML	4	73.75	9.64	7.5	0.197	0.110	0.56	SI LICUA
3.60	85.95	ML	4	81.48	9.46	7.5	0.204	0.108	0.53	SI LICUA
4.05	85.95	ML	4	89.21	9.29	7.5	0.208	0.107	0.51	SI LICUA
4.50	85.95	ML	5	96.94	10.17	7.5	0.212	0.115	0.54	SI LICUA
4.95	85.95	ML	13	104.67	17.98	7.5	0.216	0.192	0.89	SI LICUA
5.40	85.95	ML	20	112.41	24.29	7.5	0.218	0.279	1.3	NO LICUA
5.85	85.95	ML	56	120.14	57.27	7.5	0.220	0.376	1.71	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-01



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Gráfico 19. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 01, considerando NF -2.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°2

Haciendo un comparativo entre el análisis no drenado y el análisis drenado, la relación de resistencia cíclica varía un poco pero la tensión cíclica disminuye, ya que nosotros estamos reduciendo el N.F.

En la tabla 138 muestra la relación de resistencia cíclica se observa que en el tramo de 0.45 m - 9.90 m estuvo por debajo de 10 golpes, esto refleja que el material de relave está muy suelto; en el nivel de 1.35 el material de relave aumento el N, en el tramo 1.80m - 4.95m también se obtuvo un bajo número de golpes, continuando en el tramo 10.35m - 10.80m aumento relativamente pero esto se interpreta que el material de relave está muy suelto.

La relación de tensión cíclica se obtuvo una disminución ya que al reducir el nivel freático disminuyó la presión de poro y por ende la presión del agua, es decir hasta un nivel freático de -2.00 m. el esfuerzo normal será igual al esfuerzo efectivo, otro factor que aumenta la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

En la gráfica 20 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad 10.35m, donde tuvo mucha importancia la disminución del N.F. lo cual significa que aumento el factor de licuación, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave si fallará por licuación

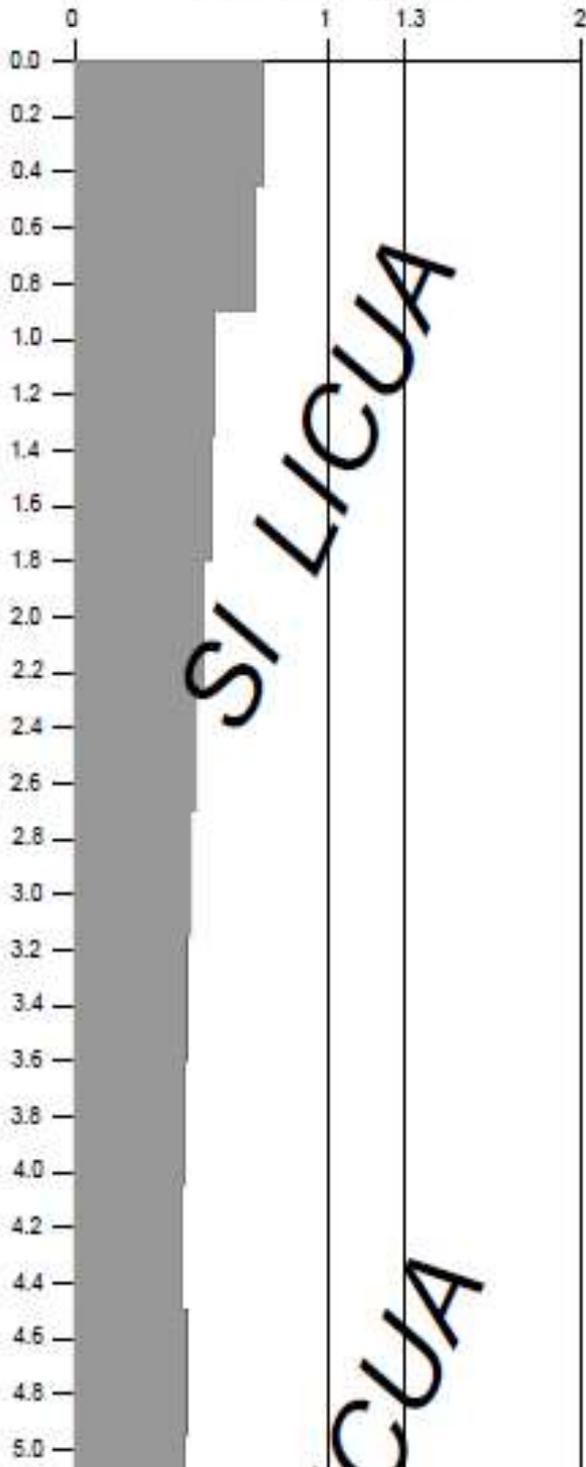
Tabla 138. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 02 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
0.45	74.04	ML	4	12.06	11.84	7.5	0.175	0.130	0.74	SI LICUA
0.90	74.04	ML	4	24.13	11.26	7.5	0.174	0.124	0.71	SI LICUA
1.35	82.19	ML	2	36.19	7.88	7.5	0.174	0.095	0.55	SI LICUA
1.80	82.19	ML	2	48.25	7.68	7.5	0.173	0.093	0.54	SI LICUA
2.25	82.19	ML	2	57.87	7.53	7.5	0.180	0.092	0.51	SI LICUA
2.70	82.19	ML	2	65.51	7.42	7.5	0.190	0.091	0.48	SI LICUA
3.15	82.19	ML	2	73.16	7.33	7.5	0.198	0.090	0.46	SI LICUA
3.60	82.19	ML	2	80.81	7.24	7.5	0.204	0.090	0.44	SI LICUA
4.05	82.19	ML	2	88.46	7.15	7.5	0.209	0.089	0.43	SI LICUA
4.50	82.19	ML	2	96.11	7.08	7.5	0.213	0.088	0.42	SI LICUA
4.95	82.19	ML	3	100.27	8.06	7.5	0.218	0.096	0.44	SI LICUA
5.40	82.19	ML	3	107.60	7.96	7.5	0.220	0.096	0.43	SI LICUA
5.85	82.19	ML	2	114.93	6.91	7.5	0.223	0.087	0.39	SI LICUA
6.30	82.19	ML	3	122.26	7.78	7.5	0.225	0.094	0.42	SI LICUA
6.75	82.19	ML	4	129.59	8.59	7.5	0.226	0.101	0.45	SI LICUA
7.20	82.19	ML	6	136.93	10.23	7.5	0.228	0.115	0.51	SI LICUA
7.65	82.19	ML	7	144.26	10.93	7.5	0.229	0.121	0.53	SI LICUA
8.10	82.19	ML	6	151.59	9.95	7.5	0.230	0.113	0.49	SI LICUA
8.55	82.19	ML	6	158.92	9.82	7.5	0.230	0.111	0.48	SI LICUA
9.00	82.19	ML	5	166.25	8.91	7.5	0.231	0.104	0.45	SI LICUA
9.45	82.19	ML	9	173.58	11.86	7.5	0.230	0.130	0.57	SI LICUA
9.90	82.19	ML	8	180.91	10.95	7.5	0.228	0.122	0.53	SI LICUA
10.35	82.19	ML	12	188.25	13.71	7.5	0.226	0.147	0.65	SI LICUA
10.80	82.19	ML	14	195.58	14.92	7.5	0.224	0.159	0.71	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-02

FACTOR DE LICUACIÓN



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 20.

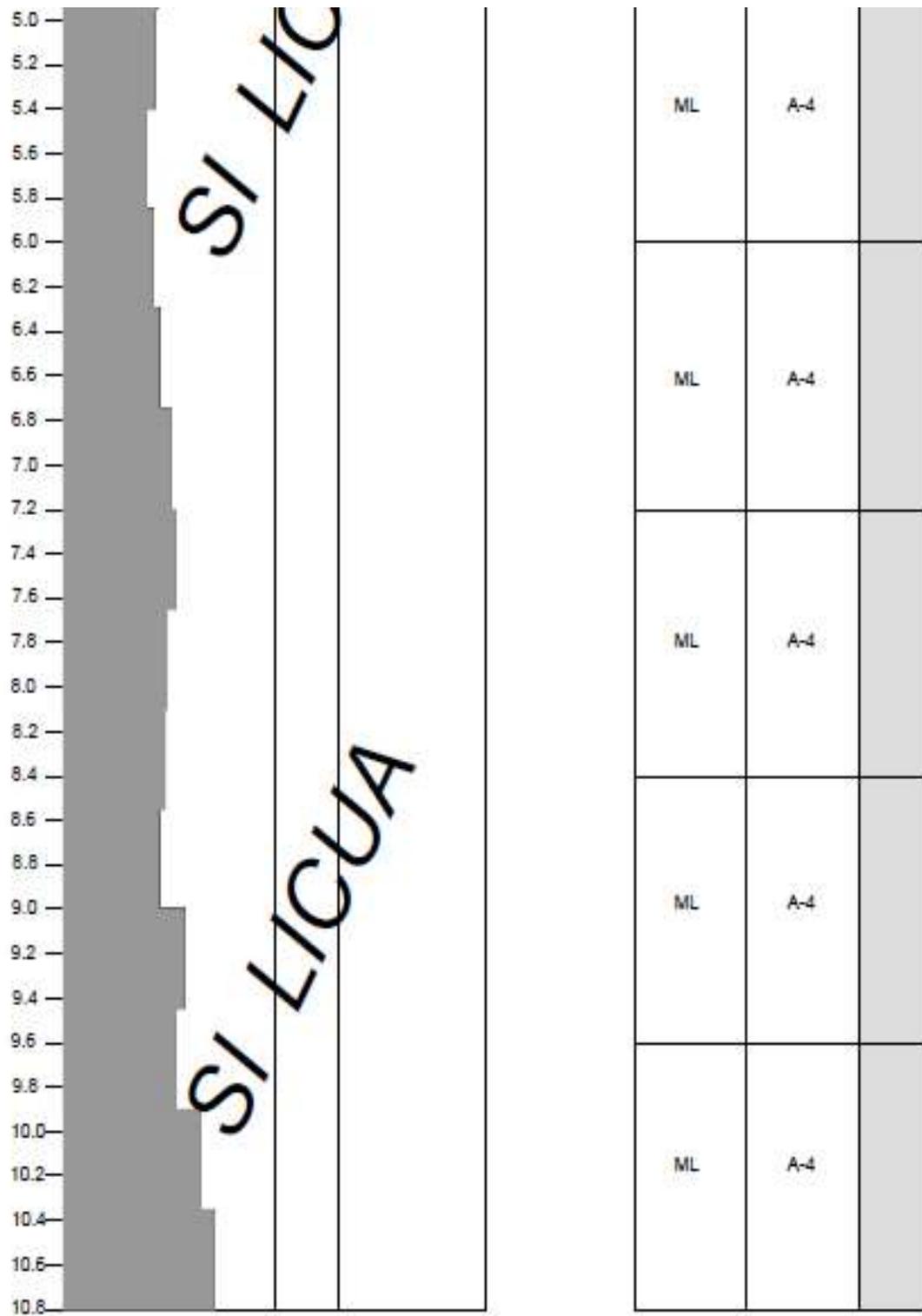


Gráfico 20. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 02, considerando NF -2.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°3

Haciendo un comparativo entre el análisis no drenado y el análisis drenado, la relación de resistencia cíclica varía un poco pero la tensión cíclica disminuye, ya que nosotros estamos reduciendo el N.F.

En la tabla 139 muestra la relación de resistencia cíclica se observa que en el tramo de 1.05 m - 7.80 m estuvo por debajo de 10 golpes esto refleja que el material de relave está muy suelto.

La relación de tensión cíclica se obtuvo una disminución ya que al reducir el nivel freático disminuyó la presión de poro y por ende la presión del agua, es decir hasta un nivel freático de -2.00 m el esfuerzo normal será igual al esfuerzo efectivo, otro factor que aumenta la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

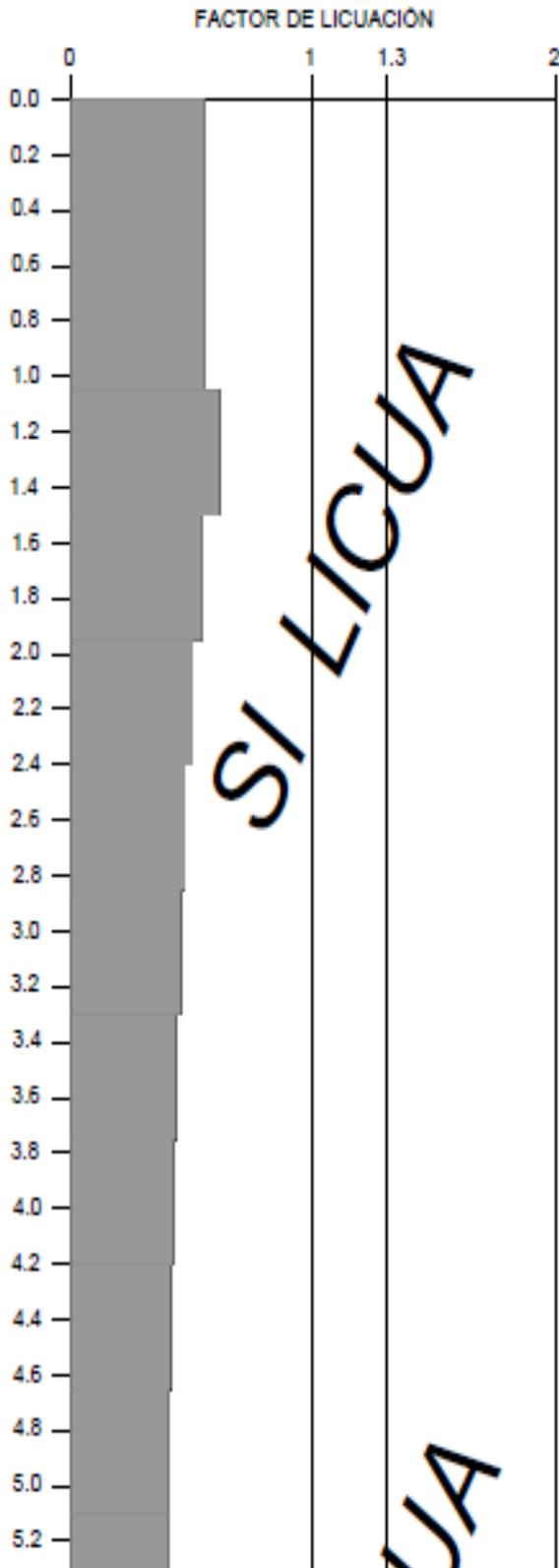
En la gráfica 21 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad 7.80m, donde tuvo mucha importancia la disminución del N.F. lo cual significa que aumentó el factor de licuación, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave si fallará por licuación.

Tabla 139. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 03 para una aceleración de 0.27g.

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ'_v (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	73.49	ML	2	27.831	8.05	7.5	0.174	0.096	0.55	SI LICUA
1.50	73.49	ML	3	39.758	9.23	7.5	0.173	0.106	0.61	SI LICUA
1.95	73.49	ML	2	51.686	7.62	7.5	0.173	0.093	0.54	SI LICUA
2.40	73.49	ML	2	59.689	7.50	7.5	0.184	0.092	0.50	SI LICUA
2.85	73.49	ML	2	67.202	7.40	7.5	0.193	0.091	0.47	SI LICUA
3.30	73.49	ML	2	74.715	7.31	7.5	0.200	0.090	0.45	SI LICUA
3.75	73.49	ML	2	82.193	7.22	7.5	0.206	0.089	0.43	SI LICUA
4.20	73.49	ML	2	89.701	7.14	7.5	0.211	0.089	0.42	SI LICUA
4.65	73.49	ML	2	97.210	7.07	7.5	0.215	0.088	0.41	SI LICUA
5.10	73.49	ML	2	104.719	7.00	7.5	0.218	0.088	0.40	SI LICUA
5.55	73.49	ML	2	112.227	6.93	7.5	0.220	0.087	0.40	SI LICUA
6.00	73.49	ML	3	119.736	7.80	7.5	0.222	0.094	0.42	SI LICUA
6.45	73.49	ML	3	127.245	7.72	7.5	0.224	0.094	0.42	SI LICUA
6.90	73.49	ML	2	134.753	6.76	7.5	0.226	0.086	0.38	SI LICUA
7.35	73.49	ML	2	142.333	6.71	7.5	0.227	0.085	0.38	SI LICUA
7.80	73.49	ML	3	149.846	7.49	7.5	0.228	0.092	0.40	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-03



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 21.

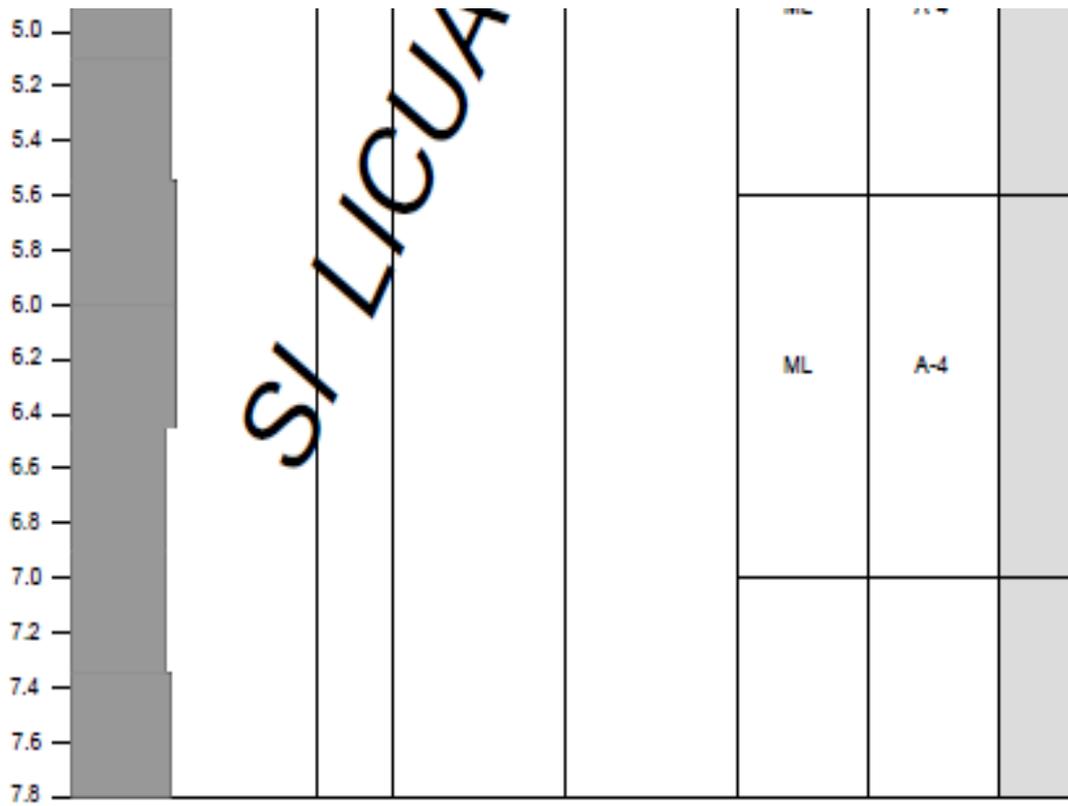


Gráfico 21. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 03, considerando NF -2.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°4

Haciendo un comparativo entre el análisis no drenado y el análisis drenado, la relación de resistencia cíclica varía un poco pero la tensión cíclica disminuye, ya que nosotros estamos reduciendo el N.F.

En la tabla 140 muestra la relación de resistencia cíclica se observa que en el tramo de 0.45 m - 10.05 m estuvo por debajo de 10 golpes, esto refleja que el material de relave está muy suelto.

La relación de tensión cíclica se obtuvo una disminución ya que al reducir el nivel freático disminuyó la presión de poro y por ende la presión del agua, es decir hasta un nivel freático de -2.00 m. el esfuerzo normal será igual al esfuerzo efectivo, otro factor que aumenta la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

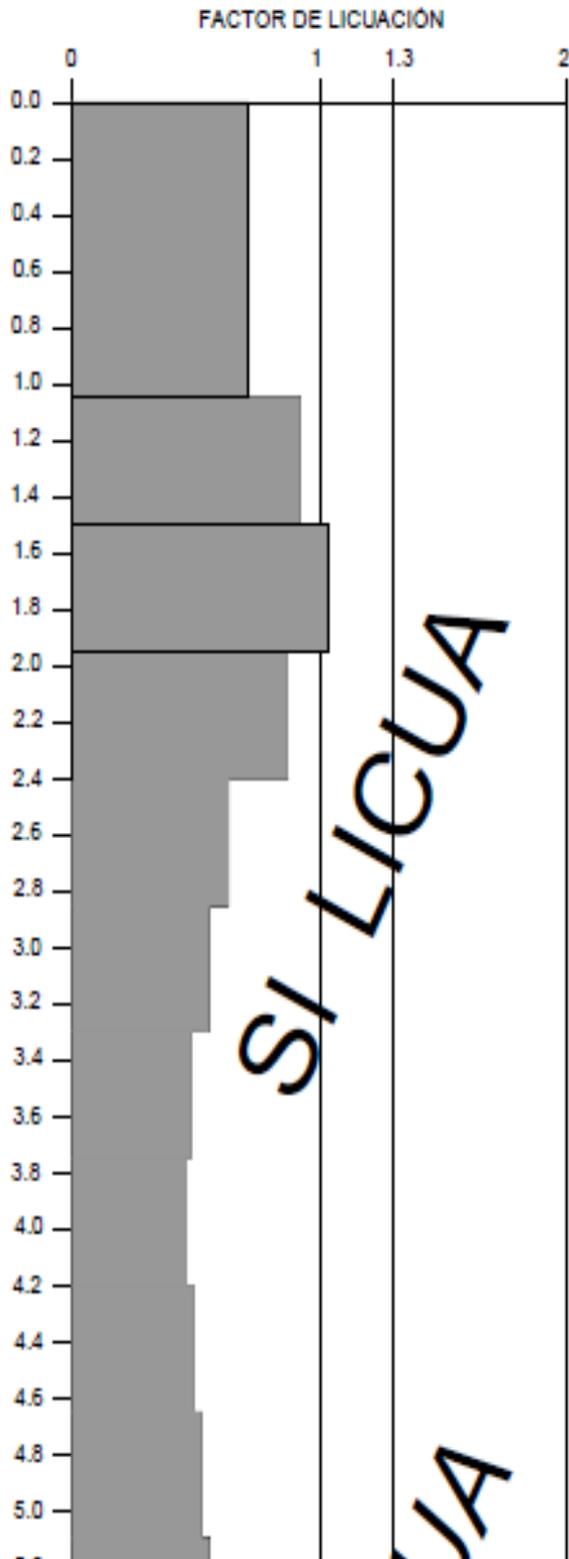
En la gráfica 22 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 hasta una profundidad 10.05 m, donde tuvo mucha importancia la disminución del N.F. lo cual significa que ayudó a aumentar el factor de licuación, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave si fallará por licuación.

Tabla 140. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 04 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ'_v (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	67.81	ML	4	27.506	11.12	7.5	0.174	0.123	0.71	SI LICUA
1.50	67.81	ML	7	39.294	14.90	7.5	0.173	0.159	0.92	SI LICUA
1.95	67.81	ML	9	51.082	16.84	7.5	0.173	0.179	1.04	NO LICUA
2.40	67.81	ML	8	58.946	15.05	7.5	0.184	0.161	0.87	SI LICUA
2.85	67.81	ML	5	66.320	11.03	7.5	0.193	0.122	0.63	SI LICUA
3.30	67.81	ML	4	73.694	9.64	7.5	0.201	0.110	0.55	SI LICUA
3.75	67.81	ML	3	81.068	8.35	7.5	0.207	0.099	0.48	SI LICUA
4.20	67.81	ML	3	88.441	8.23	7.5	0.211	0.098	0.46	SI LICUA
4.65	67.81	ML	4	95.815	9.16	7.5	0.215	0.106	0.49	SI LICUA
5.10	67.81	ML	5	103.189	10.03	7.5	0.218	0.113	0.52	SI LICUA
5.55	67.81	ML	6	110.562	10.84	7.5	0.221	0.121	0.55	SI LICUA
6.00	67.81	ML	6	117.936	10.65	7.5	0.223	0.119	0.53	SI LICUA
6.45	67.81	ML	7	125.310	11.39	7.5	0.225	0.126	0.56	SI LICUA
6.90	67.81	ML	6	132.683	10.32	7.5	0.226	0.116	0.51	SI LICUA
7.35	67.81	ML	8	140.057	11.89	7.5	0.228	0.130	0.57	SI LICUA
7.80	67.81	ML	8	147.431	11.70	7.5	0.229	0.128	0.56	SI LICUA
8.25	67.81	ML	8	154.805	11.52	7.5	0.230	0.127	0.55	SI LICUA
8.70	67.81	ML	9	162.178	12.14	7.5	0.230	0.132	0.58	SI LICUA
9.15	67.81	ML	9	169.552	11.96	7.5	0.231	0.131	0.57	SI LICUA
9.60	67.81	ML	9	176.926	11.78	7.5	0.229	0.129	0.56	SI LICUA
10.05	67.81	ML	9	184.299	11.62	7.5	0.227	0.128	0.56	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP

SPT-04



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 22.

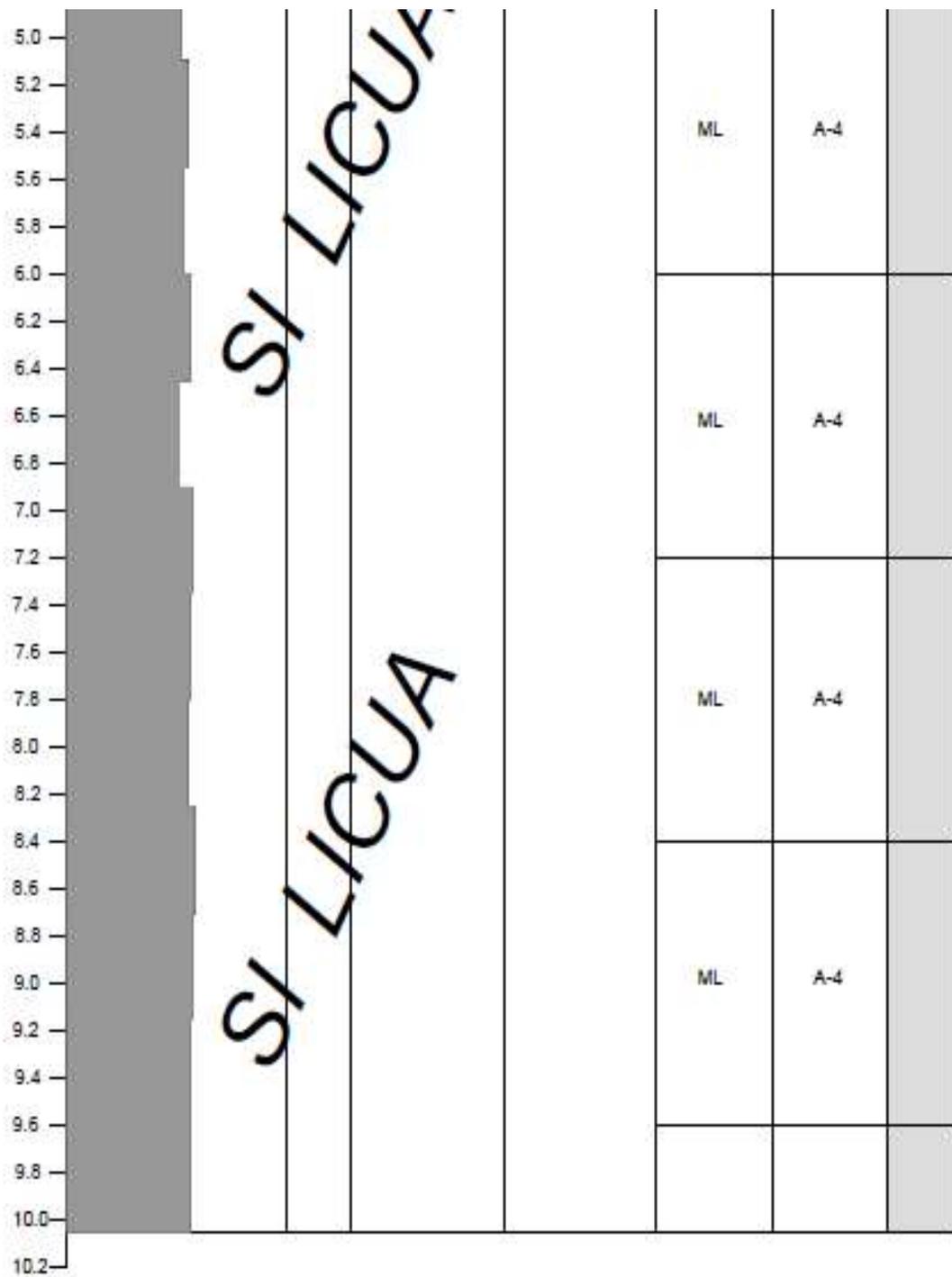


Gráfico 22. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 04, considerando NF -2.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°5

Haciendo un comparativo entre el análisis no drenado y el análisis drenado, la relación de resistencia cíclica varía un poco pero la tensión cíclica disminuye, ya que nosotros estamos reduciendo el N.F.

En la tabla 141 muestra la relación de resistencia cíclica se observa que en el tramo de 1.05 m - 8.25 m estuvo por debajo de 10 golpes, esto refleja que el material de relave está muy suelto; en el tramo 8.25m - 10.05m la resistencia tuvo un incremento considerable llegando así a los 55 golpes, lo cual se interpreta que en la altura material de relave está más denso y que el material de relave no falle por licuación.

La relación de tensión cíclica se obtuvo una disminución ya que al reducir el nivel freático disminuyó la presión de poro y por ende la presión del agua, es decir hasta un nivel freático de -2.00 m el esfuerzo normal será igual al esfuerzo efectivo, otro factor que aumenta la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

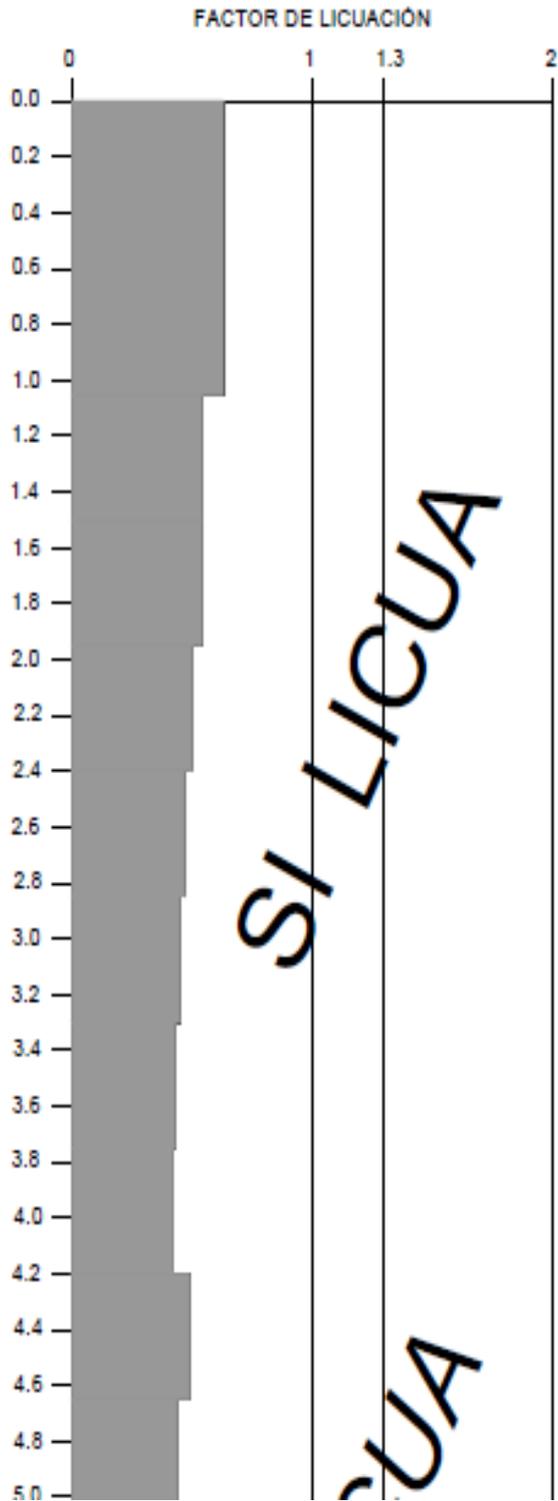
En la gráfica 23 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 en los tramos 1.05m - 9.60 m, 10.05m, donde tuvo mucha importancia la disminución del N.F. lo cual significa que ayudó a aumentar el factor de licuación; por otro lado en el nivel 9.60m se obtuvo un factor de 1.53, lo cual supera el ratio admisible, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave ya no fallará por licuación.

Tabla 141. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 05 para una aceleración de 0.27g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	94.08	ML	3.0	27.692	9.58	7.5	0.174	0.109	0.63	SI LICUA
1.50	94.08	ML	2.0	39.560	7.82	7.5	0.173	0.094	0.54	SI LICUA
1.95	94.08	ML	2.0	51.429	7.63	7.5	0.173	0.093	0.54	SI LICUA
2.40	94.08	ML	2.0	59.373	7.51	7.5	0.184	0.092	0.50	SI LICUA
2.85	94.08	ML	2.0	66.826	7.41	7.5	0.193	0.091	0.47	SI LICUA
3.30	94.08	ML	2.0	74.280	7.31	7.5	0.200	0.090	0.45	SI LICUA
3.75	94.08	ML	2.0	81.734	7.23	7.5	0.206	0.090	0.43	SI LICUA
4.20	94.08	ML	2.0	89.187	7.15	7.5	0.211	0.089	0.42	SI LICUA
4.65	94.08	ML	4.0	96.641	9.14	7.5	0.215	0.106	0.49	SI LICUA
5.10	94.08	ML	3.0	104.706	7.99	7.5	0.218	0.096	0.44	SI LICUA
5.55	94.08	ML	4.0	112.214	8.86	7.5	0.220	0.103	0.47	SI LICUA
6.00	94.08	ML	4.0	119.722	8.74	7.5	0.222	0.102	0.46	SI LICUA
6.45	94.08	ML	5.0	127.229	9.53	7.5	0.224	0.109	0.49	SI LICUA
6.90	94.08	ML	6.0	134.737	10.28	7.5	0.226	0.116	0.51	SI LICUA
7.35	94.08	ML	6.0	142.244	10.12	7.5	0.227	0.114	0.50	SI LICUA
7.80	94.08	ML	8.0	149.752	11.64	7.5	0.228	0.128	0.56	SI LICUA
8.25	94.08	ML	9.0	157.260	12.27	7.5	0.229	0.134	0.58	SI LICUA
8.70	94.08	ML	14.0	164.767	16.00	7.5	0.229	0.170	0.74	SI LICUA
9.15	94.08	ML	19.0	172.275	19.55	7.5	0.230	0.210	0.91	SI LICUA
9.60	94.08	ML	30.0	179.783	27.39	7.5	0.228	0.350	1.53	NO LICUA
10.05	94.08	ML	55.0	187.290	45.03	7.5	0.226	0.238	1.05	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP

SPT-05



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 23.

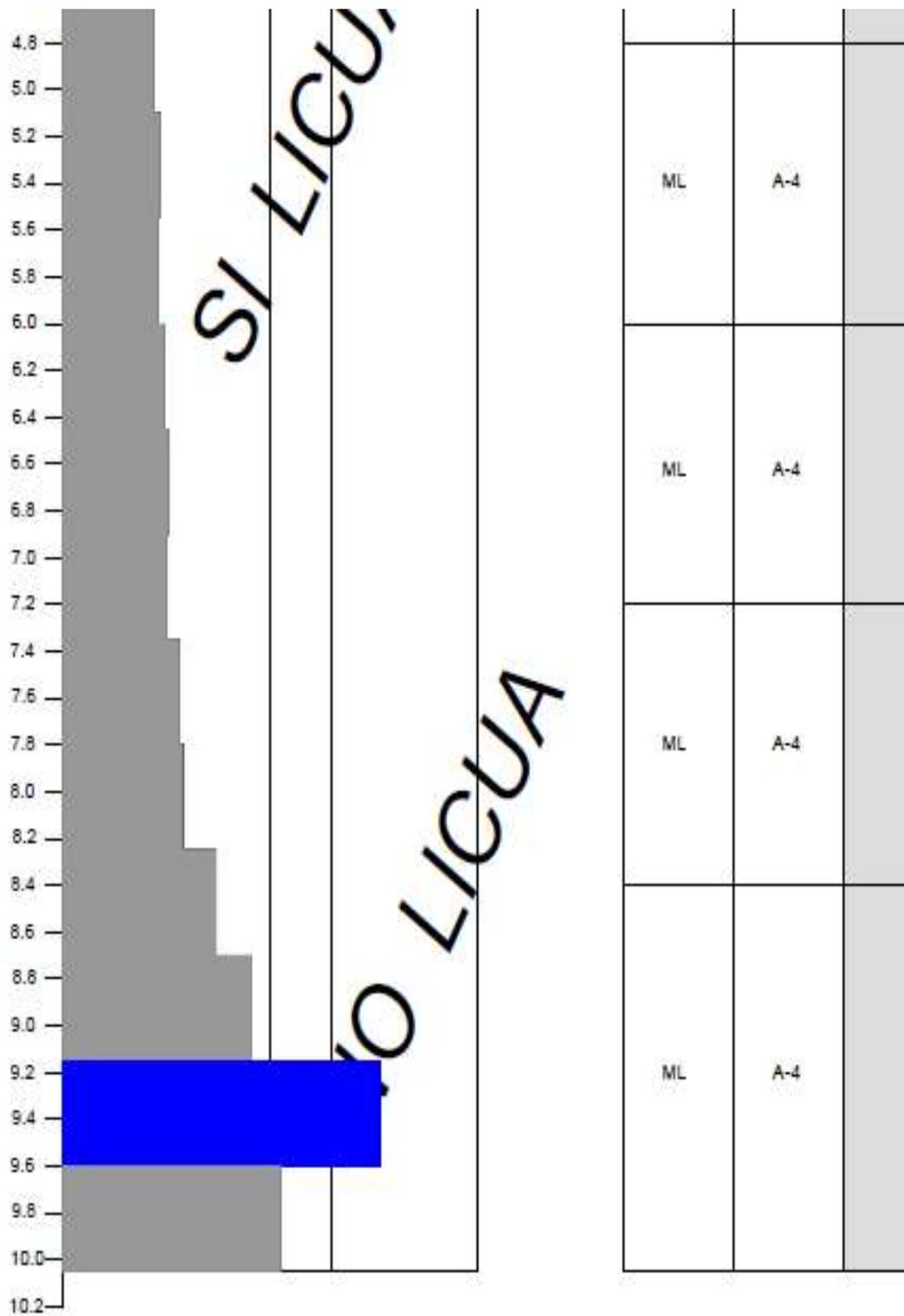


Gráfico 23. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 05, considerando NF -2.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°6

Haciendo un comparativo entre el análisis no drenado y el análisis drenado, la relación de resistencia cíclica varía un poco pero la tensión cíclica disminuye, ya que nosotros estamos reduciendo el N.F.

En la tabla 142 muestra la relación de resistencia cíclica se observa que en el tramo de 0.45 m - 0.90 m, tramo 1.80 m - 4.95 m estuvieron por debajo de 10 golpes, esto refleja que el material de relave está muy suelto; en el nivel de 1.35 m y 4.95 m la resistencia tuvo un incremento no tan considerable ya que el material de relave esta en condición suelta.

La relación de tensión cíclica se observa una disminución ya que al reducir el nivel freático disminuyo la presión de poro y por ende la presión del agua, es decir hasta un nivel freático de -2.00 m el esfuerzo normal será igual al esfuerzo efectivo, otro factor que aumenta la tensión cíclica es la aceleración máxima de diseño en este caso el valor de 0.27g.

En la gráfica 24 muestra que el material tiene un factor de licuación menor a 1.3 en los tramos 0.45m - 0.90 m, 1.80 m - 4.95 m, donde tuvo mucha importancia la disminución del N.F. lo cual significa que ayudo a aumentar el factor de licuación; por otro lado en la nivel 5.45 m - 5.85 m se obtuvo un factor de 1.3 y 1.71 respectivamente, lo cual supera el ratio admisible, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave ya no fallará por licuación.

Tabla 142. Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 06 para una aceleración de 0.27g.

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0.00										
0.45	76.280	ML	2.00	11.867	8.426	7.5	0.175	0.100	0.569	SI LICUA
0.90	76.280	ML	2.00	23.734	8.139	7.5	0.174	0.097	0.557	SI LICUA
1.35	85.950	ML	11.00	35.909	20.896	7.5	0.174	0.227	1.306	NO LICUA
1.80	85.950	ML	9.00	47.879	17.066	7.5	0.173	0.182	1.049	SI LICUA
2.25	85.950	ML	7.00	57.396	13.875	7.5	0.180	0.149	0.828	SI LICUA
2.70	85.950	ML	4.00	64.951	9.862	7.5	0.190	0.112	0.589	SI LICUA
3.15	85.950	ML	4.00	72.506	9.668	7.5	0.198	0.110	0.557	SI LICUA
3.60	85.950	ML	4.00	80.061	9.490	7.5	0.204	0.109	0.532	SI LICUA
4.05	85.950	ML	4.00	87.616	9.325	7.5	0.209	0.107	0.513	SI LICUA
4.50	85.950	ML	5.00	95.171	10.214	7.5	0.213	0.115	0.540	SI LICUA
4.95	85.950	ML	13.00	102.727	18.092	7.5	0.216	0.193	0.891	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP

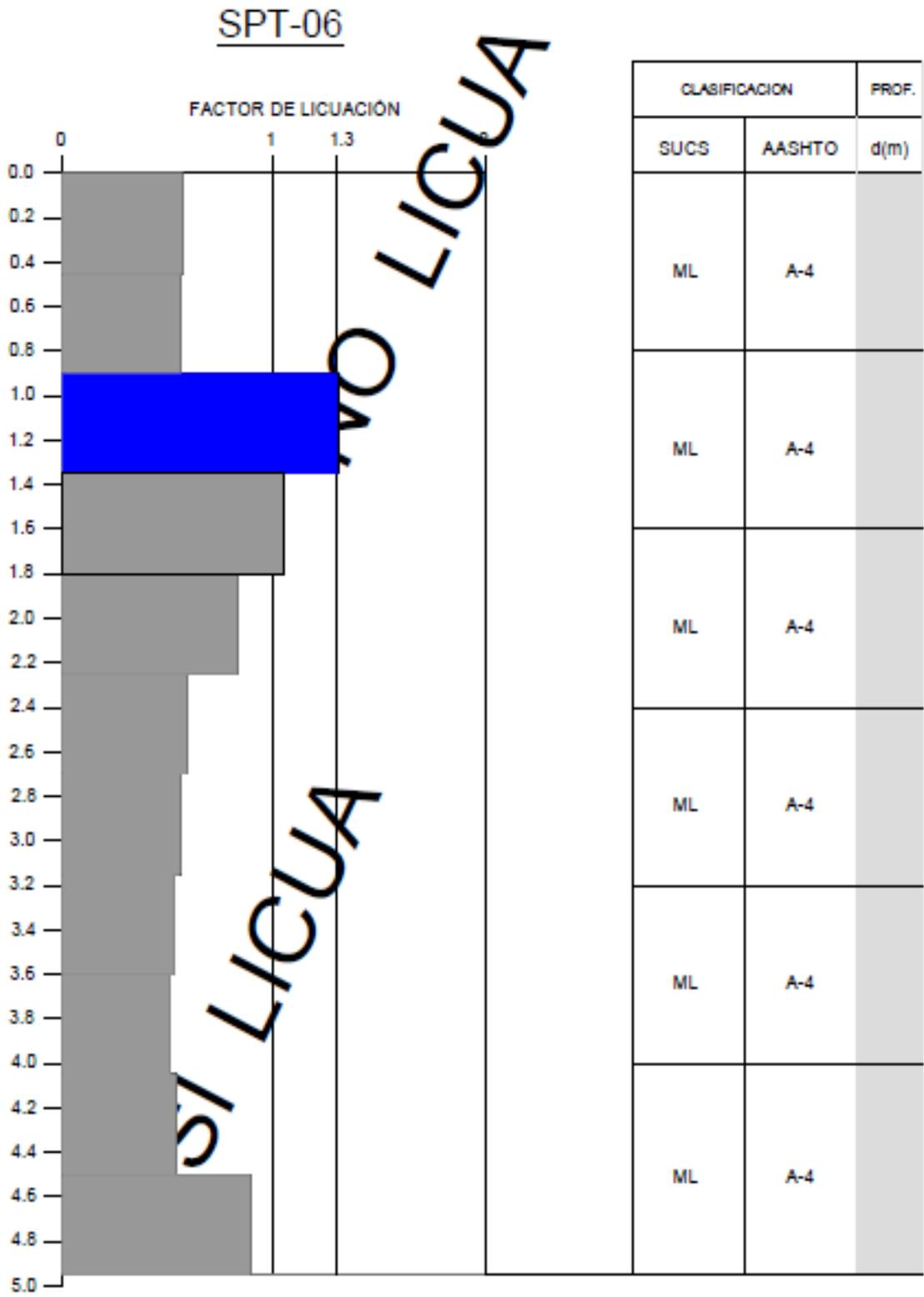


Gráfico 24. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 06, considerando NF -2.00

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

CASO III:

Los cuadros siguientes muestran los resultados de los factores de seguridad frente a la licuación obtenidos para una condición drenada (NF= -2.00m), para una aceleración máxima necesaria donde el material empiece a licuar.

SPT N°1:

En la tabla 143 muestra la relación de resistencia cíclica se obtiene bajos resultados debido a los Nro. de golpes en el tramo de 0.45 m - 0.90 m con valores por debajo de 5 golpes, asimismo en el tramo 0.90 m – 1.35 m donde aumenta relativamente el Nro. a 11 golpes, se encuentra en el tramo de 1.35 m – 4.50 m con valores por debajo de 10 golpes, asimismo en el tramo 4.50 m – 5.85 m donde aumenta relativamente el Nro. a 56 golpes, esto se interpreta que se cuenta con estratos del material de relave en condición muy suelto y otras en condición relativamente densa.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto debido a que existe más presión mediante va aumentado la profundidad de análisis (altura máx.=5.85m). Finalmente se analiza y obtiene una aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave, cuyo valor es 0.10g.

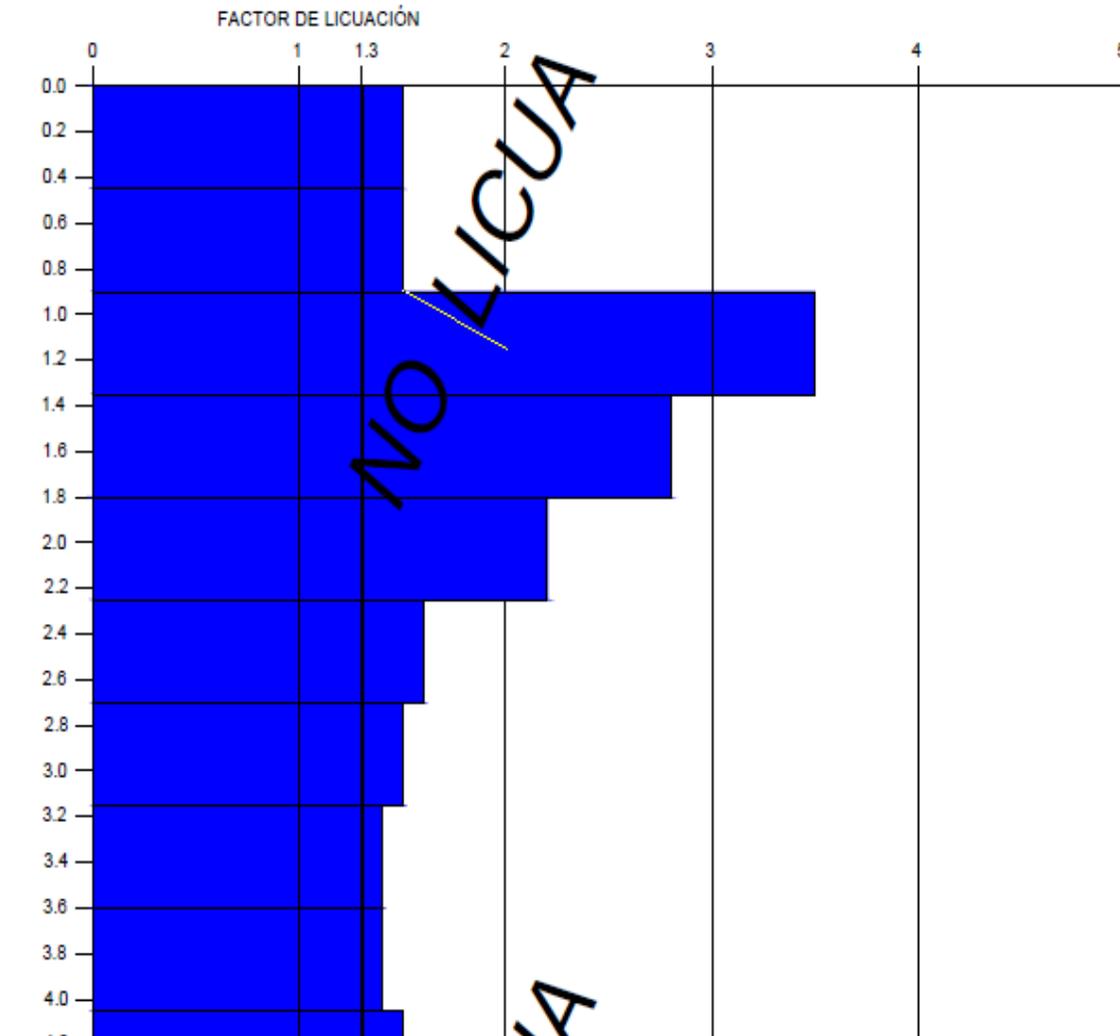
En la gráfica 25 muestra que el material tiene un factor de licuación mayor a 1.3 en todos los estratos analizados, donde tuvo mucha importancia la disminución de la aceleración, lo cual significa que ayudo a aumentar el factor de licuación y se interpreta que a esa profundidad el material de relave no fallará por licuación.

Tabla 143: Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 01 para una aceleración de 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (Cu)	N	σ_v' (kpa)	$(N_1)_{60CF}$	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0.00										
0.45	76.28	ML	2	12.36	8.498	7.5	0.065	0.100	1.5	NO LICUA
0.90	76.28	ML	2	24.71	8.118	7.5	0.065	0.097	1.5	NO LICUA
1.35	85.95	ML	11	37.07	20.778	7.5	0.064	0.225	3.5	NO LICUA
1.80	85.95	ML	9	49.42	16.955	7.5	0.064	0.180	2.8	NO LICUA
2.25	85.95	ML	7	59.32	13.778	7.5	0.067	0.148	2.2	NO LICUA
2.70	85.95	ML	4	66.01	9.833	7.5	0.070	0.112	1.6	NO LICUA
3.15	85.95	ML	4	73.75	9.638	7.5	0.073	0.110	1.5	NO LICUA
3.60	85.95	ML	4	81.48	9.458	7.5	0.075	0.108	1.4	NO LICUA
4.05	85.95	ML	4	89.21	9.292	7.5	0.077	0.107	1.4	NO LICUA
4.50	85.95	ML	5	96.94	10.171	7.5	0.079	0.115	1.5	NO LICUA
4.95	85.95	ML	13	104.67	17.978	7.5	0.080	0.192	2.4	NO LICUA
5.40	85.95	ML	20	112.41	24.295	7.5	0.081	0.279	3.4	NO LICUA
5.85	85.95	ML	56	120.14	57.269	7.5	0.082	0.376	4.6	NO LICUA

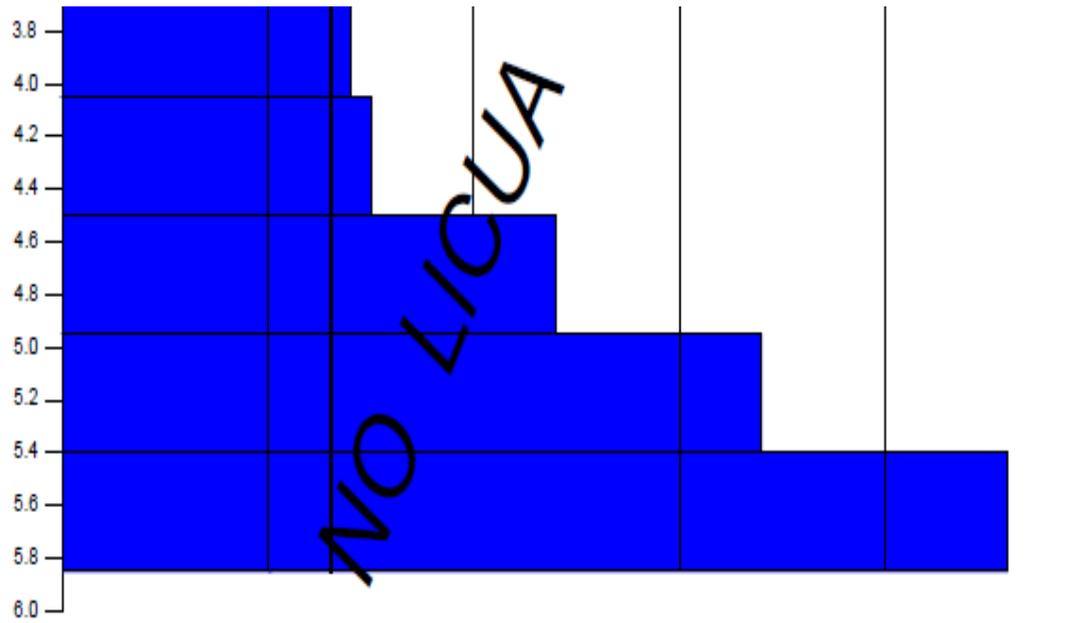
Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-01



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 25.



ML	A-4	
ML	A-4	

Gráfico 25. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 01, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°2:

En la tabla 144 muestra la relación de resistencia cíclica se obtiene bajos resultados debido a los Nro. de golpes en el tramo de 0.45 m - 9.90 m con valores por debajo de 5 golpes, asimismo en el tramo 10.35m - 10.80m donde aumenta relativamente en Nro. de golpes, esto se interpreta que el material de relave está en condición muy suelto.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto debido a que existe más presión mediante va aumentado la profundidad de análisis (altura máx.=10.80m). Finalmente se analiza y obtiene una aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave, cuyo valor es 0.10g.

En la gráfica 26 muestra que el material tiene un factor de licuación mayor a 1.3 en los tramos 0.45m – 2.70 m, 7.20 m – 8.55 m, donde tuvo mucha importancia la disminución de la aceleración. lo cual significa que ayudo a aumentar el factor de licuación y se interpreta que no fallará por licuación; por otro lado en la nivel 3.15 m – 6.75, 8.55 - 9.00 m se obtuvo un factor de 1.1 y 1.2 respectivamente, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave si fallará por licuación.

Tabla 144: Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 02 para una aceleración de 0.10g

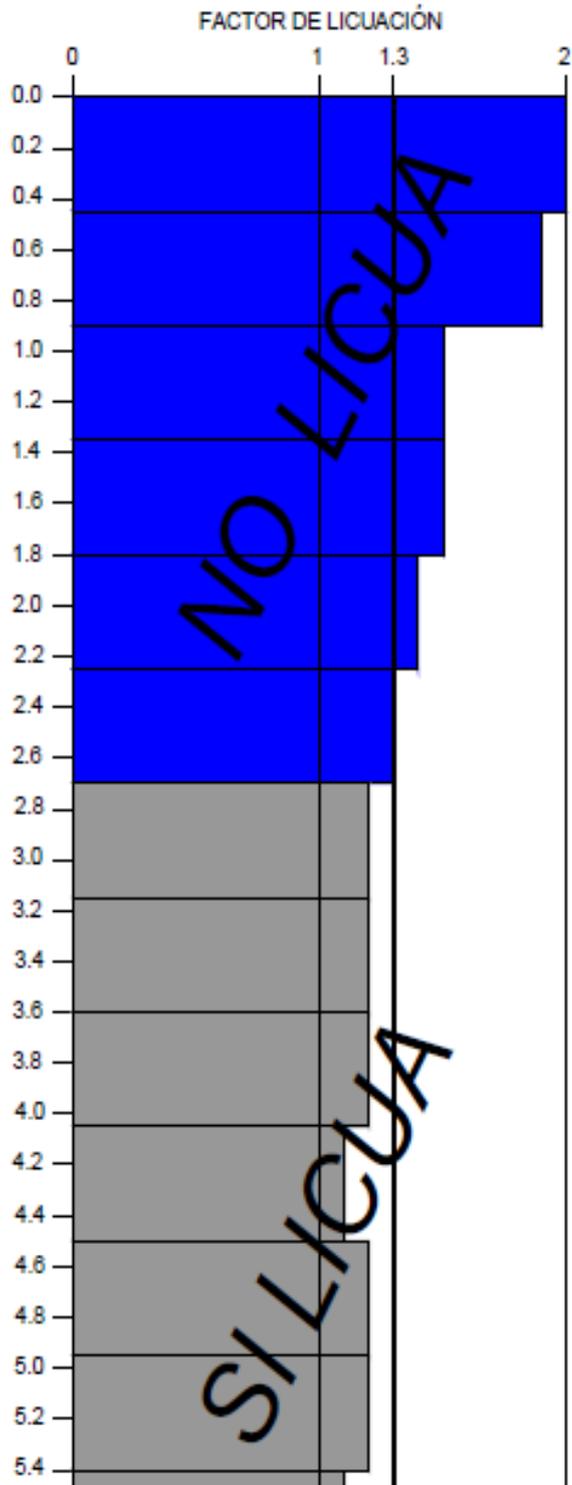
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (Cu)	N	σ_v' (kpa)	$(N_1)_{60CF}$	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
0.45	74.04	ML	4	12.06	11.843	7.5	0.065	0.130	2.0	NO LICUA
0.90	74.04	ML	4	24.13	11.261	7.5	0.065	0.124	1.9	NO LICUA
1.35	82.19	ML	2	36.19	7.885	7.5	0.064	0.095	1.5	NO LICUA
1.80	82.19	ML	2	48.25	7.675	7.5	0.064	0.093	1.5	NO LICUA
2.25	82.19	ML	2	57.87	7.529	7.5	0.067	0.092	1.4	NO LICUA
2.70	82.19	ML	2	65.51	7.423	7.5	0.070	0.091	1.3	NO LICUA
3.15	82.19	ML	2	73.16	7.326	7.5	0.073	0.090	1.2	SI LICUA
3.60	82.19	ML	2	80.81	7.237	7.5	0.075	0.090	1.2	SI LICUA
4.05	82.19	ML	2	88.46	7.154	7.5	0.077	0.089	1.2	SI LICUA
4.50	82.19	ML	2	96.11	7.077	7.5	0.079	0.088	1.1	SI LICUA
4.95	82.19	ML	3	100.27	8.055	7.5	0.081	0.096	1.2	SI LICUA
5.40	82.19	ML	3	107.60	7.956	7.5	0.082	0.096	1.2	SI LICUA
5.85	82.19	ML	2	114.93	6.909	7.5	0.082	0.087	1.1	SI LICUA
6.30	82.19	ML	3	122.26	7.775	7.5	0.083	0.094	1.1	SI LICUA
6.75	82.19	ML	4	129.59	8.591	7.5	0.084	0.101	1.2	SI LICUA
7.20	82.19	ML	6	136.93	10.231	7.5	0.084	0.115	1.4	NO LICUA

Continúa Tabla 144.

7.65	82.19	ML	7	144.26	10.932	7.5	0.085	0.121	1.4	NO LICUA
8.10	82.19	ML	6	151.59	9.946	7.5	0.085	0.113	1.3	NO LICUA
8.55	82.19	ML	6	158.92	9.815	7.5	0.085	0.111	1.3	NO LICUA
9.00	82.19	ML	5	166.25	8.909	7.5	0.086	0.104	1.2	SI LICUA
9.45	82.19	ML	9	173.58	11.859	7.5	0.085	0.130	1.5	NO LICUA
9.90	82.19	ML	8	180.91	10.947	7.5	0.084	0.122	1.4	NO LICUA
10.35	82.19	ML	12	188.25	13.707	7.5	0.084	0.147	1.8	NO LICUA
10.80	82.19	ML	14	195.58	14.921	7.5	0.083	0.159	1.9	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT-02



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 26.

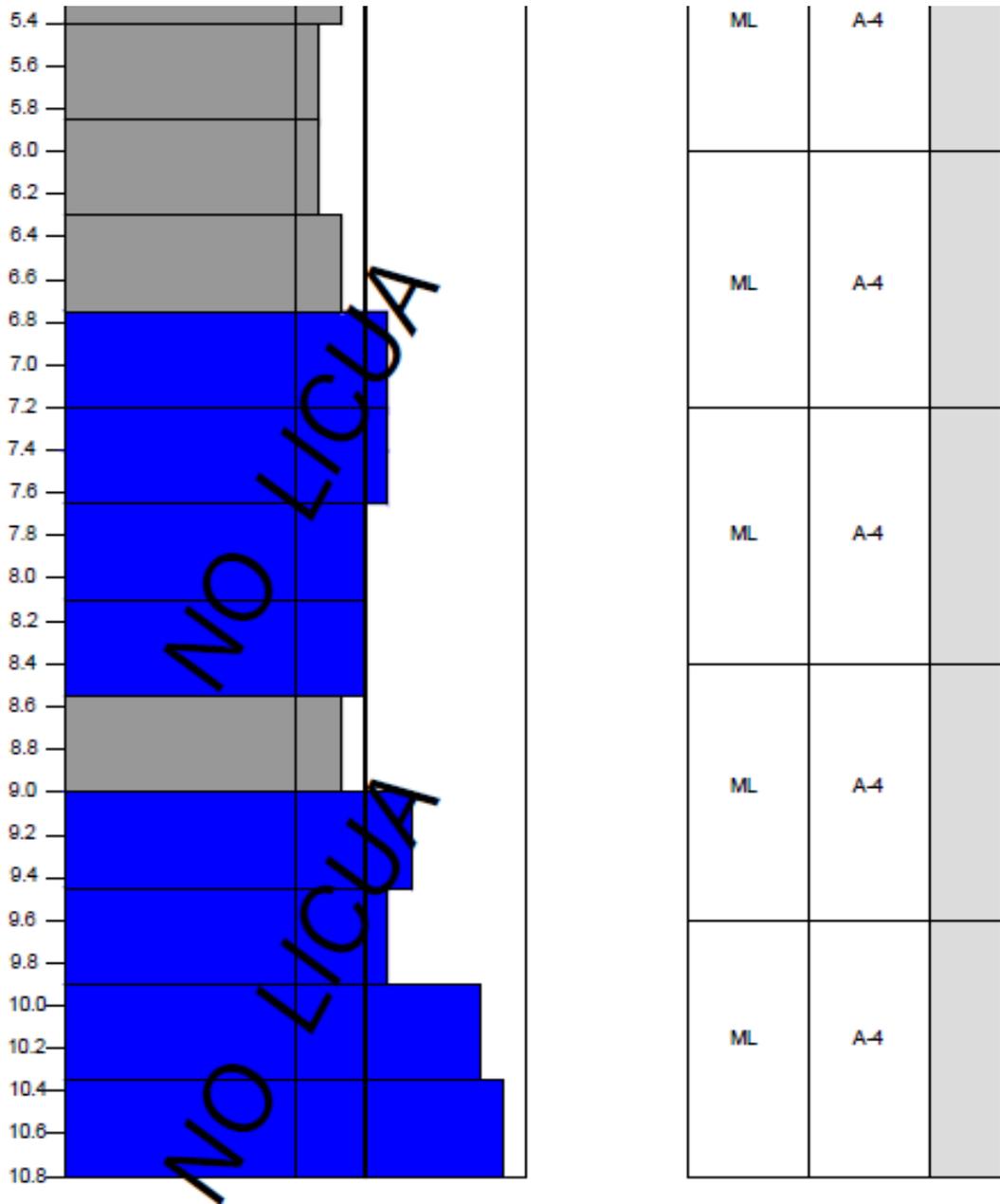


Gráfico 26. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 02, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°3:

En la tabla 145 muestra la relación de resistencia cíclica se obtiene bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 1.05 m - 7.80 m con valores por debajo de 5 golpes, esto se interpreta que el material de relave está en condición muy suelto.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto debido a que existe más presión mediante va aumentado la profundidad de análisis (altura máx.=7.80m). Finalmente se analiza y obtiene una aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave, cuyo valor es 0.10g.

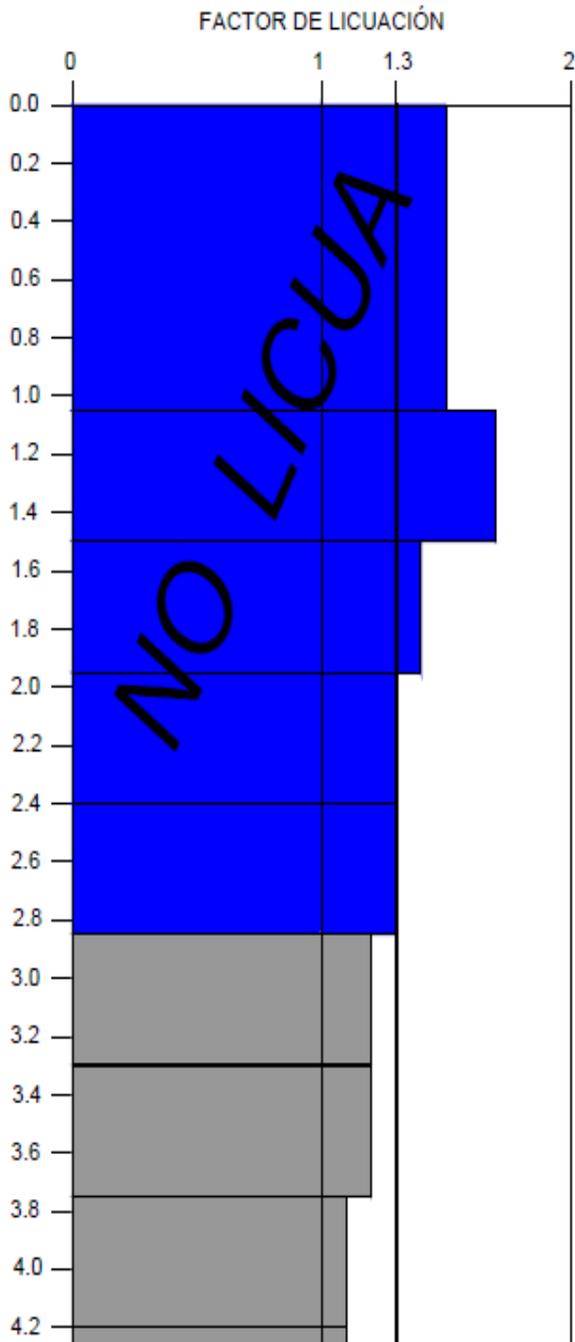
En la gráfica 27 muestra que el material tiene un factor de licuación mayor a 1.3 en los tramos 1.05m – 2.85 m, donde tuvo mucha importancia la disminución de la aceleración, lo cual significa que ayudo a aumentar el factor de licuación y se interpreta que no fallará por licuación; por otro lado en la nivel 3.30 m – 7.80, se obtuvo un factor de 1.0, 1.1 y 1.2 respectivamente, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave si fallará por licuación.

Tabla 145: Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 03 para una aceleración de 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	73.49	ML	2	27.831	8.051	7.5	0.064	0.096	1.5	NO LICUA
1.50	73.49	ML	3	39.758	9.229	7.5	0.064	0.106	1.7	NO LICUA
1.95	73.49	ML	2	51.686	7.621	7.5	0.064	0.093	1.4	NO LICUA
2.40	73.49	ML	2	59.689	7.503	7.5	0.068	0.092	1.3	NO LICUA
2.85	73.49	ML	2	67.202	7.401	7.5	0.071	0.091	1.3	NO LICUA
3.30	73.49	ML	2	74.715	7.307	7.5	0.074	0.090	1.2	SI LICUA
3.75	73.49	ML	2	82.193	7.221	7.5	0.076	0.089	1.2	SI LICUA
4.20	73.49	ML	2	89.701	7.141	7.5	0.078	0.089	1.1	SI LICUA
4.65	73.49	ML	2	97.210	7.066	7.5	0.079	0.088	1.1	SI LICUA
5.10	73.49	ML	2	104.719	6.996	7.5	0.081	0.088	1.1	SI LICUA
5.55	73.49	ML	2	112.227	6.931	7.5	0.082	0.087	1.1	SI LICUA
6.00	73.49	ML	3	119.736	7.805	7.5	0.082	0.094	1.1	SI LICUA
6.45	73.49	ML	3	127.245	7.719	7.5	0.083	0.094	1.1	SI LICUA
6.90	73.49	ML	2	134.753	6.759	7.5	0.084	0.086	1.0	SI LICUA
7.35	73.49	ML	2	142.333	6.707	7.5	0.084	0.085	1.0	SI LICUA
7.80	73.49	ML	3	149.846	7.489	7.5	0.084	0.092	1.1	SI LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP

SPT-03



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	
ML	A-4	
ML	A-4	

Continúa Gráfico 27.

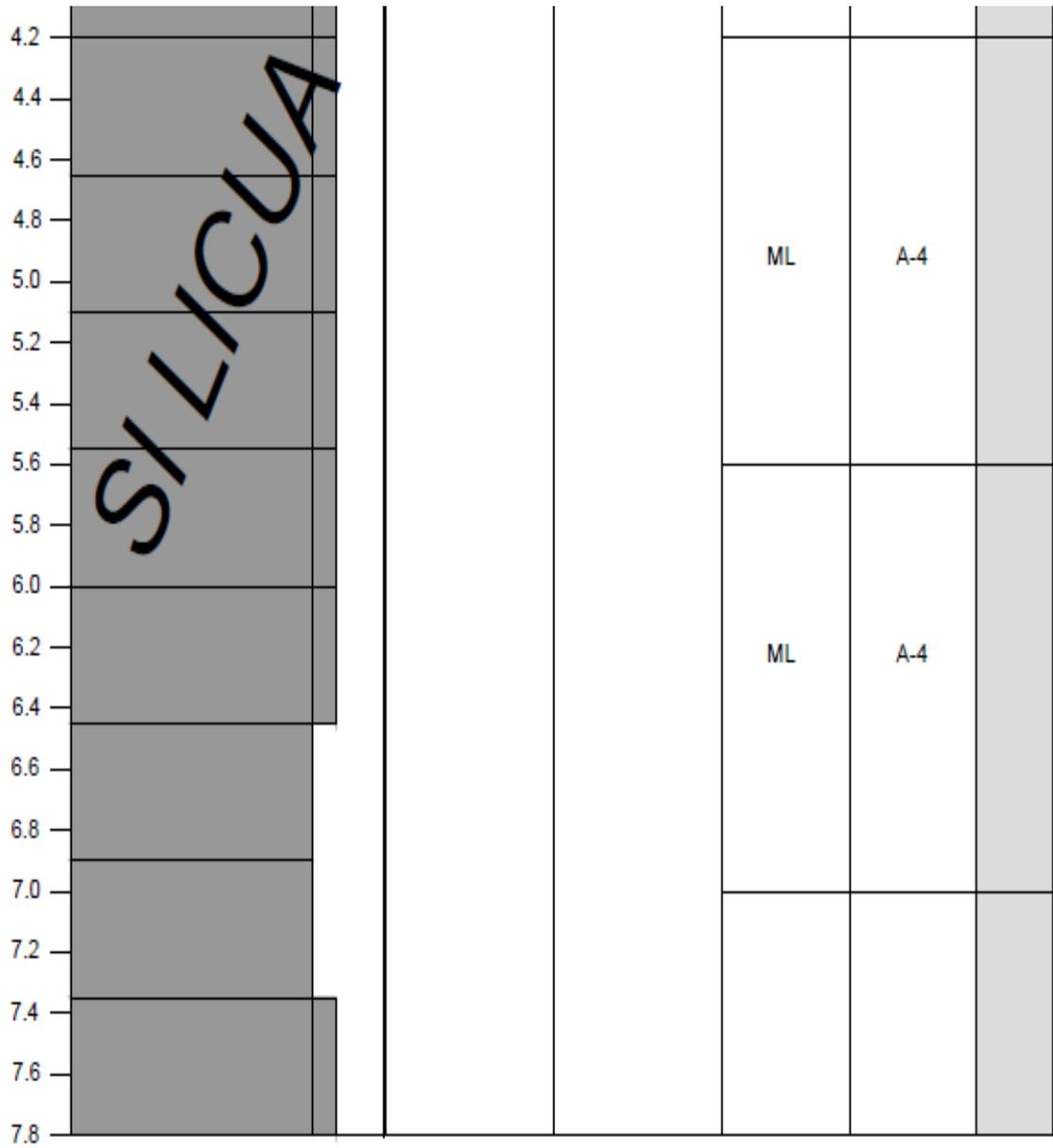


Gráfico 27. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 03, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°4:

En la tabla 146 muestra la relación de resistencia cíclica se obtuvo bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 1.05 m – 10.05m con valores por debajo de 10 golpes, esto se interpreta que el material de relave está muy suelto.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto debido a que existe más presión mediante va aumentado la profundidad de análisis (altura máx.=10.05m). Finalmente se analiza y obtiene una aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave, cuyo valor es 0.10g.

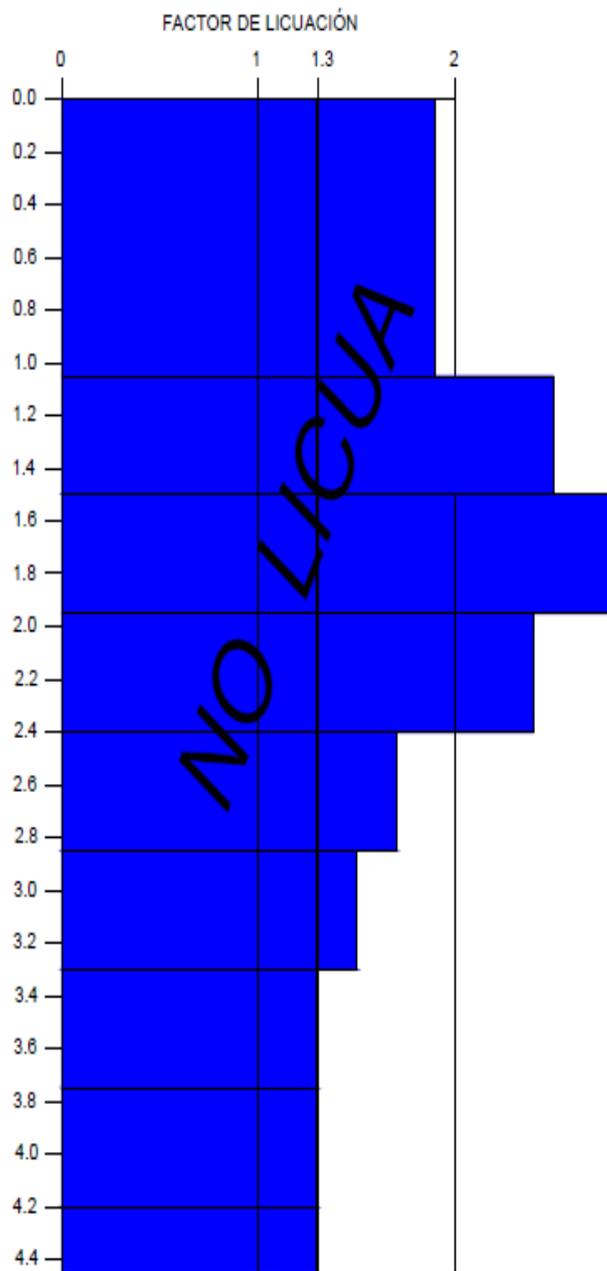
En la gráfica 28 muestra que el material tiene un factor de licuación mayor a 1.3 en todos los estratos analizados, donde tuvo mucha importancia la disminución de la aceleración, lo cual significa que ayudo a aumentar el factor de licuación y se interpreta que a esa profundidad el material de relave no fallará por licuación.

Tabla 146: Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 04 para una aceleración de 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	67.81	ML	4	27.506	11.115	7.5	0.064	0.123	1.9	NO LICUA
1.50	67.81	ML	7	39.294	14.898	7.5	0.064	0.159	2.5	NO LICUA
1.95	67.81	ML	9	51.082	16.837	7.5	0.064	0.179	2.8	NO LICUA
2.40	67.81	ML	8	58.946	15.053	7.5	0.068	0.161	2.4	NO LICUA
2.85	67.81	ML	5	66.320	11.032	7.5	0.072	0.122	1.7	NO LICUA
3.30	67.81	ML	4	73.694	9.639	7.5	0.074	0.110	1.5	NO LICUA
3.75	67.81	ML	3	81.068	8.351	7.5	0.077	0.099	1.3	NO LICUA
4.20	67.81	ML	3	88.441	8.231	7.5	0.078	0.098	1.3	NO LICUA
4.65	67.81	ML	4	95.815	9.159	7.5	0.080	0.106	1.3	NO LICUA
5.10	67.81	ML	5	103.189	10.025	7.5	0.081	0.113	1.4	NO LICUA
5.55	67.81	ML	6	110.562	10.835	7.5	0.082	0.121	1.5	NO LICUA
6.00	67.81	ML	6	117.936	10.653	7.5	0.083	0.119	1.4	NO LICUA
6.45	67.81	ML	7	125.310	11.395	7.5	0.083	0.126	1.5	NO LICUA
6.90	67.81	ML	6	132.683	10.320	7.5	0.084	0.116	1.4	NO LICUA
7.35	67.81	ML	8	140.057	11.890	7.5	0.084	0.130	1.5	NO LICUA
7.80	67.81	ML	8	147.431	11.698	7.5	0.085	0.128	1.5	NO LICUA
8.25	67.81	ML	8	154.805	11.517	7.5	0.085	0.127	1.5	NO LICUA
8.70	67.81	ML	9	162.178	12.139	7.5	0.085	0.132	1.6	NO LICUA
9.15	67.81	ML	9	169.552	11.956	7.5	0.085	0.131	1.5	NO LICUA
9.60	67.81	ML	9	176.926	11.781	7.5	0.085	0.129	1.5	NO LICUA
10.05	67.81	ML	9	184.299	11.616	7.5	0.084	0.128	1.5	NO LICUA

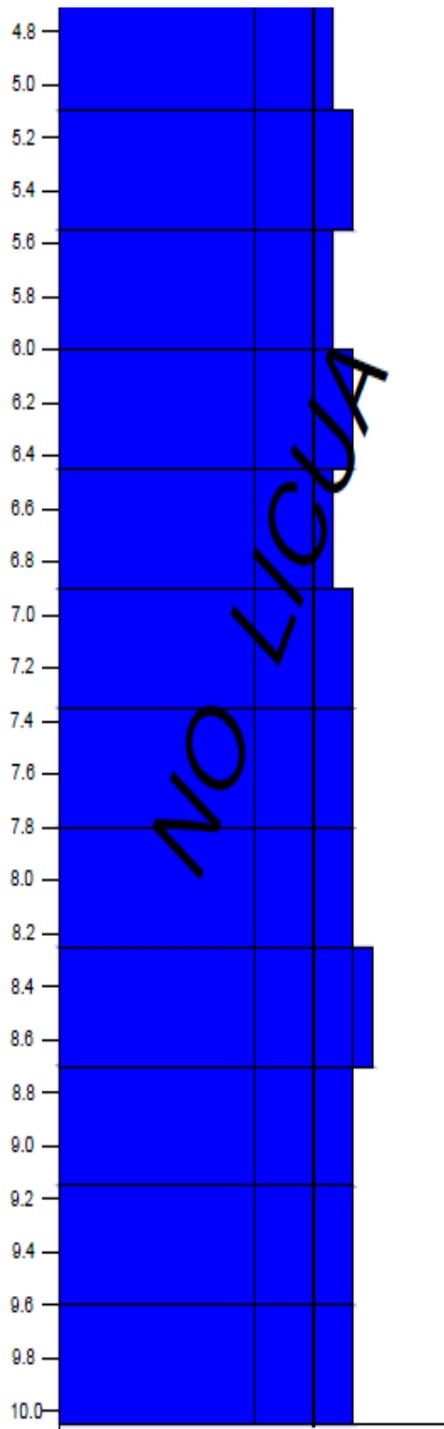
Fuente: Elaboración propia de tesis, URP

SPT-04



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 28.



ML	A-4	

Gráfico 28. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 04, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°5:

En la tabla 147 muestra la relación de resistencia cíclica se obtuvo bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 1.05 m - 8.25 m con valores por debajo de 10 golpes, esto refleja que el material de relave está muy suelto; se continúa con el tramo 8.70m - 10.05m donde el valor de N va aumentando progresivamente hasta llegar a los 55 golpes, lo cual se interpreta que a esta profundidad el material de relave está más denso y esto significa que no fallará por licuación.

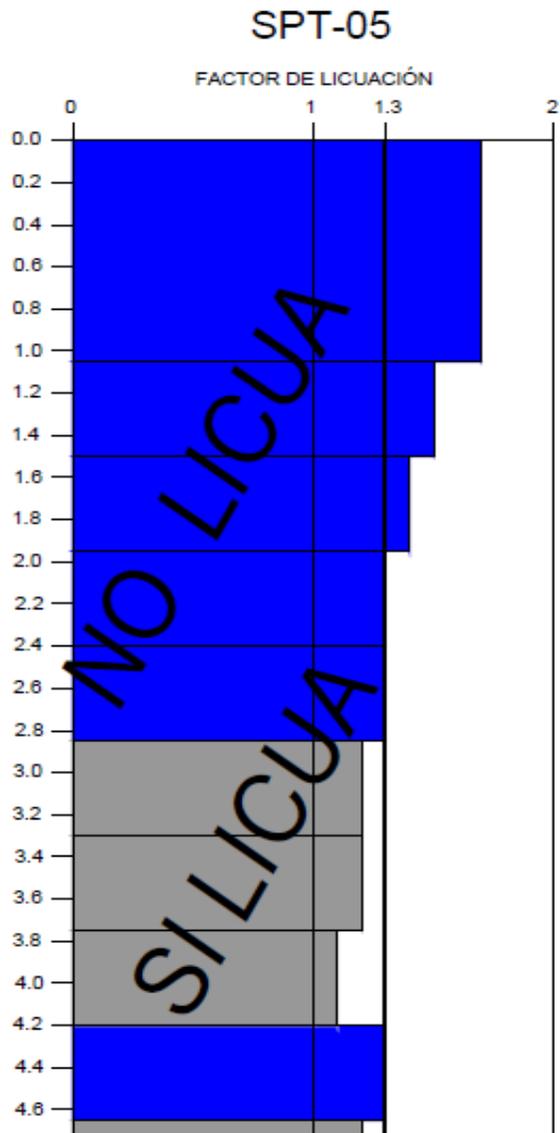
La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto debido a que existe más presión mediante va aumentando la profundidad de análisis (altura máx.=10.05m). Finalmente se analiza y obtiene una aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave, cuyo valor es 0.10g.

En la gráfica 29 muestra que el material tiene un factor de licuación mayor a 1.3 en los tramos 1.05m – 2.85m, 4.20m – 4.65m, 5.10m – 5.55m, 6.45m – 10.05m donde tuvo mucha importancia la disminución de la aceleración, lo cual significa que ayudó a aumentar el factor de licuación y se interpreta que no fallará por licuación; por otro lado en la nivel 3.30m – 4.20m, 4.65m – 5.10m, 5.55m – 6.00m se obtuvo un factor de 1.1 y 1.2 respectivamente, por lo tanto se interpreta que a esa profundidad el material de relave si fallará por licuación

Tabla 147: Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 05 para una aceleración de 0.10g.

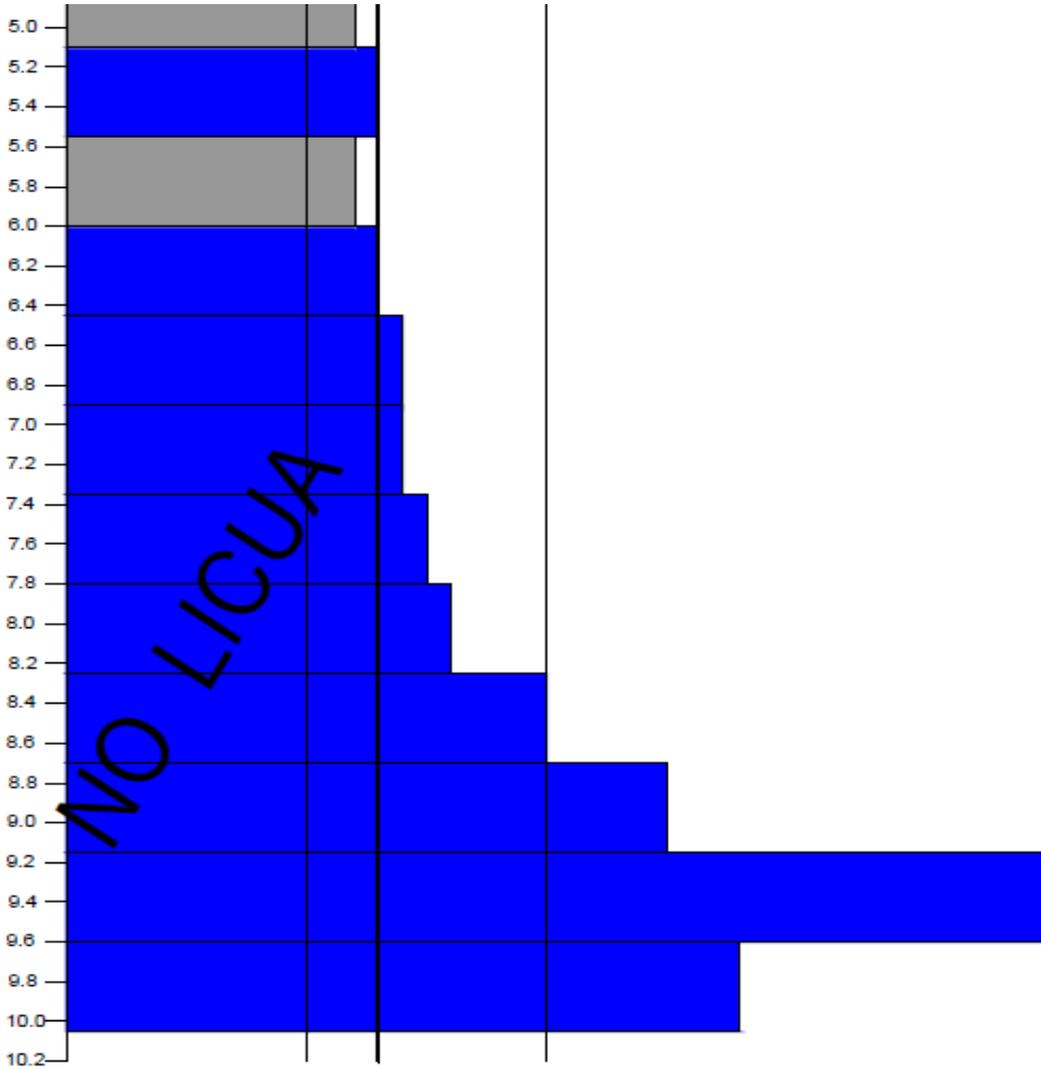
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0										
1.05	94.08	ML	3.0	27.692	9.580	7.5	0.064	0.109	1.7	NO LICUA
1.50	94.08	ML	2.0	39.560	7.823	7.5	0.064	0.094	1.5	NO LICUA
1.95	94.08	ML	2.0	51.429	7.625	7.5	0.064	0.093	1.4	NO LICUA
2.40	94.08	ML	2.0	59.373	7.507	7.5	0.068	0.092	1.3	NO LICUA
2.85	94.08	ML	2.0	66.826	7.406	7.5	0.072	0.091	1.3	NO LICUA
3.30	94.08	ML	2.0	74.280	7.313	7.5	0.074	0.090	1.2	SI LICUA
3.75	94.08	ML	2.0	81.734	7.226	7.5	0.076	0.090	1.2	SI LICUA
4.20	94.08	ML	2.0	89.187	7.146	7.5	0.078	0.089	1.1	SI LICUA
4.65	94.08	ML	4.0	96.641	9.143	7.5	0.080	0.106	1.3	NO LICUA
5.10	94.08	ML	3.0	104.706	7.994	7.5	0.081	0.096	1.2	SI LICUA
5.55	94.08	ML	4.0	112.214	8.862	7.5	0.082	0.103	1.3	NO LICUA
6.00	94.08	ML	4.0	119.722	8.740	7.5	0.082	0.102	1.2	SI LICUA
6.45	94.08	ML	5.0	127.229	9.532	7.5	0.083	0.109	1.3	NO LICUA
6.90	94.08	ML	6.0	134.737	10.276	7.5	0.084	0.116	1.4	NO LICUA
7.35	94.08	ML	6.0	142.244	10.124	7.5	0.084	0.114	1.4	NO LICUA
7.80	94.08	ML	8.0	149.752	11.640	7.5	0.084	0.128	1.5	NO LICUA
8.25	94.08	ML	9.0	157.260	12.266	7.5	0.085	0.134	1.6	NO LICUA
8.70	94.08	ML	14.0	164.767	16.003	7.5	0.085	0.170	2.0	NO LICUA
9.15	94.08	ML	19.0	172.275	19.546	7.5	0.085	0.210	2.5	NO LICUA
9.60	94.08	ML	30.0	179.783	27.388	7.5	0.084	0.350	4.1	NO LICUA
10.05	94.08	ML	55.0	187.290	45.034	7.5	0.084	0.238	2.8	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP



CLASIFICACION		PROF.
SUCS	AASHTO	d(m)
ML	A-4	

Continúa Gráfico 29.



ML	A-4	

Gráfico 29. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 05, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g
Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

SPT N°6:

En la tabla 148 muestra la relación de resistencia cíclica se obtuvo bajos resultados debido que los Nro. de golpes en el tramo de 0.45 m - 4.50 m con valores por debajo de 10 golpes esto refleja que el material de relave está muy suelto, se continúa con el tramo 4.50m - 4.95m donde el valor de N aumenta hasta llegar a los 13 golpes, lo cual se interpreta que a esta profundidad el material de relave está un poco más denso, aun así fallaría por licuación.

La relación de tensión cíclica fue disminuyendo mediante el aumento del esfuerzo efectivo, esto debido a que existe más presión mediante va aumentado la profundidad de análisis (altura máx.=4.95m). Finalmente se analiza y obtiene una aceleración mínima necesaria donde iniciaría el proceso de licuefacción del material de relave, cuyo valor es 0.10g.

En la gráfica 30 muestra que el material tiene un factor de licuación mayor a 1.3 en todos los estratos analizados, donde tuvo mucha importancia la disminución de la aceleración, lo cual significa que ayudo a aumentar el factor de licuación y se interpreta que a esa profundidad el material de relave no fallará por licuación.

Tabla 148: Resumen de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 06 para una aceleración de 0.10g

PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (C _u)	N	σ_v' (kpa)	(N ₁) _{60CF}	M	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACIÓN	RESULTADO
0.00										
0.45	76.280	ML	2	11.867	8.426	7.5	0.065	0.100	1.5	NO LICUA
0.90	76.280	ML	2	23.734	8.139	7.5	0.065	0.097	1.5	NO LICUA
1.35	85.950	ML	11	35.909	20.896	7.5	0.064	0.227	3.5	NO LICUA
1.80	85.950	ML	9	47.879	17.066	7.5	0.064	0.182	2.8	NO LICUA
2.25	85.950	ML	7	57.396	13.875	7.5	0.067	0.149	2.2	NO LICUA
2.70	85.950	ML	4	64.951	9.862	7.5	0.070	0.112	1.6	NO LICUA
3.15	85.950	ML	4	72.506	9.668	7.5	0.073	0.110	1.5	NO LICUA
3.60	85.950	ML	4	80.061	9.490	7.5	0.076	0.109	1.4	NO LICUA
4.05	85.950	ML	4	87.616	9.325	7.5	0.077	0.107	1.4	NO LICUA
4.50	85.950	ML	5	95.171	10.214	7.5	0.079	0.115	1.5	NO LICUA
4.95	85.950	ML	13	102.727	18.092	7.5	0.080	0.193	2.4	NO LICUA

Fuente: Elaboración propia de tesis, URP.

SPT-06

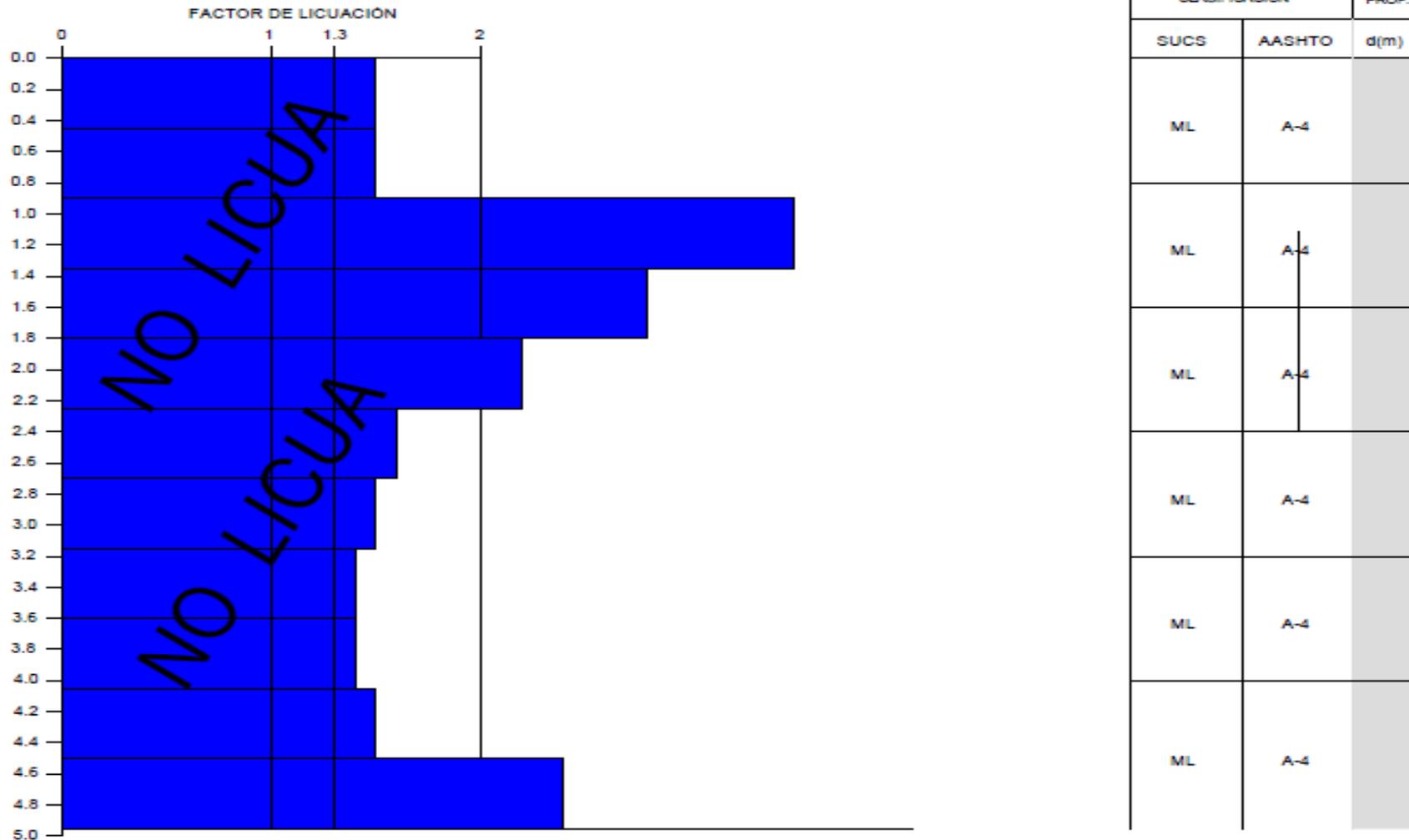


Gráfico 30. Variación del Factor de licuación y la profundidad del ensayo SPT 06, considerando NF -2.00 para una aceleración de 0.10g

Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

7.3. Contratación de hipótesis

Al comienzo del estudio para evaluar el potencial de licuación de depósito de relave en la Zona Norte de la Mina Cobriza se tenían las hipótesis respectivas:

Hipótesis General

- De acuerdo a los estudios realizados para la evaluación del potencial de licuación en el depósito de relave donde se identifica como factores importantes como el tipo de material y el nivel freático (NF), ya que influye directamente en el valor de la aceleración mínima necesaria para iniciar el proceso de licuefacción, por lo tanto se acepta la hipótesis, es decir, existe un factores como el tipo de material y el nivel freático (NF) que influye significativamente durante la falla por licuación en el material de relave.

Hipótesis Específicas

- Mediante los ensayos de campo como: Calicata, sondaje, Ensayo SPT y los ensayos de laboratorio como: Cont. De humedad, Análisis Granulométrico, Limites Atterberg, Ensayo de corte directo, etc. se obtienen las características que presenta el material de relave durante la falla por licuefacción, por lo tanto se acepta la hipótesis, es decir, las características en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación están directamente relacionadas con los problemas de deslizamiento del dique y relave depositado
- Evaluando la relación a la densidad del suelo baja (Nro. de Golpes) obteniendo la relación de resistencia cíclica y la profundidad del nivel freático alto (N.F.) obteniendo la relación de tensión cíclica resultando un factor de seguridad de licuefacción menor a 1.3, se identifica las causas que ocasionan la falla por licuefacción, por lo tanto se acepta la hipótesis, es decir, las causas que ocasiona la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza generan problema de contaminación de suelos y calidad de agua.

7.4. Discusión

1. Los terremotos y sus efectos son los mayores desastres naturales que pueden afectar a las estructuras construidas por los seres humanos. En el caso de nuestro país, los terremotos es una realidad con la que hemos vivido desde siempre. Sin embargo, la sismología es una ciencia en constante desarrollo y aún no estamos cerca de tener un conocimiento completo sobre los mecanismos que producen los terremotos, y menos aún de poder predecir cuándo ocurrirá un sismo, por lo que todo esfuerzo de investigación en esta área es de vital importancia económica y estratégica para el país.
2. Una de las fallas del suelo más comunes y destructivas cuando se produce un movimiento sísmico es la licuefacción. Este fenómeno se ha producido en muchos terremotos, y en nuestro país las evidencias de licuefacción de suelos han sido documentadas en varios de ellos, principalmente en el terremoto de Chimbote 1970 en la zona norte del Perú y en el reciente terremoto de Pisco, caso tambo de mora 2007, en la zona sur del Perú. En otros países también se han producido fallas del suelo debido a este fenómeno, siendo los más conocido el volcamiento de edificios en el terremoto de Niigata de 1964, en Japón, el deslizamiento de grandes masas de suelo en el terremoto de Alaska de 1964, y las numerosas fallas por licuefacción en el terremoto de Kobe de 1995. Estos ejemplos demuestran la importancia de estar siempre alertas ante la posibilidad de que ocurra un fenómeno de este tipo, así como en la práctica de la ingeniería, en todas las etapas del diseño, en la construcción y en el uso de las estructuras.
3. El método más usado para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo sometido a cargas sísmicas, se conoce como procedimiento simplificado, y fue presentado originalmente en 1971, por los investigadores Seed e Idriss. Este procedimiento se ha perfeccionado a

lo largo de los años, por lo que se sigue utilizando actualmente para determinar el potencial de licuefacción, en base a una serie de cálculos y correlaciones con los datos obtenidos del ensayo de penetración estándar. Sin embargo, en la actualidad, existen la utilización de nuevas tecnologías informáticas para resolver los problemas de la ingeniería, en la cual un programa funcionaria ingresando las condiciones del problema y el valor de la resistencia a la penetración estándar, donde permite al ingeniero determinar rápidamente el potencial de licuefacción de un suelo para poder interpretar y tomar las mejores decisiones. Por lo tanto, es muy importante la utilización de las nuevas tecnologías informáticas para resolver los problemas de la ingeniería es muy importante.

4. Se ha realizado estudios de campo y laboratorio para el análisis del potencial de licuación, así como el procesamiento de dicha información para poder obtener un factor de seguridad. Sin embargo, es importante realizar mayor exploración geotécnica con el uso de ensayos de penetración estándar (SPT) para la obtención de un mayor registro de datos para su uso en un análisis más detallado, obteniendo una mejor delimitación de la zona donde se puede presentarse el fenómeno de licuación.
5. La evaluación del riesgo sísmico para esta tesis ha sido preparada especialmente tomando en cuenta las fuentes sismológicas que afectaron la zona investigada. Sin embargo es importante realizar estudios de riesgo sísmico locales, con el fin de determinar un valor de aceleración máxima adecuado al lugar del material de relave en estudio. Asimismo, se debe considerar un análisis numérico que incluya las máximas deformaciones verticales y horizontales del depósito y un cálculo de distancia y trayectoria de flujo en caso de colapso.
6. Mediante los ensayos de campo como: Calicata, sondaje, Ensayo SPT y los ensayos de laboratorio como: Cont. De humedad, Análisis Granulométrico, Límites Atterberg, Ensayo de corte directo, etc. se

obtienen las características que presenta el material de relave durante la falla por licuefacción, donde se confirma la hipótesis y de acuerdo al método de evaluación es un resultado válido y confiable por las evidencias registradas.

7. Evaluando la relación a la densidad del suelo baja (Nro. de Golpes) obteniendo la relación de resistencia cíclica y la profundidad del nivel freático alto (N.F.) obteniendo la relación de tensión cíclica resultando un factor de seguridad de licuefacción menor a 1.3, se identifica las causas que ocasionan la falla por licuefacción, donde se confirma la hipótesis y de acuerdo al método de evaluación es un resultado válido y confiable por las evidencias registradas.
8. De acuerdo a los estudios realizados para la evaluación del potencial de licuación en el depósito de relave donde se obtiene un factor de seguridad, se obtiene una aceleración mínima necesaria para iniciar el proceso de licuefacción, donde se confirma la hipótesis y de acuerdo al método de evaluación es un resultado válido y confiable por las evidencias registradas.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones encontradas en nuestra tesis de evaluación del potencial de licuación del material de relave en la presa zona norte ubicada en la mina cobriza, Perú son los siguientes:

1. Se ha realizado ensayos de campo como: 02 Calicatas, 06 Sondeos y 06 Ensayos de Penetración Estándar SPT, para conocer las propiedades físicas del material y ensayos de laboratorio como: Análisis Granulométrico por tamizado, Clasificación de suelos, Límites de Atterberg, Contenido de humedad, Ensayo peso unitario, Ensayo de corte directo y Ensayo triaxial del tipo UU para conocer los parámetros de resistencia del material de relave, cuyo resultados fueron obtenidos a través de la consultora Geo Master, donde la clasificación es ML, siendo estas las características del material de relave que están relacionadas directamente en el proceso de licuefacción. Los formatos de los ensayos de Análisis granulométrico, Límite líquido y límite plástico, Contenido de humedad se adjuntan en los Anexos 02, 03 y 04
2. Se ha realizado ensayos de penetración estándar (SPT) con la finalidad de determinar la resistencia del suelo, obteniendo los siguientes valores: SPT 01, se obtuvo un valor máximo de 56 golpes y un valor mínimo de 2 golpes. SPT 02, se obtuvo un valor máximo de 14 golpes y un valor mínimo de 2 golpes, SPT 03, se obtuvo un valor máximo de 3 golpes y un valor mínimo de 2 golpes, SPT 04, se obtuvo un valor máximo de 9 golpes y un valor mínimo de 3 golpes, SPT 05, se obtuvo un valor máximo de 55 golpes y un valor mínimo de 2 golpes, SPT 06, se obtuvo un valor máximo de 13 golpes y un valor mínimo de 2 golpes, cuyo resultados fueron obtenidos a través de la consultora Geo Master. esto se interpreta que se cuenta con estratos de material de relave en condiciones muy sueltas y otras en condiciones relativamente densas.

3. Al realizar el análisis de licuación generado a partir del estudio de peligro sísmico estadístico considerando las fuentes sismogénicas historias de la zona, es posible analizar la sensibilidad material de relave frente a la licuación. Para ello, se ha analizado para una aceleración máxima de diseño de 0.27g considerando una magnitud de $M_w=7.5$ para un caso I (no drenada) con un $NF = +0.00$, caso II (drenada) con un $NF = -2.00$. Sin embargo, en caso III se determinará una aceleración mínima necesaria donde iniciará el proceso de licuefacción.
4. La evaluación del potencial de licuación en el depósito de relave se ha utilizado un procedimiento simplificado propuesto por Seed and Idriss, presentado por Youd (2001) donde está basado en la prueba de penetración estándar (SPT), el cual se ha tenido una gran aceptación y confianza,
5. Para la evaluación del potencial de licuación en el material de relave según la metodología de Seed & Idriss, presentado por Youd (2001), se ha efectuado las siguientes correcciones: Factor de corrección para el cálculo del C_{70} (donde se considera los factores $C_N < 1.7$, $C_E = 1.143$ considerando que el equipo estándar transmite una energía de 70% de la nominal teórica, $C_B = 1$, $C_R = 0.75$ y $C_S = 1$), Valor normalizado del SPT ($(N_1)_{70}$), Resistencia promedio mediante la corrección del contenido de finos ((N_{70CF})), Factor de reducción de tensión (R_d) para obtener valores más confiables para evaluar el fenómeno de licuación.
6. Para el caso I (no drenado), el material de relave cuenta con un nivel freático de $NF=+0.00$ y una aceleración de diseño de 0.27g, para todos los ensayos de SPT realizados se determinó que el suelo licua en los primeros metros hasta una profundidad máxima de 10.80m, obteniendo un factor de licuación promedio de 0.56.

7. Para el caso II (proceso de drenado), el material de relave cuenta con un nivel freático de $NF=-2.00$ y una aceleración de diseño de $0.27g$, para todos los ensayos de SPT realizados se determinó que el suelo licua en los primeros metros hasta una profundidad máxima de $10.05m$, obteniendo un aumento en el factor de licuación promedio de 0.67 .
8. Teniendo conocimiento que el material de relave si ha fallado por licuefacción estática, se determinó la aceleración mínima esperada cuyo valor es de $0.10g$ para que iniciara el proceso de licuefacción, siendo este el caso III.
9. Por lo tanto, para el material de relave que cuenta con una densidad del suelo baja (Nro. de Golpes) y la profundidad del nivel freático alto (N.F.) resulta un factor de seguridad de licuefacción menor a 1.3 , donde estas son las causas que ocasionan la falla por licuefacción. Los formatos del análisis del potencial de licuación se adjuntan en el Anexo 06
10. Finalmente, se comprueba la ocurrencia de licuación del material de relave se presentó básicamente por un movimiento vibratorio cíclico (reflejado en la aceleración inducida por la maquinaria) proveniente de los trabajos de compactación realizado en el dique de contención aledaño a la zona analizada.
11. Se concluye que en el caso I y caso II, el material de relave si fallaría por licuación totalmente, considerando el caso que ocurriera un sismo con una aceleración de $0.27g$ propuesto a partir de las fuentes sismogenicas en la zona. Sin embargo, en nuestro caso se comprueba que el material de relave iniciaría el proceso de licuefacción a partir de una aceleración mínima de $0.10g$ producto de un movimiento vibratorio cíclico produciendo una falla por licuación estática reflejado en el caso III.

RECOMENDACIONES

Las principales recomendaciones alcanzadas en nuestra tesis de evaluación del potencial de licuación del material de relave en la presa zona norte ubicada en la mina cobriza, Perú son los siguientes:

1. Se recomienda colocar un sistema de drenaje horizontal y vertical en el depósito de relave para evacuar las aguas de forma constante, con ello se consigue disminuir las líneas de flujo y posición del nivel freático en el depósito que ayudará a mejorar el comportamiento del relave. Por lo tanto, en el relave depositado disminuirá su contenido de humedad haciendo que aumente su parámetro de resistencia, además con ello se evitara el exceso de presiones de poros y se disminuirá el riesgo de licuación del depósito de relaves.
2. Se recomienda realizar mayor exploración geotécnica con el uso de ensayos de penetración estándar para la elaboración de un mayor registro de datos para su uso en un análisis más detallado de la zona en estudio, obteniendo una mejor delimitación de la zona donde se puede presentarse el fenómeno de licuación.
3. El metodología que hemos elegido en esta tesis es del investigador Seed and Idriss, presentado por Youd (2001), ya que es el método más confiable y usado para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo sometido a cargas cíclicas. Sin embargo, se recomienda analizar mediante otros métodos como: Metodología de NCEER (1998), Metodología de Iwasaki-Tokimatsu y Metodología de Ishihara para realizar un análisis comparativo y poder obtener e interpretar mejor los resultados.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Aminaton, M. y Tan, C.S. (2012). Short Review on Liquefaction Susceptibility. International Journal of Engineering Reserach and Applications, Faculty of Civil Engineering, Universiti Technology Malaysia, Skudai, Malaysia.

Andrews, D.C.A. y Martin, G.R. (2000). Criteria for Liquefaction of Silty Solis. 12th Word Conference on Earthquake Engineering Proceedings, Auckland, New Zealand.

Augusto, J.L. Procesos de Licuefacción de Suelos. Facultad de Ingeniería U.N.I.P., Área Geotecnia, Buenos Aires, Argentina.

Braja Das M. (2001). Principios de Ingeniería de Cimentación. Editores Thomson, México.

Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa, Quinta Edición, México

Daniel, H.S.R. (2006). Determinación del Potencial de Licuefacción de Suelos no Cohesivos Saturados bajo cargas sísmicas usando el Ensayo de Penetración Estándar. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela Ingeniería en Construcción, Universidad Austral de Chile.

Delgado Vargas (2000). Ingeniería de Cimentaciones Fundamentos e Introducción al análisis geotécnico. Editorial Alfaomega.

Enrique, S.F. (2012). Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú. Boletín Nro. 3, Instituto de Geología y Minería, INGEOMIN, Lima, Perú.

Gonzalo, D.E. y Carlos, E.E. (2002). Mecánica de los Suelos. Texto para la asignatura mecánica de suelos I, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Colombia.

Javiera G. y Ramón V. (2014). Sitios Afectados por Licuefacción a causa del terremoto 27-F, VIII congreso chileno de ingeniería geotécnica 2014, Sociedad Chilena de Geotecnia, Chile.

Jorge E. Alva Hurtado y Denis. Parra, M. Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos en Chimbote, Perú. CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Jorge E. Alva Hurtado. Dinámica de Suelos. Post Grado Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Jorge E. Alva Hurtado y Miguel Infantes Quijano. Diseño sísmico de presas de tierra y enrocado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Jorge E. Alva Hurtado. Soil Liquefaction in Perú., CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Jorge E. Alva Hurtado. Licuación de los suelos en el Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Jorge E. Alva Hurtado. Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos. Post Grado Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Jorge, E.A.H. y Miriam, R.E.A. Actualización de los Parámetros Sismológicos en la Evaluación del Peligro Sísmico en el Perú. CISMID, XIX Simposio Internacional, Lima, Perú.

Jorge, E.A.H. y Jorge, L.C.A, (1993). Peligro Sísmico en el Perú. CISMID, VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, Perú.

Juárez, B. y Rico, R. (2005). Mecánica de Suelos. Tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos. Limusa Noriega Editores, México.

Kazue, W. (2011). Recurrent Liquefaction induced by the 2011 great east japan earthquake. Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, Tokyo, Japan.

Klon Crippen B. (2006). Plan de Cierre conceptual de la Mina Cobriza”, DOU RUN PERU S.R.L., Lima, Perú.

Peck-Hanson Thornburn (2000). Ingeniería de Cimentaciones. Editorial Limusa, México.

Peter, L.B. y David, R. (2000). Ingeniería de Cimentaciones. Department of Civil Engineering, University of Salford, Editorial McGRAW-HILL,

Renzo, V.A.A. (2010). Evaluación del Potencial de Licuefacción de Suelos de la Ciudad de Tambo de Mora. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

ANEXO 01

CUADRO DE MATRIZ DE CONSISTENCIA

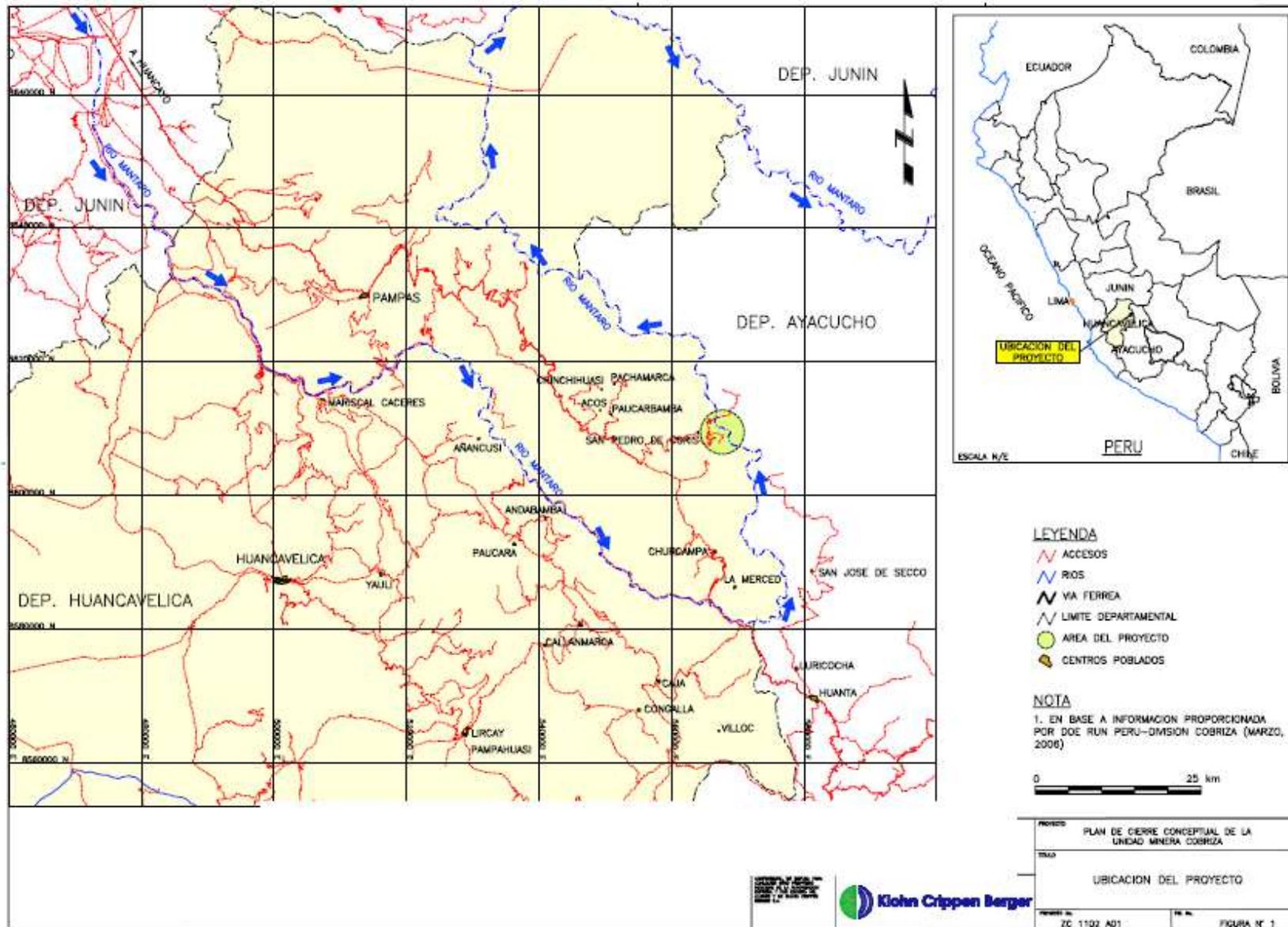
MATRIZ DE CONSISTENCIA						
Descripción del problema	Objetivos	Pregunta de Investigación	Hipótesis de Investigación	Variables de estudio	Muestra	Diseño
La descarga descontrolada de grandes cantidades de relaves directamente a ríos, lagos o playas del mar es frecuente; sin embargo, en la mayoría de las 176 minas en operación en el Perú, se han construido presas de relaves con el fin de mantener éstos residuos mineros lejos	Identificar los factores que influye en la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problemas de contaminación de suelos y calidad de agua, además de ocasionar problemas en la planta concentradora que se encuentra al pie de la presa.	¿Qué factores influyen en la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problemas de contaminación de suelos y calidad de agua?	Existen factores que durante la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza influye significativamente en los problemas de contaminación de suelos y calidad de agua, además de generar problemas en las infraestructuras existentes en la zona.	VI. Factores que influyen en la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza.	Población: Todos los depósitos de relaves de la zona en estudio en el departamento de Huancavelica	Tipo de investigación: Investigación aplicada
	Identificar las características en el material de relave Zona	¿Cuáles son las características en el	Las características en el material de relave Zona	VD. Problemas de		

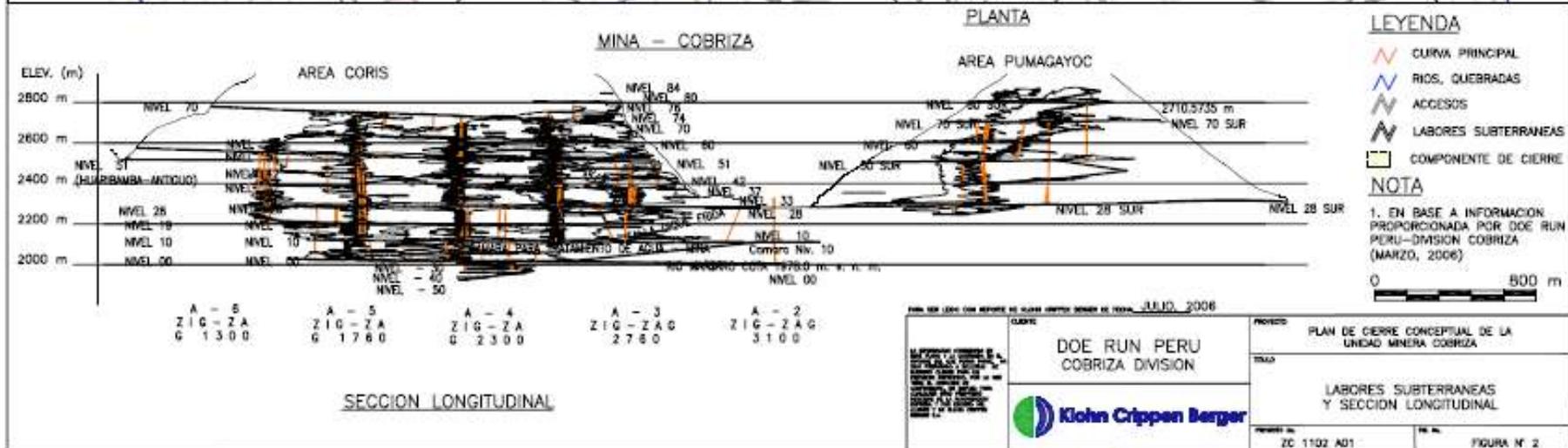
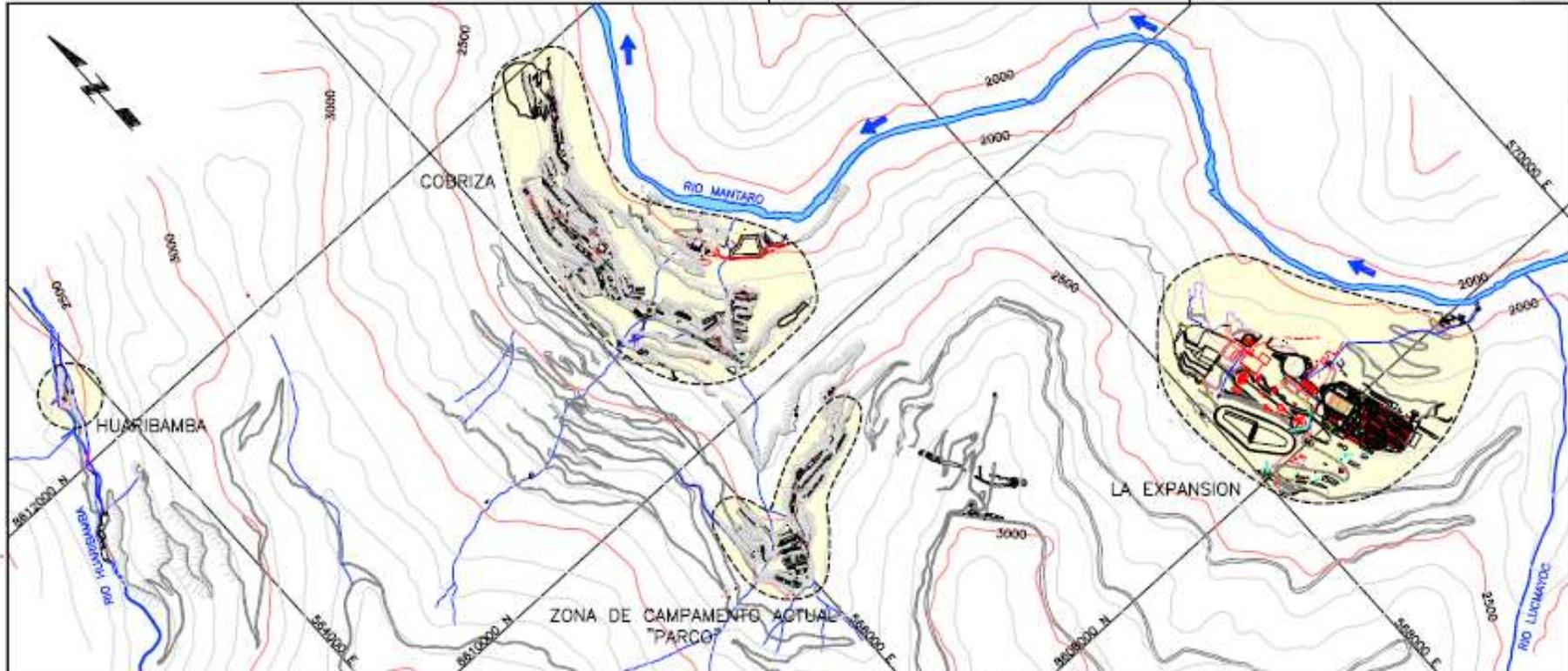
de los arroyos y ríos, y se debe realizar una evaluación de potencial de licuación del material en la presa del depósito de relave para obtener un mayor control en el volumen de almacenamiento de los residuos mineros.	Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación para evitar problemas de deslizamiento del dique y relave depositado.	material de relave Zona Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación para evitar problemas de deslizamiento del dique y relave depositado?	Norte en la mina Cobriza ante la falla por licuación están directamente relacionadas con los problemas de deslizamiento del dique y relave depositado.	contaminación de suelos y calidad de agua.		Cuantitativo
	Identificar las causas que ocasiona la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problema de contaminación de suelos y calidad de agua	¿Cuáles son las causas que ocasionan la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza para evitar problema de contaminación de suelos y calidad de agua?	Las causas que ocasiona la falla por licuación en el material de relave Zona Norte en la mina Cobriza generan problema de contaminación de suelos y calidad de agua.	VD. Problemas en las infraestructuras existentes en la zona	VD. Problemas de deslizamiento del dique y relave depositado	Muestra: El depósito de relave ubicado en la zona norte en la mina cobriza

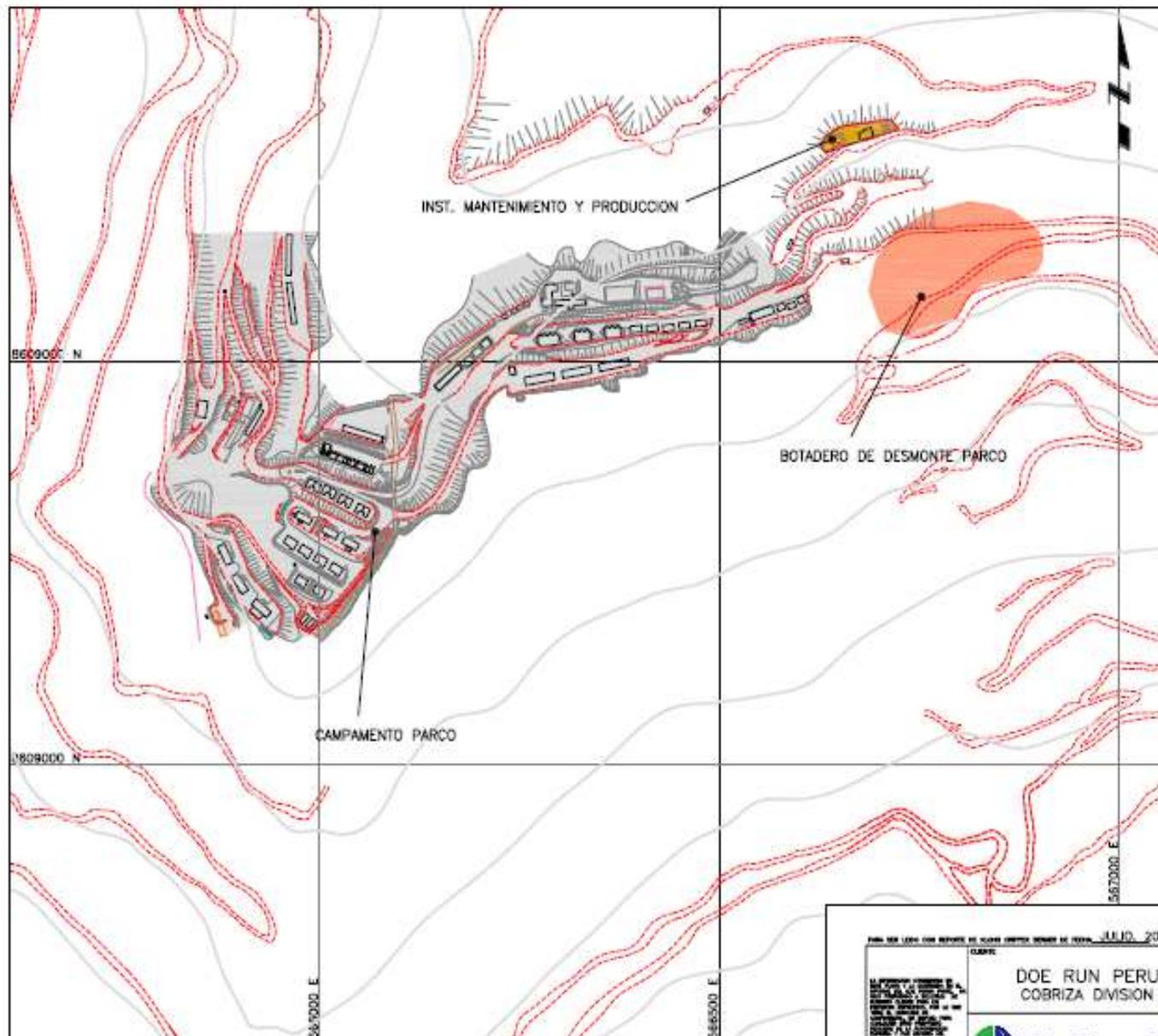
Fuente: Elaboración propia de tesistas, URP

ANEXO 02

PLANO DE LA ZONA EN ESTUDIO







LEYENDA

- BOTADEROS DE DESMONTE
- INST. MANTENIMIENTO Y PRODUCCION
- ANTIGUA ZONA URBANA, CAMPAMENTOS Y OFICINAS
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- RIOS, QUEBRADAS
- ACCESOS

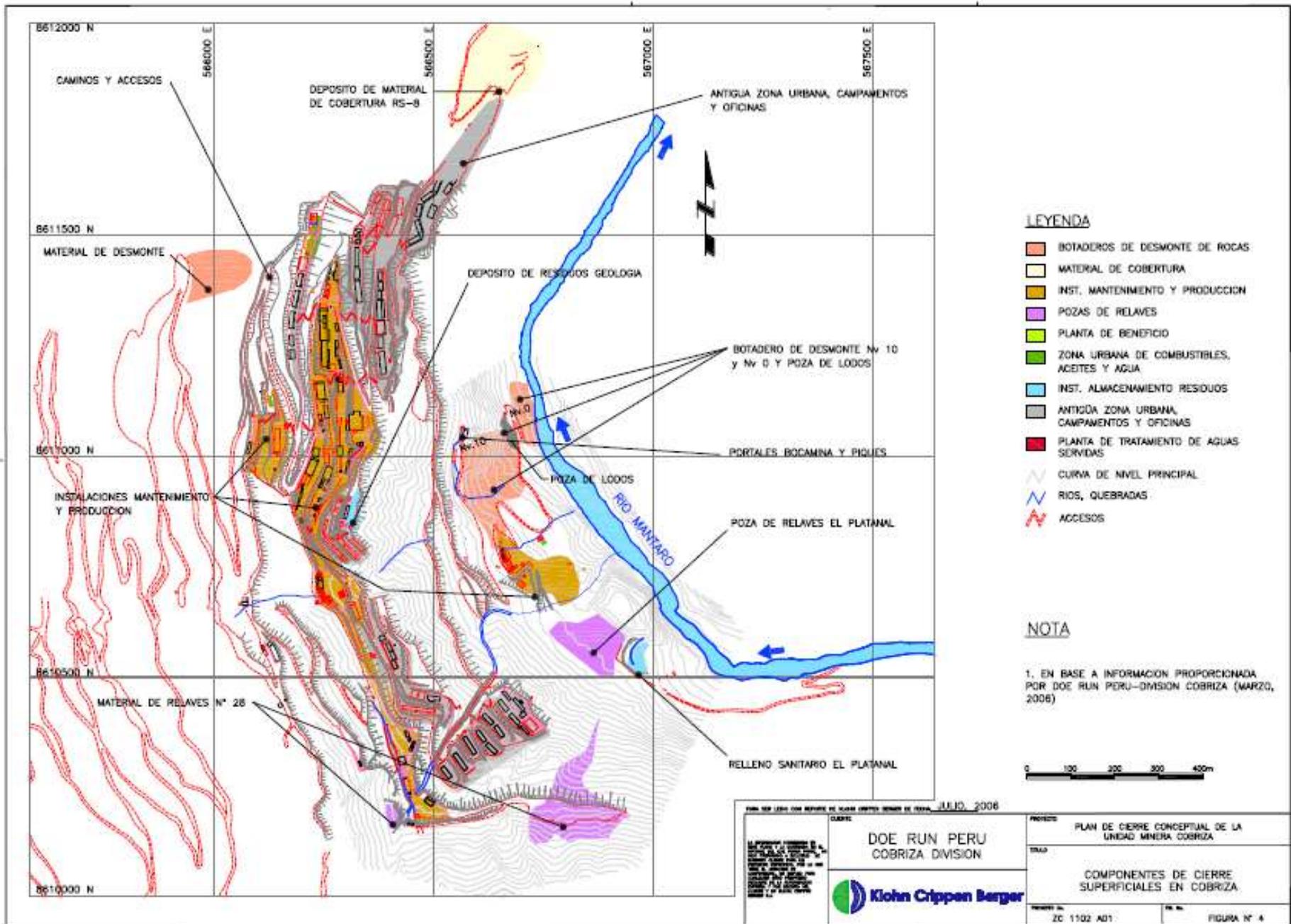
NOTA

1. EN BASE A INFORMACION PROPORCIONADA POR DOE RUN PERU-DIVISION COBRIZA (MARZO, 2006)
2. LA UBICACION DE LOS PUNTOS MOSTRADA ES REFERENCIAL Y SERAN DEFINIDAS EN LA VISITA A CAMPO



PLAN DE CIERRE CON REPORTE DE USOS LIMITES MENOS DE 1000m JULIO, 2006

	DOE RUN PERU COBRIZA DIVISION	PROYECTO: PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MINERA COBRIZA
		COMPONENTES DE CIERRE SUPERFICIALES EN PARCO
NÚMERO DE: ZC 1102 A01		FECHA: FIGURA N° 5



LEYENDA

- BOTADEROS DE DESMONTE DE ROCAS
- MATERIAL DE COBERTURA
- INST. MANTENIMIENTO Y PRODUCCION
- POZAS DE RELAVES
- PLANTA DE BENEFICIO
- ZONA URBANA DE COMBUSTIBLES, ACEITES Y AGUA
- INST. ALMACENAMIENTO RESIDUOS
- ANTIGUA ZONA URBANA, CAMPAMENTOS Y OFICINAS
- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- RIOS, QUEBRADAS
- ACCESOS

NOTA

1. EN BASE A INFORMACION PROPORCIONADA POR DOE RUN PERU-DIVISION COBRIZA (MARZO, 2006)



<p style="font-size: 8px;">PLAN DE CIERRE CON REPORTE DE NIVEL CERTEJOS SEMESTRE DE 2006, JULIO, 2006</p>	<p>DOE RUN PERU COBRIZA DIVISION</p>	<p>PROYECTO PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MINERA COBRIZA</p> <p>TITULO COMPONENTES DE CIERRE SUPERFICIALES EN COBRIZA</p>
<p>PROYECTO: PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MINERA COBRIZA</p> <p>TITULO: COMPONENTES DE CIERRE SUPERFICIALES EN COBRIZA</p> <p>FECHA: 2006</p> <p>ESCALA: 1:5000</p> <p>PROYECTADO POR: [NOMBRE]</p> <p>REVISADO POR: [NOMBRE]</p> <p>APROBADO POR: [NOMBRE]</p>	<p>PROYECTO: PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MINERA COBRIZA</p> <p>TITULO: COMPONENTES DE CIERRE SUPERFICIALES EN COBRIZA</p> <p>FECHA: 2006</p> <p>ESCALA: 1:5000</p> <p>PROYECTADO POR: [NOMBRE]</p> <p>REVISADO POR: [NOMBRE]</p> <p>APROBADO POR: [NOMBRE]</p>	<p>PROYECTO: PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MINERA COBRIZA</p> <p>TITULO: COMPONENTES DE CIERRE SUPERFICIALES EN COBRIZA</p> <p>FECHA: 2006</p> <p>ESCALA: 1:5000</p> <p>PROYECTADO POR: [NOMBRE]</p> <p>REVISADO POR: [NOMBRE]</p> <p>APROBADO POR: [NOMBRE]</p>



LEYENDA

- BOTADEROS DE DESMONTE DE ROCAS
- MATERIAL DE COBERTURA
- INST. MANTENIMIENTO Y PRODUCCION
- POZAS DE RELAVES
- PLANTA DE BENEFICIO
- ZONA URBANA DE COMBUSTIBLES, ACEITES Y AGUA
- INST. ALMACENAMIENTO RESIDUOS
- ANTIGUA ZONA URBANA, CAMPAMENTOS Y OFICINAS
- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- RIOS, QUEBRADAS
- ACCESOS

NOTA

1. EN BASE A INFORMACION PROPORCIONADA POR DOE RUN PERU-DIVISION COBRIZA (MARZO, 2006)



PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MINERA COBRIZA - JULIO, 2006

	CLIENTE DOE RUN PERU COBRIZA DIVISION	PROYECTO PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MINERA COBRIZA
		TITULO COMPONENTES DE CIERRE SUPERFICIALES EN LA EXPANSION
	PROYECTO No. ZC 1102 A01	Hoja No. FIGURA N.º 3

ANEXO 03

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (NORMA ASTM D – 422)

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°01 - POSTEADORA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 0.00m. - 1,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.23 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10				100.00		
Nro, 20	1.41	0.18	0.18	99.82		
Nro, 30	20.09	2.57	2.75	97.25		AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	12.92	1.66	4.41	95.59		
Nro, 50	11.53	1.48	5.89	94.11		
Nro, 60	8.29	1.06	6.95	93.05		
Nro 80	12.74	1.63	8.58	91.42		Fracción Humeda (gr) 893.00
Nro, 100	11.72	1.50	10.08	89.92		Humedad (%) 14.40%
Nro, 200	106.48	13.64	23.72	76.28		Fracción Seca (gr) 780.59
PASA Nro. 200	595.41	76.28	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°01 - POSTEADORA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 1,00m. - 2,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.21 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10						
Nro, 20				100.00		
Nro, 30	4.03	0.43	0.43	99.57		OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 2680 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	3.64	0.39	0.82	99.18		Fracción Humeda (gr) 1050.00 Humedad (%) 12.47% Fracción Seca (gr) 933.59
Nro, 50	3.28	0.35	1.17	98.83		
Nro, 60	3.25	0.35	1.52	98.48		
Nro 80	11.91	1.28	2.80	97.20		
Nro, 100	6.30	0.67	3.47	96.53		
Nro, 200	98.79	10.58	14.05	85.95		
PASA Nro. 200	802.39	85.95	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°02 - POSTEADORA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 0.00m. - 1,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.24 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10				100.00		
Nro, 20	18.65	1.80	1.80	98.20		
Nro, 30	34.00	3.28	5.08	94.92		AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%
Nro, 40	17.81	1.72	6.80	93.20		AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 50	13.25	1.28	8.07	91.93		
Nro, 60	9.36	0.90	8.98	91.02		
Nro 80	16.13	1.56	10.53	89.47		Fracción Humeda (gr) 1158.00
Nro, 100	11.35	1.09	11.63	88.37		Humedad (%) 11.70%
Nro, 200	148.59	14.33	25.96	74.04		Fracción Seca (gr) 1036.67
PASA Nro. 200	767.53	74.04	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°02 - CAÑA PARTIDA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 1.00m. - 2,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.22 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10				100.00		
Nro, 20	10.76	1.00	1.00	99.00		
Nro, 30	8.77	0.82	1.82	98.18		AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	3.51	0.33	2.15	97.85		
Nro, 50	6.29	0.59	2.74	97.26		
Nro, 60	6.66	0.62	3.36	96.64		
Nro 80	15.66	1.46	4.82	95.18		Fracción Humeda (gr) 1165.30
Nro, 100	11.65	1.09	5.91	94.09		Humedad (%) 8.76%
Nro, 200	127.57	11.91	17.81	82.19		Fracción Seca (gr) 1071.43
PASA Nro. 200	880.56	82.19	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°03 - POSTEADORA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 0.00m. - 1,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.21 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10						
Nro, 20						
Nro, 30				100.00		OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 2680 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	0.61	0.05	0.05	99.95		Fracción Humeda (gr) 1247.00 Humedad (%) 10.44% Fracción Seca (gr) 1129.16
Nro, 50	1.64	0.15	0.20	99.80		
Nro, 60	3.05	0.27	0.47	99.53		
Nro 80	13.50	1.20	1.66	98.34		
Nro, 100	5.71	0.51	2.17	97.83		
Nro, 200	151.06	13.38	15.55	84.45		
PASA Nro. 200	953.59	84.45	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°03 - CAÑA PARTIDA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 1.00m. - 10,35m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.24 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10						
Nro, 20				100.00		
Nro, 30	29.85	2.99	2.99	97.01		OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 2680 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	18.74	1.88	4.86	95.14		Fracción Humeda (gr) 1103.00 Humedad (%) 10.40% Fracción Seca (gr) 999.13
Nro, 50	14.46	1.45	6.31	93.69		
Nro, 60	8.00	0.80	7.11	92.89		
Nro 80	29.81	2.98	10.09	89.91		
Nro, 100	13.00	1.30	11.40	88.60		
Nro, 200	150.96	15.11	26.51	73.49		
PASA Nro. 200	734.31	73.49	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°04 - CAÑA PARTIDA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 0.00m. - 10,30m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 7 Cu = 1.26 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10				100.00		
Nro, 20	36.78	3.55	3.55	96.45		
Nro, 30	30.53	2.94	6.49	93.51		AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	19.00	1.83	8.32	91.68		
Nro, 50	18.95	1.83	10.15	89.85		
Nro, 60	10.71	1.03	11.18	88.82		
Nro 80	29.91	2.88	14.06	85.94		Fracción Humeda (gr) 1132.20
Nro, 100	18.40	1.77	15.84	84.16		Humedad (%) 9.15%
Nro, 200	169.61	16.35	32.19	67.81		Fracción Seca (gr) 1037.32
PASA Nro. 200	703.43	67.81	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°05 - POSTEADORA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 0.00m. - 1,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.20 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10						
Nro, 20				100.00		
Nro, 30	5.54	0.53	0.53	99.47		OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 2680 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	2.26	0.22	0.75	99.25		Fracción Humeda (gr) 1150.10 Humedad (%) 9.89% Fracción Seca (gr) 1046.58
Nro, 50	6.66	0.64	1.38	98.62		
Nro, 60	1.10	0.11	1.49	98.51		
Nro 80	10.94	1.05	2.53	97.47		
Nro, 100	7.80	0.75	3.28	96.72		
Nro, 200	99.25	9.48	12.76	87.24		
PASA Nro. 200	913.03	87.24	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°05 - CAÑA PARTIDA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 1.00m. - 2,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO					
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA							
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.19 Cc = 0.97					
4"											
3"											
2"											
1 1/2"											
1"											
3/4"											
1/2"				100.00							
3/8"	2.21	0.22	0.22	99.78							
1/4"	2.00	0.20	0.42	99.58							
Nro, 4	1.17	0.12	0.54	99.46							
Nro, 8	1.54	0.15	0.69	99.31							
Nro, 10	1.29	0.13	0.82	99.18							
Nro, 20	4.23	0.42	1.24	98.76							
Nro, 30	3.31	0.33	1.57	98.43							
Nro, 40	3.07	0.31	1.88	98.12							
Nro, 50	2.39	0.24	2.11	97.89							
Nro, 60	3.81	0.38	2.49	97.51							
Nro 80	7.11	0.71	3.20	96.80							
Nro, 100	8.86	0.88	4.09	95.91							
Nro, 200	18.40	1.83	5.92	94.08							
PASA Nro. 200	949.21	94.62	100.54	0.00							
OBSERVACIONES :											
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">MATERIAL (gr)</td> <td style="text-align: center;">2680</td> </tr> <tr> <td>AGREG. GRUESO (gr)</td> <td style="text-align: center;">0 0.00%</td> </tr> <tr> <td>AGREG. FINO (gr)</td> <td style="text-align: center;">2680 100.00%</td> </tr> </table>						MATERIAL (gr)	2680	AGREG. GRUESO (gr)	0 0.00%	AGREG. FINO (gr)	2680 100.00%
MATERIAL (gr)	2680										
AGREG. GRUESO (gr)	0 0.00%										
AGREG. FINO (gr)	2680 100.00%										
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Fracción Humeda (gr)</td> <td style="text-align: center;">1107.50</td> </tr> <tr> <td>Humedad (%)</td> <td style="text-align: center;">10.39%</td> </tr> <tr> <td>Fracción Seca (gr)</td> <td style="text-align: center;">1003.22</td> </tr> </table>						Fracción Humeda (gr)	1107.50	Humedad (%)	10.39%	Fracción Seca (gr)	1003.22
Fracción Humeda (gr)	1107.50										
Humedad (%)	10.39%										
Fracción Seca (gr)	1003.22										

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°06 - POSTEADORA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 0.00m. - 1,00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.24 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4						
Nro, 8						
Nro, 10						
Nro, 20				100.00		
Nro, 30	7.41	0.79	0.79	99.21		OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 2680 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro, 40	5.80	0.62	1.41	98.59		Fracción Humeda (gr) 1026.70 Humedad (%) 9.88% Fracción Seca (gr) 934.36
Nro, 50	5.64	0.60	2.02	97.98		
Nro, 60	5.34	0.57	2.59	97.41		
Nro 80	21.04	2.25	4.84	95.16		
Nro, 100	18.10	1.94	6.78	93.22		
Nro, 200	172.12	18.42	25.20	74.80		
PASA Nro. 200	698.91	74.80	100.00	0.00		

GRANULOMETRÍA

POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA
DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE - EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.

MATERIAL : SPT N°06 - CAÑA PARTIDA
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
PROFUNDIDAD : 1.00m. - 5.10m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
5"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA L.L. = N.P. L.P. = N.P. I.P. = N.P. CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = ML CLASIFICACIÓN AASHTO = A-4 I.G. = 8 Cu = 1.22 Cc = 0.97
4"						
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4						
Nro. 8						
Nro. 10						
Nro. 20				100.00		
Nro. 30	9.94	0.91	0.91	99.09		MATERIAL (gr) 2680 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2680 100.00%
Nro. 40	5.51	0.50	1.41	98.59		
Nro. 50	4.22	0.38	1.79	98.21		
Nro. 60	9.08	0.83	2.62	97.38		
Nro. 80	23.70	2.16	4.78	95.22		
Nro. 100	5.52	0.50	5.28	94.72		
Nro. 200	165.10	15.04	20.32	79.68		
PASA Nro. 200	874.68	79.68	100.00	0.00		Fracción Humeda (gr) 1216.60 Humedad (%) 10.83% Fracción Seca (gr) 1097.75

OBSERVACIONES :

ANEXO 04

LÍMITE LÍQUIDO (NORMA ASTM D – 423)

LÍMITE PLÁSTICO (NORMA ASTM D – 424)

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : FEBRERO DEL 2006
MATERIAL : SPT N°01 - M01
PROFUNDIDAD : 0.50m. - 1.00m./1.00m. - 1.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : FEBRERO DEL 2006
MATERIAL : SPT N°01 - M02
PROFUNDIDAD : 1.50m. - 2.00m./2.00m. - 2.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : FEBRERO DEL 2006
MATERIAL : SPT N°01 - M03
PROFUNDIDAD : 2.50m. - 3.00m./3.00m. - 3.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°01 - M03
PROFUNDIDAD : 3.50m. - 4.00m./4.00m. - 4.30m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°02 - M01
PROFUNDIDAD : 0.50m. - 1.00m./1.00m. - 1.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°02 - M02
PROFUNDIDAD : 1.50m. - 2.00m./2.00m. - 2.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°02 - M03
PROFUNDIDAD : 2.50m. - 3.00m./3.00m. - 3.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°02 - M04
PROFUNDIDAD : 3.50m. - 3.90m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°03 - M01
PROFUNDIDAD : 0.50m. - 1.00m./1.00m. - 1.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°03 - M02
PROFUNDIDAD : 1.50m. - 2.00m./2.00m. - 2.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°03 - M03
PROFUNDIDAD : 2.50m. - 3.00m./3.00m. - 3.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECA							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

PROYECTO : VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES ZONA NORTE
 Y ANALISIS PARA SU SOBRE ELEVACIÓN
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. - COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : PRESA FRONTAL NORTE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°03 - M04
PROFUNDIDAD : 3.50m. - 4.00m./4.00m. - 4.50m.

**LIMITE DE PLASTICIDAD
 POR TAMIZADO**

LIMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D 423							
MUESTRA	1	2	3				
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
No DE GOLPES							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 424							
MUESTRA	1	2					
PROFUNDIDAD							
RECIPIENTE No							
R + S. HUMEDO							
R + S. SECO							
PESO DEL AGUA							
PESO DEL RECIPIENTE							
PESO DEL S.SECO							
% DE HUMEDAD	NP	NP	NP				

MUESTRA N° 01		
L.L.	NP	
L.P.	NP	
I.P.	NP	

OBSERVACIONES

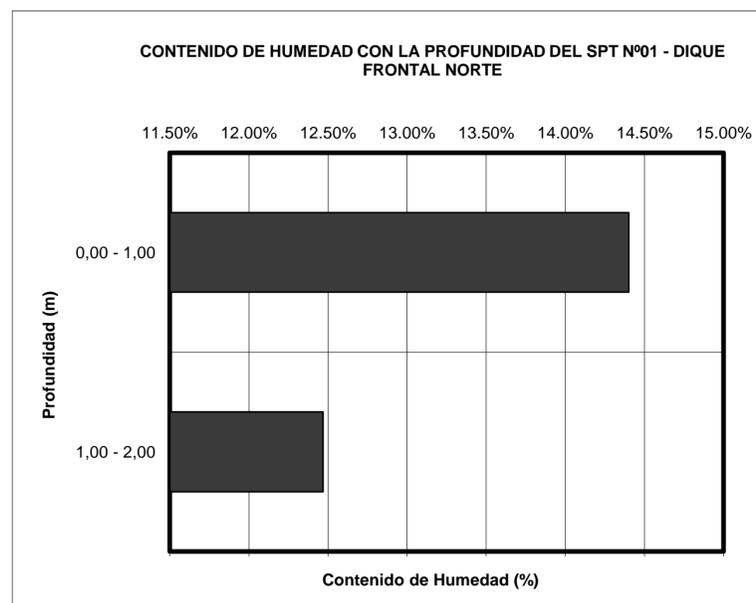
ANEXO 05

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL
(NORMA ASTM D – 2216)

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D - 2216

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. -COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°01

CONTENIDO DE HUMEDAD		SPT N° 01	
		POSTEADORA 01	POSTEADORA 02
		PROFUNDIDAD = 0.00 m. - 1.00 m.	PROFUNDIDAD = 1.00 m. - 2.00 m.
1	RECIPIENTE NUMERO	10	32
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO gr .	154.25	132.7
3	RECIPIENTE + SUELO SECO gr .	136.88	119.7
4	AGUA gr .	17.37	13
5	PESO DEL RECIPIENTE gr .	16.26	15.44
6	PESO DEL SUELO SECO gr .	120.62	104.26
7	HUMEDAD IN - SITU %	14.40%	12.47%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD %	14.40%	12.47%



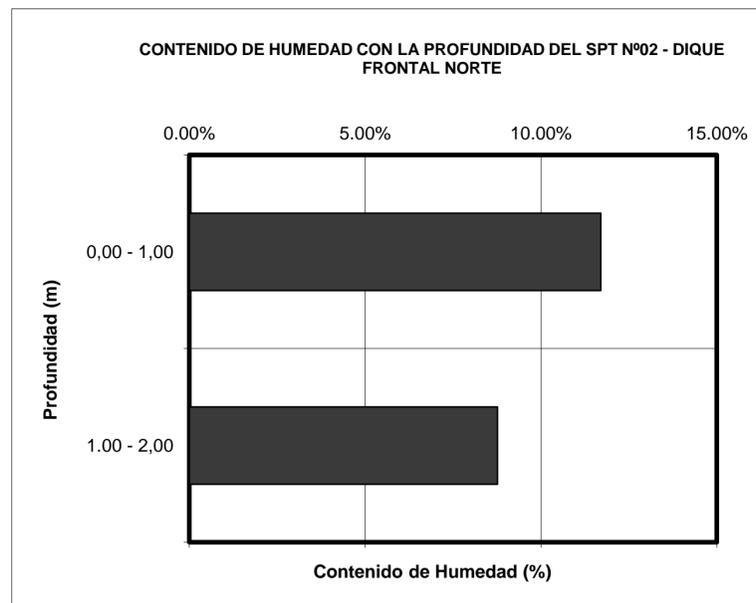
TECNICO LABORATORISTA

ING. RESPONSABLE

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D - 2216

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. -COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°02

CONTENIDO DE HUMEDAD		SPT N° 02		SPT N° 02	
		POSTEADORA		CAÑA PARTIDA	
		PROFUNDIDAD = 0.00 m. - 1,00 m.		PROFUNDIDAD = 1.00 m. - 2,00 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO	12		11	
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO gr .	134.18		181.1	
3	RECIPIENTE + SUELO SECO gr .	121.81		167.8	
4	AGUA gr .	12.37		13.3	
5	PESO DEL RECIPIENTE gr .	16.12		16	
6	PESO DEL SUELO SECO gr .	105.69		151.8	
7	HUMEDAD IN - SITU %	11.70%		8.76%	
8	PROMEDIO DE HUMEDAD %	11.70%		8.76%	



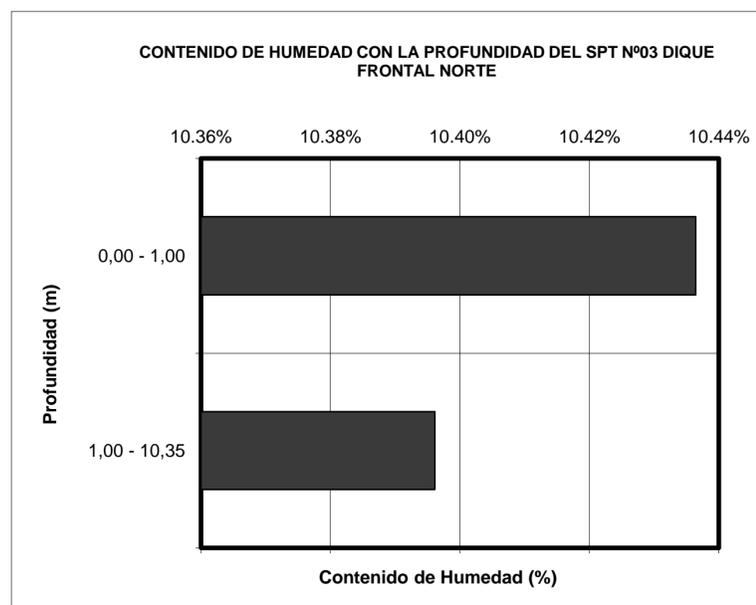
TECNICO LABORATORISTA

ING. RESPONSABLE

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D - 2216

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. -COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°03

CONTENIDO DE HUMEDAD		SPT N° 03		SPT N° 03	
		POSTEADORA		CAÑA PARTIDA	
		PROFUNDIDAD = 0.00 m. - 1.00 m.		PROFUNDIDAD = 1.00 m. - 10.35 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO	14		2	
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO gr .	161.07		152.5	
3	RECIPIENTE + SUELO SECO gr .	147.56		139.64	
4	AGUA gr .	13.51		12.86	
5	PESO DEL RECIPIENTE gr .	18.11		15.94	
6	PESO DEL SUELO SECO gr .	129.45		123.7	
7	HUMEDAD IN - SITU %	10.44%		10.40%	
8	PROMEDIO DE HUMEDAD %	10.44%		10.40%	



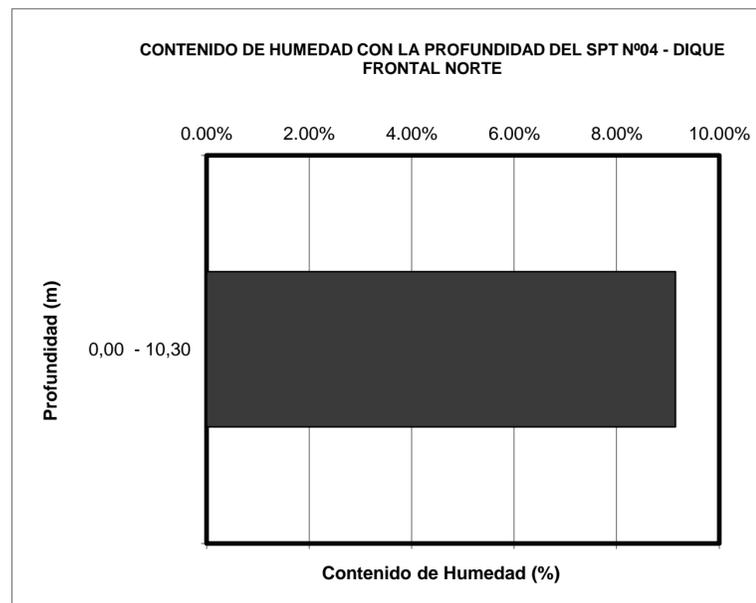
TECNICO LABORATORISTA

ING. RESPONSABLE

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D - 2216

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. -COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°04

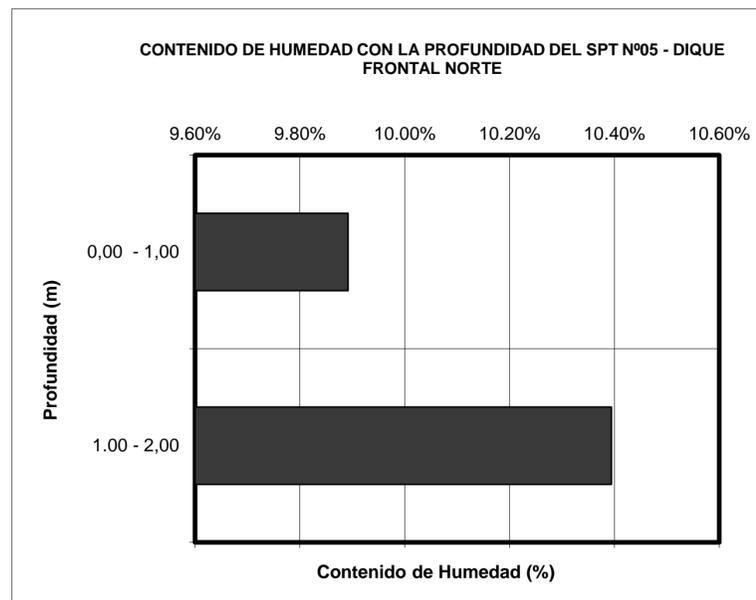
CONTENIDO DE HUMEDAD			SPT N° 04	
			CAÑA PARTIDA	
			PROFUNDIDAD = 0.00 m. - 10.30 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		6	
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	159.1	
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	147.07	
4	AGUA	gr .	12.03	
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	15.55	
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	131.52	
7	HUMEDAD IN - SITU	%	9.15%	
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.15%	



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D - 2216

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. -COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°05

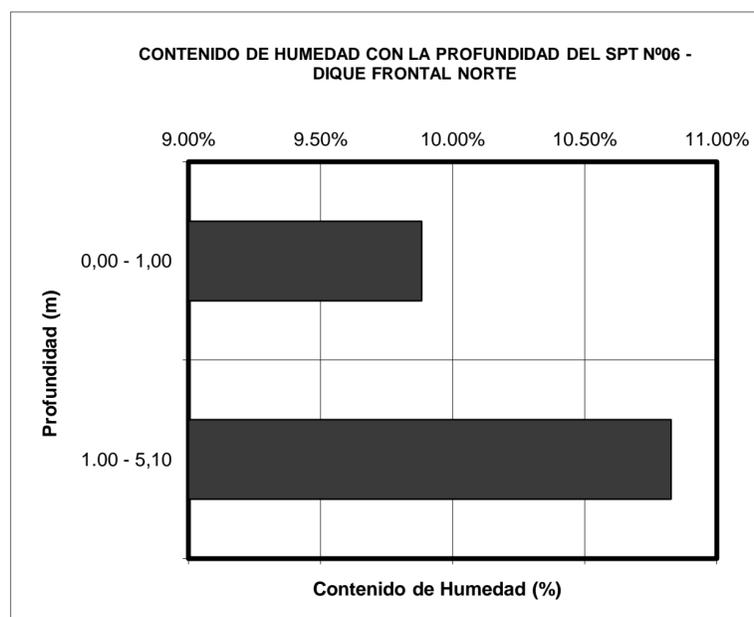
CONTENIDO DE HUMEDAD		SPT N° 05		SPT N° 05	
		POSTEADORA		CAÑA PARTIDA	
		PROFUNDIDAD = 0.00 m. - 1.00 m.		PROFUNDIDAD = 1.00 m. - 2,00 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO	44		80	
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO gr .	154.9		154	
3	RECIPIENTE + SUELO SECO gr .	143.68		141.2	
4	AGUA gr .	11.22		12.8	
5	PESO DEL RECIPIENTE gr .	30.25		18.06	
6	PESO DEL SUELO SECO gr .	113.43		123.14	
7	HUMEDAD IN - SITU %	9.89%		10.39%	
8	PROMEDIO DE HUMEDAD %	9.89%		10.39%	



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D - 2216

PROYECTO : EXPEDIENTE TECNICO DE MODIFICACION PARA LA LICENCIA DE CONSTRUCCION DE LA CANCHA DE RELAVES ZONA NORTE EXPANSION
SOLICITA : DOE RUN PERU S.R.L. -COBRIZA
REALIZADO : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES S.A.C.
UBICACIÓN : DEPOSITO DE RELAVE
FECHA : MARZO DEL 2007
MATERIAL : SPT N°06

CONTENIDO DE HUMEDAD		SPT N° 05		SPT N° 05	
		POSTEADORA		CAÑA PARTIDA	
		PROFUNDIDAD = 0.00 m. - 1,00 m.		PROFUNDIDAD = 1.00 m. - 5,10 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO	13		160	
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO gr .	136.3		159.6	
3	RECIPIENTE + SUELO SECO gr .	125.48		145.55	
4	AGUA gr .	10.82		14.05	
5	PESO DEL RECIPIENTE gr .	16		15.78	
6	PESO DEL SUELO SECO gr .	109.48		129.77	
7	HUMEDAD IN - SITU %	9.88%		10.83%	
8	PROMEDIO DE HUMEDAD %	9.88%		10.83%	



TECNICO LABORATORISTA

ING. RESPONSABLE

ANEXO 06

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN EVALUADO POR METODO SEMI-EMPÍRICO PROPUESTO POR SEED AND IDRIS, PRESENTADO POR YOUD ET AL (2001)

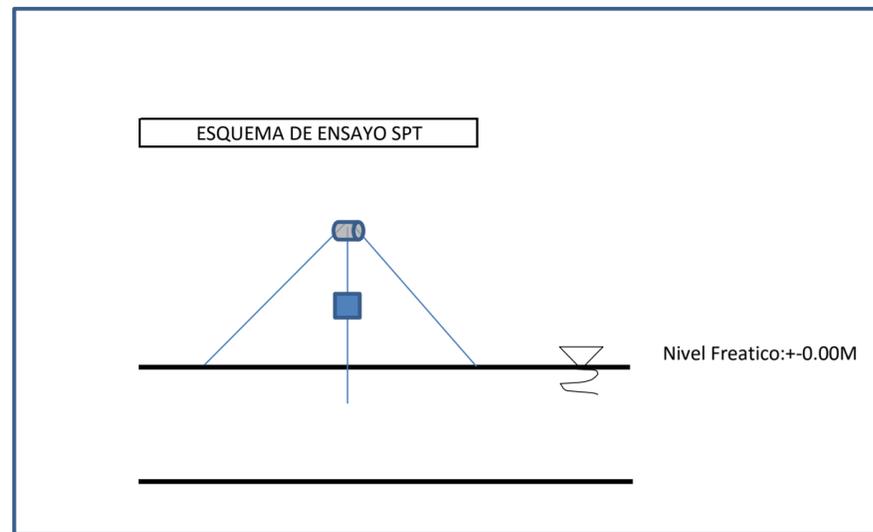
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 01

γ_s (Kg/m³) 2400

Aceleración de Diseño: 0.27g

Nivel Freatico: 0.00

SPT N°1 (PROF=5.85MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1) _{60CF}	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0																						
0.45	76.28	ML	2745.60	27.46	14.40	2	12.355	4.4	7.94	1.70	1.46	2.91	5.00	1.20	8.498	7.5	0.997	0.272	0.100	0.37	SI LICUA	
0.90	76.28	ML	2745.60	27.46	14.40	2	24.710	8.8	15.88	1.62	1.38	2.77	5.00	1.20	8.324	7.5	0.993	0.271	0.099	0.36	SI LICUA	
1.35	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	11	37.066	13.2	23.82	1.52	1.31	14.38	5.00	1.20	22.254	7.5	0.990	0.270	0.246	0.91	SI LICUA	
1.80	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	9	49.421	17.7	31.76	1.44	1.24	11.14	5.00	1.20	18.367	7.5	0.986	0.269	0.196	0.73	SI LICUA	
2.25	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	7	61.776	22.1	39.70	1.37	1.18	8.23	5.00	1.20	14.872	7.5	0.983	0.268	0.159	0.59	SI LICUA	
2.70	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	72.881	26.5	46.39	1.32	1.13	4.51	5.00	1.20	10.411	7.5	0.979	0.270	0.117	0.43	SI LICUA	
3.15	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	85.027	30.9	54.13	1.26	1.08	4.31	5.00	1.20	10.168	7.5	0.976	0.269	0.115	0.43	SI LICUA	
3.60	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	97.174	35.3	61.86	1.20	1.03	4.12	5.00	1.20	9.945	7.5	0.972	0.268	0.113	0.42	SI LICUA	
4.05	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	109.321	39.7	69.59	1.15	0.99	3.95	5.00	1.20	9.741	7.5	0.969	0.267	0.111	0.41	SI LICUA	
4.50	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	5	121.468	44.1	77.32	1.11	0.95	4.74	5.00	1.20	10.691	7.5	0.966	0.266	0.119	0.45	SI LICUA	
4.95	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	13	133.614	48.6	85.05	1.06	0.91	11.86	5.00	1.20	19.233	7.5	0.962	0.265	0.206	0.78	SI LICUA	
5.40	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	20	145.761	53.0	92.79	1.03	0.88	17.58	5.00	1.20	26.093	7.5	0.959	0.264	0.315	1.19	SI LICUA	
5.85	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	56	157.908	57.4	100.52	0.99	0.85	47.47	5.00	1.20	61.969	7.5	0.955	0.263	0.418	1.59	NO LICUA	



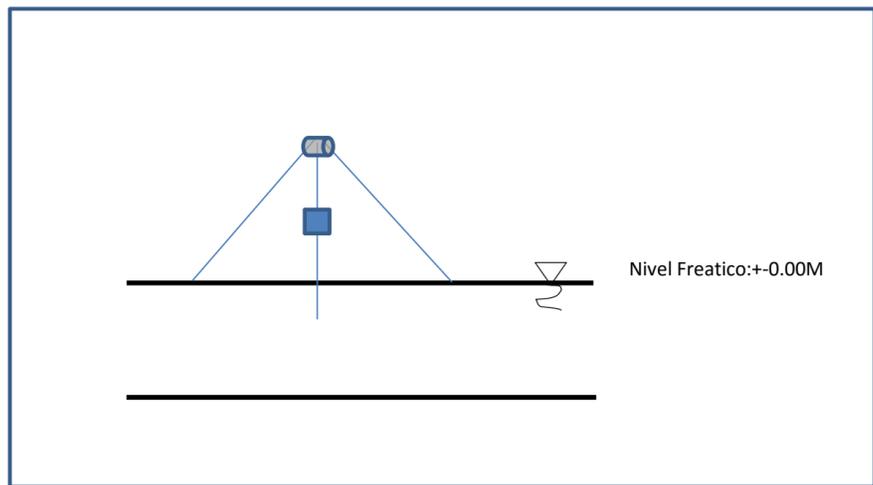
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 02

γ_s
(Kg/m3) **2400**

Aceleracion de Diseño: **0.27g**

Nivel Freatico: **0.00**

SPT N°2 (PROF=10.80 MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1) _{60CF}	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
0.45	74.04	ML	2680.80	26.81	11.70	4	12.064	4.41	7.65	1.721	1.476	5.903	5.00	1.20	12.084	7.5	0.997	0.276	0.132	0.48	SI LICUA
0.90	74.04	ML	2680.80	26.81	11.70	4	24.127	8.83	15.30	1.622	1.391	5.564	5.00	1.20	11.676	7.5	0.993	0.275	0.128	0.47	SI LICUA
1.35	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	36.191	13.24	22.95	1.534	1.315	2.630	5.00	1.20	8.157	7.5	0.990	0.274	0.097	0.35	SI LICUA
1.80	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	48.254	17.66	30.60	1.455	1.247	2.495	5.00	1.20	7.994	7.5	0.986	0.273	0.096	0.35	SI LICUA
2.25	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	60.318	22.07	38.25	1.384	1.186	2.372	5.00	1.20	7.847	7.5	0.983	0.272	0.095	0.35	SI LICUA
2.70	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	72.382	26.49	45.89	1.319	1.131	2.262	5.00	1.20	7.714	7.5	0.979	0.271	0.094	0.35	SI LICUA
3.15	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	84.445	30.90	53.54	1.260	1.080	2.161	5.00	1.20	7.593	7.5	0.976	0.270	0.093	0.34	SI LICUA
3.60	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	96.509	35.32	61.19	1.206	1.034	2.068	5.00	1.20	7.482	7.5	0.972	0.269	0.092	0.34	SI LICUA
4.05	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	108.572	39.73	68.84	1.157	0.992	1.983	5.00	1.20	7.380	7.5	0.969	0.268	0.091	0.34	SI LICUA
4.50	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	120.636	44.15	76.49	1.111	0.953	1.905	5.00	1.20	7.286	7.5	0.966	0.267	0.090	0.34	SI LICUA
4.95	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	129.207	48.56	80.65	1.088	0.933	2.798	5.00	1.20	8.358	7.5	0.962	0.271	0.099	0.37	SI LICUA
5.40	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	140.953	52.97	87.98	1.049	0.899	2.698	5.00	1.20	8.238	7.5	0.959	0.270	0.098	0.36	SI LICUA
5.85	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	2	152.699	57.39	95.31	1.013	0.868	1.737	5.00	1.20	7.084	7.5	0.955	0.269	0.088	0.33	SI LICUA
6.30	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	164.445	61.80	102.64	0.979	0.840	2.519	5.00	1.20	8.022	7.5	0.952	0.268	0.096	0.36	SI LICUA
6.75	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	4	176.191	66.22	109.97	0.948	0.813	3.250	5.00	1.20	8.900	7.5	0.948	0.267	0.104	0.39	SI LICUA
7.20	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	187.937	70.63	117.31	0.918	0.787	4.723	5.00	1.20	10.668	7.5	0.945	0.266	0.119	0.45	SI LICUA
7.65	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	7	199.683	75.05	124.64	0.891	0.763	5.344	5.00	1.20	11.412	7.5	0.941	0.265	0.126	0.48	SI LICUA
8.10	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	211.429	79.46	131.97	0.864	0.741	4.446	5.00	1.20	10.335	7.5	0.938	0.264	0.116	0.44	SI LICUA
8.55	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	223.176	83.88	139.30	0.840	0.720	4.319	5.00	1.20	10.183	7.5	0.935	0.263	0.115	0.44	SI LICUA
9.00	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	5	234.922	88.29	146.63	0.816	0.700	3.499	5.00	1.20	9.199	7.5	0.931	0.262	0.106	0.41	SI LICUA
9.45	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	9	246.668	92.70	153.96	0.794	0.681	6.129	5.00	1.20	12.355	7.5	0.922	0.259	0.134	0.52	SI LICUA
9.90	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	8	258.414	97.12	161.29	0.774	0.663	5.305	5.00	1.20	11.366	7.5	0.910	0.256	0.125	0.49	SI LICUA
10.35	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	12	270.160	101.53	168.63	0.754	0.646	7.753	5.00	1.20	14.304	7.5	0.898	0.252	0.153	0.61	SI LICUA
10.80	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	14	281.906	105.95	175.96	0.735	0.630	8.820	5.00	1.20	15.584	7.5	0.886	0.249	0.166	0.67	SI LICUA



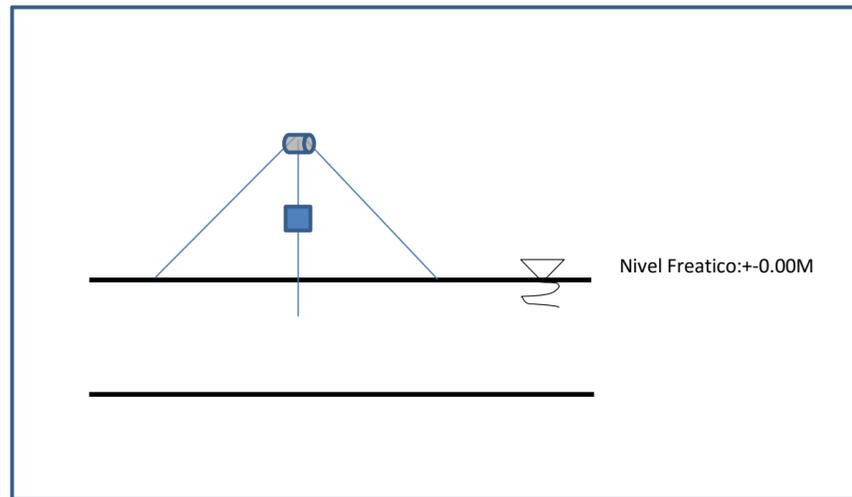
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 03

γ_s (Kg/m3) **2400**

Aceleracion de Diseño: **0.27g**

Nivel Freatico: **0.00**

SPT N°3 (PROF=7.80MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C_N	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1) _{60CF}	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
1.05	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	27.831	10.3	17.530	1.596	1.368	2.736	5.00	1.20	8.283	7.5	0.992	0.276	0.098	0.36	SI LICUA
1.50	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	3	39.758	14.7	25.043	1.512	1.296	3.888	5.00	1.20	9.665	7.5	0.989	0.275	0.110	0.40	SI LICUA
1.95	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	51.686	19.1	32.556	1.436	1.231	2.462	5.00	1.20	7.955	7.5	0.985	0.274	0.096	0.35	SI LICUA
2.40	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	63.613	23.5	40.069	1.368	1.173	2.345	5.00	1.20	7.814	7.5	0.982	0.274	0.094	0.35	SI LICUA
2.85	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	75.541	28.0	47.582	1.306	1.119	2.238	5.00	1.20	7.686	7.5	0.978	0.273	0.093	0.34	SI LICUA
3.30	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	87.468	32.4	55.095	1.249	1.071	2.141	5.00	1.20	7.569	7.5	0.975	0.272	0.092	0.34	SI LICUA
3.75	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	99.360	36.8	62.573	1.197	1.026	2.052	5.00	1.20	7.463	7.5	0.971	0.271	0.091	0.34	SI LICUA
4.20	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	111.283	41.2	70.081	1.149	0.985	1.970	5.00	1.20	7.364	7.5	0.968	0.270	0.091	0.34	SI LICUA
4.65	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	123.206	45.6	77.590	1.105	0.947	1.895	5.00	1.20	7.273	7.5	0.964	0.269	0.090	0.33	SI LICUA
5.10	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	135.130	50.0	85.099	1.064	0.912	1.824	5.00	1.20	7.189	7.5	0.961	0.268	0.089	0.33	SI LICUA
5.55	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	147.053	54.4	92.607	1.026	0.880	1.759	5.00	1.20	7.111	7.5	0.958	0.267	0.089	0.33	SI LICUA
6.00	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	3	158.976	58.9	100.116	0.991	0.849	2.548	5.00	1.20	8.058	7.5	0.954	0.266	0.096	0.36	SI LICUA
6.45	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	3	170.899	63.3	107.625	0.958	0.821	2.463	5.00	1.20	7.956	7.5	0.951	0.265	0.096	0.36	SI LICUA
6.90	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	182.822	67.7	115.133	0.927	0.795	1.589	5.00	1.20	6.907	7.5	0.947	0.264	0.087	0.33	SI LICUA
7.35	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	194.816	72.1	122.713	0.898	0.769	1.539	5.00	1.20	6.847	7.5	0.944	0.263	0.086	0.33	SI LICUA
7.80	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	3	206.744	76.5	130.226	0.870	0.746	2.239	5.00	1.20	7.686	7.5	0.940	0.262	0.093	0.36	SI LICUA



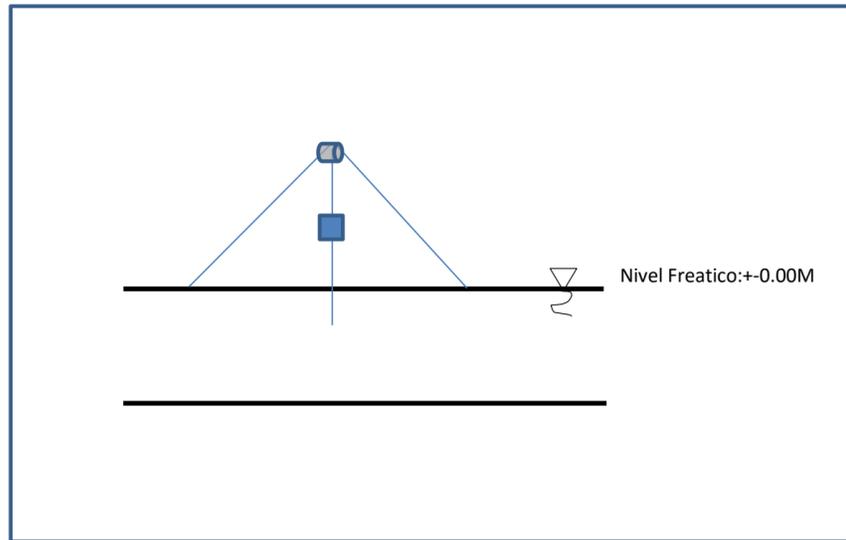
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 04

γ_s (Kg/m3) 2400

Aceleracion de Diseño: 0.27g

Nivel Freatico: 0.00

SPT N°4 (PROF=10.05MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v' (kpa)	C_N	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1)60cf	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
1.05	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4.0	27.506	10.3	17.205	1.600	1.371	5.485	5.00	1.20	11.582	7.5	0.992	0.278	0.127	0.46	SI LICUA
1.50	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	7.0	39.294	14.7	24.579	1.517	1.300	9.101	5.00	1.20	15.921	7.5	0.989	0.277	0.169	0.61	SI LICUA
1.95	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9.0	51.082	19.1	31.953	1.442	1.236	11.125	5.00	1.20	18.350	7.5	0.985	0.276	0.196	0.71	SI LICUA
2.40	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8.0	62.870	23.5	39.326	1.374	1.178	9.425	5.00	1.20	16.309	7.5	0.982	0.275	0.173	0.63	SI LICUA
2.85	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	5.0	74.659	28.0	46.700	1.313	1.125	5.626	5.00	1.20	11.751	7.5	0.978	0.274	0.129	0.47	SI LICUA
3.30	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4.0	86.447	32.4	54.074	1.256	1.077	4.308	5.00	1.20	10.169	7.5	0.975	0.273	0.115	0.42	SI LICUA
3.75	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	3.0	98.235	36.8	61.448	1.205	1.033	3.098	5.00	1.20	8.717	7.5	0.971	0.273	0.102	0.37	SI LICUA
4.20	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	3.0	110.023	41.2	68.821	1.157	0.992	2.975	5.00	1.20	8.570	7.5	0.968	0.272	0.101	0.37	SI LICUA
4.65	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4.0	121.811	45.6	76.195	1.113	0.954	3.816	5.00	1.20	9.580	7.5	0.964	0.271	0.109	0.40	SI LICUA
5.10	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	5.0	133.600	50.0	83.569	1.072	0.919	4.596	5.00	1.20	10.515	7.5	0.961	0.270	0.118	0.44	SI LICUA
5.55	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6.0	145.388	54.4	90.942	1.034	0.887	5.320	5.00	1.20	11.384	7.5	0.958	0.269	0.126	0.47	SI LICUA
6.00	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6.0	157.176	58.9	98.316	0.999	0.856	5.138	5.00	1.20	11.166	7.5	0.954	0.268	0.124	0.46	SI LICUA
6.45	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	7.0	168.964	63.3	105.690	0.966	0.828	5.797	5.00	1.20	11.956	7.5	0.951	0.267	0.131	0.49	SI LICUA
6.90	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6.0	180.752	67.7	113.063	0.935	0.802	4.810	5.00	1.20	10.772	7.5	0.947	0.266	0.120	0.45	SI LICUA
7.35	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8.0	192.541	72.1	120.437	0.906	0.777	6.215	5.00	1.20	12.458	7.5	0.944	0.265	0.135	0.51	SI LICUA
7.80	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8.0	204.329	76.5	127.811	0.879	0.754	6.028	5.00	1.20	12.234	7.5	0.940	0.264	0.133	0.51	SI LICUA
8.25	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8.0	216.117	80.9	135.185	0.853	0.732	5.852	5.00	1.20	12.023	7.5	0.937	0.263	0.131	0.50	SI LICUA
8.70	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9.0	227.905	85.3	142.558	0.829	0.711	6.397	5.00	1.20	12.677	7.5	0.933	0.262	0.137	0.52	SI LICUA
9.15	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9.0	239.693	89.8	149.932	0.806	0.691	6.221	5.00	1.20	12.465	7.5	0.930	0.261	0.136	0.52	SI LICUA
9.60	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9.0	251.482	94.2	157.306	0.785	0.673	6.054	5.00	1.20	12.265	7.5	0.918	0.257	0.134	0.52	SI LICUA
10.05	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9.0	263.270	98.6	164.679	0.764	0.655	5.896	5.00	1.20	12.076	7.5	0.906	0.254	0.132	0.52	SI LICUA



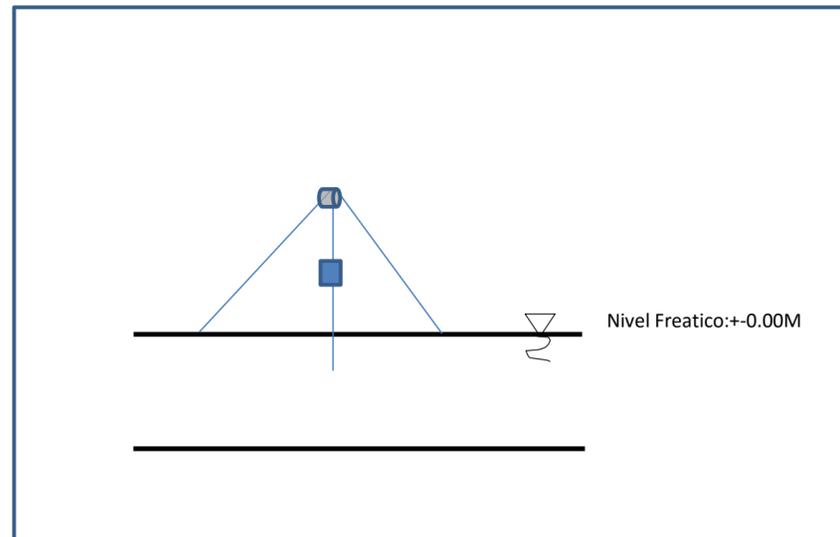
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 05

γ_s (Kg/m3) **2400**

Aceleracion de Diseño: **0.27g**

Nivel Freatico: **0.00**

SPT N°5 (PROF=10.05MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C_N	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1)60CF	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0																						
1.05	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	3.0	27.692	10.3	17.392	1.597	1.37	4.108	5.00	1.20	9.930	7.5	0.992	0.277	0.112	0.406	SI LICUA	
1.50	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	39.560	14.7	24.845	1.514	1.30	2.595	5.00	1.20	8.115	7.5	0.989	0.276	0.097	0.351	SI LICUA	
1.95	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	51.429	19.1	32.299	1.439	1.23	2.467	5.00	1.20	7.960	7.5	0.985	0.275	0.096	0.347	SI LICUA	
2.40	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	63.297	23.5	39.753	1.371	1.17	2.350	5.00	1.20	7.820	7.5	0.982	0.274	0.094	0.344	SI LICUA	
2.85	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	75.165	28.0	47.206	1.309	1.12	2.244	5.00	1.20	7.692	7.5	0.978	0.273	0.093	0.342	SI LICUA	
3.30	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	87.033	32.4	54.660	1.252	1.07	2.147	5.00	1.20	7.576	7.5	0.975	0.272	0.092	0.339	SI LICUA	
3.75	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	98.901	36.8	62.114	1.200	1.03	2.058	5.00	1.20	7.469	7.5	0.971	0.271	0.092	0.337	SI LICUA	
4.20	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	110.769	41.2	69.567	1.152	0.99	1.976	5.00	1.20	7.371	7.5	0.968	0.270	0.091	0.335	SI LICUA	
4.65	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	4.0	122.637	45.6	77.021	1.108	0.95	3.800	5.00	1.20	9.560	7.5	0.964	0.270	0.109	0.405	SI LICUA	
5.10	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	3.0	135.117	50.0	85.086	1.064	0.91	2.737	5.00	1.20	8.284	7.5	0.961	0.268	0.098	0.367	SI LICUA	
5.55	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	4.0	147.039	54.4	92.594	1.026	0.88	3.519	5.00	1.20	9.223	7.5	0.958	0.267	0.106	0.398	SI LICUA	
6.00	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	4.0	158.962	58.9	100.102	0.991	0.85	3.397	5.00	1.20	9.077	7.5	0.954	0.266	0.105	0.395	SI LICUA	
6.45	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	5.0	170.884	63.3	107.609	0.958	0.82	4.105	5.00	1.20	9.926	7.5	0.951	0.265	0.112	0.425	SI LICUA	
6.90	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	6.0	182.806	67.7	115.117	0.927	0.79	4.768	5.00	1.20	10.721	7.5	0.947	0.264	0.120	0.453	SI LICUA	
7.35	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	6.0	194.728	72.1	122.624	0.898	0.77	4.619	5.00	1.20	10.542	7.5	0.944	0.263	0.118	0.448	SI LICUA	
7.80	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	8.0	206.650	76.5	130.132	0.871	0.75	5.972	5.00	1.20	12.166	7.5	0.940	0.262	0.133	0.506	SI LICUA	
8.25	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	9.0	218.572	80.9	137.640	0.845	0.72	6.521	5.00	1.20	12.825	7.5	0.937	0.261	0.139	0.532	SI LICUA	
8.70	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	14.0	230.494	85.3	145.147	0.821	0.70	9.854	5.00	1.20	16.824	7.5	0.933	0.260	0.179	0.688	SI LICUA	
9.15	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	19.0	242.416	89.8	152.655	0.798	0.68	13.001	5.00	1.20	20.602	7.5	0.930	0.259	0.223	0.861	SI LICUA	
9.60	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	30.0	254.339	94.2	160.163	0.777	0.67	19.974	5.00	1.20	28.968	7.5	0.918	0.256	0.409	1.598	NO LICUA	
10.05	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	55.0	266.261	98.6	167.670	0.756	0.65	35.655	5.00	1.20	47.786	7.5	0.906	0.252	0.277	1.096	SI LICUA	



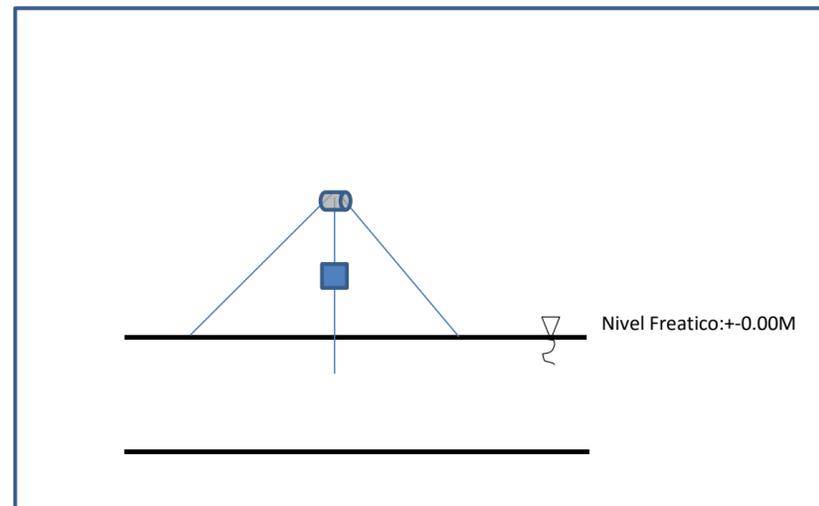
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición no drenada (NF=+0.00m) obtenida por el ensayo SPT 06

γ_s (Kg/m3) **2400**

Aceleracion de Diseño: **0.27g**

Nivel Freatico: **0.00**

SPT N°6 (PROF=4.95MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _n	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1) _{60CF}	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0.00																					
0.45	76.280	ML	2637.120	26.371	9.88	2.00	11.867	4.415	7.453	1.724	1.478	2.956	5.00	1.20	8.547	7.5	0.997	0.278	0.101	0.361	SI LICUA
0.90	76.280	ML	2637.120	26.371	9.88	2.00	23.734	8.829	14.905	1.627	1.395	2.790	5.00	1.20	8.348	7.5	0.993	0.278	0.099	0.356	SI LICUA
1.35	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	11.00	35.909	13.244	22.665	1.537	1.318	14.497	5.00	1.20	22.396	7.5	0.990	0.275	0.248	0.900	SI LICUA
1.80	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	9.00	47.879	17.658	30.221	1.459	1.251	11.255	5.00	1.20	18.506	7.5	0.986	0.274	0.198	0.720	SI LICUA
2.25	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	7.00	59.848	22.073	37.776	1.388	1.190	8.329	5.00	1.20	14.994	7.5	0.983	0.273	0.160	0.586	SI LICUA
2.70	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	71.818	26.487	45.331	1.324	1.135	4.539	5.00	1.20	10.446	7.5	0.979	0.272	0.117	0.430	SI LICUA
3.15	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	83.787	30.902	52.886	1.265	1.084	4.338	5.00	1.20	10.205	7.5	0.976	0.271	0.115	0.424	SI LICUA
3.60	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	95.757	35.316	60.441	1.211	1.038	4.154	5.00	1.20	9.985	7.5	0.972	0.270	0.113	0.418	SI LICUA
4.05	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	107.727	39.731	67.996	1.162	0.996	3.985	5.00	1.20	9.782	7.5	0.969	0.269	0.111	0.413	SI LICUA
4.50	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	5.00	119.696	44.145	75.551	1.117	0.957	4.786	5.00	1.20	10.744	7.5	0.966	0.268	0.120	0.446	SI LICUA
4.95	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	13.00	131.666	48.560	83.107	1.075	0.921	11.976	5.00	1.20	19.372	7.5	0.962	0.268	0.208	0.777	SI LICUA



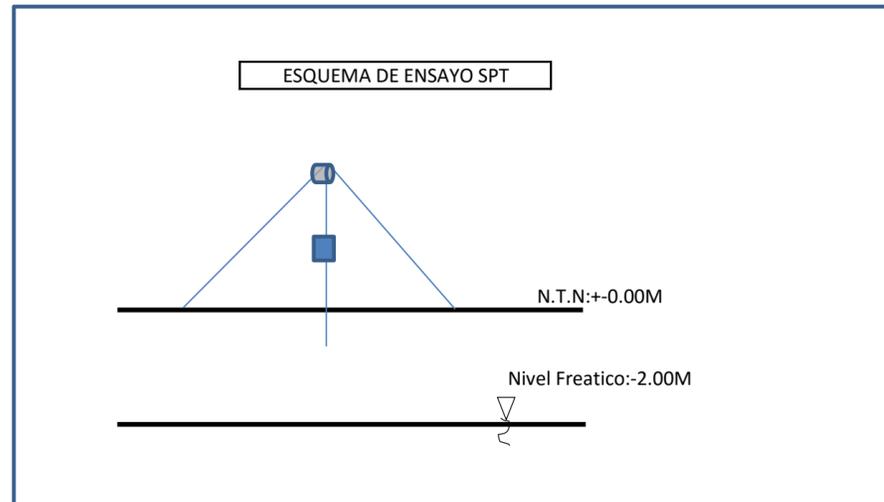
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 01

γ_s (Kg/m³) 2400

Aceleracion de Diseño: 0.27g

Nivel Freatico: 2.00

SPT N°1 (PROF=5.85MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1)60 _{CF}	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0.00																						
0.45	76.28	ML	2745.60	27.46	14.40	2	12.355	0.0	12.36	1.70	1.46	2.91	5.00	1.20	8.498	7.5	0.997	0.175	0.100	0.57	SI LICUA	
0.90	76.28	ML	2745.60	27.46	14.40	2	24.710	0.0	24.71	1.52	1.30	2.60	5.00	1.20	8.118	7.5	0.993	0.174	0.097	0.56	SI LICUA	
1.35	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	11	37.066	0.0	37.07	1.39	1.20	13.15	5.00	1.20	20.778	7.5	0.990	0.174	0.225	1.30	NO LICUA	
1.80	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	9	49.421	0.0	49.42	1.29	1.11	9.96	5.00	1.20	16.955	7.5	0.986	0.173	0.180	1.04	SI LICUA	
2.25	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	7	61.776	2.5	59.32	1.22	1.05	7.32	5.00	1.20	13.778	7.5	0.983	0.180	0.148	0.82	SI LICUA	
2.70	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	72.881	6.9	66.01	1.17	1.01	4.03	5.00	1.20	9.833	7.5	0.979	0.190	0.112	0.59	SI LICUA	
3.15	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	85.027	11.3	73.75	1.13	0.97	3.87	5.00	1.20	9.638	7.5	0.976	0.197	0.110	0.56	SI LICUA	
3.60	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	97.174	15.7	81.48	1.08	0.93	3.72	5.00	1.20	9.458	7.5	0.972	0.204	0.108	0.53	SI LICUA	
4.05	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	109.321	20.1	89.21	1.04	0.89	3.58	5.00	1.20	9.292	7.5	0.969	0.208	0.107	0.51	SI LICUA	
4.50	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	5	121.468	24.5	96.94	1.01	0.86	4.31	5.00	1.20	10.171	7.5	0.966	0.212	0.115	0.54	SI LICUA	
4.95	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	13	133.614	28.9	104.67	0.97	0.83	10.81	5.00	1.20	17.978	7.5	0.962	0.216	0.192	0.89	SI LICUA	
5.40	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	20	145.761	33.4	112.41	0.94	0.80	16.08	5.00	1.20	24.295	7.5	0.959	0.218	0.279	1.28	NO LICUA	
5.85	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	56	157.908	37.8	120.14	0.91	0.78	43.56	5.00	1.20	57.269	7.5	0.955	0.220	0.376	1.71	NO LICUA	



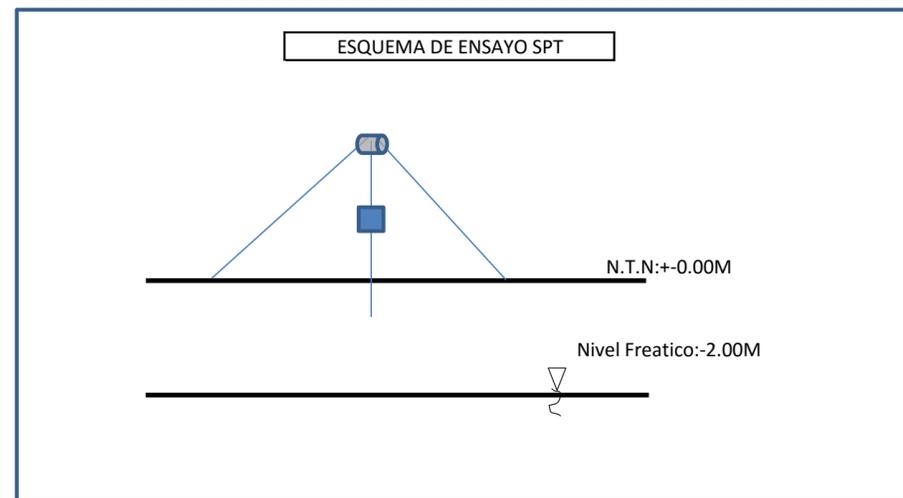
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 02

γ_s (Kg/m3) **2400**

Aceleracion de Diseño: **0.27g**

Nivel Freatico: **2.00**

SPT N°2 (PROF=10.80 MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1) _{60cf}	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
0.45	74.04	ML	2680.80	26.81	11.70	4	12.064	0.00	12.06	1.663	1.426	5.702	5.00	1.20	11.843	7.5	0.997	0.175	0.130	0.742	SI LICUA
0.90	74.04	ML	2680.80	26.81	11.70	4	24.127	0.00	24.13	1.521	1.304	5.217	5.00	1.20	11.261	7.5	0.993	0.174	0.124	0.714	SI LICUA
1.35	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	36.191	0.00	36.19	1.402	1.202	2.404	5.00	1.20	7.885	7.5	0.990	0.174	0.095	0.547	SI LICUA
1.80	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	48.254	0.00	48.25	1.300	1.115	2.229	5.00	1.20	7.675	7.5	0.986	0.173	0.093	0.539	SI LICUA
2.25	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	60.318	2.45	57.87	1.229	1.054	2.107	5.00	1.20	7.529	7.5	0.983	0.180	0.092	0.512	SI LICUA
2.70	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	72.382	6.87	65.51	1.178	1.010	2.019	5.00	1.20	7.423	7.5	0.979	0.190	0.091	0.480	SI LICUA
3.15	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	84.445	11.28	73.16	1.131	0.969	1.938	5.00	1.20	7.326	7.5	0.976	0.198	0.090	0.457	SI LICUA
3.60	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	96.509	15.70	80.81	1.087	0.932	1.864	5.00	1.20	7.237	7.5	0.972	0.204	0.090	0.440	SI LICUA
4.05	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	108.572	20.11	88.46	1.047	0.897	1.795	5.00	1.20	7.154	7.5	0.969	0.209	0.089	0.426	SI LICUA
4.50	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	120.636	24.53	96.11	1.009	0.865	1.730	5.00	1.20	7.077	7.5	0.966	0.213	0.088	0.415	SI LICUA
4.95	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	129.207	28.94	100.27	0.990	0.849	2.546	5.00	1.20	8.055	7.5	0.962	0.218	0.096	0.443	SI LICUA
5.40	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	140.953	33.35	107.60	0.958	0.821	2.463	5.00	1.20	7.956	7.5	0.959	0.220	0.096	0.434	SI LICUA
5.85	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	2	152.699	37.77	114.93	0.928	0.795	1.590	5.00	1.20	6.909	7.5	0.955	0.223	0.087	0.390	SI LICUA
6.30	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	164.445	42.18	122.26	0.899	0.771	2.313	5.00	1.20	7.775	7.5	0.952	0.225	0.094	0.419	SI LICUA
6.75	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	4	176.191	46.60	129.59	0.873	0.748	2.992	5.00	1.20	8.591	7.5	0.948	0.226	0.101	0.446	SI LICUA
7.20	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	187.937	51.01	136.93	0.848	0.727	4.359	5.00	1.20	10.231	7.5	0.945	0.228	0.115	0.506	SI LICUA
7.65	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	7	199.683	55.43	144.26	0.824	0.706	4.943	5.00	1.20	10.932	7.5	0.941	0.229	0.121	0.531	SI LICUA
8.10	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	211.429	59.84	151.59	0.801	0.687	4.122	5.00	1.20	9.946	7.5	0.938	0.230	0.113	0.491	SI LICUA
8.55	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	223.176	64.26	158.92	0.780	0.669	4.013	5.00	1.20	9.815	7.5	0.935	0.230	0.111	0.484	SI LICUA
9.00	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	5	234.922	68.67	166.25	0.760	0.652	3.258	5.00	1.20	8.909	7.5	0.931	0.231	0.104	0.449	SI LICUA
9.45	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	9	246.668	73.08	173.58	0.741	0.635	5.716	5.00	1.20	11.859	7.5	0.922	0.230	0.130	0.565	SI LICUA
9.90	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	8	258.414	77.50	180.91	0.723	0.620	4.956	5.00	1.20	10.947	7.5	0.910	0.228	0.122	0.533	SI LICUA
10.35	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	12	270.160	81.91	188.25	0.705	0.605	7.256	5.00	1.20	13.707	7.5	0.898	0.226	0.147	0.652	SI LICUA
10.80	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	14	281.906	86.33	195.58	0.689	0.591	8.267	5.00	1.20	14.921	7.5	0.886	0.224	0.159	0.711	SI LICUA



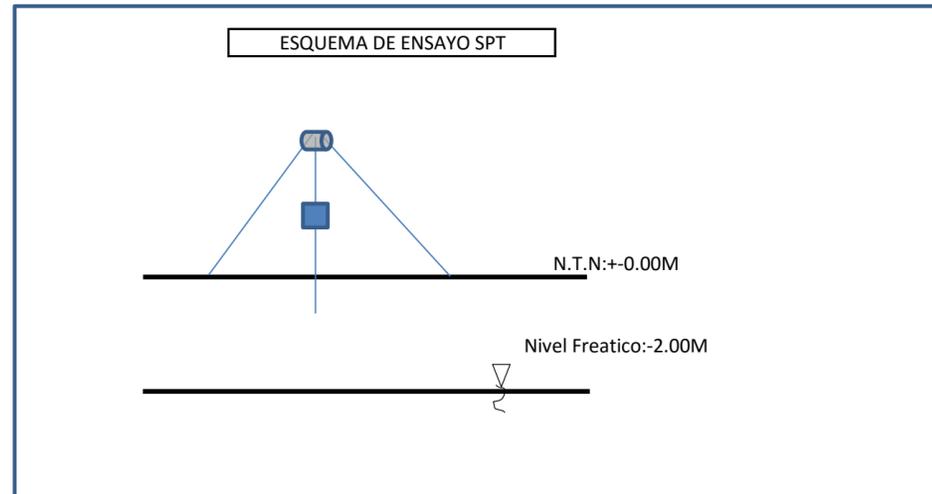
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 03

γ_s (Kg/m³) 2400

Aceleracion de Diseño: 0.27g

Nivel Freatico: 2.00

SPT N°3 (PROF=7.80MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C_N	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1)60cf	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
1.05	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	27.831	0.0	27.831	1.483	1.271	2.542	5.00	1.20	8.051	7.5	0.992	0.174	0.096	0.553	SI LICUA
1.50	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	3	39.758	0.0	39.758	1.370	1.175	3.525	5.00	1.20	9.229	7.5	0.989	0.173	0.106	0.613	SI LICUA
1.95	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	51.686	0.0	51.686	1.274	1.092	2.184	5.00	1.20	7.621	7.5	0.985	0.173	0.093	0.537	SI LICUA
2.40	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	63.613	3.9	59.689	1.217	1.043	2.086	5.00	1.20	7.503	7.5	0.982	0.184	0.092	0.500	SI LICUA
2.85	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	75.541	8.3	67.202	1.167	1.000	2.001	5.00	1.20	7.401	7.5	0.978	0.193	0.091	0.471	SI LICUA
3.30	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	87.468	12.8	74.715	1.122	0.961	1.923	5.00	1.20	7.307	7.5	0.975	0.200	0.090	0.450	SI LICUA
3.75	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	99.360	17.2	82.193	1.080	0.925	1.851	5.00	1.20	7.221	7.5	0.971	0.206	0.089	0.434	SI LICUA
4.20	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	111.283	21.6	89.701	1.040	0.892	1.784	5.00	1.20	7.141	7.5	0.968	0.211	0.089	0.421	SI LICUA
4.65	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	123.206	26.0	97.210	1.004	0.861	1.722	5.00	1.20	7.066	7.5	0.964	0.215	0.088	0.411	SI LICUA
5.10	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	135.130	30.4	104.719	0.970	0.832	1.663	5.00	1.20	6.996	7.5	0.961	0.218	0.088	0.403	SI LICUA
5.55	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	147.053	34.8	112.227	0.939	0.805	1.609	5.00	1.20	6.931	7.5	0.958	0.220	0.087	0.396	SI LICUA
6.00	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	3	158.976	39.2	119.736	0.909	0.779	2.337	5.00	1.20	7.805	7.5	0.954	0.222	0.094	0.424	SI LICUA
6.45	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	3	170.899	43.7	127.245	0.881	0.755	2.266	5.00	1.20	7.719	7.5	0.951	0.224	0.094	0.418	SI LICUA
6.90	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	182.822	48.1	134.753	0.855	0.733	1.466	5.00	1.20	6.759	7.5	0.947	0.226	0.086	0.380	SI LICUA
7.35	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	194.816	52.5	142.333	0.830	0.711	1.423	5.00	1.20	6.707	7.5	0.944	0.227	0.085	0.376	SI LICUA
7.80	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	3	206.744	56.9	149.846	0.807	0.691	2.074	5.00	1.20	7.489	7.5	0.940	0.228	0.092	0.403	SI LICUA



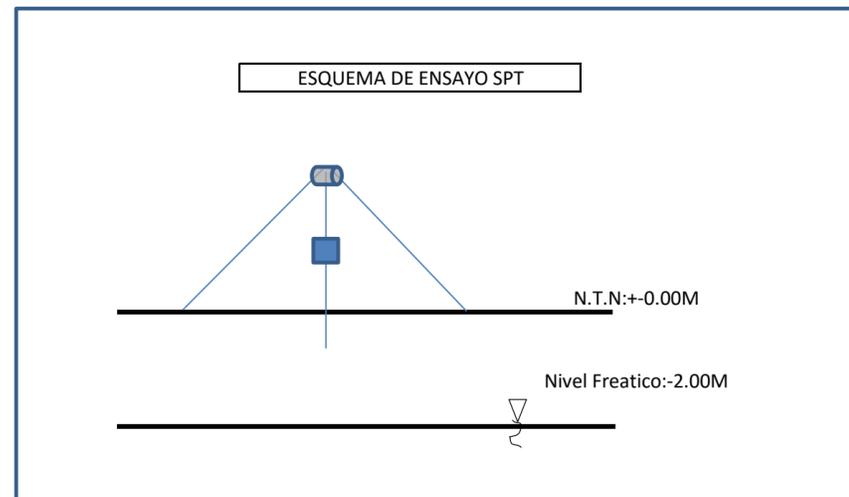
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 04

γ_s (Kg/m3) 2400

Aceleración de Diseño: 0.27g

Nivel Freatico: 2.00

SPT N°4 (PROF=10.05MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ'_v (kpa)	C_n	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1)60CF	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
1.05	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4	27.506	0.0	27.506	1.486	1.274	5.096	5.00	1.20	11.115	7.5	0.992	0.174	0.123	0.707	SI LICUA
1.50	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	7	39.294	0.0	39.294	1.375	1.178	8.248	5.00	1.20	14.898	7.5	0.989	0.173	0.159	0.917	SI LICUA
1.95	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	51.082	0.0	51.082	1.279	1.096	9.864	5.00	1.20	16.837	7.5	0.985	0.173	0.179	1.036	SI LICUA
2.40	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	62.870	3.9	58.946	1.222	1.047	8.378	5.00	1.20	15.053	7.5	0.982	0.184	0.161	0.874	SI LICUA
2.85	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	5	74.659	8.3	66.320	1.173	1.005	5.026	5.00	1.20	11.032	7.5	0.978	0.193	0.122	0.633	SI LICUA
3.30	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4	86.447	12.8	73.694	1.128	0.967	3.866	5.00	1.20	9.639	7.5	0.975	0.201	0.110	0.548	SI LICUA
3.75	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	3	98.235	17.2	81.068	1.086	0.931	2.792	5.00	1.20	8.351	7.5	0.971	0.207	0.099	0.479	SI LICUA
4.20	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	3	110.023	21.6	88.441	1.047	0.897	2.692	5.00	1.20	8.231	7.5	0.968	0.211	0.098	0.463	SI LICUA
4.65	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4	121.811	26.0	95.815	1.011	0.866	3.466	5.00	1.20	9.159	7.5	0.964	0.215	0.106	0.492	SI LICUA
5.10	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	5	133.600	30.4	103.189	0.977	0.838	4.188	5.00	1.20	10.025	7.5	0.961	0.218	0.113	0.519	SI LICUA
5.55	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6	145.388	34.8	110.562	0.945	0.810	4.863	5.00	1.20	10.835	7.5	0.958	0.221	0.121	0.546	SI LICUA
6.00	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6	157.176	39.2	117.936	0.916	0.785	4.711	5.00	1.20	10.653	7.5	0.954	0.223	0.119	0.533	SI LICUA
6.45	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	7	168.964	43.7	125.310	0.888	0.761	5.329	5.00	1.20	11.395	7.5	0.951	0.225	0.126	0.558	SI LICUA
6.90	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6	180.752	48.1	132.683	0.862	0.739	4.433	5.00	1.20	10.320	7.5	0.947	0.226	0.116	0.512	SI LICUA
7.35	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	192.541	52.5	140.057	0.837	0.718	5.742	5.00	1.20	11.890	7.5	0.944	0.228	0.130	0.572	SI LICUA
7.80	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	204.329	56.9	147.431	0.814	0.698	5.582	5.00	1.20	11.698	7.5	0.940	0.229	0.128	0.561	SI LICUA
8.25	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	216.117	61.3	154.805	0.792	0.679	5.431	5.00	1.20	11.517	7.5	0.937	0.230	0.127	0.552	SI LICUA
8.70	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	227.905	65.7	162.178	0.771	0.661	5.949	5.00	1.20	12.139	7.5	0.933	0.230	0.132	0.575	SI LICUA
9.15	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	239.693	70.1	169.552	0.751	0.644	5.796	5.00	1.20	11.956	7.5	0.930	0.231	0.131	0.567	SI LICUA
9.60	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	251.482	74.6	176.926	0.732	0.628	5.651	5.00	1.20	11.781	7.5	0.918	0.229	0.129	0.564	SI LICUA
10.05	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	263.270	79.0	184.299	0.715	0.613	5.513	5.00	1.20	11.616	7.5	0.906	0.227	0.128	0.562	SI LICUA



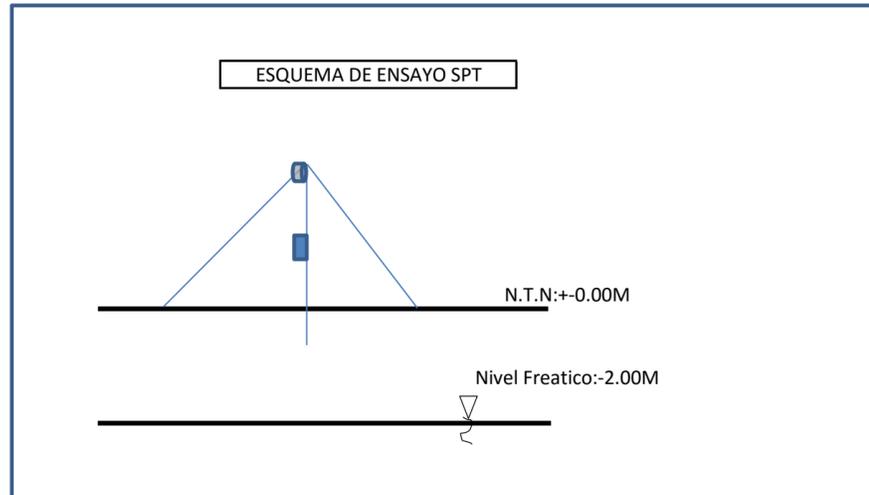
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 05

γ_s (Kg/m³) **2400**

Aceleración de Diseño: **0.27g**

Nivel Freatico: **2.00**

SPT N°5 (PROF=10.05MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C_u	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1) _{60CF}	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0																						
1.05	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	3.0	27.692	0.0	27.692	1.484	1.27	3.817	5.00	1.20	9.580	7.5	0.992	0.174	0.109	0.63	SI LICUA	
1.50	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	39.560	0.0	39.560	1.372	1.18	2.353	5.00	1.20	7.823	7.5	0.989	0.173	0.094	0.54	SI LICUA	
1.95	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	51.429	0.0	51.429	1.276	1.09	2.188	5.00	1.20	7.625	7.5	0.985	0.173	0.093	0.54	SI LICUA	
2.40	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	63.297	3.9	59.373	1.219	1.04	2.089	5.00	1.20	7.507	7.5	0.982	0.184	0.092	0.50	SI LICUA	
2.85	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	75.165	8.3	66.826	1.169	1.00	2.005	5.00	1.20	7.406	7.5	0.978	0.193	0.091	0.47	SI LICUA	
3.30	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	87.033	12.8	74.280	1.124	0.96	1.927	5.00	1.20	7.313	7.5	0.975	0.200	0.090	0.45	SI LICUA	
3.75	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	98.901	17.2	81.734	1.082	0.93	1.855	5.00	1.20	7.226	7.5	0.971	0.206	0.090	0.43	SI LICUA	
4.20	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	110.769	21.6	89.187	1.043	0.89	1.788	5.00	1.20	7.146	7.5	0.968	0.211	0.089	0.42	SI LICUA	
4.65	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	4.0	122.637	26.0	96.641	1.007	0.86	3.452	5.00	1.20	9.143	7.5	0.964	0.215	0.106	0.49	SI LICUA	
5.10	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	3.0	135.117	30.4	104.706	0.970	0.83	2.495	5.00	1.20	7.994	7.5	0.961	0.218	0.096	0.44	SI LICUA	
5.55	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	4.0	147.039	34.8	112.214	0.939	0.80	3.219	5.00	1.20	8.862	7.5	0.958	0.220	0.103	0.47	SI LICUA	
6.00	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	4.0	158.962	39.2	119.722	0.909	0.78	3.117	5.00	1.20	8.740	7.5	0.954	0.222	0.102	0.46	SI LICUA	
6.45	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	5.0	170.884	43.7	127.229	0.881	0.76	3.777	5.00	1.20	9.532	7.5	0.951	0.224	0.109	0.49	SI LICUA	
6.90	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	6.0	182.806	48.1	134.737	0.855	0.73	4.397	5.00	1.20	10.276	7.5	0.947	0.226	0.116	0.51	SI LICUA	
7.35	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	6.0	194.728	52.5	142.244	0.830	0.71	4.270	5.00	1.20	10.124	7.5	0.944	0.227	0.114	0.50	SI LICUA	
7.80	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	8.0	206.650	56.9	149.752	0.807	0.69	5.534	5.00	1.20	11.640	7.5	0.940	0.228	0.128	0.56	SI LICUA	
8.25	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	9.0	218.572	61.3	157.260	0.785	0.67	6.055	5.00	1.20	12.266	7.5	0.937	0.229	0.134	0.58	SI LICUA	
8.70	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	14.0	230.494	65.7	164.767	0.764	0.65	9.169	5.00	1.20	16.003	7.5	0.933	0.229	0.170	0.74	SI LICUA	
9.15	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	19.0	242.416	70.1	172.275	0.744	0.64	12.122	5.00	1.20	19.546	7.5	0.930	0.230	0.210	0.91	SI LICUA	
9.60	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	30.0	254.339	74.6	179.783	0.725	0.62	18.656	5.00	1.20	27.388	7.5	0.918	0.228	0.350	1.53	NO LICUA	
10.05	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	55.0	266.261	79.0	187.290	0.708	0.61	33.362	5.00	1.20	45.034	7.5	0.906	0.226	0.238	1.05	SI LICUA	



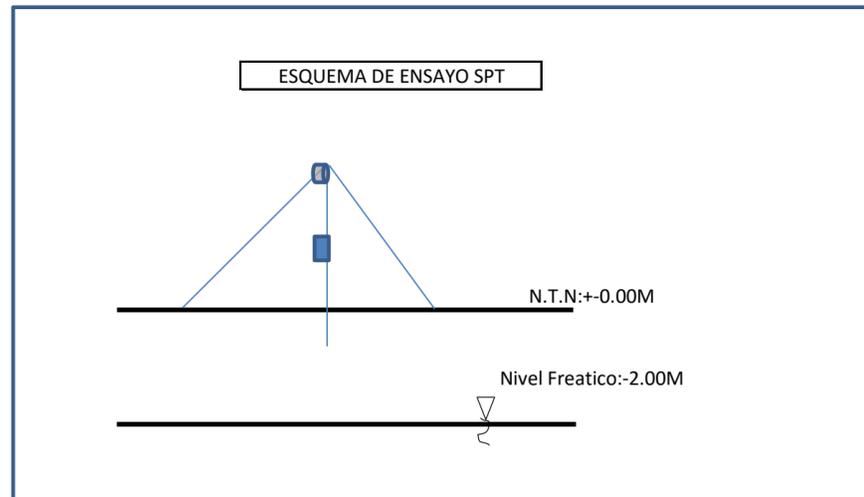
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 06

γ_s (Kg/m³) 2400

Aceleración de Diseño: 0.27g

Nivel Freatico: 2.00

SPT N°6 (PROF=4.95MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1)60CF	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0.00																						
0.45	76.280	ML	2637.120	26.371	9.88	2.00	11.867	0.00	11.867	1.665	1.428	2.855	5.00	1.20	8.426	7.5	0.997	0.175	0.100	0.569	SI LICUA	
0.90	76.280	ML	2637.120	26.371	9.88	2.00	23.734	0.00	23.734	1.526	1.308	2.616	5.00	1.20	8.139	7.5	0.993	0.174	0.097	0.557	SI LICUA	
1.35	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	11.00	35.909	0.00	35.909	1.405	1.204	13.247	5.00	1.20	20.896	7.5	0.990	0.174	0.227	1.306	NO LICUA	
1.80	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	9.00	47.879	0.00	47.879	1.303	1.117	10.055	5.00	1.20	17.066	7.5	0.986	0.173	0.182	1.049	SI LICUA	
2.25	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	7.00	59.848	2.45	57.396	1.232	1.057	7.396	5.00	1.20	13.875	7.5	0.983	0.180	0.149	0.828	SI LICUA	
2.70	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	71.818	6.87	64.951	1.181	1.013	4.051	5.00	1.20	9.862	7.5	0.979	0.190	0.112	0.589	SI LICUA	
3.15	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	83.787	11.28	72.506	1.135	0.973	3.890	5.00	1.20	9.668	7.5	0.976	0.198	0.110	0.557	SI LICUA	
3.60	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	95.757	15.70	80.061	1.091	0.935	3.742	5.00	1.20	9.490	7.5	0.972	0.204	0.109	0.532	SI LICUA	
4.05	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4.00	107.727	20.11	87.616	1.051	0.901	3.604	5.00	1.20	9.325	7.5	0.969	0.209	0.107	0.513	SI LICUA	
4.50	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	5.00	119.696	24.53	95.171	1.014	0.869	4.345	5.00	1.20	10.214	7.5	0.966	0.213	0.115	0.540	SI LICUA	
4.95	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	13.00	131.666	28.94	102.727	0.979	0.839	10.910	5.00	1.20	18.092	7.5	0.962	0.216	0.193	0.891	SI LICUA	



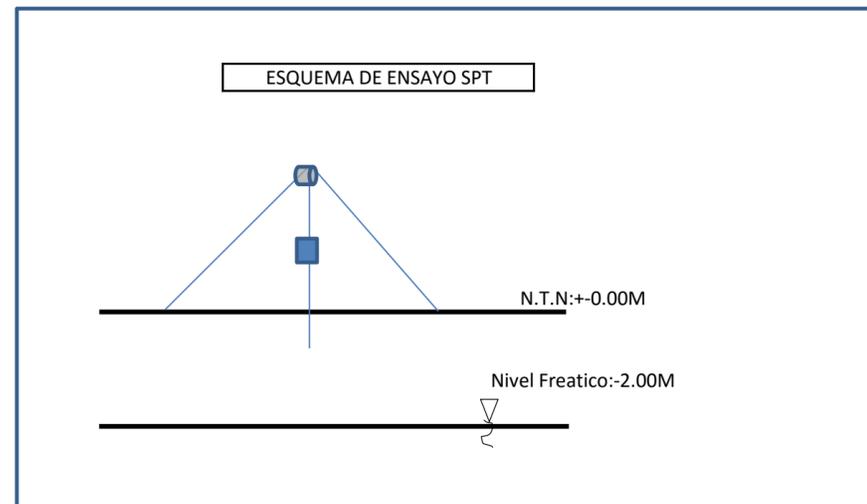
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 01

γ_s (Kg/m³) **2400**

Aceleración mínima : **0.10**

Nivel Freatico: **2.00**

SPT N°1 (PROF=5.85MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1)60cf	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0.00																					
0.45	76.28	ML	2745.60	27.46	14.40	2	12.355	0.0	12.36	1.70	1.46	2.91	5.00	1.20	8.498	7.5	0.997	0.065	0.100	1.5	NO LICUA
0.90	76.28	ML	2745.60	27.46	14.40	2	24.710	0.0	24.71	1.52	1.30	2.60	5.00	1.20	8.118	7.5	0.993	0.065	0.097	1.5	NO LICUA
1.35	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	11	37.066	0.0	37.07	1.39	1.20	13.15	5.00	1.20	20.778	7.5	0.990	0.064	0.225	3.5	NO LICUA
1.80	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	9	49.421	0.0	49.42	1.29	1.11	9.96	5.00	1.20	16.955	7.5	0.986	0.064	0.180	2.8	NO LICUA
2.25	85.95	ML	2745.60	27.46	14.40	7	61.776	2.5	59.32	1.22	1.05	7.32	5.00	1.20	13.778	7.5	0.983	0.067	0.148	2.2	NO LICUA
2.70	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	72.881	6.9	66.01	1.17	1.01	4.03	5.00	1.20	9.833	7.5	0.979	0.070	0.112	1.6	NO LICUA
3.15	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	85.027	11.3	73.75	1.13	0.97	3.87	5.00	1.20	9.638	7.5	0.976	0.073	0.110	1.5	NO LICUA
3.60	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	97.174	15.7	81.48	1.08	0.93	3.72	5.00	1.20	9.458	7.5	0.972	0.075	0.108	1.4	NO LICUA
4.05	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	4	109.321	20.1	89.21	1.04	0.89	3.58	5.00	1.20	9.292	7.5	0.969	0.077	0.107	1.4	NO LICUA
4.50	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	5	121.468	24.5	96.94	1.01	0.86	4.31	5.00	1.20	10.171	7.5	0.966	0.079	0.115	1.5	NO LICUA
4.95	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	13	133.614	28.9	104.67	0.97	0.83	10.81	5.00	1.20	17.978	7.5	0.962	0.080	0.192	2.4	NO LICUA
5.40	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	20	145.761	33.4	112.41	0.94	0.80	16.08	5.00	1.20	24.295	7.5	0.959	0.081	0.279	3.4	NO LICUA
5.85	85.95	ML	2699.28	26.99	12.47	56	157.908	37.8	120.14	0.91	0.78	43.56	5.00	1.20	57.269	7.5	0.955	0.082	0.376	4.6	NO LICUA



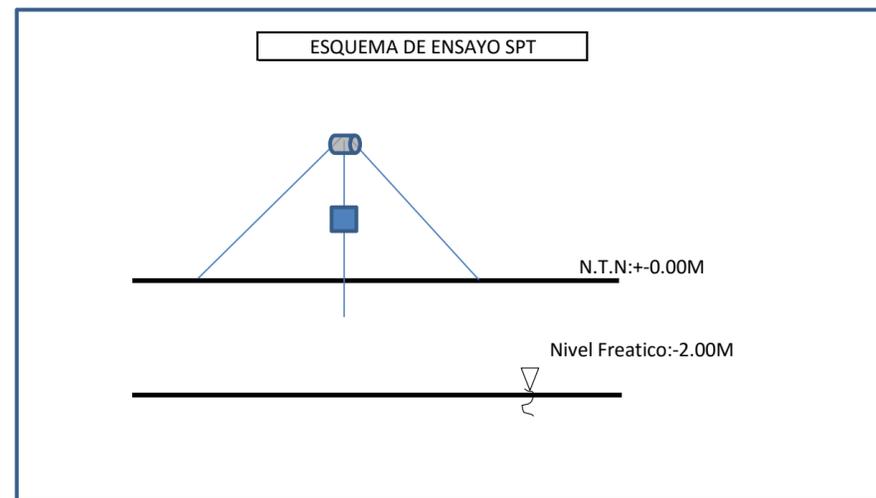
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 02

γ_s (Kg/m3) **2400**

Aceleración mínima : **0.10**

Nivel Freatico: **2.00**

SPT N°2 (PROF=10.80 MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1)60CF	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0																						
0.45	74.04	ML	2680.80	26.81	11.70	4	12.064	0.00	12.06	1.663	1.426	5.702	5.00	1.20	11.843	7.5	0.997	0.065	0.130	2.0	NO LICUA	
0.90	74.04	ML	2680.80	26.81	11.70	4	24.127	0.00	24.13	1.521	1.304	5.217	5.00	1.20	11.261	7.5	0.993	0.065	0.124	1.9	NO LICUA	
1.35	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	36.191	0.00	36.19	1.402	1.202	2.404	5.00	1.20	7.885	7.5	0.990	0.064	0.095	1.5	NO LICUA	
1.80	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	48.254	0.00	48.25	1.300	1.115	2.229	5.00	1.20	7.675	7.5	0.986	0.064	0.093	1.5	NO LICUA	
2.25	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	60.318	2.45	57.87	1.229	1.054	2.107	5.00	1.20	7.529	7.5	0.983	0.067	0.092	1.4	NO LICUA	
2.70	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	72.382	6.87	65.51	1.178	1.010	2.019	5.00	1.20	7.423	7.5	0.979	0.070	0.091	1.3	NO LICUA	
3.15	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	84.445	11.28	73.16	1.131	0.969	1.938	5.00	1.20	7.326	7.5	0.976	0.073	0.090	1.2	SI LICUA	
3.60	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	96.509	15.70	80.81	1.087	0.932	1.864	5.00	1.20	7.237	7.5	0.972	0.075	0.090	1.2	SI LICUA	
4.05	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	108.572	20.11	88.46	1.047	0.897	1.795	5.00	1.20	7.154	7.5	0.969	0.077	0.089	1.2	SI LICUA	
4.50	82.19	ML	2680.80	26.81	11.70	2	120.636	24.53	96.11	1.009	0.865	1.730	5.00	1.20	7.077	7.5	0.966	0.079	0.088	1.1	SI LICUA	
4.95	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	129.207	28.94	100.27	0.990	0.849	2.546	5.00	1.20	8.055	7.5	0.962	0.081	0.096	1.2	SI LICUA	
5.40	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	140.953	33.35	107.60	0.958	0.821	2.463	5.00	1.20	7.956	7.5	0.959	0.082	0.096	1.2	SI LICUA	
5.85	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	2	152.699	37.77	114.93	0.928	0.795	1.590	5.00	1.20	6.909	7.5	0.955	0.082	0.087	1.1	SI LICUA	
6.30	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	3	164.445	42.18	122.26	0.899	0.771	2.313	5.00	1.20	7.775	7.5	0.952	0.083	0.094	1.1	SI LICUA	
6.75	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	4	176.191	46.60	129.59	0.873	0.748	2.992	5.00	1.20	8.591	7.5	0.948	0.084	0.101	1.2	SI LICUA	
7.20	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	187.937	51.01	136.93	0.848	0.727	4.359	5.00	1.20	10.231	7.5	0.945	0.084	0.115	1.4	NO LICUA	
7.65	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	7	199.683	55.43	144.26	0.824	0.706	4.943	5.00	1.20	10.932	7.5	0.941	0.085	0.121	1.4	NO LICUA	
8.10	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	211.429	59.84	151.59	0.801	0.687	4.122	5.00	1.20	9.946	7.5	0.938	0.085	0.113	1.3	NO LICUA	
8.55	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	6	223.176	64.26	158.92	0.780	0.669	4.013	5.00	1.20	9.815	7.5	0.935	0.085	0.111	1.3	NO LICUA	
9.00	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	5	234.922	68.67	166.25	0.760	0.652	3.258	5.00	1.20	8.909	7.5	0.931	0.086	0.104	1.2	SI LICUA	
9.45	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	9	246.668	73.08	173.58	0.741	0.635	5.716	5.00	1.20	11.859	7.5	0.922	0.085	0.130	1.5	NO LICUA	
9.90	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	8	258.414	77.50	180.91	0.723	0.620	4.956	5.00	1.20	10.947	7.5	0.910	0.084	0.122	1.4	NO LICUA	
10.35	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	12	270.160	81.91	188.25	0.705	0.605	7.256	5.00	1.20	13.707	7.5	0.898	0.084	0.147	1.8	NO LICUA	
10.80	82.19	ML	2610.24	26.10	8.76	14	281.906	86.33	195.58	0.689	0.591	8.267	5.00	1.20	14.921	7.5	0.886	0.083	0.159	1.9	NO LICUA	



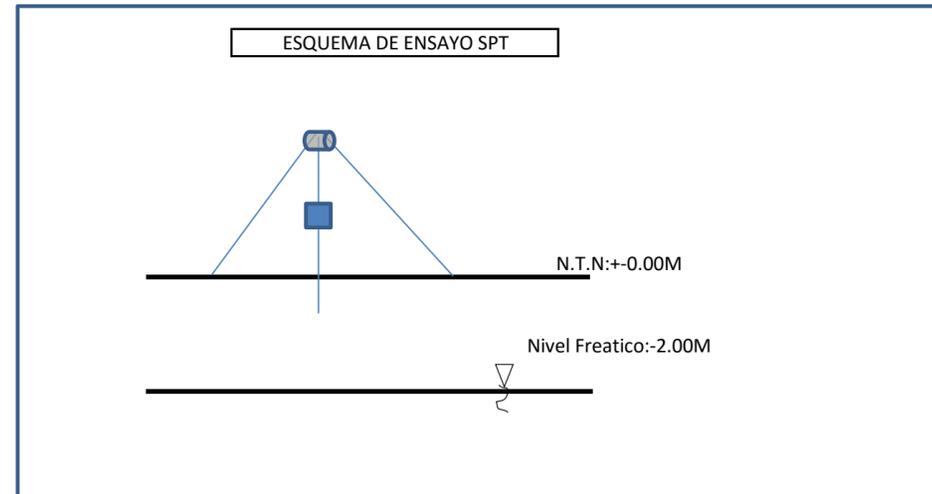
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 03

γ_s (Kg/m³) 2400

Aceleracion minima : 0.10

Nivel Freatico: 2.00

SPT N°3 (PROF=7.80MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C_N	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1)60cf	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
1.05	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	27.831	0.0	27.831	1.483	1.271	2.542	5.00	1.20	8.051	7.5	0.992	0.064	0.096	1.5	NO LICUA
1.50	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	3	39.758	0.0	39.758	1.370	1.175	3.525	5.00	1.20	9.229	7.5	0.989	0.064	0.106	1.7	NO LICUA
1.95	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	51.686	0.0	51.686	1.274	1.092	2.184	5.00	1.20	7.621	7.5	0.985	0.064	0.093	1.4	NO LICUA
2.40	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	63.613	3.9	59.689	1.217	1.043	2.086	5.00	1.20	7.503	7.5	0.982	0.068	0.092	1.3	NO LICUA
2.85	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	75.541	8.3	67.202	1.167	1.000	2.001	5.00	1.20	7.401	7.5	0.978	0.071	0.091	1.3	NO LICUA
3.30	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	87.468	12.8	74.715	1.122	0.961	1.923	5.00	1.20	7.307	7.5	0.975	0.074	0.090	1.2	SI LICUA
3.75	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	99.360	17.2	82.193	1.080	0.925	1.851	5.00	1.20	7.221	7.5	0.971	0.076	0.089	1.2	SI LICUA
4.20	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	111.283	21.6	89.701	1.040	0.892	1.784	5.00	1.20	7.141	7.5	0.968	0.078	0.089	1.1	SI LICUA
4.65	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	123.206	26.0	97.210	1.004	0.861	1.722	5.00	1.20	7.066	7.5	0.964	0.079	0.088	1.1	SI LICUA
5.10	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	135.130	30.4	104.719	0.970	0.832	1.663	5.00	1.20	6.996	7.5	0.961	0.081	0.088	1.1	SI LICUA
5.55	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	147.053	34.8	112.227	0.939	0.805	1.609	5.00	1.20	6.931	7.5	0.958	0.082	0.087	1.1	SI LICUA
6.00	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	3	158.976	39.2	119.736	0.909	0.779	2.337	5.00	1.20	7.805	7.5	0.954	0.082	0.094	1.1	SI LICUA
6.45	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	3	170.899	43.7	127.245	0.881	0.755	2.266	5.00	1.20	7.719	7.5	0.951	0.083	0.094	1.1	SI LICUA
6.90	73.49	ML	2649.600	26.496	10.40	2	182.822	48.1	134.753	0.855	0.733	1.466	5.00	1.20	6.759	7.5	0.947	0.084	0.086	1.0	SI LICUA
7.35	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	2	194.816	52.5	142.333	0.830	0.711	1.423	5.00	1.20	6.707	7.5	0.944	0.084	0.085	1.0	SI LICUA
7.80	73.49	ML	2650.560	26.506	10.44	3	206.744	56.9	149.846	0.807	0.691	2.074	5.00	1.20	7.489	7.5	0.940	0.084	0.092	1.1	SI LICUA



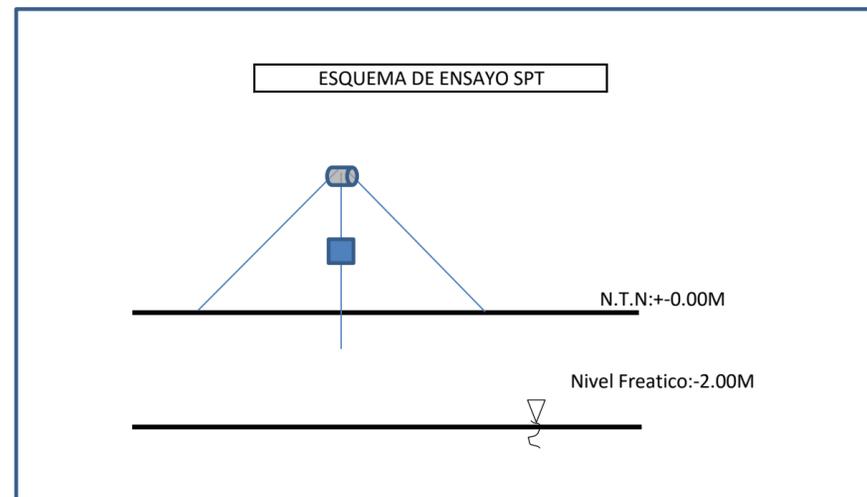
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 04

γ_s (Kg/m3) **2400**

Aceleración mínima : **0.10**

Nivel Freatico: **2.00**

SPT N°4 (PROF=10.05MTR)																					
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m3)	γ_H (kn/m3)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ'_v (kpa)	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1)60CF	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION
0																					
1.05	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4	27.506	0.0	27.506	1.486	1.274	5.096	5.00	1.20	11.115	7.5	0.992	0.064	0.123	1.9	NO LICUA
1.50	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	7	39.294	0.0	39.294	1.375	1.178	8.248	5.00	1.20	14.898	7.5	0.989	0.064	0.159	2.5	NO LICUA
1.95	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	51.082	0.0	51.082	1.279	1.096	9.864	5.00	1.20	16.837	7.5	0.985	0.064	0.179	2.8	NO LICUA
2.40	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	62.870	3.9	58.946	1.222	1.047	8.378	5.00	1.20	15.053	7.5	0.982	0.068	0.161	2.4	NO LICUA
2.85	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	5	74.659	8.3	66.320	1.173	1.005	5.026	5.00	1.20	11.032	7.5	0.978	0.072	0.122	1.7	NO LICUA
3.30	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4	86.447	12.8	73.694	1.128	0.967	3.866	5.00	1.20	9.639	7.5	0.975	0.074	0.110	1.5	NO LICUA
3.75	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	3	98.235	17.2	81.068	1.086	0.931	2.792	5.00	1.20	8.351	7.5	0.971	0.077	0.099	1.3	NO LICUA
4.20	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	3	110.023	21.6	88.441	1.047	0.897	2.692	5.00	1.20	8.231	7.5	0.968	0.078	0.098	1.3	NO LICUA
4.65	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	4	121.811	26.0	95.815	1.011	0.866	3.466	5.00	1.20	9.159	7.5	0.964	0.080	0.106	1.3	NO LICUA
5.10	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	5	133.600	30.4	103.189	0.977	0.838	4.188	5.00	1.20	10.025	7.5	0.961	0.081	0.113	1.4	NO LICUA
5.55	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6	145.388	34.8	110.562	0.945	0.810	4.863	5.00	1.20	10.835	7.5	0.958	0.082	0.121	1.5	NO LICUA
6.00	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6	157.176	39.2	117.936	0.916	0.785	4.711	5.00	1.20	10.653	7.5	0.954	0.083	0.119	1.4	NO LICUA
6.45	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	7	168.964	43.7	125.310	0.888	0.761	5.329	5.00	1.20	11.395	7.5	0.951	0.083	0.126	1.5	NO LICUA
6.90	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	6	180.752	48.1	132.683	0.862	0.739	4.433	5.00	1.20	10.320	7.5	0.947	0.084	0.116	1.4	NO LICUA
7.35	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	192.541	52.5	140.057	0.837	0.718	5.742	5.00	1.20	11.890	7.5	0.944	0.084	0.130	1.5	NO LICUA
7.80	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	204.329	56.9	147.431	0.814	0.698	5.582	5.00	1.20	11.698	7.5	0.940	0.085	0.128	1.5	NO LICUA
8.25	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	8	216.117	61.3	154.805	0.792	0.679	5.431	5.00	1.20	11.517	7.5	0.937	0.085	0.127	1.5	NO LICUA
8.70	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	227.905	65.7	162.178	0.771	0.661	5.949	5.00	1.20	12.139	7.5	0.933	0.085	0.132	1.6	NO LICUA
9.15	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	239.693	70.1	169.552	0.751	0.644	5.796	5.00	1.20	11.956	7.5	0.930	0.085	0.131	1.5	NO LICUA
9.60	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	251.482	74.6	176.926	0.732	0.628	5.651	5.00	1.20	11.781	7.5	0.918	0.085	0.129	1.5	NO LICUA
10.05	67.81	ML	2619.60	26.2	9.15	9	263.270	79.0	184.299	0.715	0.613	5.513	5.00	1.20	11.616	7.5	0.906	0.084	0.128	1.5	NO LICUA



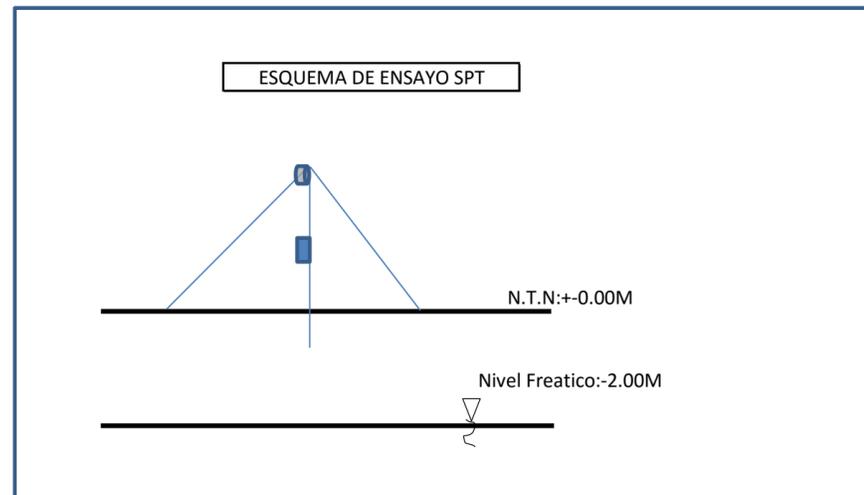
Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenara (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 05

γ_s (Kg/m³) 2400

Aceleración mínima : 0.10

Nivel Freatico: 2.00

SPT N°5 (PROF=10.05MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C_u	C_{60}	N_{60}	α	β	(N1)60CF	M	r_d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0																						
1.05	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	3.0	27.692	0.0	27.692	1.484	1.27	3.817	5.00	1.20	9.580	7.5	0.992	0.064	0.109	1.7	NO LICUA	
1.50	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	39.560	0.0	39.560	1.372	1.18	2.353	5.00	1.20	7.823	7.5	0.989	0.064	0.094	1.5	NO LICUA	
1.95	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	51.429	0.0	51.429	1.276	1.09	2.188	5.00	1.20	7.625	7.5	0.985	0.064	0.093	1.4	NO LICUA	
2.40	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	63.297	3.9	59.373	1.219	1.04	2.089	5.00	1.20	7.507	7.5	0.982	0.068	0.092	1.3	NO LICUA	
2.85	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	75.165	8.3	66.826	1.169	1.00	2.005	5.00	1.20	7.406	7.5	0.978	0.072	0.091	1.3	NO LICUA	
3.30	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	87.033	12.8	74.280	1.124	0.96	1.927	5.00	1.20	7.313	7.5	0.975	0.074	0.090	1.2	SI LICUA	
3.75	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	98.901	17.2	81.734	1.082	0.93	1.855	5.00	1.20	7.226	7.5	0.971	0.076	0.090	1.2	SI LICUA	
4.20	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	2.0	110.769	21.6	89.187	1.043	0.89	1.788	5.00	1.20	7.146	7.5	0.968	0.078	0.089	1.1	SI LICUA	
4.65	94.08	ML	2637.36	26.37	9.89	4.0	122.637	26.0	96.641	1.007	0.86	3.452	5.00	1.20	9.143	7.5	0.964	0.080	0.106	1.3	NO LICUA	
5.10	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	3.0	135.117	30.4	104.706	0.970	0.83	2.495	5.00	1.20	7.994	7.5	0.961	0.081	0.096	1.2	SI LICUA	
5.55	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	4.0	147.039	34.8	112.214	0.939	0.80	3.219	5.00	1.20	8.862	7.5	0.958	0.082	0.103	1.3	NO LICUA	
6.00	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	4.0	158.962	39.2	119.722	0.909	0.78	3.117	5.00	1.20	8.740	7.5	0.954	0.082	0.102	1.2	SI LICUA	
6.45	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	5.0	170.884	43.7	127.229	0.881	0.76	3.777	5.00	1.20	9.532	7.5	0.951	0.083	0.109	1.3	NO LICUA	
6.90	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	6.0	182.806	48.1	134.737	0.855	0.73	4.397	5.00	1.20	10.276	7.5	0.947	0.084	0.116	1.4	NO LICUA	
7.35	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	6.0	194.728	52.5	142.244	0.830	0.71	4.270	5.00	1.20	10.124	7.5	0.944	0.084	0.114	1.4	NO LICUA	
7.80	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	8.0	206.650	56.9	149.752	0.807	0.69	5.534	5.00	1.20	11.640	7.5	0.940	0.084	0.128	1.5	NO LICUA	
8.25	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	9.0	218.572	61.3	157.260	0.785	0.67	6.055	5.00	1.20	12.266	7.5	0.937	0.085	0.134	1.6	NO LICUA	
8.70	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	14.0	230.494	65.7	164.767	0.764	0.65	9.169	5.00	1.20	16.003	7.5	0.933	0.085	0.170	2.0	NO LICUA	
9.15	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	19.0	242.416	70.1	172.275	0.744	0.64	12.122	5.00	1.20	19.546	7.5	0.930	0.085	0.210	2.5	NO LICUA	
9.60	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	30.0	254.339	74.6	179.783	0.725	0.62	18.656	5.00	1.20	27.388	7.5	0.918	0.084	0.350	4.1	NO LICUA	
10.05	94.08	ML	2649.36	26.49	10.39	55.0	266.261	79.0	187.290	0.708	0.61	33.362	5.00	1.20	45.034	7.5	0.906	0.084	0.238	2.8	NO LICUA	



Cuadro de la evaluación del potencial de licuación para una condición drenada (NF=-2.00m) obtenida por el ensayo SPT 06

γ_s (Kg/m³) **2400**

Aceleración mínima : **0.10**

Nivel Freatico: **2.00**

SPT N°6 (PROF=4.95MTR)																						
PROFUNDIDAD (M)	CONTENIDOO DE FINOS %	TIPO DE SUELOS (CU)	γ_H (Kg/m ³)	γ_H (kn/m ³)	% ω	N	σ_v (kpa)	μ	σ_v'	C _N	C ₆₀	N ₆₀	α	β	(N1) _{60CF}	M	r _d	CSR	CRR	FACTOR DE SEGURIDAD FRENTE A LA LICUACION	DESCRIPCION	
0.00																						
0.45	76.280	ML	2637.120	26.371	9.88	2	11.867	0.00	11.867	1.665	1.428	2.855	5.00	1.20	8.426	7.5	0.997	0.065	0.100	1.5	NO LICUA	
0.90	76.280	ML	2637.120	26.371	9.88	2	23.734	0.00	23.734	1.526	1.308	2.616	5.00	1.20	8.139	7.5	0.993	0.065	0.097	1.5	NO LICUA	
1.35	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	11	35.909	0.00	35.909	1.405	1.204	13.247	5.00	1.20	20.896	7.5	0.990	0.064	0.227	3.5	NO LICUA	
1.80	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	9	47.879	0.00	47.879	1.303	1.117	10.055	5.00	1.20	17.066	7.5	0.986	0.064	0.182	2.8	NO LICUA	
2.25	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	7	59.848	2.45	57.396	1.232	1.057	7.396	5.00	1.20	13.875	7.5	0.983	0.067	0.149	2.2	NO LICUA	
2.70	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4	71.818	6.87	64.951	1.181	1.013	4.051	5.00	1.20	9.862	7.5	0.979	0.070	0.112	1.6	NO LICUA	
3.15	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4	83.787	11.28	72.506	1.135	0.973	3.890	5.00	1.20	9.668	7.5	0.976	0.073	0.110	1.5	NO LICUA	
3.60	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4	95.757	15.70	80.061	1.091	0.935	3.742	5.00	1.20	9.490	7.5	0.972	0.076	0.109	1.4	NO LICUA	
4.05	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	4	107.727	20.11	87.616	1.051	0.901	3.604	5.00	1.20	9.325	7.5	0.969	0.077	0.107	1.4	NO LICUA	
4.50	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	5	119.696	24.53	95.171	1.014	0.869	4.345	5.00	1.20	10.214	7.5	0.966	0.079	0.115	1.5	NO LICUA	
4.95	85.950	ML	2659.920	26.599	10.83	13	131.666	28.94	102.727	0.979	0.839	10.910	5.00	1.20	18.092	7.5	0.962	0.080	0.193	2.4	NO LICUA	

