

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

“SOLUCIÓN PARA ASENTAMIENTOS Y TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN EN EL PROYECTO “PASO LATERAL DE SALITRE”, MEDIANTE EL METODO DE PRECARGA”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

CÉSAR NAPOLEÓN BARROS CHOÉZ

JOHANNA LUCILA SALTOS HALBEIS

PROFESOR:

ING. LUIS ZAMBRANO

GUAYAQUIL - ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que han estado conmigo durante estos 6 años, dándome las fuerzas necesarias para poder ser profesional.

A Dios porque siempre he confiado en él y en el poder inmensurable que posee ya que mejor que nadie sabe quién soy y en qué se ha basado mi vida.

A todas las personas que han ayudado a formar mi carácter, directa e indirectamente durante mi vida.

Aquellos que fueron y han sido ejemplo a imitar.

A mi madre por haberme inculcado los valores necesarios para poder ser una persona correcta.

A la empresa CEVACONSULT la cual me ha brindado la oportunidad de ganar 2 años de experiencia, trabajando con excelentes profesionales y personas, lo cual ha sido fundamental para la realización de este trabajo.

César Barros Choéz

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por acompañarme y permitirme llegar hasta este gran momento de mi vida, haciéndose presente en mi día a día con sus bendiciones.

A mis padres que gracias a su apoyo incondicional y su valiosa educación de valores y principios, he alcanzado nuevamente una ingeniería en esta prestigiosa Universidad; convirtiéndose en los pilares fundamentales de esta nueva meta profesional.

A mi hermana, por enseñarme que los imposibles no existen, por ser mi mejor compañía de vida y por ser parte del gran equipo Saltos Halbeis.

A mis dos ángeles, Mariana Valverde y Gabriel Espinoza que estuvieron apoyándome y guiándome desde el cielo.

Un agradecimiento especial al Ing. Luis Zambrano, por su paciencia y colaboración en todo el proceso de desarrollo y corrección del trabajo.

Johanna Saltos Halbeis

DEDICATORIA

En agradecimiento por haber llegado a esta etapa profesional, dedico este trabajo de tesis a Dios, familia y amigos.

César Barros Choéz

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y demostrarme su infinito amor y bondad hacia a mí.

A Byron Saltos Coloma, mi papito

Por haberme apoyado desde que empezó la idea de volver a la Universidad por una segunda carrera, por su ejemplo de perseverancia, honestidad, trabajo, amor por la construcción, por sus consejos, por enseñarme lo duro y gratificante que es trabajar por lo que amas, por consentirme y por haber caminado conmigo a lo largo de esta nueva meta donde sólo los dos sabemos los obstáculos que pasamos para llegar a este gran final.

A Martha Halbeis Valverde, mi mamá

Por su amor incondicional, por sus consejos, valores, por su ejemplo de honestidad, humildad, por enseñarme a tener los pies sobre la tierra, por su café infaltable de las 6am; que me ayudo a estar despierta en mis clases de la mañana.

A Liliana Saltos Halbeis, mi hermana

Por ser la persona más cariñosa conmigo, por su ejemplo de superación, por enseñarme que no hay imposibles.

A Carlos Avilés Saltos (Piquito), mi sobrino

Por alegrarme cada día de mi vida y convertirse en la motivación fundamental para la culminación de mi trabajo de graduación.

A Mariana Valverde y Gabriel Espinoza, mis abuelos

Por haberme cuidado desde el cielo a lo largo de esta carrera, por ser mis angelitos guardianes.

Johanna Saltos Halbeis

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Luis Zambrano
PROFESOR DE TESIS DE GRADUACIÓN

Dra. Elizabeth Peña C.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Fabián Peñafiel
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

César Barros Ch.

Johanna Saltos H.

RESUMEN

El proyecto del paso lateral de salitre cuya longitud es de 7,253 km ubicado en la provincia del Guayas, inicia en la abscisa 21+900 con coordenadas N: 9798613; E: 633609 (datum wgs84) y termina en la abscisa 29+153 N: 9795761; E: 628366 (datum wgs84).

El terreno donde se construirá el Paso Lateral corresponde a una llanura aluvial sujeta a inundaciones durante el periodo invernal. Está conformado por capas alternas de arcillas, limos y arenas de grano medio a fino, intercaladas en algunos tramos por capas de suelo orgánico.

Debido al diseño geométrico del proyecto se prevé la colocación de rellenos cuyos espesores varían entre 2 y 8 metros de altura en toda la longitud de la vía, los que provocaran grandes esfuerzos de contacto produciendo fallas en el suelo que contenga baja capacidad de carga así como excesivos asentamientos y largos tiempos de consolidación.

El presente estudio abarca el análisis y solución de estos tiempos extensos de consolidación y el de proporcionar mayor soporte al suelo mediante el método de precarga, determinando el espesor de las capas de relleno así como la frecuencia con la cual se colocaran.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ABREVIATURAS	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes del proyecto.....	3
1.2 Justificación del proyecto	4
1.3 Objetivos del proyecto.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA.....	6
2.1 Diseño Geométrico.....	8
2.2 Volúmenes y alturas de relleno	9
CAPÍTULO 3.....	11
3. ESTUDIO DEL SUELO.....	11
3.1 Estudio de Campo.....	11
3.2 Ensayos del Laboratorio.....	13
3.2.1 Resultados de la Perforación	15
3.2.2 Definiciones	15
3.2.3 Correlaciones utilizadas en los resultados de laboratorio	16
3.2.4 Ensayos de Consolidación.....	21
3.3 Análisis de la información.....	22
3.4 Caracterización de los suelos	27
CAPÍTULO 4	29
4. ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN.....	29
4.1 Análisis y resultados de asentamientos	35
4.1.1 Sector #1 abscisa 21+900 – 22+320	36

4.1.2 Sector #2 abscisa 22+350 – 24+128,05	38
4.1.3 Sector #3 abscisa 24+128.05 – 24+620	43
4.1.4 Sector #4 abscisa 24+795,69 – 25+980	48
4.1.5 Sector #5 abscisa 26+010 – 27+116	56
4.1.6 Sector #6 abscisa 27+116 - 29+150	64
4.2 Análisis de tiempos de consolidación	69
4.2.1 Sector #1 abscisa 21+900 – 22+320	75
4.2.2 Sector #2 abscisa 22+350 – 24+128.05	75
4.2.3 Sector #3 abscisa 24+128.05 – 24+620	76
4.2.4 Sector #4 abscisa 24+795.69 – 25+980	77
4.2.5 Sector #5 abscisa 26+010 – 27+116	78
4.2.6 Sector #6 abscisa 27+116 – 29+150	79
CAPÍTULO 5.....	81
5. ESTUDIO DE POSIBLES SOLUCIONES.....	81
5.1 Análisis de Precarga	81
5.1.1 Precarga abscisa 21+900 – 22+320	85
5.1.2 Precarga abscisa 22+350 – 24+128,05	88
5.1.3 Precarga abscisa 24+128,05 – 24+620	91
5.1.4 Precarga abscisa 24+700 – 25+980	94
5.1.5 Precarga abscisa 26+010 – 27+116	98
5.1.6 Precarga abscisa 27+116 – 29+152,97	100
5.2 Precarga con drenes verticales de arena.....	108
5.2.1 Cálculo del espaciamiento de drenes abscisa 21+900 – 22+320.....	111
5.2.2 Cálculo del espaciamiento de drenes abscisa 24+350 24+128,05.....	112
5.2.3 Cálculo del espaciamiento de drenes abscisa 24+700 – 25+980.....	113
5.3 Solución con Geobloques	114

CAPÍTULO 6.....	118
6. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO.....	118
6.1 Presupuesto de Precarga.....	118
6.2 Presupuesto de drenes verticales de arena.....	119
6.3 Presupuesto de Geobloques.....	120
CAPÍTULO 7.....	122
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	122

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1.- Abscisas Vs. Alturas de relleno.

Anexo 2.- Planta del proyecto.

Anexo 3.- Resultados de las perforaciones.

Anexo 4.- Ensayos de consolidación.

Anexo 5.- Perfil Estratigráfico.

Anexo 6.- Cálculos de Asentamiento.

Anexo 7.- Análisis de precios unitarios.

Anexo 8.- Certificados para uso de información.

ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
E.B	Estero Briceño.
E.M	Estero Matilde.
NEVI	Norma Ecuatoriana Vial.
R.V	Rio Vinces.
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
SPT	Standard Penetration Test.
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual.
RR	Índice de recompresión.
CR	Índice de Compresión.
T/m³	Unidad de peso volumétrico toneladas/metros cúbicos.
Veh/día	Cantidad de vehículos que circulan en una vía durante un día (24 horas).
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar.

m	Unidad de medida metro.
GW	Grava bien graduada.
GP	Grava pobremente graduada.
GM	Grava Limosa.
GC	Grava Arcillosa.
SW	Arena bien graduada.
SP	Arena mal graduada.
SM	Arena Limosa.
SC	Arena Arcillosa.
CL	Arcilla de baja plasticidad.
ML	Limo de baja plasticidad.
OL	Orgánico de baja plasticidad.
CH	Arcilla de alta plasticidad.
MH	Limo de alta plasticidad.
OH	Orgánico de alta plasticidad.
Pt	Turba.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2. 1 Sección típica de la vía.....	6
Gráfico 3. 1 Resultados de Laboratorio	14
Gráfico 4. 1 Deformación vs Tiempo.....	30
Gráfico 4. 2 Esquema de transmisión de carga.	33
Gráfico 4. 3 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-1 EM.	37
Gráfico 4. 4 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-2 EM.	40
Gráfico 4. 5 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-3.....	41
Gráfico 4. 6 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-3.....	45
Gráfico 4. 7 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-1 R.V.....	46
Gráfico 4. 8 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-2 R.V.....	50
Gráfico 4. 9 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-4.....	51
Gráfico 4. 10 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-1 E.B.	52
Gráfico 4. 11 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-2 E.B.	58
Gráfico 4. 12 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-5.....	59
Gráfico 4. 13 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-6.....	60
Gráfico 4. 14 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-6.....	66
Gráfico 4. 15 $H_{dr}=H/2$	72
Gráfico 4. 16 $H_{dr}=H$	72
Gráfico 4. 17 Consolidación P-4 muestra #3	73
Gráfico 4. 18 Consolidación P-4 muestra #6	74
Gráfico 5. 1 Terraplén crítico para análisis de Estabilidad.	82
Gráfico 5. 2 Esquema ingresado en programa Slide	83
Gráfico 5. 3 Corrida del Programa	84
Gráfico 5. 4 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 1,50 y 2,00 m aplicando Precarga de 3,00 y 2,50 m.	86
Gráfico 5. 5 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,50 y 3,00 m aplicando Precarga de 3,00 y 2,50 m.	87
Gráfico 5. 6 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.	89
Gráfico 5. 7 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 3,00 m y Precarga de 3,00 m.	89

Gráfico 5. 8 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,00 m y Precarga de 3,00 m.	90
Gráfico 5. 9 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.	92
Gráfico 5. 10 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 3,00 m y Precarga de 3,00 m.	92
Gráfico 5. 11 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,00 m y Precarga de 3,00 m.	93
Gráfico 5. 12 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 1,50 m y Precarga de 3,00 m.	95
Gráfico 5. 13 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,50 m y Precarga de 3,00 m.	95
Gráfico 5. 14 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 3,50 m y Precarga de 3,00 m.	96
Gráfico 5. 15 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,50 m y Precarga de 3,00 m.	96
Gráfico 5. 16 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00, 3,00, 4,00 y 5,00 m.	99
Gráfico 5. 17 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 1,00 m y Precarga de 3,00 m.	101
Gráfico 5. 18 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.	101
Gráfico 5. 19 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.	102
Gráfico 5. 20 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,00 m y Precarga de 3,00 m.	102
Gráfico 5. 21 Detalle de capa drenante.	105
Gráfico 5. 22 Granulometría del material que conforma el terraplén.	106
Gráfico 5. 23 Ubicación típica en planta de los drenes.	110
Gráfico 5. 24 Conformación de drenes en planta sector #1.	111
Gráfico 5. 25 Conformación de drenes en planta sector #2.	112
Gráfico 5. 26 Conformación de drenes en planta sector #4.	113
Gráfico 5. 27 Geobloque tipo.	114
Gráfico 5. 28 Estructura del Terraplén con Geobloque.	115
Gráfico 7. 29 Ubicación de Placas para control de asentamientos en obra.	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Diseño de pavimento	7
Tabla II Parámetros del diseño geométrico de la vía.....	8
Tabla III Curvas horizontales de la vía.....	9
Tabla IV Abscisas Vs Alturas de Relleno.....	9
Tabla V Alturas de relleno vs Sobrecarga producida.....	10
Tabla VI Datos de Perforación.....	12
Tabla VII Ensayos realizados.....	13
Tabla VIII Obtención del factor “K”.....	18
Tabla IX Variación de η_B , η_S , η_R , η_H	20
Tabla X Perforación N°1.....	23
Tabla XI Perforación N°2.....	23
Tabla XII Perforación N°3.....	24
Tabla XIII Perforación N°4.....	24
Tabla XIV Perforación N°5.....	25
Tabla XV Perforación N°6.....	25
Tabla XVI Perforación N°7.....	26
Tabla XVII Perforación N°8.....	26
Tabla XVIII Perforación N°9.....	27
Tabla XIX Perforación N°10.....	27
Tabla XX Tipo de suelo vs relación de poisson (μ).....	34
Tabla XXI Tipo de suelo vs: Modulo de elasticidad (E_s).....	35
Tabla XXII Factor de forma (If).....	35
Tabla XXIII Estratos correspondientes a la Perforación P-1 E.M.....	36
Tabla XXIV Resumen de asentamientos del Sector #1 P-EM1	38
Tabla XXV Grado de consolidación para los diferentes incrementos de carga (P-1 EM).	38
Tabla XXVI Estratos correspondientes a la Perforación P-3 y P-2 E.M.	39
Tabla XXVII Resumen de asentamientos del Sector #2 abscisa 22+350 - 24+128,05.....	42
Tabla XXVIII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-2 EM).	42
Tabla XXIX Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-3).....	43
Tabla XXX Estratos correspondientes a la Perforación P-3 y P-1 R.V.	44
Tabla XXXI Resumen de asentamientos del Sector #3 abscisa 24+128,05 – 24+620.....	47
Tabla XXXII Grado de consolidación para diferentes incrementos.....	47

Tabla XXXIII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-1 R.V.).....	48
Tabla XXXIV Estratos correspondientes a las Perforaciones P-2 R.V., P-4 y P-1 E.B.	49
Tabla XXXV Resumen de asentamientos del Sector #4 abscisa 24+700 – 25+980.....	53
Tabla XXXVI Grado de consolidación para diferentes incrementos.....	54
Tabla XXXVII Grado de consolidación para diferentes incrementos.....	55
Tabla XXXVIII Grado de consolidación para diferentes incrementos.....	56
Tabla XXXIX Estratos correspondientes a las Perforaciones P-2 E.B., P-5 y P-6.	57
Tabla XL Resumen de asentamientos del Sector #5 abscisa 26+010 – 27+116.....	61
Tabla XLI Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-2 E.B.).....	62
Tabla XLII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-5).....	63
Tabla XLIII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-6).....	64
Tabla XLIV Estratos correspondientes a la Perforación P-6.	65
Tabla XLV Resumen de asentamientos del Sector #6 P-6 abscisa 27+116 - 29+150.....	67
Tabla XLVI Grado de consolidación para los diferentes incrementos de carga (P-6).....	67
Tabla XLVII Resumen de Asentamientos.	68
Tabla XLVIII Factor de tiempo según el grado de consolidación.....	71
Tabla XLIX Tiempo de Consolidación Perforación P-1 E.M.....	75
Tabla L Tiempo de Consolidación Perforación P-3.....	75
Tabla LI Tiempo de Consolidación Perforación P-2 E.M.	76
Tabla LII Tiempo de Consolidación Perforación P-1 R.V.....	76
Tabla LIII Tiempo de Consolidación Perforación P-3.....	76
Tabla LIV Tiempo de Consolidación Perforación P-1 E.B.....	77
Tabla LV Tiempo de Consolidación Perforación P-2 R.V.	77
Tabla LVI Tiempo de Consolidación Perforación P-4.	77
Tabla LVII Tiempo de Consolidación Perforación P-2 E.B.....	78
Tabla LVIII Tiempo de Consolidación Perforación P-5.	78
Tabla LIX Tiempo de Consolidación Perforación P-6.	78
Tabla LX Tiempo de Consolidación Perforación P-6.	79

Tabla LXI Resumen de tiempos de consolidación.	79
Tabla LXII Factores de Seguridad para taludes NEC-11.	83
Tabla LXIII Resultado de asentamientos para Hr=1,5, 2,0, 2,5 Y 3 metros, con sus respectivas precargas de 3,0 y 2,5 metros, así como el tiempo de consolidación.	85
Tabla LXIV Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.	87
Tabla LXV Resultado de asentamientos para Hr= 2, 3, 4 metros, con sus respectivas precargas de 3 metros y tiempos de consolidación.	88
Tabla LXVI Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.	90
Tabla LXVII Resultado de asentamientos para Hr= 2, 3, 4 metros, con sus respectivas precargas de 3 metros y tiempos de consolidación.	91
Tabla LXVIII Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.	93
Tabla LXIX Resultado de asentamientos para Hr=1,5, 2,5, 3,5 y 4,5 metros, con sus respectivas precargas de 3 metros y tiempos de consolidación.	94
Tabla LXX Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.	97
Tabla LXXI Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.	98
Tabla LXXII Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.	100
Tabla LXXIII Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.	103
Tabla LXXIV Resumen de los tiempos de consolidación en cada sector con precarga.	104
Tabla LXXV Cálculo de separación de drenes para el sector #1.	111
Tabla LXXVI Cálculo de separación de drenes para el sector #2.	112
Tabla LXXVII Cálculo de separación de drenes para el sector #4.	113
Tabla LXXVIII Transmisión de Esfuerzo para sector con geobloques.	116
Tabla LXXIX Cálculo de asentamiento por consolidación primaria para sector con geobloques.	117
Tabla LXXX Cálculo de asentamiento inmediato en sector con geobloques.	117
Tabla LXXXI Volumen total de precarga.	119
Tabla LXXXII Costo de precarga	119
Tabla LXXXIII Costo de los drenes verticales de arena.	119

Tabla LXXXIV Costo del Uso de Geobloques.....	120
Tabla LXXXV Resumen de los costos para las soluciones.....	121
Tabla LXXXVI Resumen de los costos para las soluciones.....	121

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene la finalidad de analizar la “Solución para asentamientos y tiempos de consolidación en el proyecto PASO LATERAL DE SALITRE, mediante el método de precarga”, el cual consiste en colocar mayores espesores de relleno de manera que se aplique mayor carga acelerando el fenómeno de la consolidación y luego deberá ser retirada para conformar la rasante con su respectiva estructura de pavimento a lo largo de la ruta establecida, cuya longitud es aproximadamente 7,253 km.

El terreno donde se construirá el Paso Lateral corresponde a depósitos aluviales de origen fluvial.

Estas terrazas son conformadas por suelos finos, tipo limos y arcillas, de mediana a alta plasticidad, color habano a café oscuro; de baja consistencia. Las terrazas por su forma de deposición, han formado superficies planas y suaves que son estables, además no se prevé la construcción de cortes, sino que se colocará un terraplén para elevar la rasante de la vía; la permeabilidad del suelo del sitio es baja debido a su granulometría y plasticidad.

Debido a las condiciones del proyecto se prevé la colocación de rellenos cuyos espesores varían entre 2 y 8 metros de altura en toda la longitud de la vía, estos rellenos con peso volumétrico aproximado de $1,8 \text{ T/m}^3$ provocarán asentamientos por consolidación en los estratos compresibles de arcilla en un tiempo muy prolongado e inmediatos o elásticos en los suelos friccionantes (granulares).

Para este estudio se realizaron 10 perforaciones a lo largo de la vía, para poder conocer el tipo de suelo donde se va a desarrollar la obra; entre las que están las perforaciones en los apoyos de los puentes: Esteros Matilde, Briceño y río Vines.

Además se estudiará la posibilidad económica de colocar filtros de arena los cuales tienen como función disminuir el tiempo de consolidación en suelos blandos, acelerando la disipación de presión de poros.

Otra alternativa que se estudiará será la de reemplazar el material de relleno que constituye el terraplén de la vía por Geobloques de poliestireno expandido cuyo peso volumétrico varía entre 0,015 y 0,030 T/m³, este material es ligero por lo que la descarga que producirá será considerablemente menor.

1.1 Antecedentes del proyecto

Para realizar el proyecto de tesis se ha contado con toda la información Geotécnica proporcionada por la Empresa CEVACONSULT S.A. específicamente lo referente a los sondeos realizados en la vía en estudio. Las perforaciones fueron realizadas en el año 2013 y presentadas en los estudios para la construcción. Se conoce además que el inicio de este proyecto se localiza al sur de la población de Vernaza; y, se dirige en sentido sur - norte, atravesando los poblados de Vernaza, Gonzalo Zaldumbide hasta llegar a la población de Clarisa. El proyecto está localizado entre la provincias de Guayas y Los Ríos; señalándose que, el puente a la entrada de Clarisa así como el Recinto Pavana ubicado junto al anterior, pertenecen a la Provincia de Los Ríos.

Esta vía se encuentra a nivel de mejoramiento, su estado es de regular a mala y en ciertos tramos se observa que ha existido una estructura de

pavimento la cual se encuentra deteriorada; por tal motivo se debe intervenir la vía para mejorar las condiciones de serviciabilidad que esta presta.

1.2 Justificación del proyecto

Dado el programa completo de exploración Geotécnica, diseño geométrico con sus alineamientos verticales y horizontales, además que la zona donde se realiza el proyecto corresponde a depósitos aluviales de terrazas; se ha considerado la realización de este proyecto presentando soluciones especiales para arcillas compresibles existentes en el sitio en que se construirá la vía.

1.3 Objetivos del proyecto

Objetivo General

Calcular los asentamientos que se van a producir en la vía por la colocación del material de relleno, el cual conformará el terraplén, además del tiempo que abarcará este fenómeno para así analizar soluciones como precarga, filtros de arena y Geobloques, para evaluar la solución más económica y eficaz.

Objetivos Específicos

- Identificar los tipos de suelos a lo largo de la ruta predeterminada.
- Establecer las características geomecánicas de los suelos.
- Determinar las deformaciones verticales que ocurren en los suelos por la colocación de los rellenos para alcanzar la cota del proyecto.
- Calcular el tiempo en el cual se producirán los asentamientos.
- Evaluar las posibles soluciones para disminuir los tiempos de consolidación, así como disminuir los asentamientos que se pueden producir.
- Analizar y comparar los costos asociados a las posibles soluciones y elegir la más factible en términos económicos y técnicos.

CAPÍTULO 2

2. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA

En este capítulo se analizarán las características de la vía para determinar las alturas y sitios de los rellenos que potencialmente podrán causar asentamientos.

La vía será construida en un terreno mayoritariamente llano con la sección que se muestra en el Gráfico 2.1.

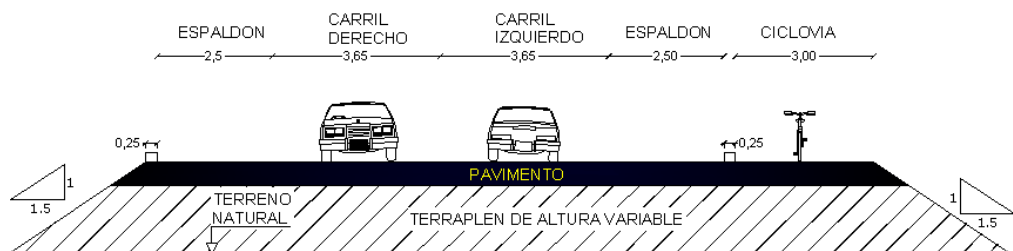


Gráfico 2. 1 Sección típica de la vía.

La sección tendrá un ancho de 13,80 m que se distribuye en:

- Dos carriles de 3,65 m.
- Dos espaldones de 2,50 m.
- Dos bordillos de 0,25 m.
- Una ciclovía de 3,00 m
- Taludes de relleno con una relación geométrica de 1,5:1(H: V).

El pavimento a construir sobre el terraplén de proyecto corresponde a la siguiente estructura:

Tabla I Diseño de pavimento

7,5 cm Carpeta Asfáltica
15 cm Base Granular $\gamma_d=2,30\text{T/m}^3$ $\text{CBR}\geq 80$ $M_r\geq 253096 \text{ T/m}^2$
20 cm Sub-Base Granular $\gamma_d=2,20\text{T/m}^3$ $\text{CBR}\geq 30$ $M_r\geq 19685 \text{ T/m}^2$
20 cm Material de Mejoramiento $\gamma_d=2,10\text{T/m}^3$ $\text{CBR}\geq 20$ $M_r\geq 9140 \text{ T/m}^2$

2.1 Diseño Geométrico

Para conocer los parámetros de diseño de la vía, así como algunas características geométricas se ha contado con la información proporcionada por parte del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Del estudio de Tráfico se obtiene un TPDA de 2912 veh/día proyectado al año 2035, encontrándose en el rango de 1000-3000 veh/día; de acuerdo a las normas NEVI-12.

Tabla II Parámetros del diseño geométrico de la vía.

VIA CLASE II	
PARAMETRO	VALOR
Velocidad de diseño:	90 Km/H.
Radio mínimo de curvas horizontales:	275 m.
Distancia de visibilidad de parada:	135 m.
Distancia de visibilidad para rebasamiento:	640 m.
Peralte máximo:	10%
Clase de Pavimento:	Carpeta Asfáltica.
Ancho de espaldones:	2.50 m.
Gradiente transversal:	2%

Fuente: Manual NEVI-12

La vía cuenta con el siguiente listado de curvas horizontales, contando los ingresos y salidas de paso lateral:

Tabla III Curvas horizontales de la vía.

Curva #	Dirección	Punto de Comienzo	Punto de Terminación	Sentido
1	Derecha	22+015,96	22+215,97	Salida a Salitre
2	Derecha	0+000,00	0+218,99	Ingreso desde Salitre
3	Derecha	22+349,07	22+603,09	Paso lateral
4	Derecha	23+038,29	23+342,62	Paso lateral
5	Izquierda	23+423,59	23+746,75	Paso lateral
6	Derecha	24+326,58	24+485,86	Paso lateral
7	Derecha	24+871,41	25+383,77	Paso lateral
8	Izquierda	29+062,00	29+220,57	Ingreso desde Guayaquil
9	Derecha	29+062,00	29+162,46	Salida a Salitre

2.2 Volúmenes y alturas de relleno

Se determinó las diferentes alturas de relleno cada 10 metros de longitud mediante el perfil longitudinal del proyecto, el mismo que se presenta tabulado en el Anexo 1. A continuación se presenta la Tabla IV en la que se resumen los rellenos por sectores entre abscisas:

Tabla IV Abscisas Vs Alturas de Relleno.

Tramo			Altura de relleno (metros)		
21+900,00	-	22+680,00	0,00	-	3,00
22+680,00	-	23+060,00	1,70	-	2,50
23+060,00	-	23+440,00	0,50	-	4,00
23+440,00	-	24+200,00	1,50	-	4,00
24+200,00	-	24+960,00	2,50	-	8,50
24+960,00	-	25+720,00	1,50	-	4,50
25+720,00	-	26+480,00	2,00	-	5,00
26+480,00	-	27+240,00	2,50	-	4,00
27+240,00	-	28+000,00	3,00	-	5,00
28+000,00	-	28+760,00	2,00	-	5,00
28+760,00	-	29+150,00	1,50	-	4,00

Estas alturas de relleno con peso volumétrico aproximado de 1,80 T/m³ producirán las siguientes sobrecargas en la superficie:

Tabla V Alturas de relleno vs Sobrecarga producida.

Altura de relleno (metros)	Sobrecarga ΔQ (T/m ²)	Altura de relleno (metros)	Sobrecarga ΔQ (T/m ²)
0,00	0,0	4,50	8,1
0,50	0,9	5,50	9,9
1,00	1,8	5,50	9,9
1,50	2,7	6,50	11,7
2,00	3,6	6,50	11,7
2,50	4,5	7,50	13,5
3,00	5,4	7,50	13,5
3,50	6,3	8,00	14,4
4,00	7,2		

La sobrecarga es calculada de la siguiente manera:

$$\Delta Q = \gamma * H \text{ (T/m}^2\text{)} \quad \bullet \text{ Ecuacion 2.1 Cálculo sobrecarga.}$$

ΔQ : Sobrecarga a nivel de contacto entre el terraplén y el terreno natural (T/m²).

γ : Peso volumétrico del relleno, $\gamma = 1,80 \text{ T/m}^3$ para todo el material a lo largo de la vía.

H: Altura de relleno (m).

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO DEL SUELO

Para el estudio se realizaron 10 perforaciones a lo largo de la vía, para poder conocer sobre qué tipo de suelo se va a desarrollar la obra. Entre estas perforaciones están las realizadas en los apoyos de los puentes: Esteros Matilde, Briceño y río Vinces.

3.1 Estudio de Campo

El sistema que se utilizó fue de percusión y lavado con toma de muestra cada 1,50 m, al encontrarse suelos finos blandos se procedió a tomarlos con tubos shelby de 3" de diámetro como lo dispone la norma ASTM D-1587; por otro lado para suelos granulares y finos de consistencia dura a

muy rígida se utilizó el penetrómetro estándar (cuchara partida de 2" de diámetro) según la norma ASTM D-1586 en los cuales se registró el número de golpes SPT.

En la Tabla VI se detalla cada perforación con su profundidad alcanzada, la ubicación y el nivel freático:

Tabla VI Datos de Perforación.

Perforación	Profundidad (m)	Ubicación	Nivel Freático (m)
P-1 (E.M.)	36,00	22+320,00 PUENTE SOBRE ESTERO MATILDE	2,00
P-2 (E.M.)	33,50	22+350,00 PUENTE SOBRE ESTERO MATILDE	2,00
P-3	15,50	24+128,05	2,10
P-1 (R.V.)	37,50	24+620,00	1,50
P-2 (R.V.)	24,50	24+700,00	0,50
P-4	30,50	24+795,69	1,35
P-1 (E.B.)	24,50	25+980 PUENTE SOBRE ESTERO BRICEÑO	0,50
P-2 (E.B.)	30,50	26+010 PUENTE SOBRE ESTERO BRICEÑO	0,30
P-5	16,50	26+075,63	0,80
P-6	15,50	27+116,00	2,20

En el Anexo 2 se presenta la ubicación de cada una de las perforaciones realizadas en la planta del proyecto.

3.2 Ensayos del Laboratorio

Según el tipo de muestra obtenida se realizaron los diferentes ensayos, que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla VII Ensayos realizados.

Ensayo	Procedimiento
Contenido de Humedad	ASTM-D-2216 ; ASTM-D-2974
Determinación de la cantidad de fino que pasa el tamiz N°200	ASTM-D-1140
Limite líquido, plástico e índice de plasticidad	ASTM-D-4318-METODO A
Clasificación de los suelos	ASTM-D-2487
Compresión sin confinar	ASTM-D-2166
Resistencia al Cortante	ASTM-D-3080
Consolidación	ASTM-D-2435-90

Los resultados de cada perforación se presentan en el Anexo 3, a continuación se muestra a manera de ejemplo el Gráfico 3.1 con los resultados de una perforación tipo.

PROFUNDIDAD M	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCION DE MATERIAL	ESTRATIGRAFIA	MUESTRA		SUCS	AASTHO	W %	Wl %	Wp %	IP %	IL	Ø	γ T/m3	qu T/m2	ε %	Su T/m2	Gs	# 4 %	# 10 %	# 40 %	# 200 %	N	N ₆₀
				#	PROFUNDIDAD																			
1		Arcilla de alta plasticidad con algo de arena fina, color café clara, consistencia blanda, existe presencia de raíces.		1	0,50 - 1,00	CH	A-7-6	38	55	21	33	0,49		1,8			2,4		100	100	100	87	5	4
2	2,00			2	1,50 - 2,00	CH	A-7-6	47	83	28	55	0,35		1,7			3,1		100	100	100	94	7	5
3				3	2,50 - 3,00	CH	A-7-6	57	62	25	37	0,86		1,5	5,5	5,37	2,6		100	100	100	77		
4				4	3,50 - 4,00	CH	A-7-6	122	86	28	58	1,62		1,3	2,1	6,44	1,0		100	100	100	92		
5				5	4,50 - 5,00	CH	A-7-5	128	124	42	82	1,04		1,4	2,6	9,12	1,2		100	100	100	98		
6		Arcilla de alta plasticidad color café verdosa, con alta presencia de materia vegetal, consistencia muy blanda a media.		6	6,00 - 6,50	CH	A-7-5	67	172	55	118	0,10		1,2	5,2	6,44	2,6		100	100	98	97		
7				7	7,50 - 8,00	CH	A-7-6	58	59	21	38	0,97		1,5	2,4	8,05	1,1		100	100	100	87		
9				8	9,00 - 9,50	CH	A-7-6	55	62	22	40	0,82		1,6	5,9	4,83	2,8		100	100	100	89		
10	10,00			9	10,50 - 11,00	SM	A-4	35	NO	PLAS	TICO		38	1,8					100	96	78	48	53	40
12	12,00	Arena limosa, color café claro no plastico, compacta.		10A	12,00 - 12,20	ML	A-4	36	NO	PLAS	TICO			1,8					100	97	78	50		
				10B	12,20 - 12,50	CL	A-7-6	40	39	18	22	1,02		1,8			43,6		100	100	100	77	79	59

Gráfico 3. 1 Resultados de Laboratorio
Fuente: Ensayos realizados por CEVACONSULT

3.2.1 Resultados de la Perforación

Se presenta a diferentes profundidades cada muestra con: el tipo de suelo (clasificación SUCS y AASHTO), humedad natural ($W\%$), límite líquido (WL), límite plástico (Wp), índice plástico (IP), índice de liquidez (IL), peso específico (γ), esfuerzo de compresión simple (q_u), deformación unitaria (ϵ), resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u), pasante del tamiz N°4, pasante del tamiz N°10, pasante del tamiz N°40, pasante del tamiz N°200, Número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{spt}) y finalmente el número de golpes corregidos (N_{60}).

3.2.2 Definiciones

A continuación se presentan algunas definiciones utilizadas en este capítulo:

3.2.2.1 Índice plástico (IP)

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 3.1 Índice plástico.

LL: Limite liquido (% de humedad en la que el suelo pasa del estado plástico al líquido).

LP: Limite Plástico (% de humedad en la que el suelo pasa del estado semisólido al plástico).

3.2.3.1 Índice de Liquidez (IL)

Define la consistencia relativa de un suelo cohesivo en estado natural.

$$IL = \frac{W-LP}{LL-LP} \quad \text{Ecuacion 3.2 Índice de liquidez.}$$

3.2.3 Correlaciones utilizadas en los resultados de laboratorio

Para la optimización de recursos, debido a que los parámetros de las perforaciones fueron dadas por la empresa CEVACONSULT y no se realizaron los ensayos de consolidación en todas las muestras. Cabe mencionar que para efectos prácticos es muy complicado realizar ensayos con todas las muestras; razón por la cual se eligieron las correlaciones para obtener ciertos parámetros.

3.2.3.1 Resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u)

Es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él.

Para las muestras de arcillas en las cuales no se realizó el ensayo de compresión sin confinar se determinó el S_u mediante la siguiente expresión (Trabajo de grado Ingeniero Jorge Nuques):

$$S_u = N_{spt} * K \quad (T/m^2) \quad \text{Ecuacion 3.3 Resistencia al corte no drenado no consolidado.}$$

S_u : Resistencia al corte no drenado no consolidado.

K: Factor que depende del Índice Plástico (IP).

N_{spt} : Número de golpes del ensayo de penetración estándar.

El factor K se escogió de la siguiente tabla:

Tabla VIII Obtención del factor "K"

I.P.	k	I.P.	k	I.P.	k
10	0,793	40	0,468	70	0,4390
11	0,793	41	0,466	71	0,4384
12	0,793	42	0,464	72	0,4378
13	0,793	43	0,462	73	0,4372
14	0,793	44	0,461	74	0,4366
15	0,793	45	0,459	75	0,4360
16	0,692	46	0,458	76	0,4352
17	0,644	47	0,457	77	0,4344
18	0,610	48	0,456	78	0,4336
19	0,586	49	0,454	79	0,4328
20	0,566	50	0,453	80	0,4320
21	0,552	51	0,452	81	0,4314
22	0,541	52	0,451	82	0,4308
23	0,532	53	0,450	84	0,4302
24	0,524	54	0,450	85	0,4296
25	0,518	55	0,449	85	0,4290
26	0,512	56	0,448	86	0,4284
27	0,506	57	0,448	87	0,4278
28	0,502	58	0,447	88	0,4272
29	0,497	59	0,446	89	0,4266
30	0,493	60	0,446	90	0,4252
31	0,490	61	0,4450	91	0,4246
32	0,487	62	0,4440	92	0,4239
33	0,484	63	0,4440	93	0,4233
34	0,481	64	0,4430	94	0,4226
35	0,478	65	0,4420	95	0,4220
36	0,476	66	0,4420	96	0,4214
37	0,473	67	0,4410	97	0,4208
38	0,471	68	0,4400	98	0,4202
39	0,469	69	0,4400	99	0,4196
				100	0,419

3.2.3.2 Numero de golpes corregidos (N60)

Existen varios factores que afectan el número de golpes (Nspt) entre los cuales están los siguientes:

- Eficiencia del martillo SPT % (η_H)
- Diámetro de la perforación (η_B)
- Método de muestreo (η_S)
- Factor de longitud de la barra perforadora (η_R)

La correlación para calcular el número de golpes corregidos depende de los valores antes mencionados y su correlación es la siguiente:

$$N_{60} = \frac{N \cdot \eta_H \cdot \eta_B \cdot \eta_S \cdot \eta_R}{60}$$

Ecuación 3.4 Número de golpes corregidos.

Dónde:

N_{60} : Es el número de golpes corregidos.

N : Número de golpes obtenidos del ensayo de penetración estándar.

En la siguiente tabla se presentan los valores para cada factor de la ecuación, además se ha sombreado los correspondientes al equipo de perforación.

Tabla IX Variación de η_B , η_S , η_R , η_H .

1. Variación de η_H			
País	Tipo de martillo	Liberación del martillo	η_H (%)
Japón	Donut	Caída libre	78
	Donut	Cuerda y polea	67
Estados Unidos	Seguridad	Cuerda y polea	60
	Donut	Cuerda y polea	45
Argentina	Donut	Cuerda y polea	45
China	Donut	Caída libre	60
	Donut	Cuerda y polea	50
2. Variación de η_B			
Diámetro			
mm	pulg	η_B	
60-120	2,4-4,7	1	
150	6	1,05	
200	8	1,15	
3. Variación de η_S			
Variable	η_S		
Muestreador estándar	1		
Con forro para arcilla y arena densa	0,8		
Con forro para arena suelta	0,9		
4. Variación de η_R			
Longitud de barra			
m	pies	η_R	
>10	>30	1	
6-10	20-30	0,95	
4-6	12-20	0,85	
0-4	0-12	0,75	

Fuente: Modificada del libro "Principio de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das quinta edición"

Con la selección de los valores según el equipo que se ha utilizado la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$N_{60} = 0.75N$$

Ecuación 3.5 Número de golpes corregidos modificada.

3.2.3.3 Angulo de fricción (φ)

$$\varphi = 27.1 + 0.3 N60 - 0.00054 N60^2$$

Ecuacion 3.6 Ángulo de fricción
interna de los suelos.
Fuente: Wolf, 1989

N60: Numero de golpes corregidos del ensayo de penetración estándar.

3.2.4 Ensayos de Consolidación

Debido a que se colocarán terraplenes cuyo peso específico es aproximadamente $1,8 \text{ T/m}^3$, provocará que los estratos se compriman.

El asentamiento que se tendrá a lo largo del proyecto será por consolidación primaria, propia de suelos finos e inmediato en suelos granulares.

No se consideró la consolidación secundaria, porque el tiempo en que esta se produciría será mayor al tiempo de vida útil del proyecto.

El estudio se centró en el caso del asentamiento de las arcillas, las cuales se estudiaron siguiendo la norma **ASTM D 2435-90**.

En el estudio solo se realizaron 2 ensayos de consolidación a las muestras 3 y 6; las cuales se extrajeron mediante tubos shelby de la perforación 4.

El objetivo del ensayo consistió en determinar los factores CR y RR para calcular los asentamientos por el método de Terzaghi (Anexo 4), obteniendo para la muestra 3 un $RR=0,023$ y $CR=0,24$ y la muestra 6 los valores de $RR=0,038$ y $CR=0,38$; estos parámetros obtenidos no serán utilizados en este proyecto, porque se considera que las dos consolidaciones realizadas en una misma perforación, proporcionan resultados insuficientes para realizar un análisis a lo largo de la vía, razón por la cual en el Capítulo 4 se explica de forma detallada el análisis y los resultados obtenidos mediante la estimación de parámetros ya que los ensayos de consolidación del estudio no son representativos.

3.3 Análisis de la información

Para ejecutar un análisis más detallado se describió en tablas cada perforación, teniendo en cuenta las características descriptivas como: consistencia (arcillas y limos), compacidad (arenas y gravas), color y ubicación del nivel freático.

Tabla X Perforación N°1.

PERFORACIÓN P-1 (E.M.)			
Abscisa:	22+320	Coordenadas:	Este:633603 Norte: 9798189
Cota:	7,28 m.s.n.m	Nivel freático:	2,00 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 3,00	Arcilla café de alta plasticidad (CH) de consistencia muy blanda.		
3,00 - 5,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso de consistencia		
5,00 - 12,50	Arcilla café de alta plasticidad (CH) verdosa de consistencia blanda, y en la mitad de dicho estrato entre 9,00 a 9,50 m se encontró una materia orgánica (OH) color negro.		
12,50 - 19,00	Arena limosa (SM) gris compactidad media a compacta.		
19,00 - 20,00	Limo de baja plasticidad (CL), consistencia blanda.		
20,00 - 26,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso.		
26,00 - 32,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color verde y consistencia dura a rígida.		
32,50 - 33,50	Arena limosa (SM) color gris compacta.		
33,50 - 36,00	Arcilla de baja plasticidad (CL) y consistencia rígida.		

Tabla XI Perforación N°2.

PERFORACIÓN P-2 (E.M.)			
Abscisa:	22+350	Coordenadas:	Este:633613 Norte: 9798160
Cota:	7,49 m.s.n.m	Nivel freático:	2,00 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 3,00	Arcilla café de alta plasticidad (CH) de consistencia muy blanda.		
3,00 - 6,50	Arena limosa (SM) color café con algo de gris y compactidad suelta a media.		
6,50 - 12,50	Materia orgánica de alta plasticidad (OH) color café verdoso y		
12,50 - 14,00	Arcilla de baja plasticidad (CL) gris y consistencia muy blanda.		
14,00 - 17,00	Arena limosa color gris (SM), compactidad media.		
17,00 - 20,00	Limo de baja plasticidad (ML) color gris y consistencia blanda.		
20,00 - 23,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris y consistencia blanda.		
23,00 - 26,00	Materia orgánica (OH).		
26,00 - 29,00	Arcilla (CL) consistencia rígida color café amarillento.		
29,00 - 30,50	Arena limosa (SM) color gris muy compacta.		
30,50 - 33,50	Arcilla de consistencia rígida color café amarillento.		

Tabla XII Perforación N°3.

PERFORACIÓN P-3			
Abscisa:	24+128,05	Coordenadas:	Este:622836 Norte: 9796686
Cota:	6,28 m.s.n.m	Nivel freático:	2,10 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 2,00	Arcilla color café claro de alta plasticidad (CH) y consistencia blanda.		
2,00 - 10,00	Arcilla color café verdoso de alta plasticidad (CH) y consistencia muy blanda a media.		
10,00 - 12,00	Arena limosa (SM), color café claro, compacta.		
12,00 - 14,00	Arcilla Limosa de baja plasticida (CL) con arena fina, consistencia rígida.		
14,00 - 15,50	Arcilla verdosa de alta plasticidad (CH), consistencia dura.		

Tabla XIII Perforación N°4.

PERFORACIÓN P-1 (R.V.)			
Abscisa:	24+620	Coordenadas:	Este:633646 Norte: 9796236
Cota:	6,45 m.s.n.m	Nivel freático:	1,50 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 1,00	Arcilla limosa color café claro de alta plasticidad (CH) de consistencia blanda.		
1,00 -2,00	Limo de baja plasticidad (ML) color café de consistencia muy blanda.		
2,00 - 6,50	Arena limosa (SM) color gris de compacidad suelta.		
6,50 - 12,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso, consistencia muy blanda, con capas de materia orgánica (OH) color gris oscuro.		
12,50 - 21,50	Arena limosa (SM), compacidad media a compacta.		
21,50 - 23,00	Arcilla de baja plasticidad (CL) color gris oscuro y consistencia media.		
23,00 - 24,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris oscuro con materia orgánica.		
24,50 - 26,00	Arena limosa (SM) color gris con algo de café y compacidad suelta.		
26,00 - 29,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) con una consistencia dura a rígida.		
29,00 - 30,50	Arena limosa (SM) café compacta.		
30,50 - 35,00	Arcilla de baja plasticidad (CL) con una pequeña capa de arena		
35,00 - 37,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color café verdoso y consistencia rígida.		

Tabla XIV Perforación N°5.

PERFORACIÓN P-2 (R.V.)			
Abscisa:	24+700	Coordenadas:	Este:632618 Norte: 9796158
Cota:	6,24 m.s.n.m	Nivel freático:	0,50 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 4,00	Arcilla color café de alta plasticidad (CH) y consistencia muy blanda.		
4,00 - 14,00	Alternancia de arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso, con materia orgánica (OH) color gris oscuro de consistencia muy blanda.		
14,00 - 17,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso y consistencia media a muy dura.		
17.50 - 18.50	Arena limosa (SM) color gris amarillento muy compacta.		
18.50 - 23.00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso y consistencia muy dura a rígida.		
23.00 - 28.50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color café claro y consistencia rígida.		

Tabla XV Perforación N°6.

PERFORACIÓN P-1 (E.M)			
Abscisa:	24+795,69	Coordenadas:	Este:632579 Norte: 9796071
Cota:	5,822m.s.n.m	Nivel freático:	1,35 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 1,00	Arcilla café de alta plasticidad (CH) y consistencia blanda.		
1,00 - 2,00	Arcilla café de baja plasticidad y consistencia dura.		
2,00 - 4,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso, consistencia blanda, con valores de RR=0,023 y CR= 0,24.		
4,00 - 8,00	Arcilla café oscura (CH) de consistencia media, con valores de		
8,00 - 12,40	Arcilla de alta plasticidad (CH) color verde y consistencia media a dura.		
12,40 - 17,00	Arena limosa (SM) color gris, muy compacta.		
17,00 - 23,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color amarillo y consistencia muy dura.		
23,00 - 30,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) y consistencia dura a rígida.		

Tabla XVI Perforación N°7.

PERFORACIÓN P-1 (E.B)			
Abscisa:	25+980	Coordenadas:	Este:631542 Norte: 9795736
Cota:	6,47 m.s.n.m	Nivel freático:	0,50 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 0,50	Gravas y limos.		
0,50 - 2,50	Arcilla de baja plasticidad (CL) color café de consistencia blanda.		
2,50 - 4,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color gris verdoso de consistencia muy blanda.		
4,50 - 5,00	Materia organica (OH) oscura.		
5,00 - 8,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color verde y consistencia media a dura.		
8,00 - 14,00	Arena limosa pobremente graduada (SP-SM) de color gris oscuro, compacta a muy compacta.		
14,00 - 20,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color verde y consistencia muy dura.		
20,00 -24,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color café verdoso y consistencia rígida.		

Tabla XVII Perforación N°8.

PERFORACIÓN P-2 (E.B)			
Abscisa:	26+010	Coordenadas:	Este:631508 Norte: 9795763
Cota:	6,08 m.s.n.m	Nivel freático:	0,30 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 2,00	Arcilla de alta plasticidad color café y consistencia muy blanda.		
2,00 - 3,00	Limo de baja plasticidad (ML) color café de consistencia media.		
3,00 - 6,50	Arena limosa pobremente graduada (SP-SM), de compacidad media a compacta.		
6,50 - 11,00	Arena limosa (SM) color gris oscuro compacta a muy compacta.		
11,00 - 12,50	Limo de baja plasticidad (ML) color gris verdoso y consistencia rígida.		
12,50 - 14,00	Limo de baja plasticidad (ML) color gris verdoso y consistencia rígida.		
14,00 - 15,50	Arcilla de baja plasticidad (CL) color café claro y consistencia rígida.		
15,50 - 17,00	Limo de baja plasticidad (ML) color café claro y consistencia rígida.		
17,00 - 23,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color café amarillento y consistencia		
23,00 - 26,00	Arcilla de baja plasticidad (CL) color café y consistencia muy dura.		
26,00 - 29,00	Arena limosa (SM) color gris oscuro muy compacta.		
29,00 - 30,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color amarillo y consistencia rígida en la profundidad.		

Tabla XVIII Perforación N°9.

PERFORACIÓN P-5			
Abscisa:	26+075,63	Coordenadas:	Este:631443 Norte: 9795754
Cota:	5,595 m.s.n.m	Nivel freático:	0,80 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 2,00	Arena limosa pobremente graduada (SP-SM) color café de compactidad suelta.		
2,00 - 5,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color café y consistencia blanda a media		
5,50 - 15,50	Arena limosa pobremente graduada (SP-SM) color gris y compactidad media a muy compacta.		
15,50 - 16,50	Arcilla de alta plasticidad (CH) color café y consistencia muy rígida.		

Tabla XIX Perforación N°10

PERFORACIÓN P-6			
Abscisa:	27+116	Coordenadas:	Este:630403 Norte: 9795760
Cota:	5,813 m.s.n.m	Nivel freático:	2,20 m
Profundidad (m)	Descripción del Estrato		
0,00 - 1,00	Limo café de alta plasticidad (MH) y consistencia muy blanda.		
1,00 - 2,00	Limo café de baja plasticidad y consistencia muy blanda.		
2,00 - 5,00	Arena limosa (SM) color gris, compactidad media.		
5,00 - 6,50	Arcilla de alta plasticidad y consistencia muy blanda (CH).		
6,50 - 8,00	Limo de alta plasticidad (MH) color café verdoso y consistencia muy blanda.		
8,00 - 12,50	Arena limosa (SM) color gris oscura, muy compacta.		
12,50 - 14,00	Arcilla de alta plasticidad (CH) color verdoso y consistencia muy dura.		
14,00 - 15,50	Arena limosa (SM) muy compacta.		

3.4 Caracterización de los suelos

Para poder caracterizar los suelos se realizó un perfil estratigráfico (Anexo 5) con la información de las perforaciones analizando cada muestra obtenida.

Para los estratos de suelo granular (arenas y gravas) se coloca la clasificación, el ángulo de fricción, mientras que para los estratos de suelo fino (arcillas y limos); los valores de resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u), además a cada estrato se estimó el peso volumétrico.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN

Todo suelo saturado sometido a un incremento de esfuerzos provoca que la presión de poro aumente repentinamente por lo que el volumen de vacíos se reduce, a este fenómeno se lo conoce como consolidación primaria.

En el Gráfico 4.1 se ilustra la forma general de cómo se deforma el suelo según transcurre el tiempo.

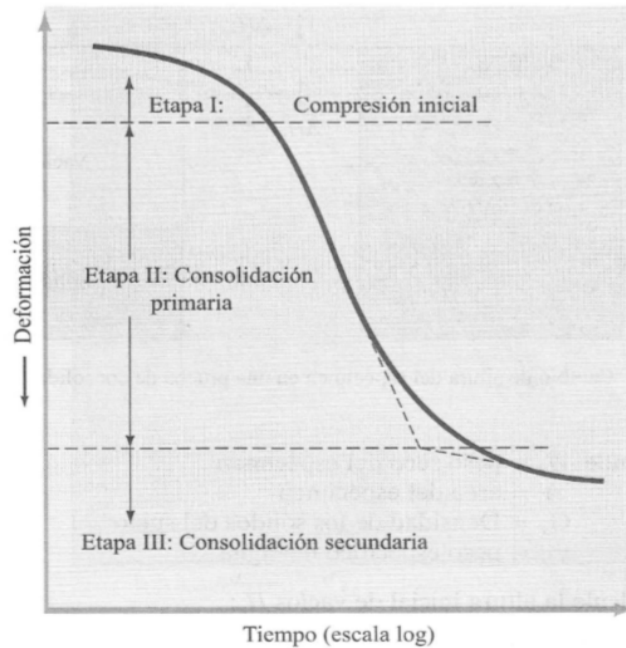


Gráfico 4. 1 Deformación vs Tiempo.

Fuente: "Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición BRAJA M. DAS"

- La etapa I es causada por la aplicación de la carga (relleno).
- La etapa II es la consolidación primaria en la cual se deforma una mayor cantidad.
- La etapa III se produce cuando se ha disipado el exceso de presión de poro, al momento que se da una deformación por un reajuste plástico del suelo.

Para este proyecto el cálculo del asentamiento secundario no se lo analizará ya que éste se produce en un tiempo que supera el periodo de vida útil de la vía, además que es insignificante en comparación al primario.

Dada las condiciones de los suelos se realizó un análisis sobre los diferentes asentamientos (Tiempo y magnitud) en base a estimación de parámetros.

Para calcular los asentamientos en los estratos de arcillas normalmente consolidadas (Esfuerzo efectivo σ'_o presente es el esfuerzo máximo al cual fue sometido el suelo en algún tiempo) se utilizó la siguiente expresión:

$$S = \frac{C_c H}{1+e_o} \text{Log} \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right)$$

Ecuacion 4.1 Cálculo de asentamiento para arcillas normalmente consolidadas

H: Altura del estrato compresible (m).

Cc: Coeficiente de Compresibilidad.

e_o: Relación de vacíos.

σ'_o : Esfuerzo efectivo del suelo en el punto de análisis (T/m²).

$\Delta\sigma'$: Esfuerzo transmitido al punto de análisis por la sobrecarga (T/m²).

$$C_c = 0.009 (LL - 10)$$

Ecuación 4.2 Cálculo de índice de compresión. Propuesta por Terzaghi y Peck (1967).

LL: Limite liquido (%)

Los valores de e_0 fueron extraídos de los ensayos de consolidación a partir de las gravedades específicas con valores 2,62 y 2,71 correspondientes a las muestras #3 y #4 de la perforación P-4, mediante la siguiente expresión:

$$e_0 = \frac{G_s W}{S} \quad \text{Ecuación 4.3 Cálculo de la relación de vacíos.}$$

Para hallar el esfuerzo transmitido se utilizó el siguiente criterio extraído del libro "Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición BRAJA M. DAS" dado por Boussinesq.

$$\Delta\sigma = \frac{q_0}{\pi} \left[\frac{(B_1 + B_2)}{B_2} (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right] \quad \text{Ecuación 4.4 Cálculo de incremento del esfuerzo bajo un terraplén.}$$

Donde:

$$q_0 = \gamma * H$$

q_0 = Descarga directa del terraplén al suelo.

γ = Peso volumétrico del terraplén.

H = Altura del terraplén.

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left[\frac{(B_1 + B_2)}{Z} \right] - \tan^{-1} \left[\frac{(B_1)}{Z} \right]$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left[\frac{(B_1)}{Z} \right]$$

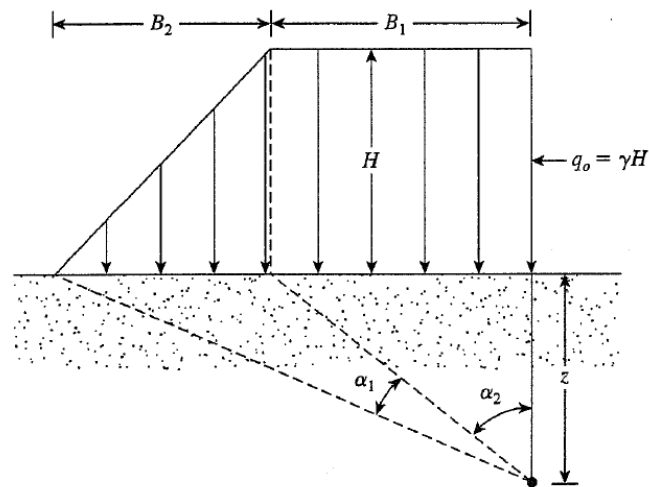


Gráfico 4. 2 Esquema de transmisión de carga.

Fuente: "Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición BRAJA M. DAS"

Para arcillas preconsolidadas (Esfuerzo efectivo σ'_o presente es menor al cual fue sometido en algún tiempo, se lo denomina esfuerzo de preconsolidación σ'_c) se calculará el asentamiento con la siguiente expresión:

$$S = \frac{C_s H}{1+e_o} \text{Log} \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right) \quad \text{Ecuacion 4.5 Cálculo de asentamiento para arcillas preconsolidadas.}$$

- C_s se denomina índice de expansión y se lo aproxima como 1/5 a 1/10 de C_c para el proyecto se escogió como la media entre estos 2 valores, el cual es 1/7,5.

Para los asentamientos inmediatos producidos por la deformación elástica del suelo sin cambios en el contenido de humedad; estos cálculos se derivan la teoría de elasticidad:

$$S = \frac{qB(1-\mu^2)}{E_s} I_f \quad \text{Ecuación 4.6 Cálculo del asentamiento elástico.}$$

q: Esfuerzo promedio transmitido al estrato en análisis (T/m²).

B: Dimensión característica del área cargada (m). Ancho del terraplén.

μ: Relación de poisson la cual se toma en base a la Tabla XX según el tipo de suelo.

E_s: Modulo de elasticidad el cual se toma en base a la Tabla XXI.

I_f: Factor de forma, tomado de la Tabla XXII con un valor correspondiente a 254 cm/m.

Tabla XX Tipo de suelo vs relación de poisson (μ).

TIPO DE SUELO	μ (-)
ARCILLA: SATURADA	0,4 - 0,5
NO SATURADA	0,1 - 0,3
ARENOSA	0,2 - 0,3
LIMO	0,3 - 0,35
ARENA: DENSA	0,2 - 0,4
DE GRANO GRUESO	0,15
DE GRANO FINO	0,25
ROCA	0,1 - 0,4
LOESS	0,1 - 0,3
HIELO	0,36
CONCRETO	0,15

Fuente: "Diseño de Cimentaciones Dr. Ing. Jorge Alva"

Tabla XXI Tipo de suelo vs: Modulo de elasticidad (Es).

TIPO DE SUELO	Es (ton/m ²)
ARCILLA: MUY BLANDA	30 - 300
BLANDA	200 - 400
DURA	450 - 900
ARCILLA ARENOSA	700 - 2000
SUELOS GRACIARES	3000 - 4250
LOESS	1000 - 6000
ARENA LIMOSA	500 - 2000
ARENA: SUELTA	1000 - 2500
DENSA	5000 - 10000
GRAVA ARENOSA: DENSA	8000 - 20000
SUELTA	5000 - 14000
ARCILLA ESQUISTOSA	14000 - 140000
LIMOS	200 - 2000

Fuente: "Diseño de Cimentaciones Dr. Ing. Jorge Alva"

Tabla XXII Factor de forma (If).

FORMA DE LA ZAPATA	VALORES DE Ir (cm/m)			
	CIM. FLEXIBLE			RIGIDA
UBICACIÓN	CENTRO	ESQ.	MEDIO	---
RECTANGULAR L/B = 2	153	77	130	120
L/B = 5	210	105	183	170
L/B = 10	254	127	225	210
CUADRADA	112	56	95	82
CIRCULAR	100	64	85	88

Fuente: "Diseño de Cimentaciones Dr. Ing. Jorge Alva"

4.1 Análisis y resultados de asentamientos

El análisis se lo realizó por sectores calculando el asentamiento por consolidación primaria e inmediato.

4.1.1 Sector #1 abscisa 21+900 – 22+320

Se analizará el asentamiento provocado por rellenos de 1,50 a 3,00 metros, en los siguientes estratos:

Tabla XXIII Estratos correspondientes a la Perforación P-1 E.M.

PERFORACION P-1 E.M.			
ESTRATO	PROFUNDIDAD		
CH	0	-	3
CH	3	-	5
CH	5	-	12,5
SM	12,5	-	19
ML	19	-	20
CH	20	-	26
CH	26	-	32,5
SM	32,5	-	33,5
CH	33,5	-	36

El valor del esfuerzo efectivo para cada estrato se lo escogió del Gráfico 4.3, en el cual se incluye la clasificación SUCS, el peso específico (γ), la resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u) para arcillas, el ángulo de fricción (ϕ) para arenas y la profundidad del nivel freático.

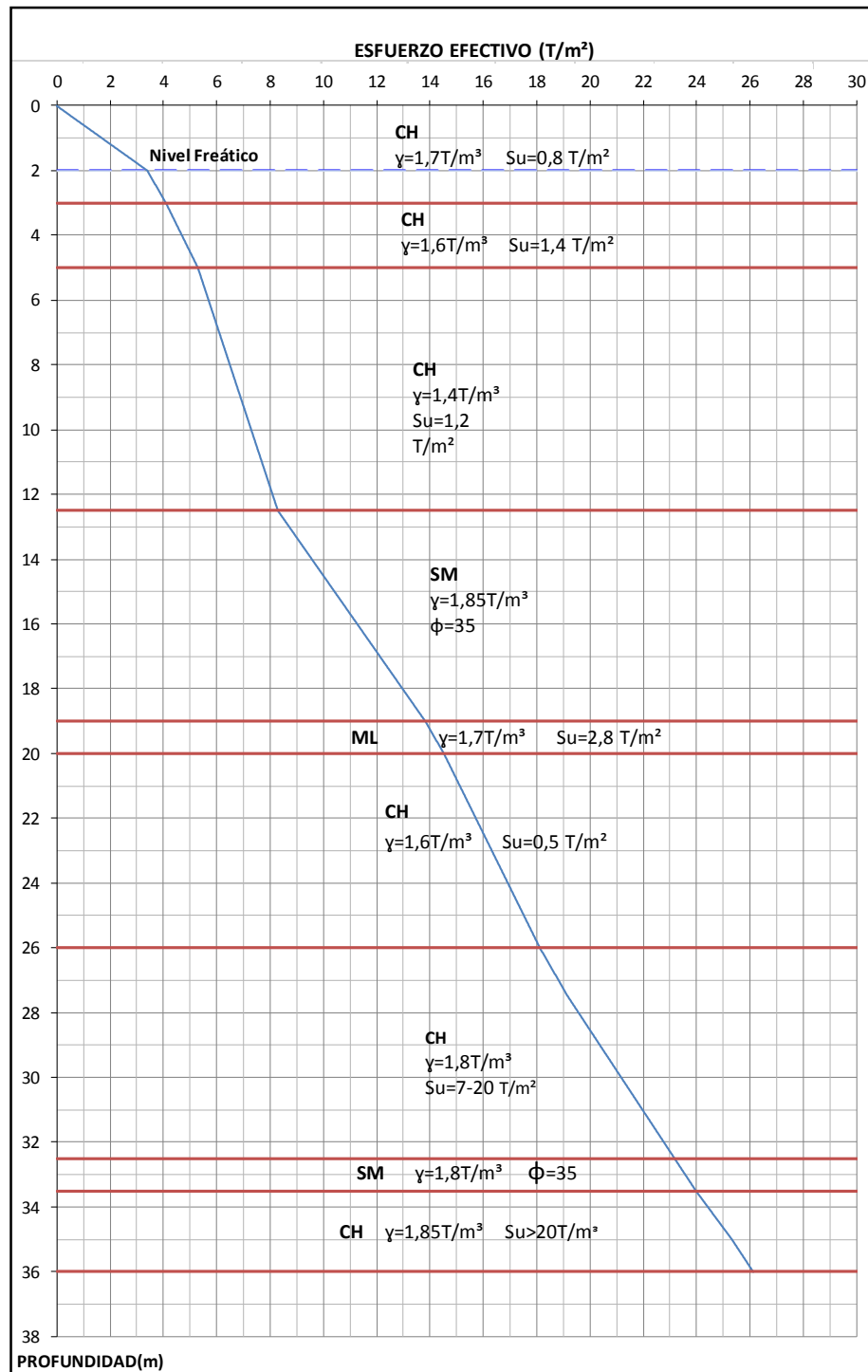


Gráfico 4. 3 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-1 EM.

Tabla XXIV Resumen de asentamientos del Sector #1 P-EM1
abscisa 21+900 - 22+320

Altura de Relleno (m)	Altura de relleno + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento (m)		
			Consolidación Primaria	Inmediato	Total
1,50	2,125	3,83	0,53	0,04	0,57
2,00	2,625	4,73	0,63	0,05	0,68
2,50	3,125	5,63	0,74	0,07	0,81
3,00	3,625	6,53	0,83	0,08	0,91

Tabla XXV Grado de consolidación para los diferentes incrementos de carga (P-1 EM).

Perforación P-1EM		Asentamientos (m)			
U%	Tv	Descarga qo=3,83	Descarga qo=4,73	Descarga qo=5,63	Descarga qo=6,53
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,03	0,03	0,04	0,04
10	0,00785	0,05	0,06	0,07	0,08
15	0,0177	0,08	0,09	0,11	0,12
20	0,0314	0,11	0,13	0,15	0,17
25	0,0491	0,13	0,16	0,19	0,21
30	0,0707	0,16	0,19	0,22	0,25
35	0,0962	0,19	0,22	0,26	0,29
40	0,126	0,21	0,25	0,30	0,33
45	0,159	0,24	0,28	0,33	0,37
50	0,197	0,27	0,32	0,37	0,42
55	0,239	0,29	0,35	0,41	0,46
60	0,286	0,32	0,38	0,44	0,50
65	0,34	0,34	0,41	0,48	0,54
70	0,403	0,37	0,44	0,52	0,58
75	0,477	0,40	0,47	0,56	0,62
80	0,567	0,42	0,50	0,59	0,66
85	0,588	0,45	0,54	0,63	0,71
90	0,848	0,48	0,57	0,67	0,75
95	1,129	0,50	0,60	0,70	0,79
100	-	0,53	0,63	0,74	0,83

4.1.2 Sector #2 abscisa 22+350 – 24+128,05

Se analizó el asentamiento provocado por rellenos de 2,00 a 4,00 metros, en los siguientes estratos:

Tabla XXVI Estratos correspondientes a la Perforación P-3 y P-2 E.M.

PERFORACION P-3				PERFORACION P-2 E.M.			
ESTRATO	PROFUNDIDAD			ESTRATO	PROFUNDIDAD		
CH	0,00	3	2,00	CH	0,00	-	3,00
CH	2,00	5	10,00	SM	3,00	-	6,50
SM	10,00	13	12,00	OH	6,50	-	12,50
CL	12,00	19	14,00	CL	12,50	-	14,00
CH	14,00	20	15,50	SM	14,00	-	17,00
				ML	17,00	-	20,00
				CH	20,00	-	23,00
				OH	23,00	-	26,00
				CH	26,00	-	29,00
				SM	29,00	-	30,50
				CH	30,50	-	33,50

El valor del esfuerzo efectivo para cada estrato se lo escogió del Gráfico 4.4 y 4.5, en el cual se incluye la clasificación SUCS, el peso específico (γ), la resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u) para arcillas, el ángulo de fricción (ϕ) para arenas y la profundidad del nivel freático.

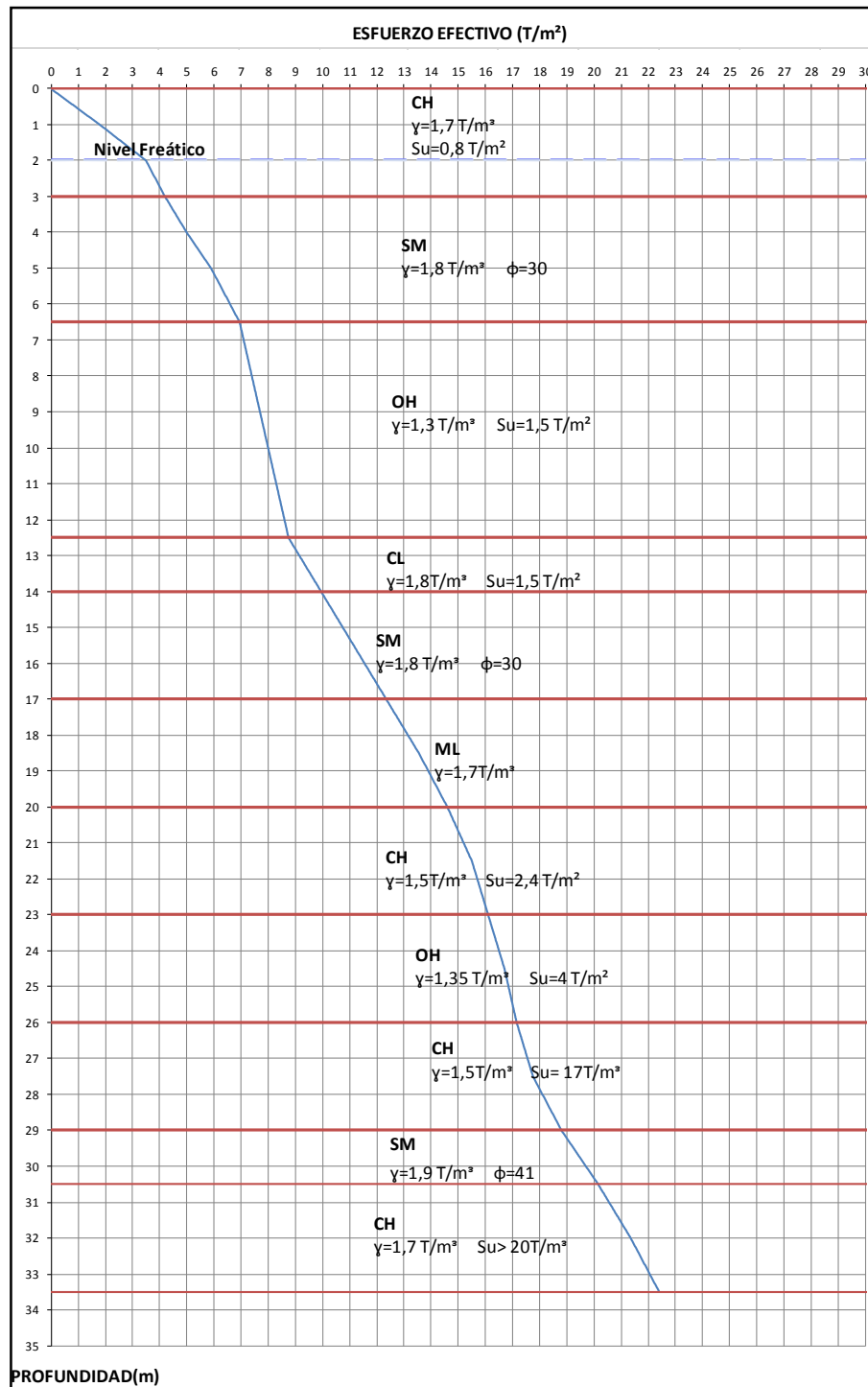


Gráfico 4. 4 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-2 EM.

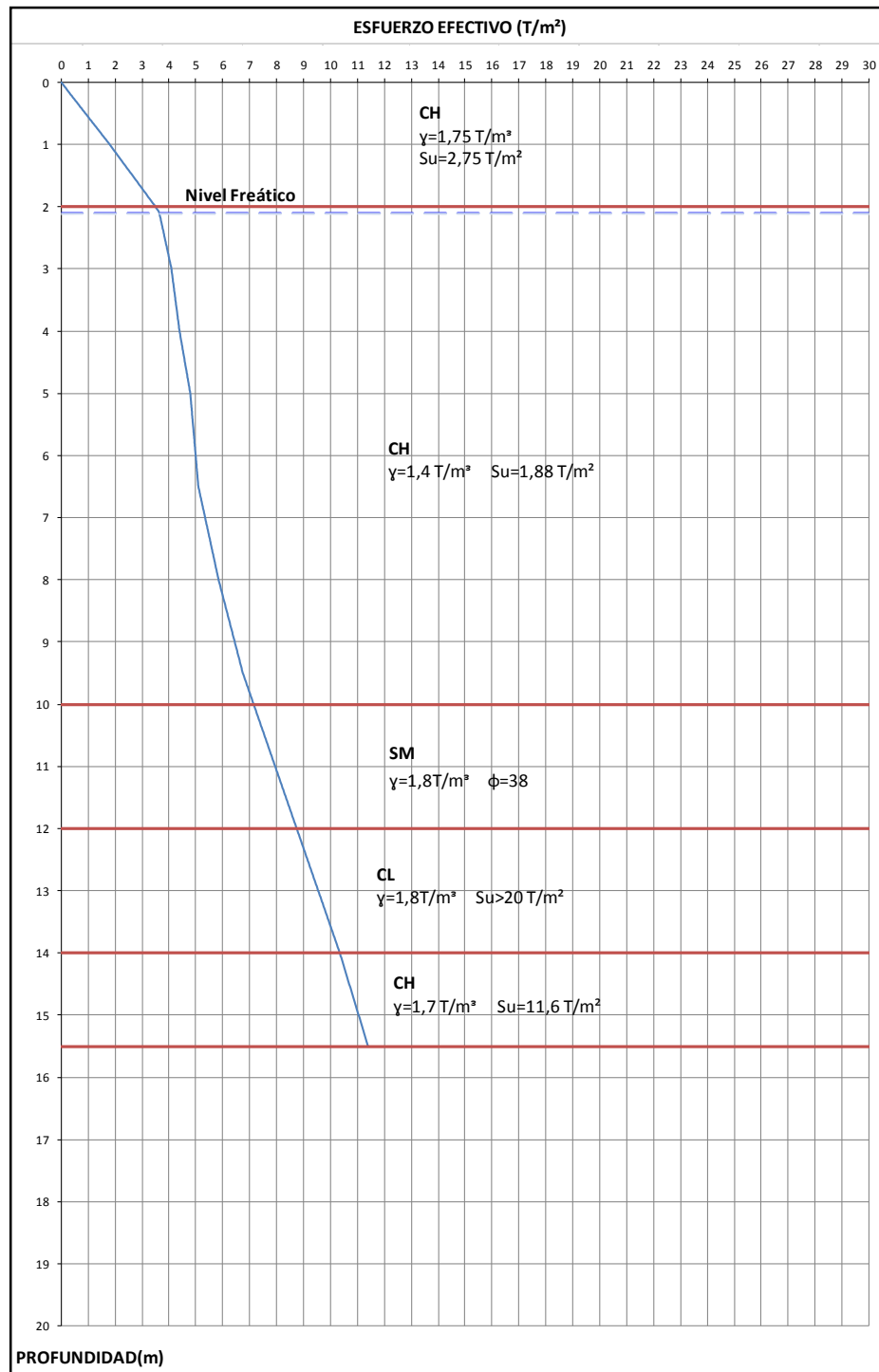


Gráfico 4. 5 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-3.

Tabla XXVII Resumen de asentamientos del Sector #2 abscisa 22+350 - 24+128,05.

Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-2 E.M.(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
2,00	2,625	4,73	0,66	0,13	0,79
3,00	3,625	6,53	0,87	0,19	1,06
4,00	4,625	8,33	1,04	0,25	1,29
Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-3(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
2,00	2,625	4,73	0,57	0,06	0,63
3,00	3,625	6,53	0,73	0,08	0,81
4,00	4,625	8,33	0,87	0,10	0,97

Tabla XXVIII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-2 EM).

Perforacion P-2 EM		Asentamientos (m)		
U%	Tv	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33
0	0	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,03	0,04	0,05
10	0,00785	0,07	0,09	0,10
15	0,0177	0,10	0,13	0,16
20	0,0314	0,13	0,17	0,21
25	0,0491	0,17	0,22	0,26
30	0,0707	0,20	0,26	0,31
35	0,0962	0,23	0,30	0,36
40	0,126	0,26	0,35	0,42
45	0,159	0,30	0,39	0,47
50	0,197	0,33	0,44	0,52
55	0,239	0,36	0,48	0,57
60	0,286	0,40	0,52	0,62
65	0,34	0,43	0,57	0,68
70	0,403	0,46	0,61	0,73
75	0,477	0,50	0,65	0,78
80	0,567	0,53	0,70	0,83
85	0,588	0,56	0,74	0,88
90	0,848	0,59	0,78	0,94
95	1,129	0,63	0,83	0,99
100	-	0,66	0,87	1,04

Tabla XXIX Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-3)

Perforacion P-3		Asentamientos (m)		
U%	Tv	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33
0	0	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,03	0,04	0,04
10	0,00785	0,06	0,07	0,09
15	0,0177	0,09	0,11	0,13
20	0,0314	0,11	0,15	0,17
25	0,0491	0,14	0,18	0,22
30	0,0707	0,17	0,22	0,26
35	0,0962	0,20	0,26	0,30
40	0,126	0,23	0,29	0,35
45	0,159	0,26	0,33	0,39
50	0,197	0,29	0,37	0,44
55	0,239	0,31	0,40	0,48
60	0,286	0,34	0,44	0,52
65	0,34	0,37	0,47	0,57
70	0,403	0,40	0,51	0,61
75	0,477	0,43	0,55	0,65
80	0,567	0,46	0,58	0,70
85	0,588	0,48	0,62	0,74
90	0,848	0,51	0,66	0,78
95	1,129	0,54	0,69	0,83
100	-	0,57	0,73	0,87

4.1.3 Sector #3 abscisa 24+128.05 – 24+620

Se analizará el asentamiento provocado por rellenos de 2,00 a 6,00 metros, en los siguientes estratos:

Tabla XXX Estratos correspondientes a la Perforación P-3 y P-1 R.V.

PERFORACION P-3				PERFORACION P-1 R.V.			
ESTRATO	PROFUNDIDAD			ESTRATO	PROFUNDIDAD		
CH	0,00	-	2,00	CH	0,00	-	1,00
CH	2,00	-	10,00	ML	1,00	-	2,00
SM	10,00	-	12,00	SM	2,00	-	6,50
CL	12,00	-	14,00	OH	6,50	-	12,50
CH	14,00	-	15,50	SM	12,50	-	21,50
				CL	21,50	-	23,00
				CH	23,00	-	24,50
				SM	24,50	-	26,00
				CH	26,00	-	29,00
				SM	29,00	-	30,50
				CL	30,50	-	35,00
				CH	35,00	-	37,50

El valor del esfuerzo efectivo para cada estrato se lo escogió del Gráfico 4.6 y 4.7, en el cual se incluye la clasificación SUCS, el peso específico (γ), la resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u) para arcillas, el ángulo de fricción (ϕ) para arenas y la profundidad del nivel freático.

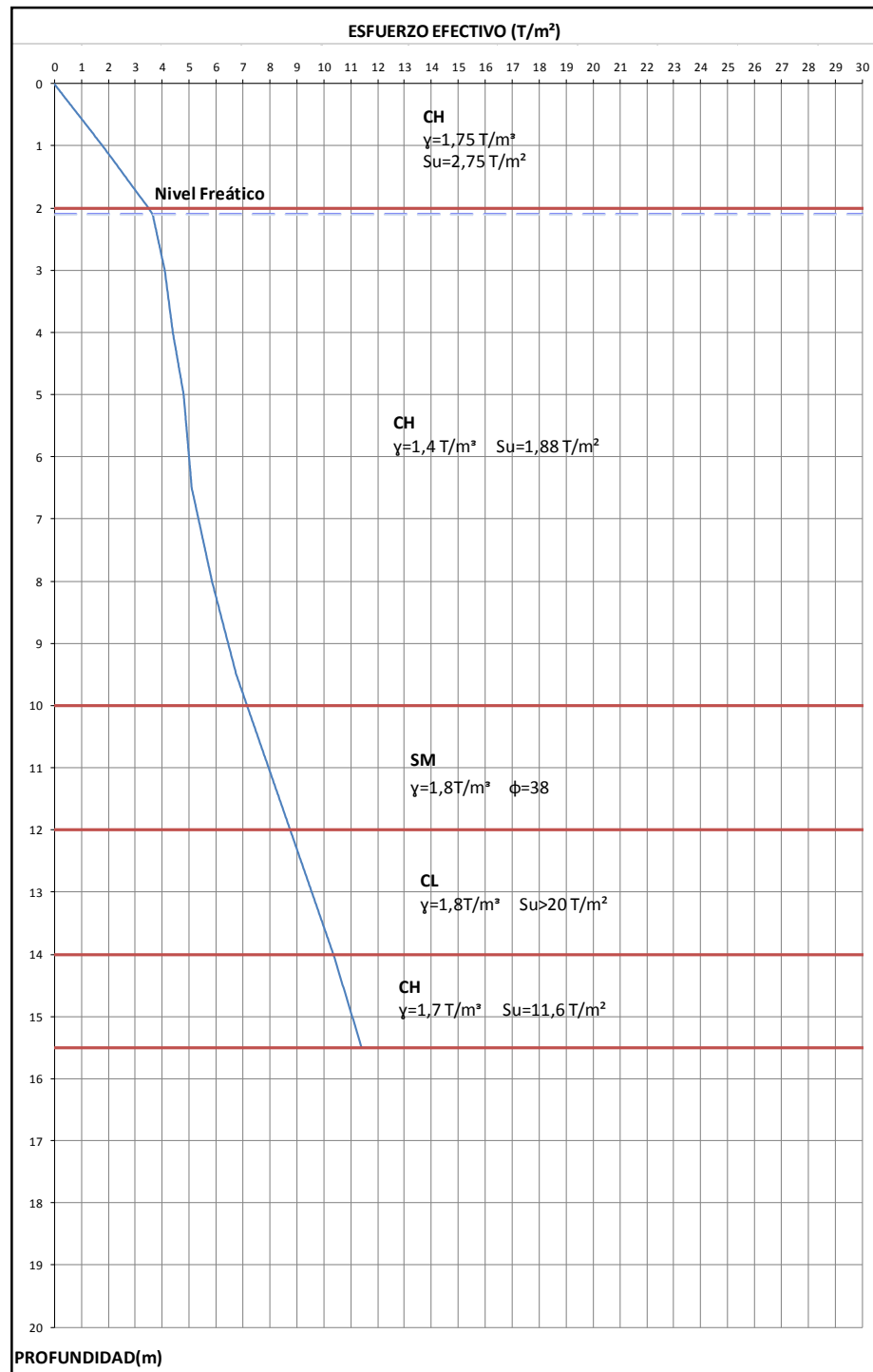


Gráfico 4. 6 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-3.

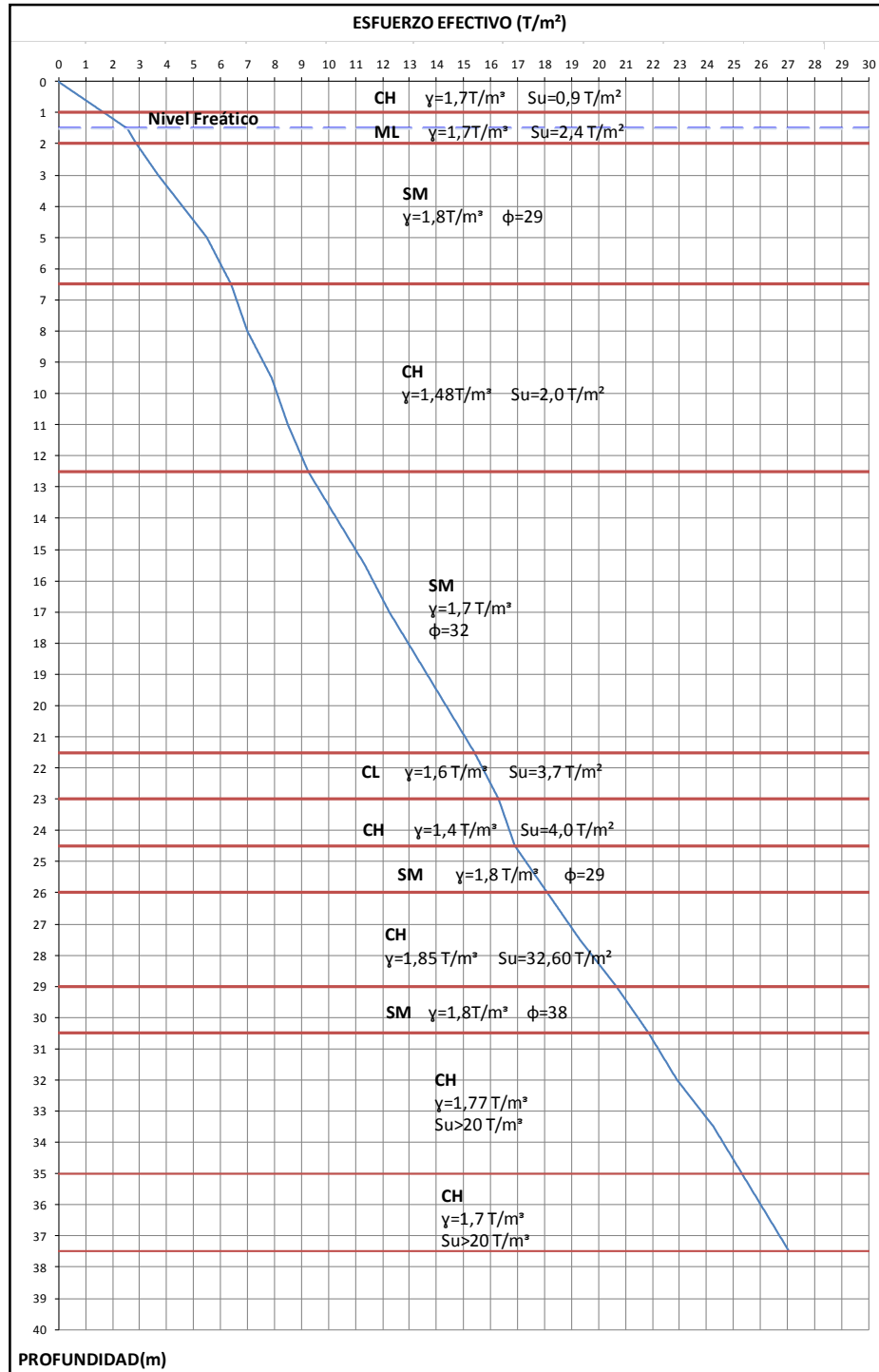


Gráfico 4. 7 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-1 R.V.

Tabla XXXI Resumen de asentamientos del Sector #3 abscisa 24+128,05 – 24+620.

Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-3(m)		
			Consolidación Primaria	Inmediato	Total
2,00	2,63	4,73	0,63	0,06	0,69
3,00	3,63	6,53	0,79	0,08	0,87
4,00	4,63	8,33	0,96	0,10	1,06
5,00	5,63	10,13	1,10	0,13	1,23
6,00	6,63	11,93	1,21	0,15	1,36
Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-1 R.V.(m)		
			Consolidación Primaria	Inmediato	Total
2,00	2,63	4,73	0,60	0,15	0,75
3,00	3,63	6,53	0,76	0,21	0,97
4,00	4,63	8,33	0,89	0,28	1,17
5,00	5,63	10,13	1,03	0,34	1,37
6,00	6,63	11,93	1,13	0,41	1,54

Tabla XXXII Grado de consolidación para diferentes incrementos.

Perforación P-3		Asentamientos (m)				
U%	Tv	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33	Descarga qo=10,13	Descarga qo=11,93
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
10	0,00785	0,06	0,08	0,10	0,11	0,12
15	0,0177	0,09	0,12	0,14	0,17	0,18
20	0,0314	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24
25	0,0491	0,16	0,20	0,24	0,28	0,30
30	0,0707	0,19	0,24	0,29	0,33	0,36
35	0,0962	0,22	0,28	0,34	0,39	0,42
40	0,126	0,25	0,32	0,38	0,44	0,48
45	0,159	0,28	0,36	0,43	0,50	0,54
50	0,197	0,32	0,40	0,48	0,55	0,61
55	0,239	0,35	0,43	0,53	0,61	0,67
60	0,286	0,38	0,47	0,58	0,66	0,73
65	0,34	0,41	0,51	0,62	0,72	0,79
70	0,403	0,44	0,55	0,67	0,77	0,85
75	0,477	0,47	0,59	0,72	0,83	0,91
80	0,567	0,50	0,63	0,77	0,88	0,97
85	0,588	0,54	0,67	0,82	0,94	1,03
90	0,848	0,57	0,71	0,86	0,99	1,09
95	1,129	0,60	0,75	0,91	1,05	1,15
100	-	0,63	0,79	0,96	1,10	1,21

Tabla XXXIII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-1 R.V.).

Perforación P-1 RV		Asentamientos (m)				
U%	Tv	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33	Descarga qo=10,13	Descarga qo=11,93
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06
10	0,00785	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11
15	0,0177	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17
20	0,0314	0,12	0,15	0,18	0,21	0,23
25	0,0491	0,15	0,19	0,22	0,26	0,28
30	0,0707	0,18	0,23	0,27	0,31	0,34
35	0,0962	0,21	0,27	0,31	0,36	0,40
40	0,126	0,24	0,30	0,36	0,41	0,45
45	0,159	0,27	0,34	0,40	0,46	0,51
50	0,197	0,30	0,38	0,45	0,52	0,57
55	0,239	0,33	0,42	0,49	0,57	0,62
60	0,286	0,36	0,46	0,53	0,62	0,68
65	0,34	0,39	0,49	0,58	0,67	0,73
70	0,403	0,42	0,53	0,62	0,72	0,79
75	0,477	0,45	0,57	0,67	0,77	0,85
80	0,567	0,48	0,61	0,71	0,82	0,90
85	0,588	0,51	0,65	0,76	0,88	0,96
90	0,848	0,54	0,68	0,80	0,93	1,02
95	1,129	0,57	0,72	0,85	0,98	1,07
100	-	0,60	0,76	0,89	1,03	1,13

4.1.4 Sector #4 abscisa 24+795,69 – 25+980

Se analizará el asentamiento provocado por rellenos de 1,50 a 4,50 metros, en los siguientes estratos:

Tabla XXXIV Estratos correspondientes a las Perforaciones P-2 R.V., P-4 y P-1 E.B.

PERFORACION P-2 R.V.			PERFORACION P-4			PERFORACION P-1 E.B.		
ESTRATO	PROFUNDIDAD		ESTRATO	PROFUNDIDAD		ESTRATO	PROFUNDIDAD	
CH	0,00	- 4,00	CH	0,00	- 1,00	GM	0,00	- 0,50
CH	4,00	- 14,00	CL	1,00	- 2,00	CL	0,50	- 2,50
CH	14,00	- 17,50	CH	2,00	- 4,00	CH	2,50	- 4,50
SM	17,50	- 18,50	CH	4,00	- 8,00	OH	4,50	- 5,00
CH	18,50	- 23,00	CH	8,00	- 12,40	CH	5,00	- 8,00
CH	23,00	- 28,50	SM	12,40	- 17,00	SP-SM	8,00	- 14,00
			CH	17,00	- 23,00	CH	14,00	- 20,00
			CH	23,00	- 26,00	CH	20,00	- 24,50
			CH	26,00	- 30,50			

El valor del esfuerzo efectivo para cada estrato se lo escogió del Gráfico 4.8, 4.9 y 4.10, en el cual se incluye la clasificación SUCS, el peso específico (γ), la resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u) para arcillas, el ángulo de fricción (ϕ) para arenas y la profundidad del nivel freático.

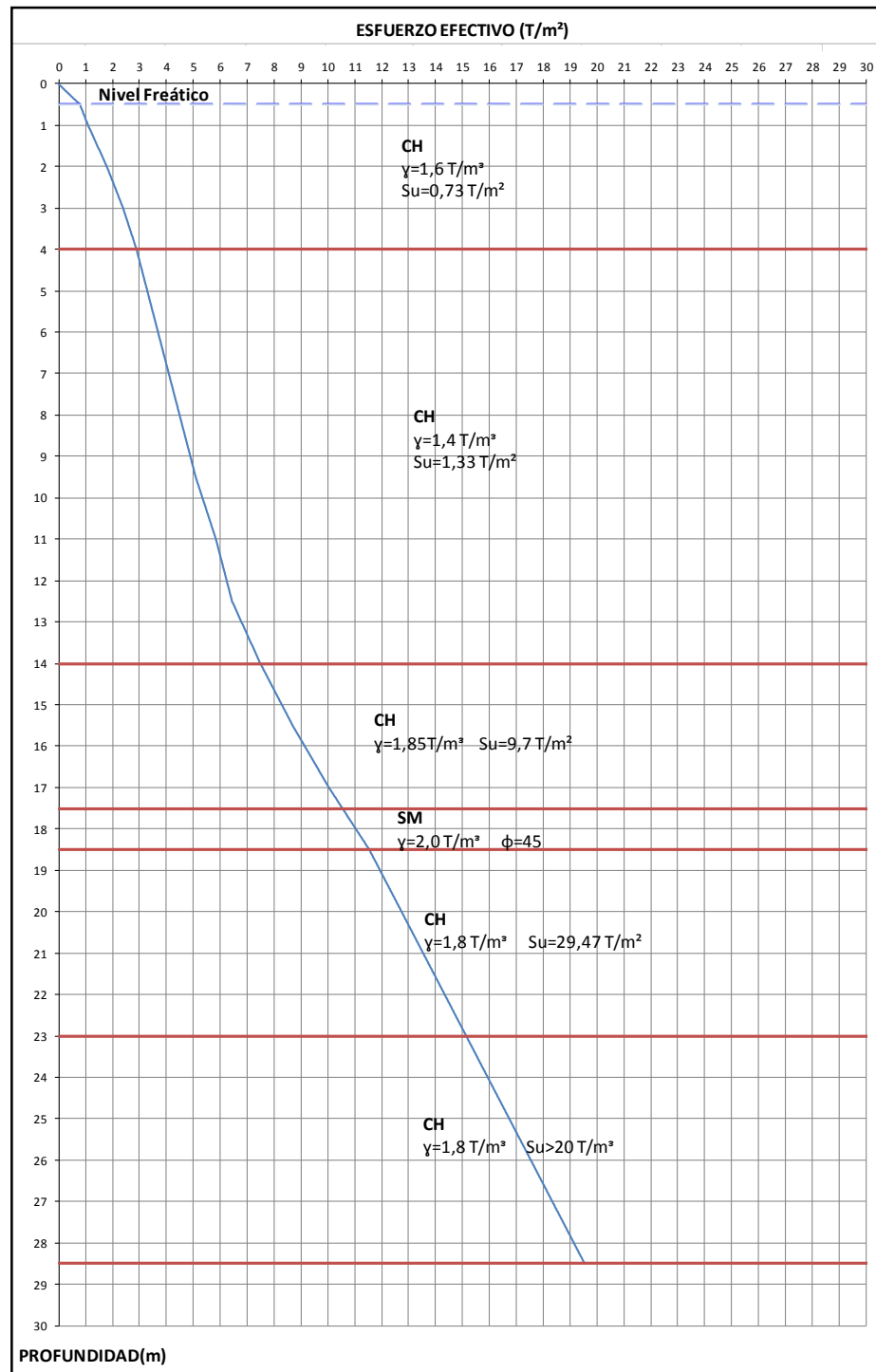


Gráfico 4. 8 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-2 R.V.

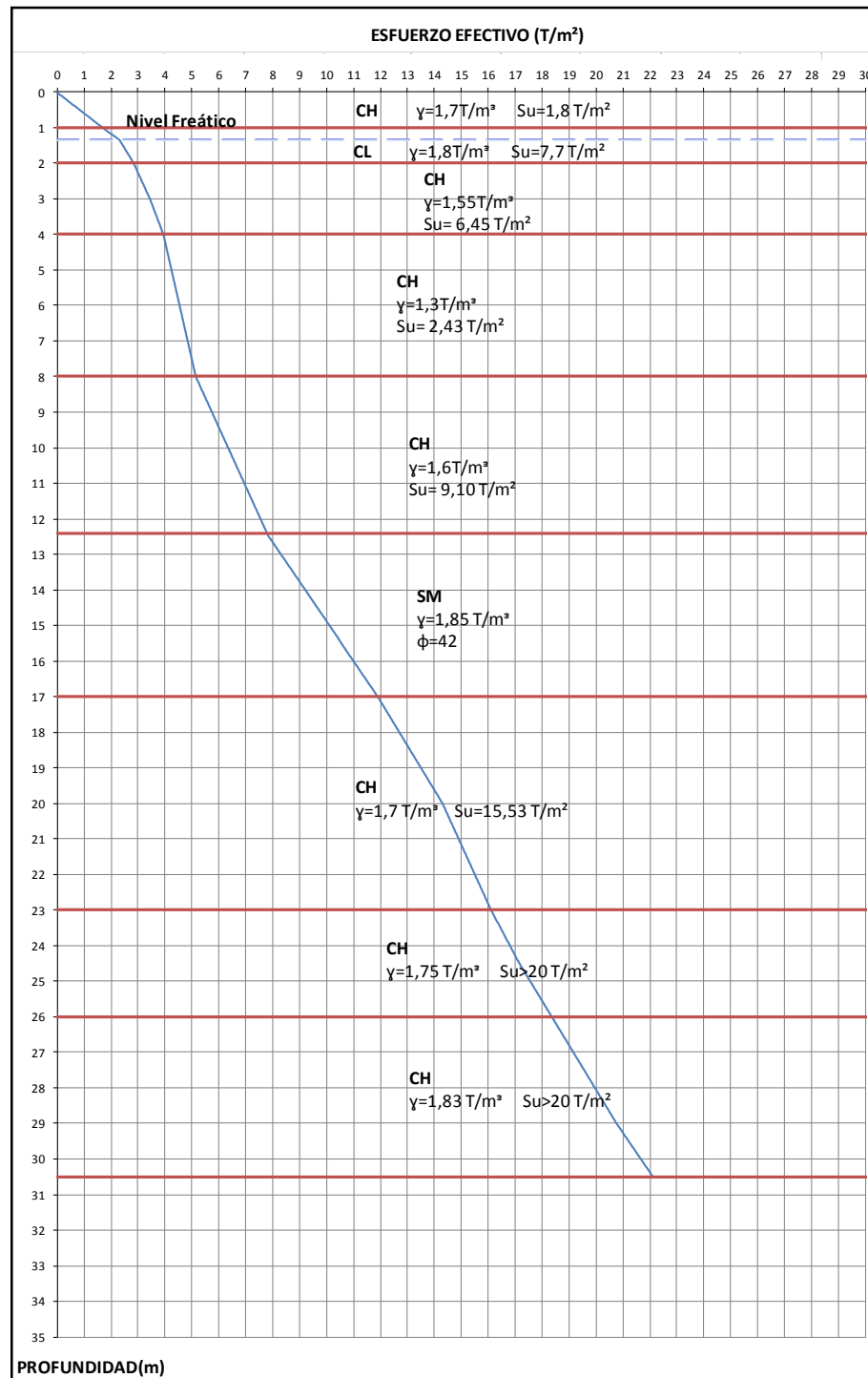


Gráfico 4. 9 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-4.

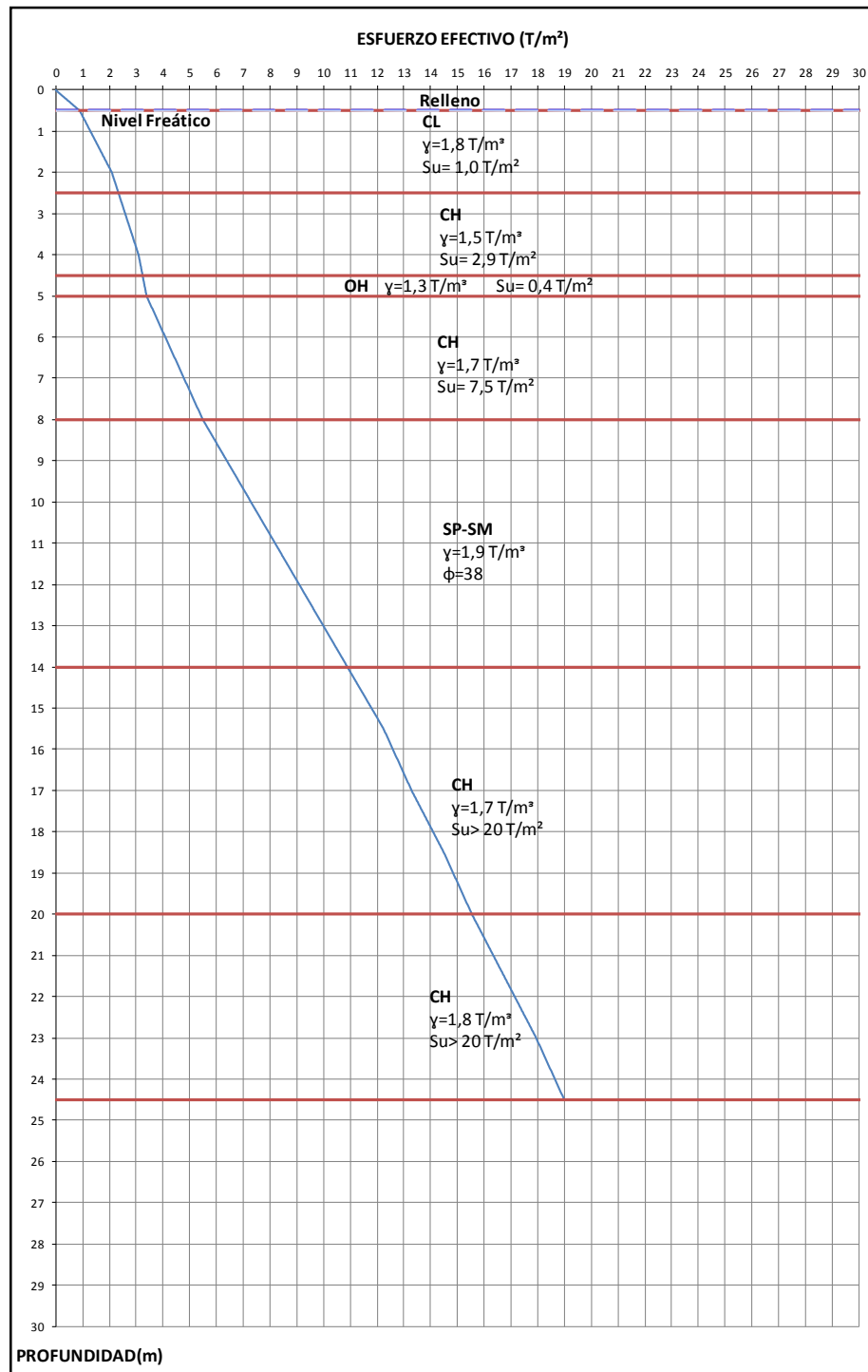


Gráfico 4. 10 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-1 E.B.

Tabla XXXV Resumen de asentamientos del Sector #4 abscisa 24+700 – 25+980.

Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-2 R.V.(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
1,50	2,13	3,83	0,94	0,06	1,00
2,50	3,13	5,63	1,23	0,09	1,32
3,50	4,13	7,43	1,47	0,12	1,59
4,50	5,13	9,23	1,67	0,15	1,82
Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-4(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
1,50	2,13	3,83	0,60	0,04	0,64
2,50	3,13	5,63	0,82	0,06	0,88
3,50	4,13	7,43	1,03	0,08	1,11
4,50	5,13	9,23	1,22	0,10	1,32
Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-1 E.B.(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
1,50	2,13	3,83	0,35	0,08	0,43
2,50	3,13	5,63	0,48	0,13	0,61
3,50	4,13	7,43	0,57	0,17	0,74
4,50	5,13	9,23	0,64	0,21	0,85

Tabla XXXVI Grado de consolidación para diferentes incrementos.

Perforación P-2 R.V.		Asentamientos			
U%	Tv	Descarga qo=3,83	Descarga qo=5,63	Descarga qo=7,43	Descarga qo=9,23
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,05	0,06	0,07	0,08
10	0,00785	0,09	0,12	0,15	0,17
15	0,0177	0,14	0,18	0,22	0,25
20	0,0314	0,19	0,25	0,29	0,33
25	0,0491	0,24	0,31	0,37	0,42
30	0,0707	0,28	0,37	0,44	0,50
35	0,0962	0,33	0,43	0,51	0,58
40	0,126	0,38	0,49	0,59	0,67
45	0,159	0,42	0,55	0,66	0,75
50	0,197	0,47	0,62	0,74	0,84
55	0,239	0,52	0,68	0,81	0,92
60	0,286	0,56	0,74	0,88	1,00
65	0,34	0,61	0,80	0,96	1,09
70	0,403	0,66	0,86	1,03	1,17
75	0,477	0,71	0,92	1,10	1,25
80	0,567	0,75	0,98	1,18	1,34
85	0,588	0,80	1,05	1,25	1,42
90	0,848	0,85	1,11	1,32	1,50
95	1,129	0,89	1,17	1,40	1,59
100	-	0,94	1,23	1,47	1,67

Tabla XXXVII Grado de consolidación para diferentes incrementos.

Perforación P-4		Asentamientos (m)			
U%	Tv	Descarga qo=3,83	Descarga qo=5,63	Descarga qo=7,43	Descarga qo=9,23
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,03	0,04	0,05	0,06
10	0,00785	0,06	0,08	0,10	0,12
15	0,0177	0,09	0,12	0,15	0,18
20	0,0314	0,12	0,16	0,21	0,24
25	0,0491	0,15	0,21	0,26	0,31
30	0,0707	0,18	0,25	0,31	0,37
35	0,0962	0,21	0,29	0,36	0,43
40	0,126	0,24	0,33	0,41	0,49
45	0,159	0,27	0,37	0,46	0,55
50	0,197	0,30	0,41	0,52	0,61
55	0,239	0,33	0,45	0,57	0,67
60	0,286	0,36	0,49	0,62	0,73
65	0,34	0,39	0,53	0,67	0,79
70	0,403	0,42	0,57	0,72	0,85
75	0,477	0,45	0,62	0,77	0,92
80	0,567	0,48	0,66	0,82	0,98
85	0,588	0,51	0,70	0,88	1,04
90	0,848	0,54	0,74	0,93	1,10
95	1,129	0,57	0,78	0,98	1,16
100	-	0,60	0,82	1,03	1,22

Tabla XXXVIII Grado de consolidación para diferentes incrementos.

Perforación P-1 E.B.		Asentamientos (m)			
U%	Tv	Descarga qo=3,83	Descarga qo=5,63	Descarga qo=7,43	Descarga qo=9,23
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,02	0,02	0,03	0,03
10	0,00785	0,04	0,05	0,06	0,06
15	0,0177	0,05	0,07	0,09	0,10
20	0,0314	0,07	0,10	0,11	0,13
25	0,0491	0,09	0,12	0,14	0,16
30	0,0707	0,11	0,14	0,17	0,19
35	0,0962	0,12	0,17	0,20	0,22
40	0,126	0,14	0,19	0,23	0,26
45	0,159	0,16	0,22	0,26	0,29
50	0,197	0,18	0,24	0,29	0,32
55	0,239	0,19	0,26	0,31	0,35
60	0,286	0,21	0,29	0,34	0,38
65	0,34	0,23	0,31	0,37	0,42
70	0,403	0,25	0,34	0,40	0,45
75	0,477	0,26	0,36	0,43	0,48
80	0,567	0,28	0,38	0,46	0,51
85	0,588	0,30	0,41	0,48	0,54
90	0,848	0,32	0,43	0,51	0,58
95	1,129	0,33	0,46	0,54	0,61
100	-	0,35	0,48	0,57	0,64

4.1.5 Sector #5 abscisa 26+010 – 27+116

Se analizará el asentamiento provocado por rellenos de 2,00 a 5,00 metros, en los siguientes estratos:

Tabla XXXIX Estratos correspondientes a las Perforaciones P-2 E.B., P-5 y P-6.

PERFORACION P-2 E.B.			PERFORACION P-5			PERFORACION P-6		
ESTRATO	PROFUNDIDAD		ESTRATO	PROFUNDIDAD		ESTRATO	PROFUNDIDAD	
CH	0,00	- 2,00	SP-SM	0,00	- 2,00	MH	0,00	- 1,00
ML	2,00	- 3,00	CH	2,00	- 5,50	ML	1,00	- 2,00
SP-SM	3,00	- 6,50	SP-SM	5,50	- 15,50	SM	2,00	- 5,00
SM	6,50	- 11,00	CH	15,50	- 16,50	CH	5,00	- 6,50
ML	11,00	- 12,50				MH	6,50	- 8,00
ML	12,50	- 14,00				SM	8,00	- 12,50
CL	14,00	- 15,50				CH	12,50	- 14,00
ML	15,50	- 17,00				SM	14,00	- 15,50
CL	17,00	- 23,00						
CL	23,00	- 24,50						
CL	24,50	- 26,00						
SM	26,00	- 29,00						
CH	29,00	- 30,50						

El valor del esfuerzo efectivo para cada estrato se lo escogió del Gráfico 4.11, 4.12 y 4.13, en el cual se incluye la clasificación SUCS, el peso específico (γ), la resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u) para arcillas, el ángulo de fricción (ϕ) para arenas y la profundidad del nivel freático.

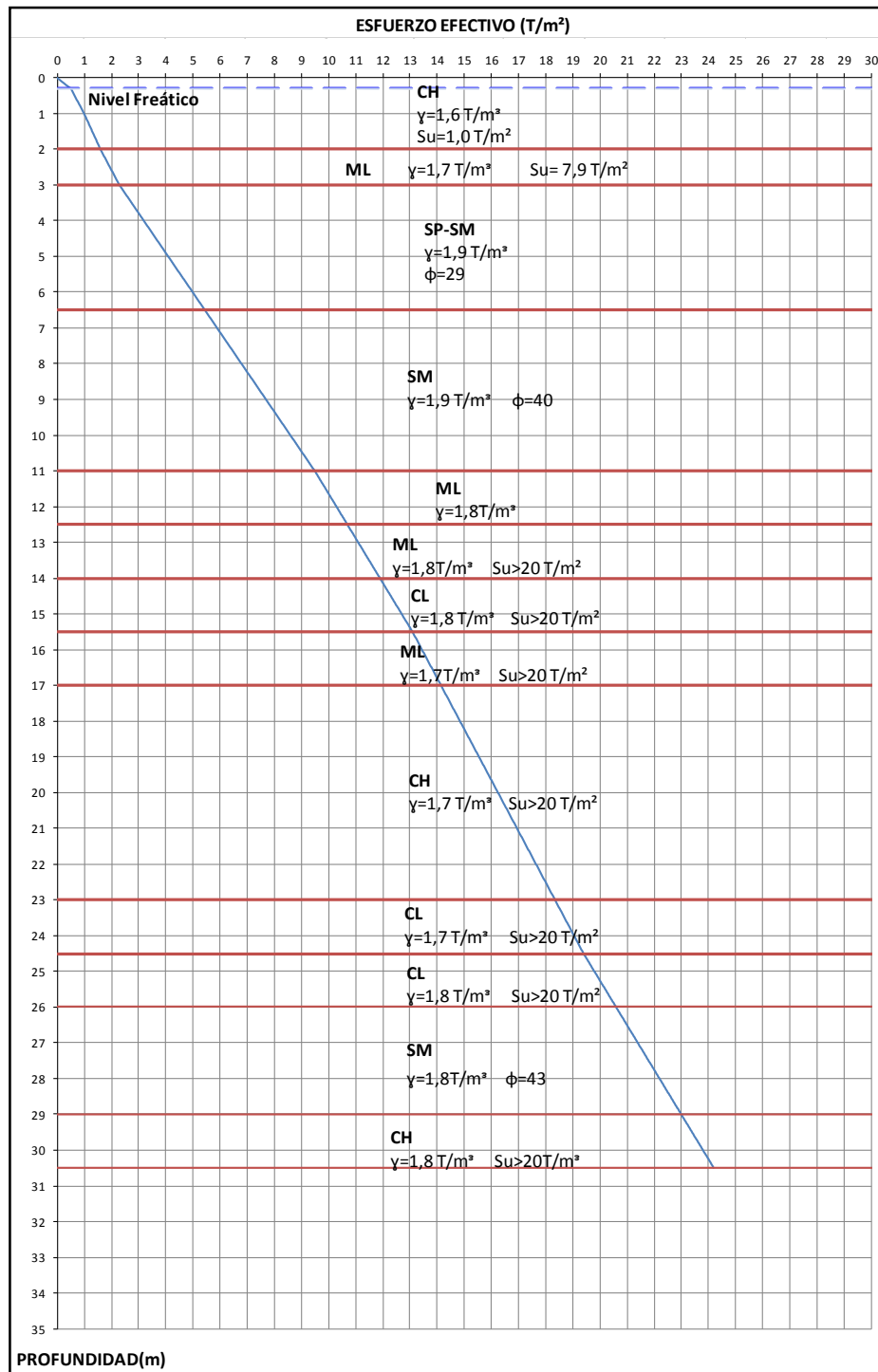


Gráfico 4. 11 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-2 E.B.

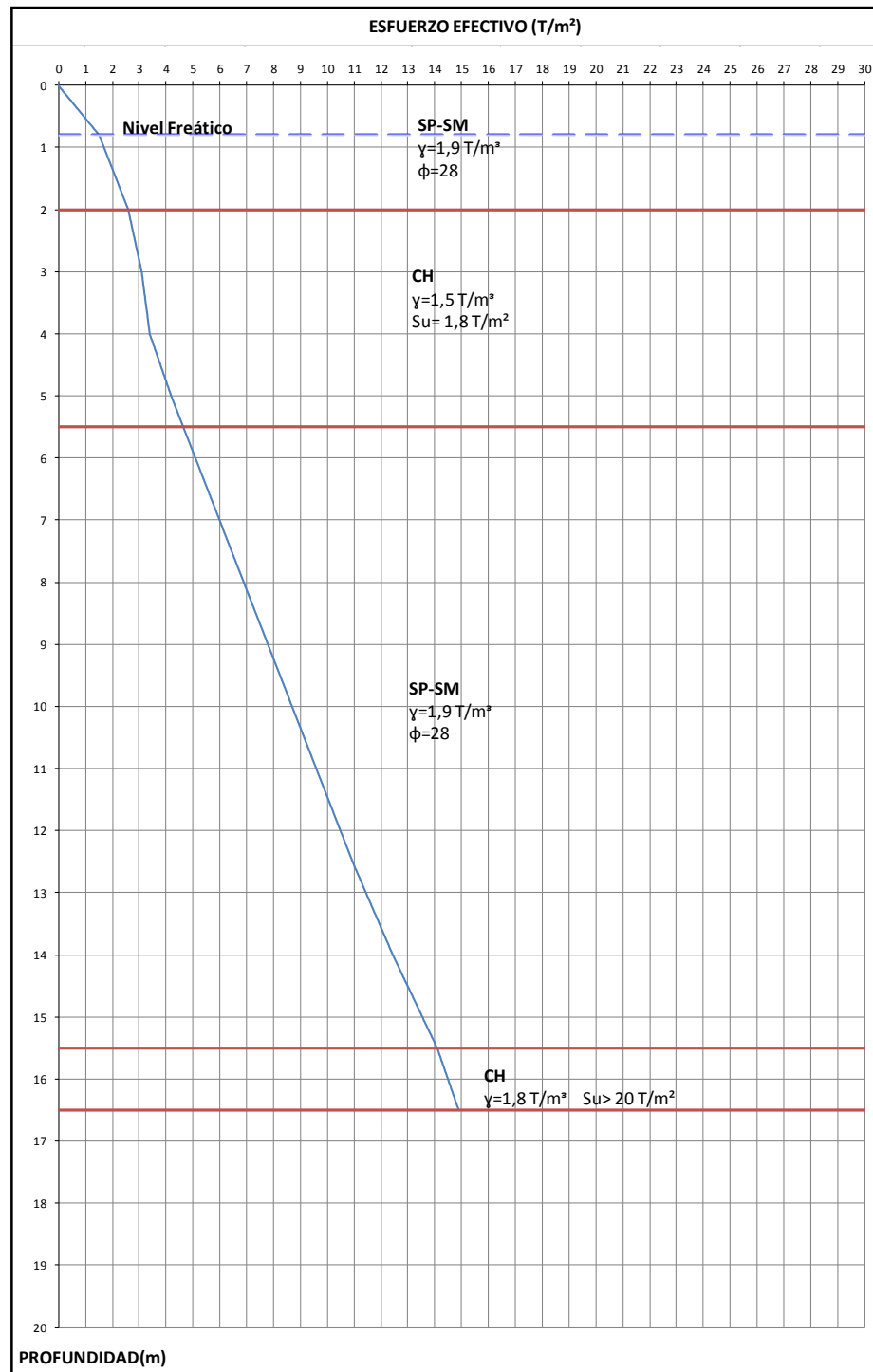


Gráfico 4. 12 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-5.

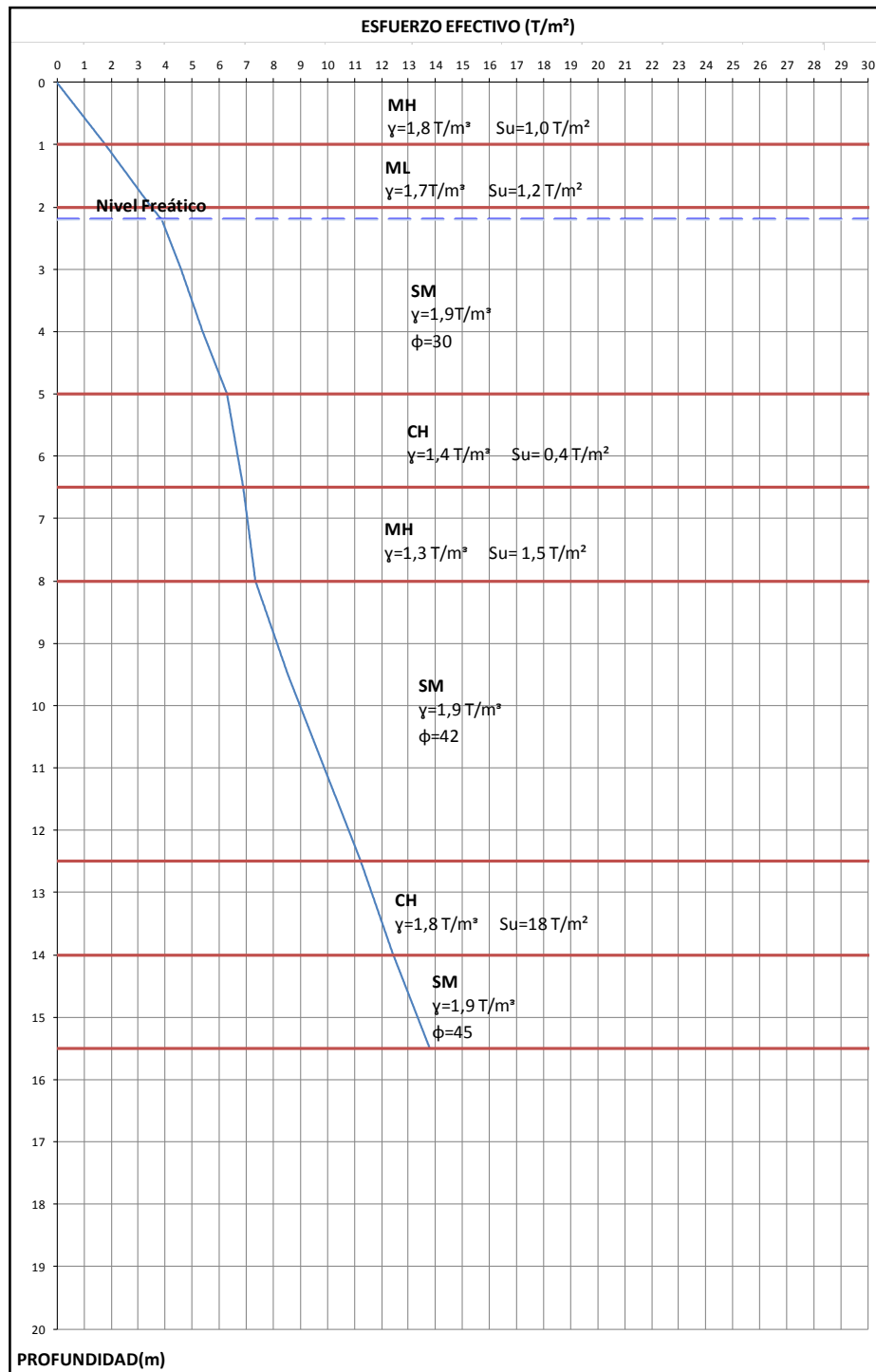


Gráfico 4. 13 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-6.

Tabla XL Resumen de asentamientos del Sector #5 abscisa 26+010 – 27+116.

Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-2 E.B.(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
2,00	2,63	4,73	0,25	0,23	0,48
3,00	3,63	6,53	0,30	0,32	0,62
4,00	4,63	8,33	0,34	0,42	0,76
5,00	5,63	10,13	0,37	0,52	0,89
Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-5(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
2,00	2,63	4,73	0,32	0,11	0,43
3,00	3,63	6,53	0,39	0,15	0,54
4,00	4,63	8,33	0,46	0,19	0,65
5,00	5,63	10,13	0,51	0,24	0,75
Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-6(m)		
			Consolidacion Primaria	Inmediato	Total
2,00	2,63	4,73	0,39	0,10	0,49
3,00	3,63	6,53	0,47	0,15	0,62
4,00	4,63	8,33	0,54	0,19	0,73
5,00	5,63	10,13	0,60	0,23	0,83

Tabla XLI Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-2 E.B.).

Perforación P-2 E.B.		Asentamientos (m)			
U%	Tv	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33	Descarga qo=10,13
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,01	0,02	0,02	0,02
10	0,00785	0,03	0,03	0,03	0,04
15	0,0177	0,04	0,05	0,05	0,06
20	0,0314	0,05	0,06	0,07	0,07
25	0,0491	0,06	0,08	0,09	0,09
30	0,0707	0,08	0,09	0,10	0,11
35	0,0962	0,09	0,11	0,12	0,13
40	0,126	0,10	0,12	0,14	0,15
45	0,159	0,11	0,14	0,15	0,17
50	0,197	0,13	0,15	0,17	0,19
55	0,239	0,14	0,17	0,19	0,20
60	0,286	0,15	0,18	0,20	0,22
65	0,34	0,16	0,20	0,22	0,24
70	0,403	0,18	0,21	0,24	0,26
75	0,477	0,19	0,23	0,26	0,28
80	0,567	0,20	0,24	0,27	0,30
85	0,588	0,21	0,26	0,29	0,31
90	0,848	0,23	0,27	0,31	0,33
95	1,129	0,24	0,29	0,32	0,35
100	-	0,25	0,30	0,34	0,37

Tabla XLII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P-5).

Perforación P-5		Asentamientos (m)			
U%	Tv	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33	Descarga qo=10,13
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,02	0,02	0,02	0,03
10	0,008	0,03	0,04	0,05	0,05
15	0,018	0,05	0,06	0,07	0,08
20	0,031	0,06	0,08	0,09	0,10
25	0,049	0,08	0,10	0,12	0,13
30	0,071	0,10	0,12	0,14	0,15
35	0,096	0,11	0,14	0,16	0,18
40	0,126	0,13	0,16	0,18	0,20
45	0,159	0,14	0,18	0,21	0,23
50	0,197	0,16	0,20	0,23	0,26
55	0,239	0,18	0,21	0,25	0,28
60	0,286	0,19	0,23	0,28	0,31
65	0,340	0,21	0,25	0,30	0,33
70	0,403	0,22	0,27	0,32	0,36
75	0,477	0,24	0,29	0,35	0,38
80	0,567	0,26	0,31	0,37	0,41
85	0,588	0,27	0,33	0,39	0,43
90	0,848	0,29	0,35	0,41	0,46
95	1,129	0,30	0,37	0,44	0,48
100	-	0,32	0,39	0,46	0,51

Tabla XLIII Grado de consolidación para diferentes incrementos de carga (P 6).

Perforación P-6		Asentamientos (m)			
U%	Tv	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33	Descarga qo=10,13
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,02	0,02	0,03	0,03
10	0,00785	0,04	0,05	0,05	0,06
15	0,0177	0,06	0,07	0,08	0,09
20	0,0314	0,08	0,09	0,11	0,12
25	0,0491	0,10	0,12	0,14	0,15
30	0,0707	0,12	0,14	0,16	0,18
35	0,0962	0,14	0,16	0,19	0,21
40	0,126	0,16	0,19	0,22	0,24
45	0,159	0,18	0,21	0,24	0,27
50	0,197	0,20	0,24	0,27	0,30
55	0,239	0,21	0,26	0,30	0,33
60	0,286	0,23	0,28	0,32	0,36
65	0,34	0,25	0,31	0,35	0,39
70	0,403	0,27	0,33	0,38	0,42
75	0,477	0,29	0,35	0,41	0,45
80	0,567	0,31	0,38	0,43	0,48
85	0,588	0,33	0,40	0,46	0,51
90	0,848	0,35	0,42	0,49	0,54
95	1,129	0,37	0,45	0,51	0,57
100	-	0,39	0,47	0,54	0,60

4.1.6 Sector #6 abscisa 27+116 - 29+150

Se analizó el asentamiento provocado por rellenos de 1,00 a 5,00 metros, en los siguientes estratos:

Tabla XLIV Estratos correspondientes a la Perforación P-6.

Perforación P-6			
ESTRATO	PROFUNDIDAD		
MH	0,00	-	1,00
ML	1,00	-	2,00
SM	2,00	-	5,00
CH	5,00	-	6,50
MH	6,50	-	8,00
SM	8,00	-	12,50
CH	12,50	-	14,00
SM	14,00	-	15,50

El valor del esfuerzo efectivo para cada estrato se lo escogió del Gráfico 4.14, en el cual se incluye la clasificación SUCS, el peso específico (γ), la resistencia al corte no drenado no consolidado (S_u) para arcillas, el ángulo de fricción (ϕ) para arenas y la profundidad del nivel freático.

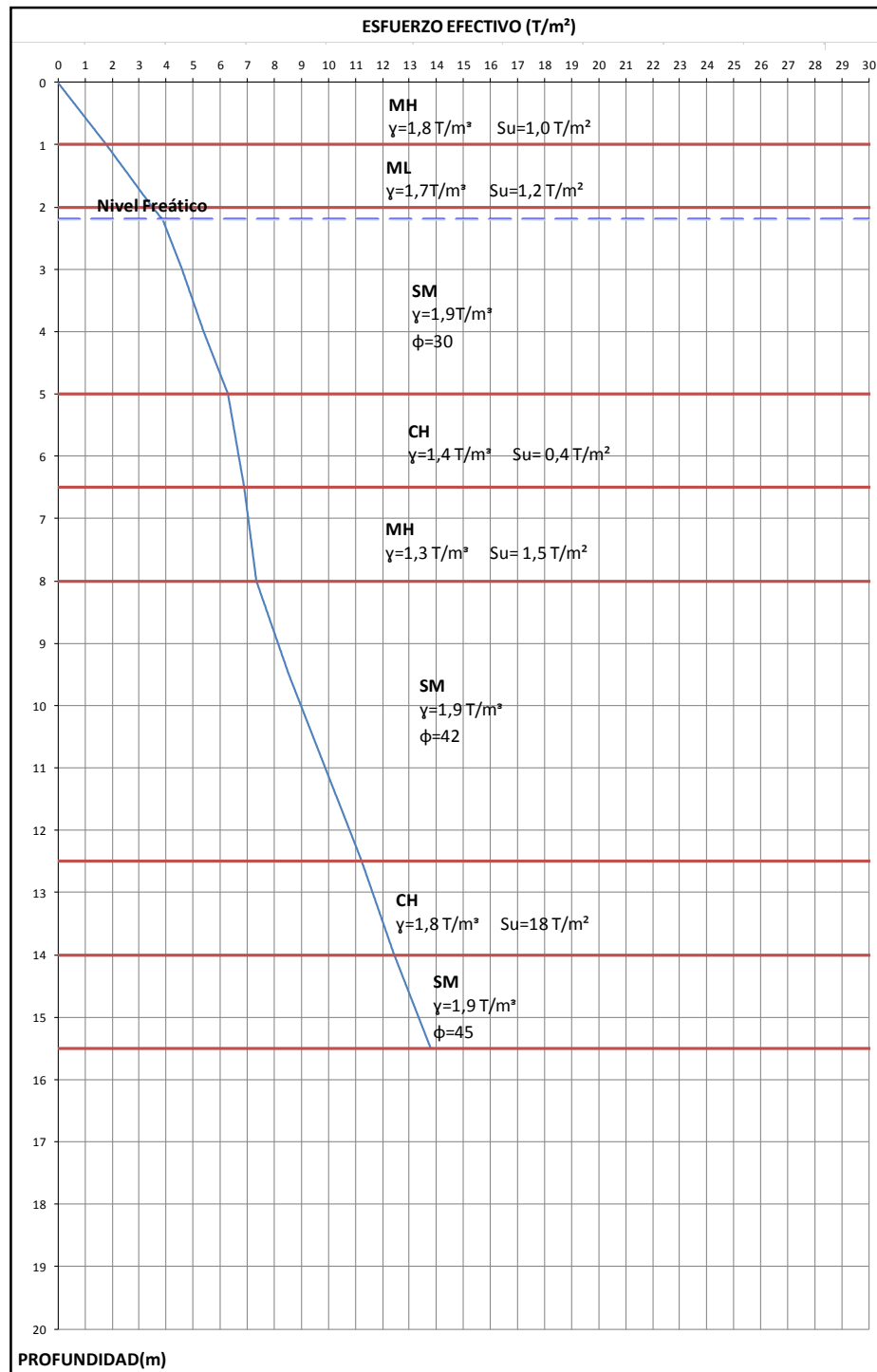


Gráfico 4. 14 Diagrama de Esfuerzo Efectivo vs. Profundidad P-6.

Tabla XLV Resumen de asentamientos del Sector #6 P-6 abscisa 27+116 - 29+150.

Altura de Relleno (m)	Altura de Terraplen + Pavimento (m)	Descarga Directa (T/m ²)	Asentamiento P-6(m)		
			Consolidación Primaria	Inmediato	Total
1,00	1,63	2,93	0,29	0,06	0,35
2,00	2,63	4,73	0,39	0,10	0,49
3,00	3,63	6,53	0,47	0,15	0,62
4,00	4,63	8,33	0,54	0,19	0,73
5,00	5,63	10,13	0,61	0,23	0,84

Tabla XLVI Grado de consolidación para los diferentes incrementos de carga (P-6).

Perforación P-6		Asentamientos (m)				
U%	Tv	Descarga qo=2,93	Descarga qo=4,73	Descarga qo=6,53	Descarga qo=8,33	Descarga qo=10,13
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00008	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
10	0,00785	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
15	0,0177	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09
20	0,0314	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12
25	0,0491	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15
30	0,0707	0,09	0,12	0,14	0,16	0,18
35	0,0962	0,10	0,14	0,16	0,19	0,21
40	0,126	0,12	0,16	0,19	0,22	0,24
45	0,159	0,13	0,18	0,21	0,24	0,27
50	0,197	0,15	0,20	0,24	0,27	0,31
55	0,239	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34
60	0,286	0,17	0,23	0,28	0,32	0,37
65	0,34	0,19	0,25	0,31	0,35	0,40
70	0,403	0,20	0,27	0,33	0,38	0,43
75	0,477	0,22	0,29	0,35	0,41	0,46
80	0,567	0,23	0,31	0,38	0,43	0,49
85	0,588	0,25	0,33	0,40	0,46	0,52
90	0,848	0,26	0,35	0,42	0,49	0,55
95	1,129	0,28	0,37	0,45	0,51	0,58
100	-	0,29	0,39	0,47	0,54	0,61

Con los resultados de asentamientos para los 6 sectores se ha realizado una tabla resumen:

Tabla XLVII Resumen de Asentamientos.

SECTOR	ABSCISA		ASENTAMIENTOS MAXIMOS (m)					
			CONSOLIDACIÓN PRIMARIA + INSTANTANEO					
#1	21+900	-	22+320	Hr=1,50	Hr=2,00	Hr=2,50	Hr=3,00	
				0,57	0,68	0,81	0,91	
#2	22+350	-	24+128,05	Hr=2,00	Hr=3,00	Hr=4,00		
				0,79	1,06	1,29		
#3	24+128,05	-	24+620	Hr=2,00	Hr=3,00	Hr=4,00	Hr=5,00	Hr=6,00
				0,75	0,97	1,17	1,37	1,54
#4	24+700	-	25+980	Hr=1,50	Hr=2,50	Hr=3,50	Hr=4,50	
				1,00	1,32	1,59	1,82	
#5	26+010	-	27+116	Hr=2,00	Hr=3,00	Hr=4,00	Hr=5,00	
				0,48	0,62	0,76	0,89	
#6	27+116	-	29+150	Hr=1,00	Hr=2,00	Hr=3,00	Hr=4,00	Hr=5,00
				0,35	0,49	0,62	0,73	0,84

Hr: Altura de relleno (m).

Los máximos asentamientos que se producirán, son del orden de 0,84 a 1,82 metros, correspondientes a grandes alturas de relleno (3,00 a 6,00 metros), estos hundimientos provocaran las siguientes afectaciones:

- A nivel de subrasante (capa terminada del terraplén), provocará que no se alcance la cota del proyecto, generando mayor trabajo hasta cumplir con el nivel especificado en los planos, generando gastos adicionales en la construcción, así como retrasos en el cronograma de obra.
- También se verá afectado el nivel de rasante, afectando la serviciabilidad de la vía y su confort, generando gastos de mantenimiento e interrupciones al tránsito, efectos de reparación.

- Los asentamientos de grandes magnitudes no permitirán el adecuado drenaje a nivel de rasante tanto transversal como longitudinalmente.
- Al producirse los hundimientos a nivel de rasante, la carpeta asfáltica se tensiona, produciendo desprendimiento de la misma, quedando totalmente expuesta la estructura a la intemperie.
- Los asentamientos de grandes magnitudes podrían incluso afectar la visibilidad del conductor.

En el perfil estratigráfico que se presenta en el Anexo 5 se muestran los rangos de asentamientos según la Tabla XLVII.

En el Anexo 6 se presentan los cálculos realizados para determinar los asentamientos.

4.2 Análisis de tiempos de consolidación

Se realizó el análisis en base a los mismos sectores que se calcularon los asentamientos máximos; para el cálculo del tiempo se partió de la siguiente ecuación que determina el T_v (factor de tiempo), este factor se explica a continuación.

Tiempo de consolidación

Es el tiempo de duración del proceso, está condicionado por la permeabilidad del suelo y espesor del estrato compresible. Con frecuencia los suelos blandos presentan consolidación secundaria que incrementa el tiempo de consolidación, especialmente en suelos con alto contenido de materia orgánica.

$$Tv = \frac{Cv * t}{Hd r^2} \quad \text{Ecuacion 4.7 Cálculo del factor de tiempo Tv.}$$

Despejando el tiempo queda:

$$t = \frac{Tv * Hd r^2}{Cv} \quad \text{Ecuacion 4.8 Cálculo del tiempo de consolidacion.}$$

t: Tiempo en el cual se produce la consolidación (días).

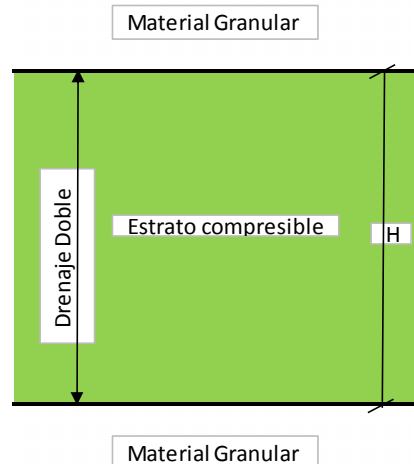
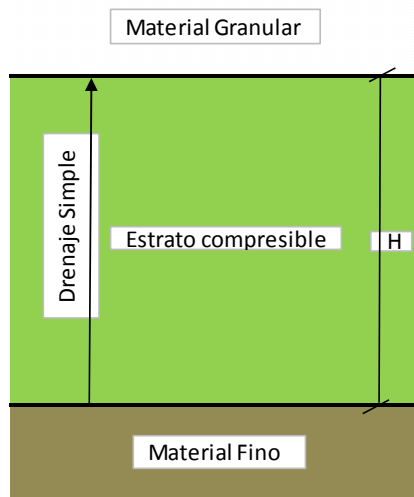
Tv: Factor de tiempo a cierto grado de consolidación.

Tabla XLVIII Factor de tiempo según el grado de consolidación

U%	T _v
0	0
5	0,00008
10	0,00785
15	0,0177
20	0,0314
25	0,0491
30	0,0707
35	0,0962
40	0,126
45	0,159
50	0,197
55	0,239
60	0,286
65	0,34
70	0,403
75	0,477
80	0,567
85	0,588
90	0,848
95	1,129
100	-

Hdr: Altura de drenaje del estrato en análisis (cm).

La altura de drenaje (H_{dr}) corresponde al espesor del estrato compresible (drenaje simple) en análisis, según las condiciones en la que se encuentre se debe reducir a la mitad (drenaje doble), como se muestran en los gráficos a continuación:

Gráfico 4. 15 $H_{dr}=H/2$.Gráfico 4. 16 $H_{dr}=H$.

Cv: Coeficiente de consolidación ($\text{cm}^2/\text{día}$), se lo tomará en base a las 2 perforaciones realizadas en la etapa del estudio; las gráficas se presentan a continuación:

CURVA ESFUERZO-DEFORMACION
 Proyecto: PASO LATERAL SALITRE
 Localización: SALITRE
 Perforación: P-4 Muestra # 3 Profundidad: 2,50-3,00 m

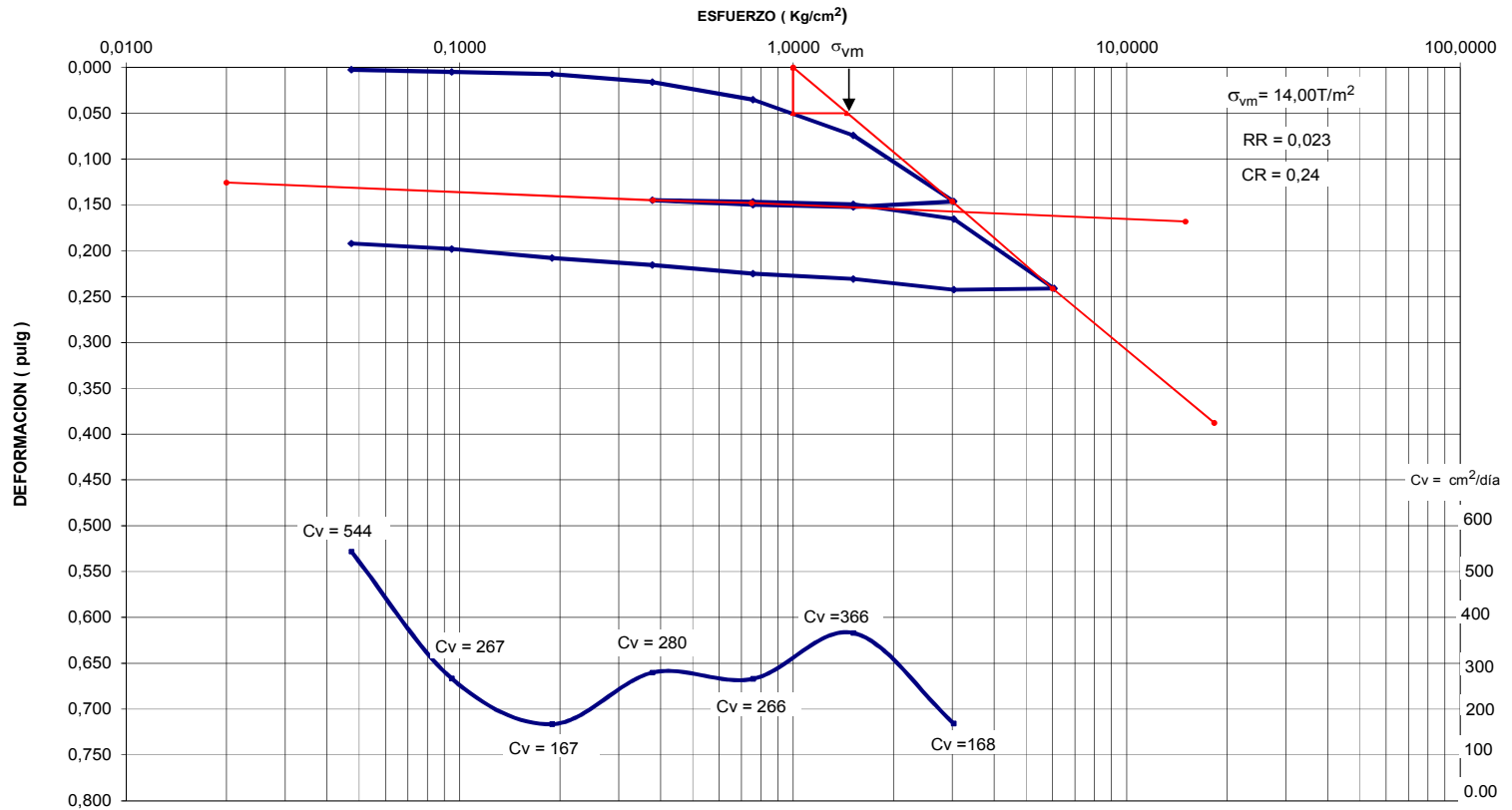


Gráfico 4. 17 Consolidación P-4 muestra #3

CURVA ESFUERZO-DEFORMACION
 Proyecto: PASO LATERAL SALITRE
 Localización: SALITRE
 Perforación: P-4 Muestra # 6 Profundidad: 6,00-6,50 m

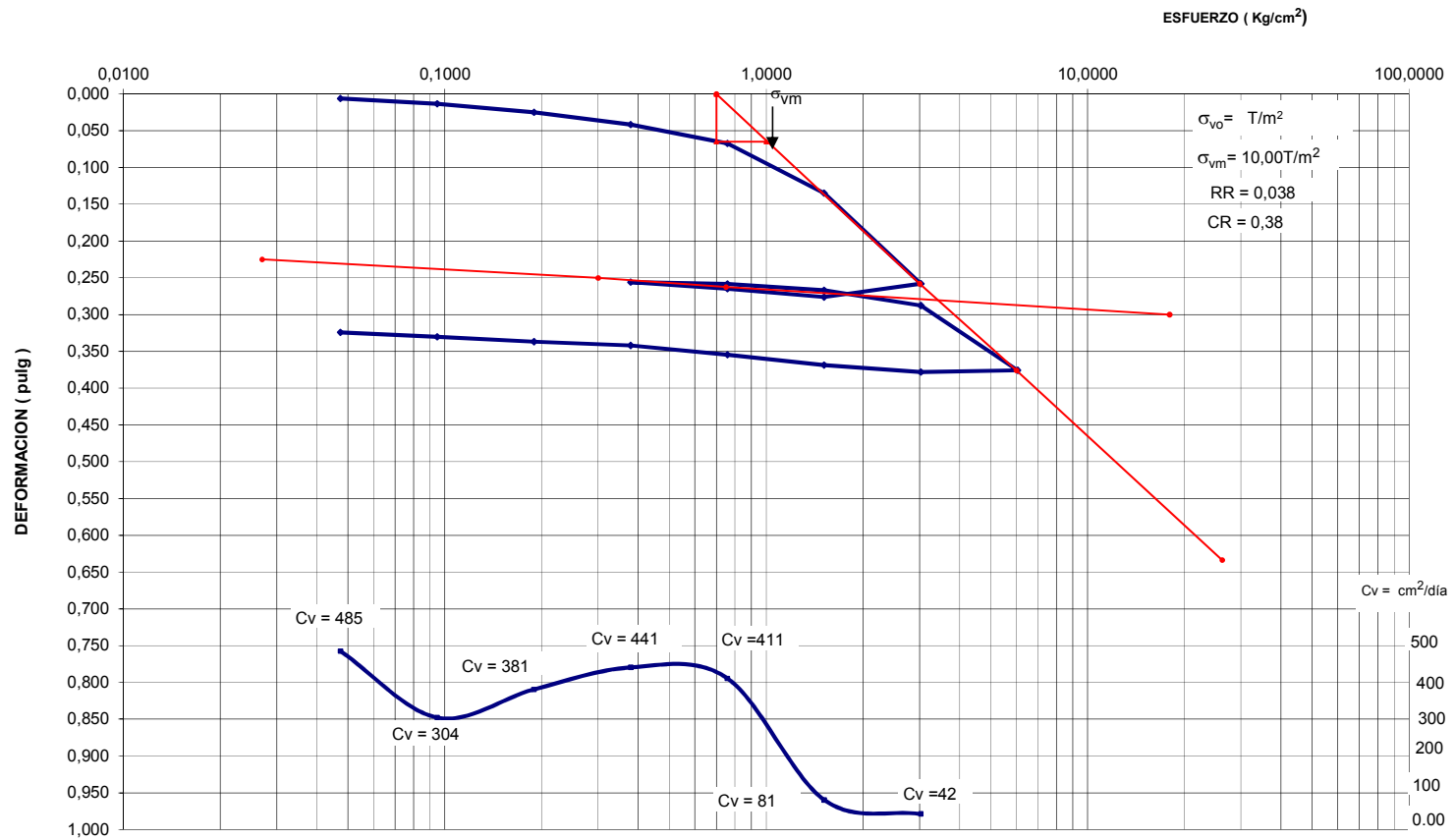


Gráfico 4. 18 Consolidación P-4 muestra #6

Para el cálculo del tiempo de consolidación se ha tomado en consideración solo los estratos que producirán asentamientos de gran magnitud.

4.2.1 Sector #1 abscisa 21+900 – 22+320

Tabla XLIX Tiempo de Consolidación Perforación P-1 E.M.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /día)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 3,00	12,50	5,80	425	1038	2,8
CH	3,00 - 5,00					
CH	5,00 - 12,50					
SM	12,50 - 19,00	-	-	-	-	-
ML	19,00 - 20,00	-	-	-	-	-
CH	20,00 - 26,00	-	-	-	-	-
CH	26,00 - 32,50	-	-	-	-	-
SM	32,50 - 33,50	-	-	-	-	-
CH	33,50 - 36,00	-	-	-	-	-

En este sector los asentamientos se producirán en aproximadamente 1035 días (2,8 años), considerando que el estrato compresible es de 12,50 metros de espesor.

4.2.2 Sector #2 abscisa 22+350 – 24+128.05

Tabla L Tiempo de Consolidación Perforación P-3.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /día)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 2,00	10,00	4,80	276	1023	2,8
CH	2,00 - 10,00					
SM	10,00 - 12,00	-	-	-	-	-
CL	12,00 - 14,00	-	-	-	-	-
CH	14,00 - 15,50	-	-	-	-	-

Tabla LI Tiempo de Consolidación Perforación P-2 E.M.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 3,00	3	2,65	212	120	0,3
SM	3,00 - 6,50	-	-	-	-	-
OH	6,50 - 12,50	7,50	8,07	390	407	1,1
CL	12,50 - 14,00					
SM	14,00 - 17,00	-	-	-	-	-
ML	17,00 - 20,00	-	-	-	-	-
CH	20,00 - 23,00	9,00	16,70	191	1197	3,3
OH	23,00 - 26,00					
CH	26,00 - 29,00					
SM	29,00 - 30,50	-	-	-	-	-
CH	30,50 - 33,50	-	-	-	-	-

Los asentamientos a producirse en este sector tendrán una duración máxima de 1023 a 1197 días, equivalente a 2,8 y 3,3 años respectivamente, considerando estratos compresibles de 10,00 y 9,00 metros de espesor.

4.2.3 Sector #3 abscisa 24+128.05 – 24+620

Tabla LII Tiempo de Consolidación Perforación P-1 R.V.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 1,00	2,00	1,70	188	60	0,2
ML	1,00 - 2,00					
SM	2,00 - 6,50	-	-	-	-	-
OH	6,50 - 12,50	6	7,90	397	256	0,7
SM	12,50 - 21,50	-	-	-	-	-
CL	21,50 - 23,00	3,00	16,30	360	71	0,2
CH	23,00 - 24,50					
SM	24,50 - 26,00	-	-	-	-	-
CH	26,00 - 29,00	-	-	-	-	-
SM	29,00 - 30,50	-	-	-	-	-
CL	30,50 - 35,00	-	-	-	-	-
CH	35,00 - 37,50	-	-	-	-	-

Tabla LIII Tiempo de Consolidación Perforación P-3.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 2,00	10,00	4,80	276	1023	2,8
CH	2,00 - 10,00					
SM	10,00 - 12,00					
CL	12,00 - 14,00	3,50	10,15	310	446	1,2
CH	14,00 - 15,50					

En este sector los asentamientos a producirse tendrán una duración máxima de 446 a 1023 días, equivalente a 1,2 y 2,8 años respectivamente, considerando estratos compresibles de 3,50 y 10 m de espesor.

4.2.4 Sector #4 abscisa 24+795.69 – 25+980

Tabla LIV Tiempo de Consolidación Perforación P-1 E.B.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
GM	0,00 - 0,50	-	-	-	-	-
CL	0,50 - 2,50	7,50	3,25	248	640	1,8
CH	2,50 - 4,50					
OH	4,50 - 5,00					
CH	5,00 - 8,00					
SP-SM	8,00 - 14,00	-	-	-	-	-
CH	14,00 - 20,00	-	-	-	-	-
CH	20,00 - 24,50	-	-	-	-	-

Tabla LV Tiempo de Consolidación Perforación P-2 R.V.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 4,00	14,00	7,05	268	2064	5,7
CH	4,00 - 14,00					
CH	14,00 - 17,50					
SM	17,50 - 18,50	-	-	-	-	-
CH	18,50 - 23,00	-	-	-	-	-
CH	23,00 - 28,50	-	-	-	-	-

Tabla LVI Tiempo de Consolidación Perforación P-4.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 1,00	12,40	4,61	277	1567	4,3
CL	1,00 - 2,00					
CH	2,00 - 4,00					
CH	4,00 - 8,00					
CH	8,00 - 12,40					
SM	12,40 - 17,00	-	-	-	-	-
CH	17,00 - 23,00	-	-	-	-	-
CH	23,00 - 26,00	-	-	-	-	-
CH	26,00 - 30,50	-	-	-	-	-

Este sector es considerado como el crítico debido a que los tiempos de consolidación se encuentran en el orden de 1,8, 5,7 y 4,3 años

respectivamente, considerando estratos compresibles de 7,5, 14,00 y 12,40 metros de espesor.

4.2.5 Sector #5 abscisa 26+010 – 27+116

Tabla LVII Tiempo de Consolidación Perforación P-2 E.B.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm2/dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
CH	0,00 - 2,00	3,00	1,30	230,00	110	0,3
ML	2,00 - 3,00					
SP-SM	3,00 - 6,50	-	-	-	-	-
SM	6,50 - 11,00	-	-	-	-	-
ML	11,00 - 12,50	-	-	-	-	-
ML	12,50 - 14,00	-	-	-	-	-
CL	14,00 - 15,50	-	-	-	-	-
ML	15,50 - 17,00	-	-	-	-	-
CL	17,00 - 23,00	-	-	-	-	-
CL	23,00 - 24,50	-	-	-	-	-
CL	24,50 - 26,00	-	-	-	-	-
SM	26,00 - 29,00	-	-	-	-	-
CH	29,00 - 30,50	-	-	-	-	-

Tabla LVIII Tiempo de Consolidación Perforación P-5.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm2/dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
SP-SM	0,00 - 2,00	-	-	-	-	-
CH	2,00 - 5,50	3,50	3,32	252	137	0,4
SP-SM	5,50 - 15,50	-	-	-	-	-
CH	15,50 - 16,50	-	-	-	-	-

Tabla LIX Tiempo de Consolidación Perforación P-6.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm2/dia)	t 95% (días)	t 95% (años)
MH	0,00 - 1,00	2,00	1,80	177	64	0,2
ML	1,00 - 2,00					
SM	2,00 - 5,00	-	-	-	-	-
CH	5,00 - 6,50	3,00	0,00	416	244	0,7
MH	6,50 - 8,00					
SM	8,00 - 12,50	-	-	-	-	-
CH	12,50 - 14,00	-	-	-	-	-
SM	14,00 - 15,50	-	-	-	-	-

Este sector presenta tiempos de consolidación de 0,4 a 0,7 años respectivamente, considerando estratos compresibles de 3,50 m y 3,00 m de espesor.

4.2.6 Sector #6 abscisa 27+116 – 29+150

Tabla LX Tiempo de Consolidación Perforación P-6.

ESTRATO	PROFUNDIDAD		H(m)	$\sigma'(T/m^2)$	Cv (cm ² /día)	t 95% (días)	t 95% (años)
MH	0,00	- 1,00	2,00	1,80	177	64	0,2
ML	1,00	- 2,00					
SM	2,00	- 5,00	-	-	-	-	-
CH	5,00	- 6,50	3,00	0,00	416	244	0,7
MH	6,50	- 8,00					
SM	8,00	- 12,50	-	-	-	-	-
CH	12,50	- 14,00	-	-	-	-	-
SM	14,00	- 15,50	-	-	-	-	-

Este sector presenta tiempos de consolidación de 0,2 a 0,7 años respectivamente, considerando estratos compresibles de 2,00 y 3,00 m de espesor.

En la la siguiente tabla se presenta el resumen de los tiempos de consolidación que se producen, además se enmarcan los tiempos máximos en cada sector.

Tabla LXI Resumen de tiempos de consolidación.

SECTOR	ABSCISA		TIEMPOS DE CONSOLIDACION					
			DIAS	AÑOS	DIAS	AÑOS	DIAS	AÑOS
#1	21+900	- 22+320	1038	2,8				
			P-1 EM	P-1 EM				
#2	22+350	- 24+128,05	1023	2,8	1197	3,3		
			P-3	P-3	P-2 EM	P-2 EM		
#3	24+128,05	- 24+620	256	0,7	1023	2,8		
			P-1 RV	P-1 RV	P-3	P-3		
#4	24+700	- 25+980	640	1,8	2064	5,7	1567	4,3
			P-1 EB	P-1 EB	P-2 RV	P-2 RV	P-4	P-4
#5	26+010	- 27+116	110	0,3	137	0,4	244	0,7
			P-2 EB	P-2 EB	P-5	P-5	P-6	P-6
#6	27+116	- 29+150	244	0,7				
			P-6	P-6				

El tiempo en el cual se detendrán las deformaciones es del rango de 0,7 a 2,8 años, exceptuando el sector #4 con 5,7 años.

Estos tiempos extensos sobre todo el del sector #4 no permitirá que la obra se realice en un periodo normal, con lo cual se procederá analizar en el siguiente capítulo las posibles soluciones para que sean reducidos estos tiempos.

CAPÍTULO 5

5. ESTUDIO DE POSIBLES SOLUCIONES

En este capítulo se analizarán tres técnicas aplicables a las condiciones y necesidades del proyecto: precarga, drenes verticales de arena y geobloques; con la finalidad de optimizar el tiempo, aplicando un análisis que puntualice sus ventajas y desventajas.

5.1 Análisis de Precarga

La precarga es el método que consiste en comprimir previamente al suelo bajo una carga mayor a la que se aplicará, a fin de producir los asentamientos antes de colocar o completar la carga que la estructura transmite al suelo. Se aplica a suelos consolidados o ligeramente

preconsolidados, en limos orgánicos, limos sueltos y en turbas (ref. Petróleos Mexicanos).

Fundamentalmente se eliminan los asentamientos debidos a la consolidación primaria y en parte los que corresponden a la secundaria.

La sobrecarga usualmente se aplicará con tierra, arena o roca. Para este proyecto deberá ser conformada por el mismo material del terraplén de manera que se pueda reutilizar en algunos sectores.

Al colocar la precarga se incrementa la altura del terraplén, por lo que se debe analizar la estabilidad del talud.

Para el análisis se han tomado los siguientes parámetros en base al perfil estratigráfico del Anexo 5, considerando una altura de terraplén (relleno + precarga) de 7,50 metros, siendo esta la más crítica a lo largo del proyecto:

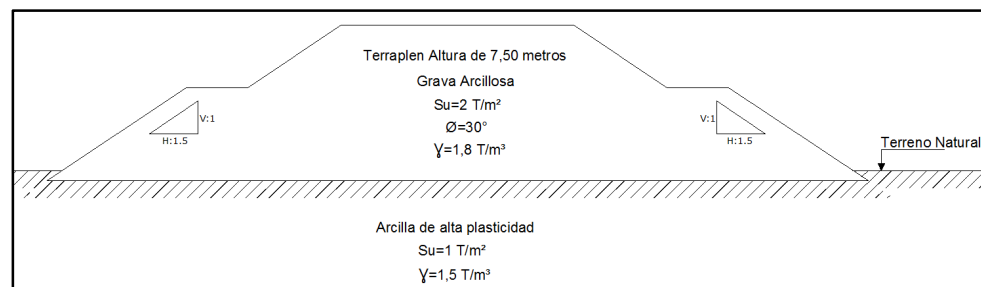


Gráfico 5. 1 Terraplén crítico para análisis de Estabilidad.

Para realizar el análisis se utilizó el programa slide Interpret con el siguiente esquema modelo:

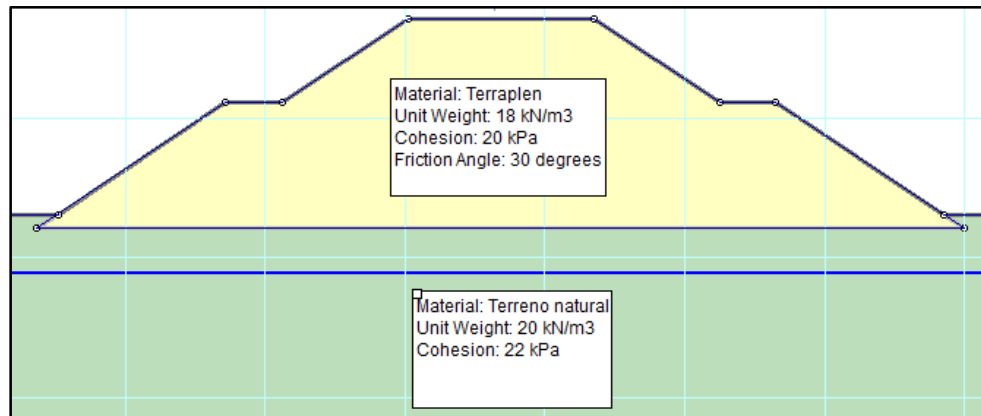


Gráfico 5. 2 Esquema ingresado en programa Slide

Al realizar la corrida del programa, el Factor de seguridad a la falla es 1,427 (Gráfico 5.3) mayor al requerido, el cual es 1,3 para estabilidades temporales o de corta duración, según la Tabla 9.4.4 de la norma “NEC capítulo 9 Geotecnia y cimentaciones”.

Tabla LXII Factores de Seguridad para taludes NEC-11.

CONDICIÓN	CONSTRUCCIÓN	ESTÁTICO	SISMO	PSEUDOESTATICO
Deslizamiento	1,6	1,6	Diseño	1,05
Vocamiento: el que resulte mas crítico de Momento Resistente/Momento Actuante			Diseño	
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≤1/6	≤1/6	Diseño	≤1/4
Capacidad Portante	Ver Tabla 9.4.1			
Estabilidad general del sistema:				
Permanente o de larga duración (> 6 meses)	1,2	1,5	Diseño	1,05
Temporal o de corta duración (< 6 meses)	1,2	1,3	50% de Diseño	1,00

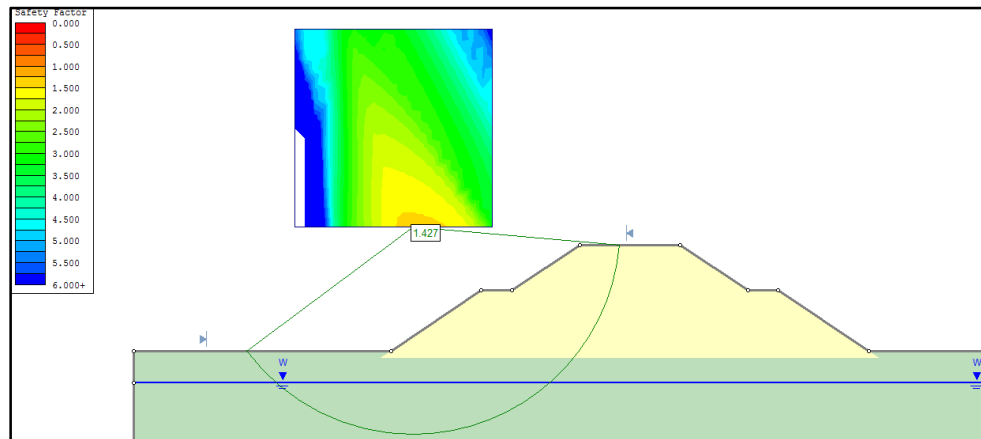


Gráfico 5. 3 Corrida del Programa

De esta manera se concluye que se podrá aplicar la precarga sin que la estructura del terraplén falle, además que la precarga será temporal.

5.1.1 Precarga abscura 21+900 – 22+320

Este sector comprende alturas de relleno de 1,50 a 3,00 metros, una vez que se ha llegado a la cota de subrasante, se colocará precarga de 3 metros para rellenos de 1,50 y 2,50 metros de espesor, para rellenos de 2,00 y 3,00 metros serán de 2,50 metros de precarga, A continuación se presenta el resultado de los asentamientos para las distintas alturas de relleno y su correspondiente precarga, así como también el tiempo en el cual se producirán:

Tabla LXIII Resultado de asentamientos para Hr=1,5, 2,0, 2,5 Y 3 metros, con sus respectivas precargas de 3,0 y 2,5 metros, así como el tiempo de consolidación.

U%	Tv	Tiempo		Asentamientos (m)				Precarga 3,00 y 2,50 metros	Precarga 3,00 y 2,50 metros
		Días	Años	Hr=1,50 metros	Hr=2,00 metros	Hr=2,50 metros	Hr=3,00 metros		
0	0,000	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,002	2	0,0	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06
10	0,008	7	0,0	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12
15	0,018	16	0,0	0,08	0,09	0,11	0,12	0,15	0,17
20	0,031	29	0,1	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23
25	0,049	45	0,1	0,13	0,16	0,19	0,21	0,25	0,29
30	0,071	65	0,2	0,16	0,19	0,22	0,25	0,30	0,35
35	0,096	88	0,2	0,19	0,22	0,26	0,29	0,35	0,40
40	0,126	116	0,3	0,21	0,25	0,30	0,33	0,40	0,46
45	0,159	146	0,4	0,24	0,28	0,33	0,37	0,45	0,52
50	0,197	181	0,5	0,27	0,32	0,37	0,42	0,50	0,58
55	0,239	220	0,6	0,29	0,35	0,41	0,46	0,54	0,63
60	0,286	263	0,7	0,32	0,38	0,44	0,50	0,59	0,69
65	0,340	313	0,9	0,34	0,41	0,48	0,54	0,64	0,75
70	0,403	370	1,0	0,37	0,44	0,52	0,58	0,69	0,81
75	0,477	438	1,2	0,40	0,47	0,56	0,62	0,74	0,86
80	0,567	521	1,4	0,42	0,50	0,59	0,66	0,79	0,92
85	0,684	629	1,7	0,45	0,54	0,63	0,71	0,84	0,98
90	0,848	779	2,1	0,48	0,57	0,67	0,75	0,89	1,04
95	1,129	1038	2,8	0,50	0,60	0,70	0,79	0,94	1,09
100	-	-	-	0,53	0,63	0,74	0,83	0,99	1,15

En la Tabla LXIII se han sombreado (igual color) los asentamientos que producirán los rellenos al llegar a 95% de la consolidación, así como

también el rango en el cual se cumplirá el mismo asentamiento con su precarga.

Para las alturas de relleno se graficó el asentamiento vs tiempo, para observar como con una mayor sobrecarga, se logrará llegar al mismo asentamiento, disminuyendo el tiempo.

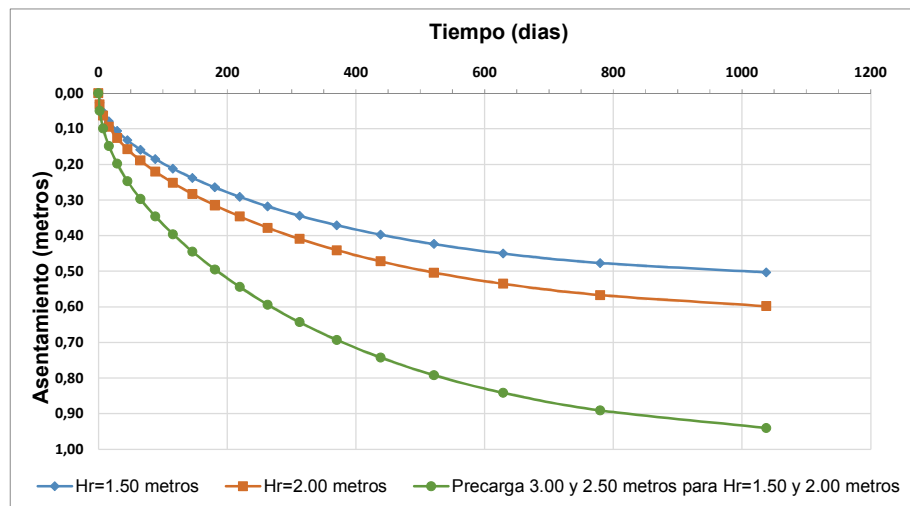


Gráfico 5. 4 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 1,50 y 2,00 m aplicando Precarga de 3,00 y 2,50 m.

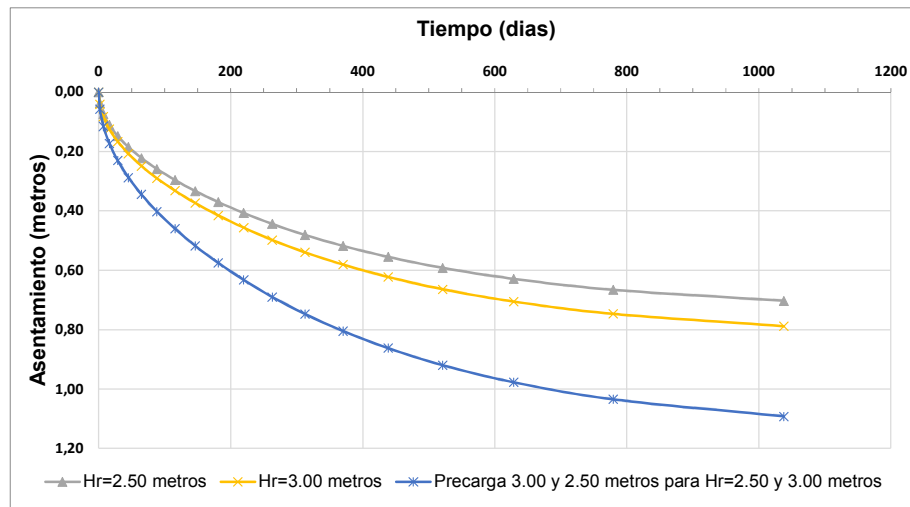


Gráfico 5. 5 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,50 y 3,00 m aplicando Precarga de 3,00 y 2,50 m.

Del Gráfico 5.4 y 5.5 se resume el tiempo en el que disminuirían los asentamientos al colocar la precarga, así como se deja la observación de que se deberá retirar cierto espesor de precarga de manera que se cumpla con la cota de subrasante esperada.

Tabla LXIV Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.

	Hr=1,50 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=1,50 metros	Hr=2,00 metros	Precarga 2,50 metros y Hr=2,00 metros
Asentamiento (m)	0,50	0,50	0,60	0,60
Tiempo (días)	1038	181	1038	267
Observación	Se deberá retirar 2,50 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,40 metros de precarga.	
	Hr=2,50 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=2,50 metros	Hr=2,50 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=2,50 metros
Asentamiento (m)	0,70	0,70	0,79	0,79
Tiempo (días)	1038	273	1038	348
Observación	Se deberá retirar 2,30 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,21 metros de precarga.	

El tiempo de 1038 días es el máximo correspondiente al asentamiento esperado en este sector, sin embargo al colocar la precarga se reducirá en un rango de 181 a 348 días.

5.1.2 Precarga abscisa 22+350 – 24+128,05

Este sector comprende alturas de relleno de 2,00 a 4,00 metros, en las que se colocará precarga del mismo material en altura de 3,00 metros.

Tabla LXV Resultado de asentamientos para Hr= 2, 3, 4 metros, con sus respectivas precargas de 3 metros y tiempos de consolidación.

U%	Tv	Tiempo		Asentamientos (m)					
		Días	Años	Hr=2,00 metros	Hr=3,00 metros	Hr=4,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros
0	0,000	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,002	2	0,0	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
10	0,008	8	0,0	0,07	0,09	0,10	0,10	0,12	0,13
15	0,018	19	0,1	0,10	0,13	0,16	0,15	0,17	0,20
20	0,031	33	0,1	0,13	0,17	0,21	0,20	0,23	0,26
25	0,049	52	0,2	0,17	0,22	0,26	0,25	0,29	0,33
30	0,071	75	0,2	0,20	0,26	0,31	0,30	0,35	0,39
35	0,096	102	0,3	0,23	0,30	0,36	0,35	0,40	0,46
40	0,126	134	0,4	0,26	0,35	0,42	0,40	0,46	0,52
45	0,159	169	0,5	0,30	0,39	0,47	0,45	0,52	0,59
50	0,197	209	0,6	0,33	0,44	0,52	0,51	0,58	0,65
55	0,239	253	0,8	0,36	0,48	0,57	0,56	0,63	0,72
60	0,286	303	0,9	0,40	0,52	0,62	0,61	0,69	0,78
65	0,340	360	1,1	0,43	0,57	0,68	0,66	0,75	0,85
70	0,403	427	1,3	0,46	0,61	0,73	0,71	0,81	0,91
75	0,477	506	1,6	0,50	0,65	0,78	0,76	0,86	0,98
80	0,567	601	1,9	0,53	0,70	0,83	0,81	0,92	1,04
85	0,684	725	2,2	0,56	0,74	0,88	0,86	0,98	1,11
90	0,848	899	2,8	0,59	0,78	0,94	0,91	1,04	1,17
95	1,129	1197	3,7	0,63	0,83	0,99	0,96	1,09	1,24
100	-	-	-	0,66	0,87	1,04	1,01	1,15	1,30

En la Tabla LXV se han sombreado los asentamientos que producirán los rellenos al llegar a 95% de la consolidación, así como también el rango en el cual se cumplirá el mismo asentamiento con su precarga.

Para cada altura de relleno se graficó el asentamiento vs tiempo, para así observar como con una mayor sobrecarga se llegara a un mismo asentamiento en un menor tiempo.

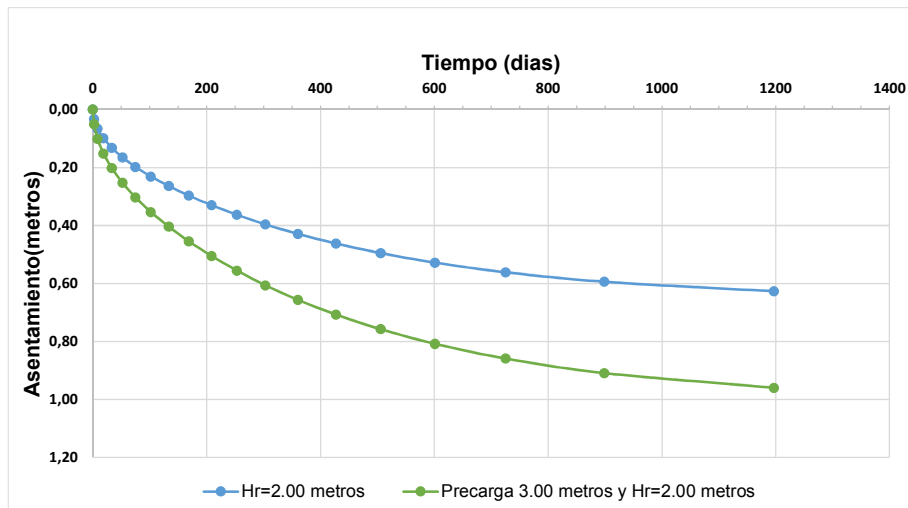


Gráfico 5. 6 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.

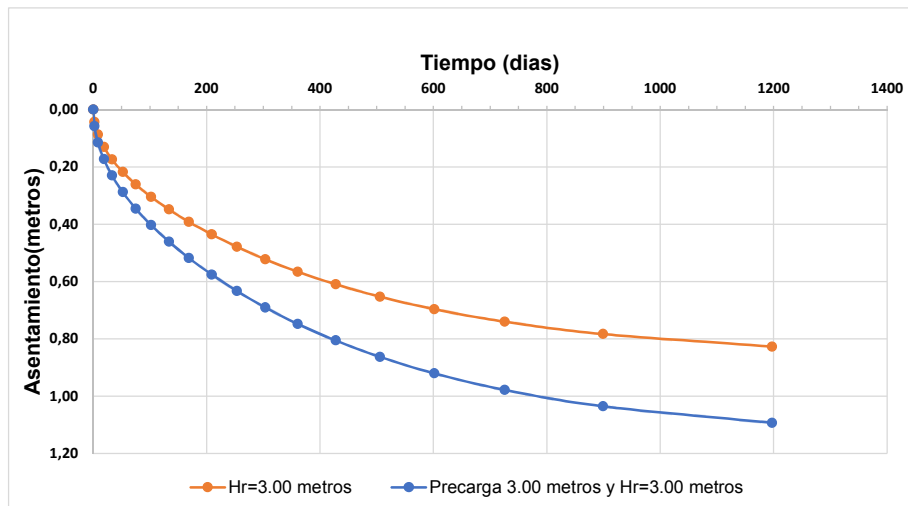


Gráfico 5. 7 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 3,00 m y Precarga de 3,00 m.

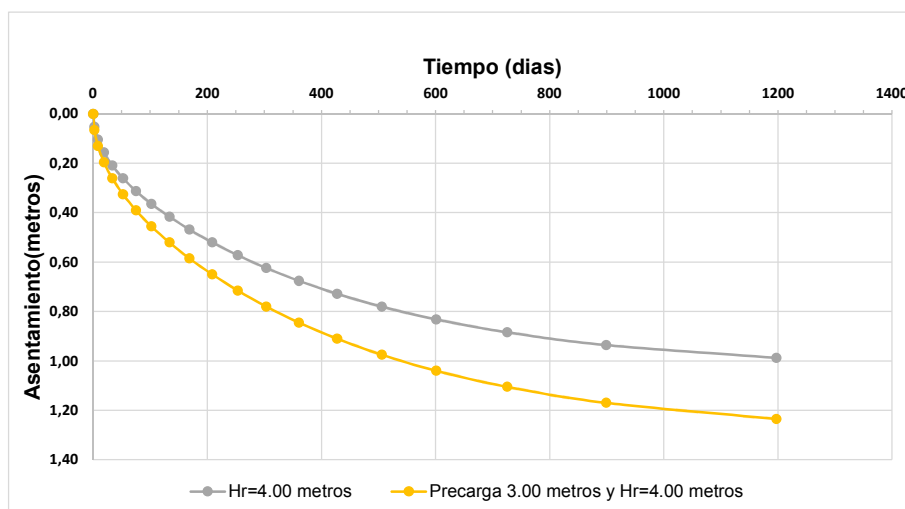


Gráfico 5. 8 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,00 m y Precarga de 3,00 m.

De los Gráficos 5.6, 5.7 y 5.8 se sintetiza la Tabla LXVI donde se observa el tiempo exacto en el que se reducirían los asentamientos al colocar la precarga, así como se depone la observación de que se deberá retirar cierto espesor de precarga de manera que se cumpla con la cota de subrasante esperada.

Tabla LXVI Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.

	Hr=2,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=2,00 metros	Hr=3,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=3,00 metros	Hr=4,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=4,00 metros
Asentamiento (m)	0,63	0,63	0,83	0,83	0,99	0,99
Tiempo (días)	1197	327	1197	457	1197	525
Observación	Se deberá retirar 2,37 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,17 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,01 metros de precarga.	

El tiempo de 1197 días es el máximo correspondiente al asentamiento esperado en este sector, al colocar la precarga se reducirá en un rango de 327 a 525 días.

5.1.3 Precarga abscura 24+128,05 – 24+620

En este sector se tendrá un tiempo de consolidación aproximado de 256 días, en asentamientos de 0,60 a 1,13 metros. Aunque el tiempo no es excesivo, se aplicará precarga para disminuir este tiempo y reutilizar el material en otro sitio.

Tabla LXVII Resultado de asentamientos para Hr= 2, 3, 4 metros, con sus respectivas precargas de 3 metros y tiempos de consolidación.

U%	Tv	Tiempo		Asentamientos (m)						
		Días	Años	Hr=2,00 metros	Hr=3,00 metros	Hr=4,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	
0	0,000	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,002	0	0,0	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06
10	0,008	2	0,0	0,06	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11
15	0,018	4	0,0	0,09	0,11	0,13	0,13	0,15	0,17	0,17
20	0,031	7	0,0	0,12	0,15	0,18	0,17	0,20	0,22	0,22
25	0,049	11	0,0	0,15	0,19	0,22	0,22	0,25	0,28	0,28
30	0,071	16	0,0	0,18	0,23	0,27	0,26	0,30	0,33	0,33
35	0,096	22	0,1	0,21	0,27	0,31	0,30	0,35	0,39	0,39
40	0,126	29	0,1	0,24	0,30	0,36	0,35	0,40	0,44	0,44
45	0,159	36	0,1	0,27	0,34	0,40	0,39	0,45	0,50	0,50
50	0,197	45	0,1	0,30	0,38	0,45	0,44	0,50	0,56	0,56
55	0,239	54	0,1	0,33	0,42	0,49	0,48	0,55	0,61	0,61
60	0,286	65	0,2	0,36	0,46	0,53	0,52	0,60	0,67	0,67
65	0,340	77	0,2	0,39	0,49	0,58	0,57	0,65	0,72	0,72
70	0,403	91	0,3	0,42	0,53	0,62	0,61	0,70	0,78	0,78
75	0,477	108	0,3	0,45	0,57	0,67	0,65	0,75	0,83	0,83
80	0,567	129	0,4	0,48	0,61	0,71	0,70	0,80	0,89	0,89
85	0,684	155	0,4	0,51	0,65	0,76	0,74	0,85	0,94	0,94
90	0,848	192	0,5	0,54	0,68	0,80	0,78	0,90	1,00	1,00
95	1,129	256	0,7	0,57	0,72	0,85	0,83	0,95	1,05	1,05
100	-	-	-	0,60	0,76	0,89	0,87	1,00	1,11	1,11

En la Tabla LXVII se muestra de un mismo color el asentamiento de altura de relleno con su respectiva precarga, con lo cual visualmente se nota como disminuye el tiempo.

Para alturas de relleno de 5,00 y 6,00 metros no se considera precarga porque afecta directamente a la estabilidad del talud, con lo cual se tendría una duración de la consolidación de 256 días.

Para cada altura de relleno se graficó el asentamiento vs tiempo, incluyendo el que se daría con la precarga.

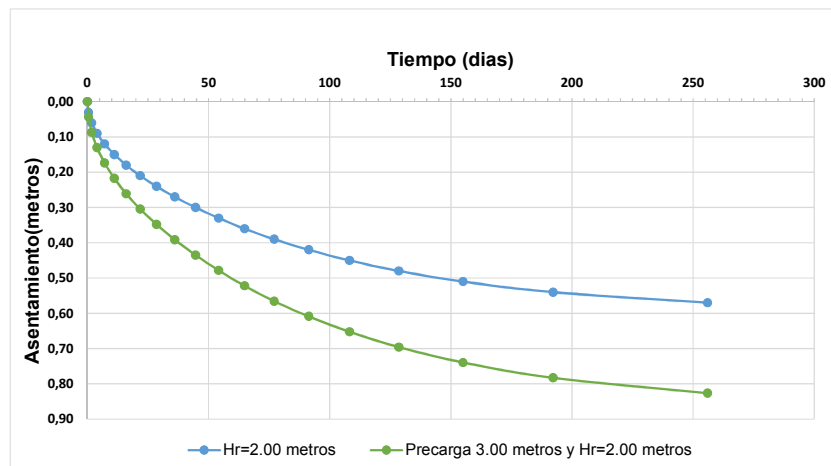


Gráfico 5. 9 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.

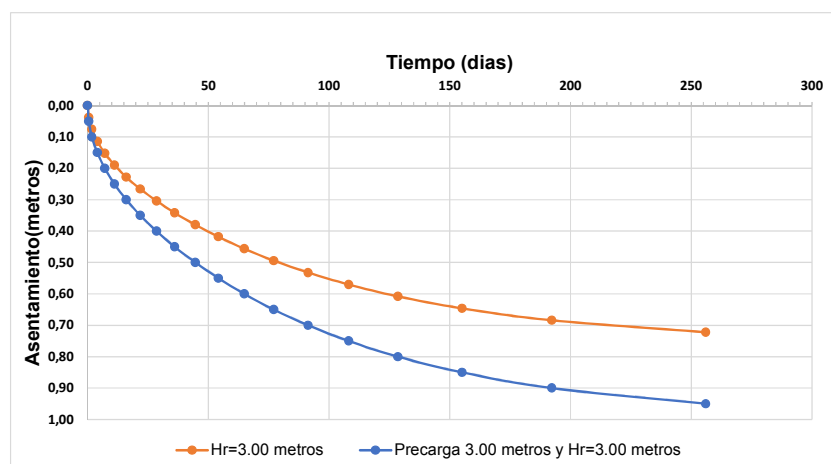


Gráfico 5. 10 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 3,00 m y Precarga de 3,00 m.

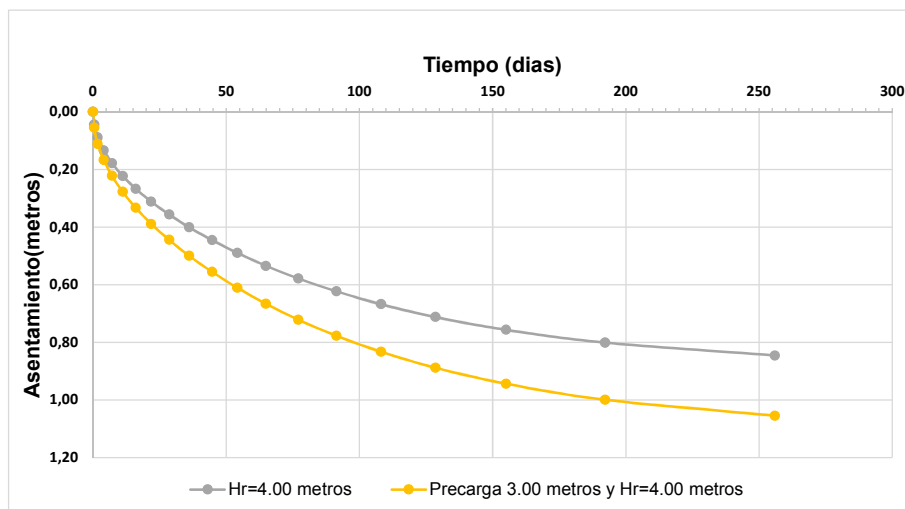


Gráfico 5. 11 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,00 m y Precarga de 3,00 m.

De los Gráficos 5.9, 5.10 y 5.11 se sintetizan en la Tabla LXVIII, donde se observa el tiempo en el que reducirían los asentamientos si se incluye precarga.

Tabla LXVIII Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.

	Hr=2,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=2,00 metros	Hr=3,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=3,00 metros	Hr=4,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=4,00 metros
Asentamiento (m)	0,57	0,57	0,72	0,72	0,85	0,85
Tiempo (días)	256	77	256	99	256	113
Observación	Se deberá retirar 2,43 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,28 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,15 metros de precarga.	

El tiempo disminuirá de 256 días a 77 y 113, según su altura de relleno; con estos tiempos, se podrá retirar de inmediato la precarga para utilizarla en otro sector.

5.1.4 Precarga abscura 24+700 – 25+980

A este sector se lo denomina como el crítico por sus elevados asentamientos los cuales oscilan entre 0,94 y 1,67, al igual que su tiempo de consolidación de 5,7 años; comprende alturas de relleno de 1,50 a 4,50 metros, a dichas alturas se colocará precarga del mismo material en altura de 3,00 metros; el resultado del asentamiento para las distintas alturas de relleno y su correspondiente precarga se presenta a continuación, así como el tiempo en el cual se producirán:

Tabla LXIX Resultado de asentamientos para Hr=1,5, 2,5, 3,5 y 4,5 metros, con sus respectivas precargas de 3 metros y tiempos de consolidación.

U%	Tv	Tiempo		Asentamientos(m)								
		Días	Años	Hr=1,50 metros	Hr=2,50 metros	Hr=3,50 metros	Hr=4,50 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	
0	0,000	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,002	4	0,0	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10
10	0,008	14	0,0	0,09	0,12	0,15	0,17	0,15	0,17	0,19	0,21	0,21
15	0,018	32	0,1	0,14	0,18	0,22	0,25	0,23	0,26	0,29	0,31	0,31
20	0,031	57	0,2	0,19	0,25	0,29	0,33	0,30	0,34	0,38	0,41	0,41
25	0,049	90	0,2	0,24	0,31	0,37	0,42	0,38	0,43	0,48	0,52	0,52
30	0,071	129	0,4	0,28	0,37	0,44	0,50	0,45	0,51	0,57	0,62	0,62
35	0,096	176	0,5	0,33	0,43	0,51	0,58	0,53	0,60	0,67	0,72	0,72
40	0,126	230	0,6	0,38	0,49	0,59	0,67	0,60	0,68	0,76	0,83	0,83
45	0,159	291	0,8	0,42	0,55	0,66	0,75	0,68	0,77	0,86	0,93	0,93
50	0,197	360	1,0	0,47	0,62	0,74	0,84	0,76	0,86	0,95	1,04	1,04
55	0,239	437	1,2	0,52	0,68	0,81	0,92	0,83	0,94	1,05	1,14	1,14
60	0,286	523	1,4	0,56	0,74	0,88	1,00	0,91	1,03	1,14	1,24	1,24
65	0,340	622	1,7	0,61	0,80	0,96	1,09	0,98	1,11	1,24	1,35	1,35
70	0,403	737	2,0	0,66	0,86	1,03	1,17	1,06	1,20	1,33	1,45	1,45
75	0,477	872	2,4	0,71	0,92	1,10	1,25	1,13	1,28	1,43	1,55	1,55
80	0,567	1037	2,8	0,75	0,98	1,18	1,34	1,21	1,37	1,52	1,66	1,66
85	0,684	1251	3,4	0,80	1,05	1,25	1,42	1,28	1,45	1,62	1,76	1,76
90	0,848	1550	4,2	0,85	1,11	1,32	1,50	1,36	1,54	1,71	1,86	1,86
95	1,129	2064	5,7	0,89	1,17	1,40	1,59	1,43	1,62	1,81	1,97	1,97
100	-	-	-	0,94	1,23	1,47	1,67	1,51	1,71	1,90	2,07	2,07

Para cada altura de relleno se ha calculado el incremento del asentamiento con respecto al tiempo y el grado de consolidación (U%); se ha subrayado con igual color la precarga correspondiente a la altura de relleno, así como el asentamiento en el tiempo al cual disminuiría.

Para cada altura de relleno se graficó el asentamiento vs tiempo, para observar como aplicando precarga, se llegará a un mismo asentamiento reduciendo el tiempo.

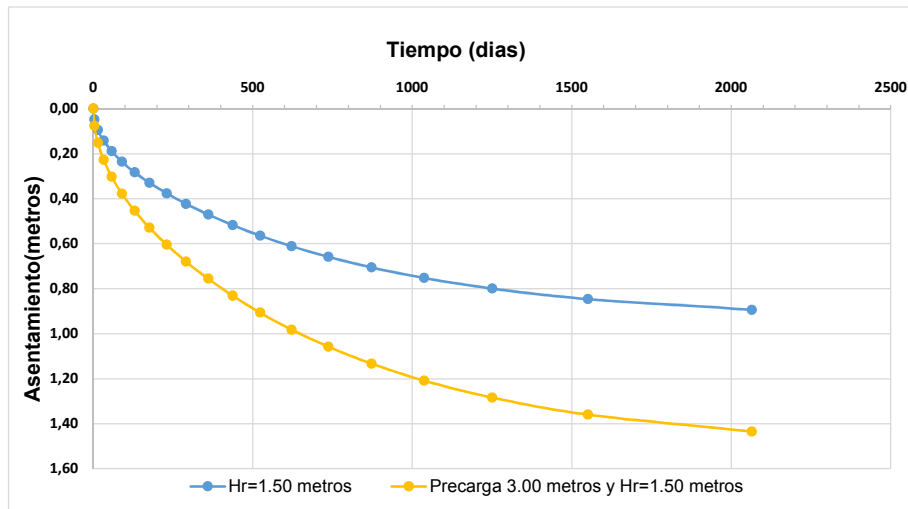


Gráfico 5. 12 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 1,50 m y Precarga de 3,00 m.

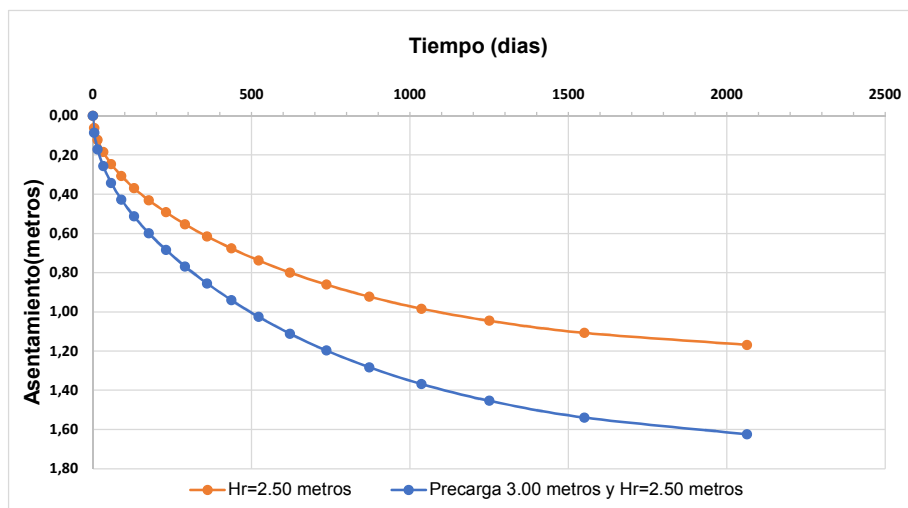


Gráfico 5. 13 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,50 m y Precarga de 3,00 m.

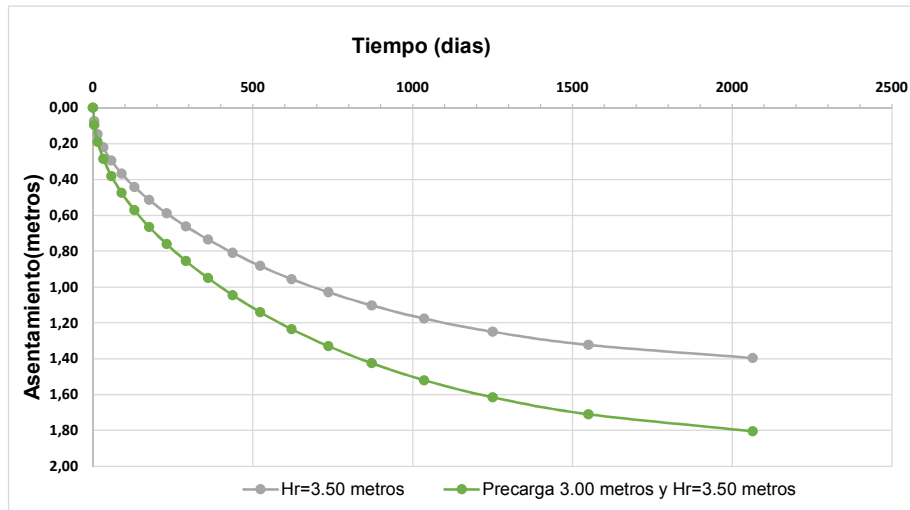


Gráfico 5. 14 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 3,50 m y Precarga de 3,00 m.

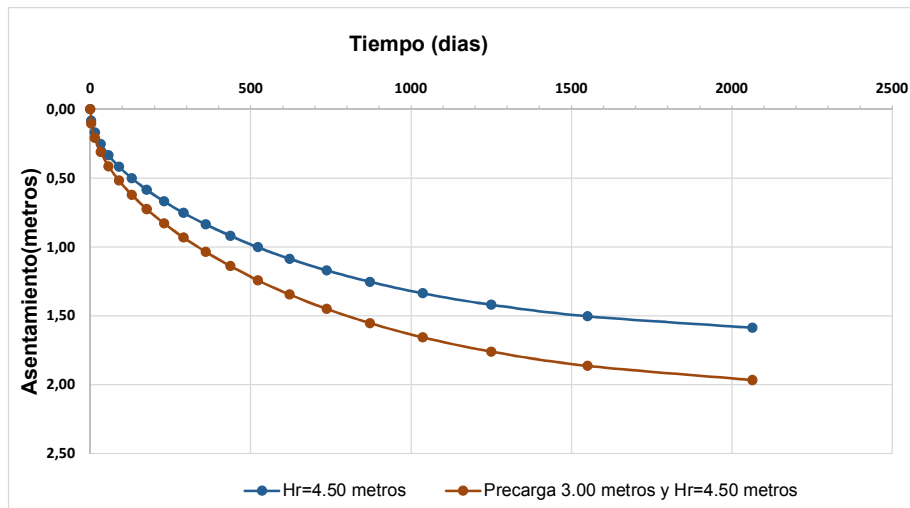


Gráfico 5. 15 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,50 m y Precarga de 3,00 m.

Los Gráficos 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15 se sintetizan en la Tabla LXX donde se observa el tiempo al cual se reducen los asentamientos al colocar la precarga, así como se exhibe la observación de retirar cierto espesor de precarga de manera que se cumpla con la cota de subrasante esperada.

Tabla LXX Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.

	Hr=1,50 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=1,50 metros	Hr=2,50 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=2,50 metros
Asentamiento (m)	0,89	0,89	1,17	1,17
Tiempo (días)	2064	508	2064	698
Observación	Se deberá retirar 2,11 metros de precarga.		Se deberá retirar 1,83 metros de precarga.	
	Hr=3,50 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=3,50 metros	Hr=4,50 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=4,50 metros
Asentamiento (m)	1,40	1,40	1,59	1,59
Tiempo (días)	2064	832	2064	926
Observación	Se deberá retirar 1,60 metros de precarga.		Se deberá retirar 1,41 metros de precarga.	

Este sector es el más crítico a lo largo de la vía, debido al prolongado periodo de consolidación el cual es 2064 días, sin considerar precarga.

Colocando precarga se logrará reducir hasta 508 días en alturas de relleno de 1,50 metros.

En este sector se utilizará el talud más alto de 7,50 metros, con sus respectivas bermas de 2 metros de ancho.

Con la colocación de precarga se ha logrado llegar hasta un 50% en el grado de consolidación.

5.1.5 Precarga abscisa 26+010 – 27+116

En este sector se tendrá un tiempo de consolidación aproximado de 110 días, con asentamientos de 0,25 a 0,37 metros. Debido a que el tiempo y el asentamiento no son excesivos, no se aplicará precarga para este sector. Sin embargo se ha calculado el aumento del asentamiento conforme se extiende el tiempo.

Tabla LXXI Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.

U%	Tv	Tiempo		Asentamientos (m)			
		Días	Años	Hr=2,00 metros	Hr=3,00 metros	Hr=4,00 metros	Hr=5,00 metros
0	0,000	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,002	0	0,0	0,01	0,02	0,02	0,02
10	0,008	1	0,0	0,03	0,03	0,03	0,04
15	0,018	2	0,0	0,04	0,05	0,05	0,06
20	0,031	3	0,0	0,05	0,06	0,07	0,07
25	0,049	5	0,0	0,06	0,08	0,09	0,09
30	0,071	7	0,0	0,08	0,09	0,10	0,11
35	0,096	9	0,0	0,09	0,11	0,12	0,13
40	0,126	12	0,0	0,10	0,12	0,14	0,15
45	0,159	16	0,0	0,11	0,14	0,15	0,17
50	0,197	19	0,1	0,13	0,15	0,17	0,19
55	0,239	23	0,1	0,14	0,17	0,19	0,20
60	0,286	28	0,1	0,15	0,18	0,20	0,22
65	0,340	33	0,1	0,16	0,20	0,22	0,24
70	0,403	39	0,1	0,18	0,21	0,24	0,26
75	0,477	47	0,1	0,19	0,23	0,26	0,28
80	0,567	55	0,2	0,20	0,24	0,27	0,30
85	0,684	67	0,2	0,21	0,26	0,29	0,31
90	0,848	83	0,2	0,23	0,27	0,31	0,33
95	1,129	110	0,3	0,24	0,29	0,32	0,35
100	-	-	-	0,25	0,30	0,34	0,37

En el siguiente grafico se puede observar como aumenta el asentamiento, conforme aumenta el tiempo para cada altura de relleno.

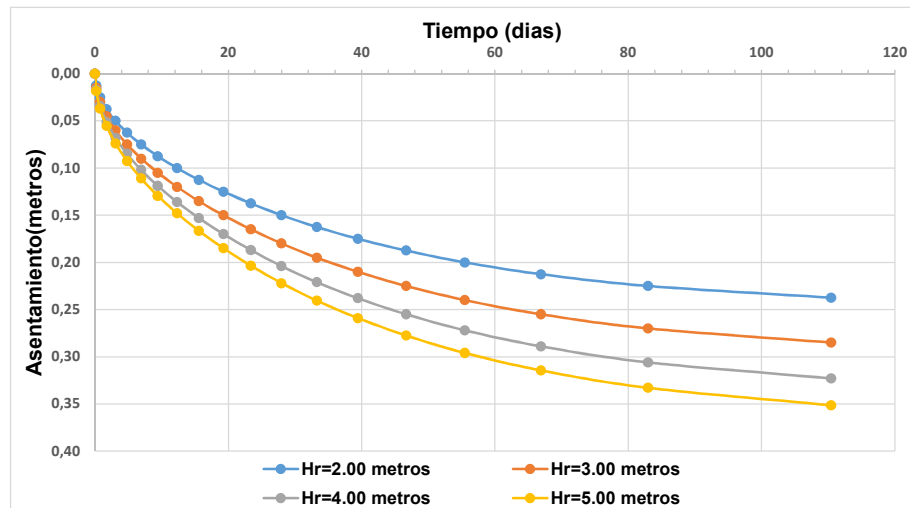


Gráfico 5. 16 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00, 3,00, 4,00 y 5,00 m.

A los 60 días transcurridos para cada altura de relleno (Hr), no se presentarán asentamientos mayores a 30 cm hasta llegar a los 110 días el cual es el tiempo al que cumplirá el 95% de la consolidación.

Este es el único sector en el cual no se ha considerado precarga, por la rapidez de consolidación.

5.1.6 Precarga abscura 27+116 – 29+152,97

En este sector se tendrá un tiempo de consolidación aproximado de 244 días, con asentamientos de 0,29 (Hr=1,00) a 0,61 metros (Hr=5,00).

En este sector también se ha calculado para cada altura de relleno el asentamiento que provocará su respectiva precarga de 3,00 metros, se debe indicar que para terraplenes mayores a 5,00 metros de altura, no se colocará precarga debido a que comprometería su estabilidad.

Tabla LXXII Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.

U%	Tv	Tiempo		Asentamientos (m)								
		Días	Años	Hr=1,00 metros	Hr=2,00 metros	Hr=3,00 metros	Hr=4,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	Precarga 3,00 metros	
0	0,000	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,002	0	0,0	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
10	0,008	2	0,0	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
15	0,018	4	0,0	0,05	0,06	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11
20	0,031	7	0,0	0,06	0,08	0,10	0,12	0,10	0,12	0,12	0,13	0,14
25	0,049	11	0,0	0,08	0,11	0,13	0,15	0,13	0,15	0,15	0,16	0,18
30	0,071	15	0,0	0,09	0,13	0,15	0,17	0,16	0,18	0,18	0,20	0,21
35	0,096	21	0,1	0,11	0,15	0,18	0,20	0,18	0,21	0,21	0,23	0,25
40	0,126	27	0,1	0,12	0,17	0,20	0,23	0,21	0,24	0,24	0,26	0,28
45	0,159	34	0,1	0,14	0,19	0,23	0,26	0,23	0,27	0,27	0,29	0,32
50	0,197	43	0,1	0,16	0,21	0,26	0,29	0,26	0,30	0,30	0,33	0,36
55	0,239	52	0,1	0,17	0,23	0,28	0,32	0,29	0,32	0,32	0,36	0,39
60	0,286	62	0,2	0,19	0,25	0,31	0,35	0,31	0,35	0,35	0,39	0,43
65	0,340	74	0,2	0,20	0,27	0,33	0,38	0,34	0,38	0,38	0,42	0,46
70	0,403	87	0,2	0,22	0,29	0,36	0,41	0,36	0,41	0,41	0,46	0,50
75	0,477	103	0,3	0,23	0,32	0,38	0,44	0,39	0,44	0,44	0,49	0,53
80	0,567	123	0,3	0,25	0,34	0,41	0,46	0,42	0,47	0,47	0,52	0,57
85	0,684	148	0,4	0,26	0,36	0,43	0,49	0,44	0,50	0,50	0,55	0,60
90	0,848	183	0,5	0,28	0,38	0,46	0,52	0,47	0,53	0,53	0,59	0,64
95	1,129	244	0,7	0,29	0,40	0,48	0,55	0,49	0,56	0,56	0,62	0,67
100	-	-	-	0,31	0,42	0,51	0,58	0,52	0,59	0,59	0,65	0,71

En los Gráficos 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 se muestra el asentamiento vs tiempo para cada altura de relleno con su respectiva precarga, de manera que de observe como aplicando precarga, se llegará a un mismo asentamiento reduciendo el tiempo.

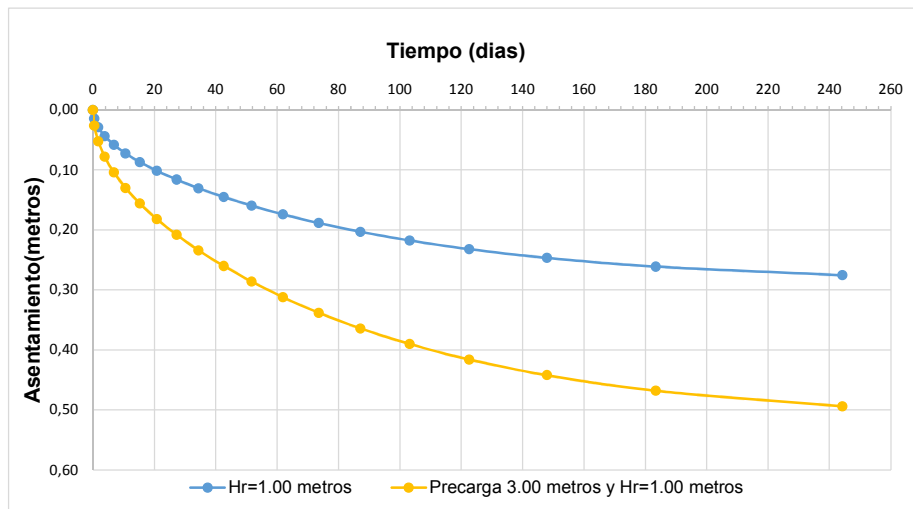


Gráfico 5. 17 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 1,00 m y Precarga de 3,00 m.

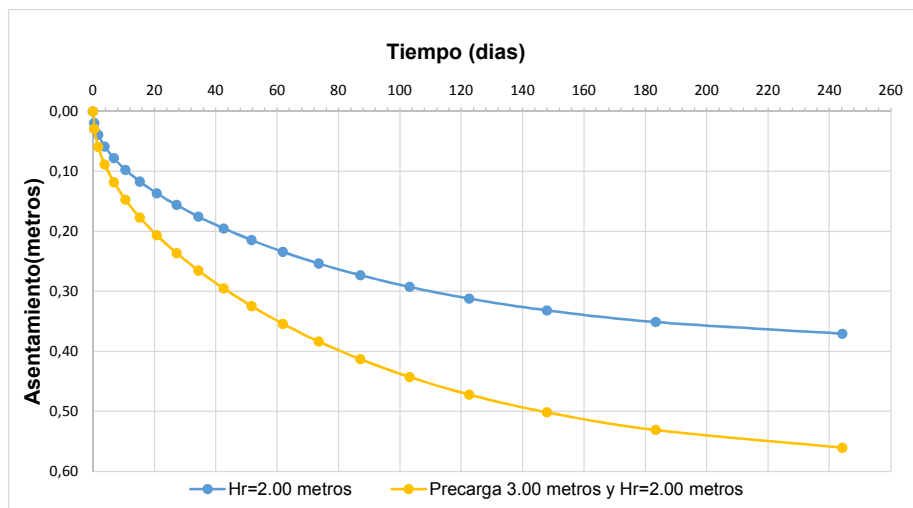


Gráfico 5. 18 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.

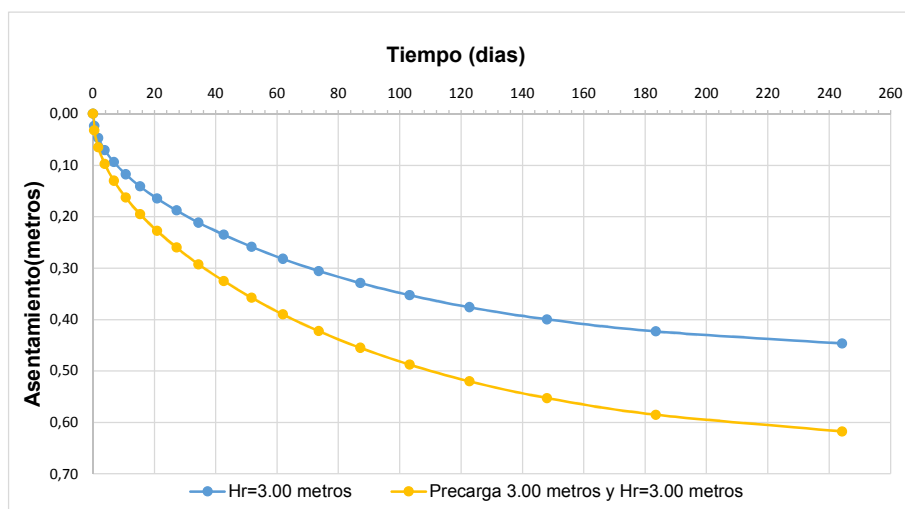


Gráfico 5. 19 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 2,00 m y Precarga de 3,00 m.

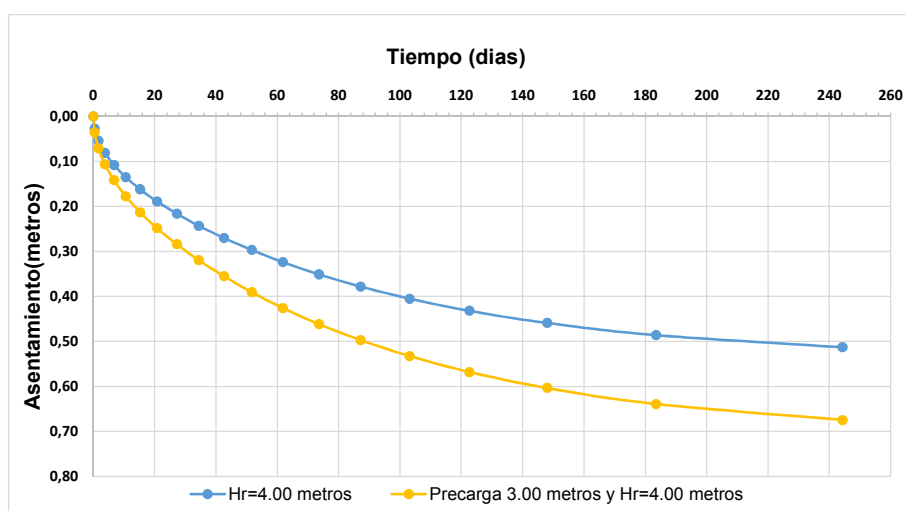


Gráfico 5. 20 Curva Asentamiento (m) Vs Tiempo (días) para una altura de relleno de 4,00 m y Precarga de 3,00 m.

Los Gráficos 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 se sintetizan en la Tabla LXXIII donde se observa el tiempo al cual se reducen los asentamientos al colocar la precarga, así como se exhibe la observación de retirar cierto espesor de precarga para cumplir con la cota de subrasante esperada.

Tabla LXXIII Resumen de los tiempos de consolidación en base a los distintos asentamientos.

	Hr=1,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=1,00 metros	Hr=2,00 metros	Precarga 2,50 metros y Hr=2,00 metros
Asentamiento (m)	0,29	0,29	0,40	0,40
Tiempo (días)	244	55	244	80
Observación	Se deberá retirar 2,72 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,63 metros de precarga.	
	Hr=3,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=3,00 metros	Hr=4,00 metros	Precarga 3,00 metros y Hr=4,00 metros
Asentamiento (m)	0,48	0,48	0,55	0,55
Tiempo (días)	244	100	244	112
Observación	Se deberá retirar 2,55 metros de precarga.		Se deberá retirar 2,49 metros de precarga.	

Este sector presenta asentamientos de hasta 0,51 metros, los cuales se presentarán en 244 días sin considerar precarga.

Colocando precarga se logrará reducir a 94 días cumpliendo el mismo asentamiento.

El talud más alto será de 7,00 metros, con sus respectivas bermas de 2 metros de ancho.

Con la colocación de precarga se ha logrado llegar hasta un 50% del grado de consolidación (U%).

Con los datos calculados anteriormente para cada sector, se tiene la siguiente tabla resumen, en la cual se han incluido los tiempos de consolidación agregándole precarga:

Tabla LXXIV Resumen de los tiempos de consolidación en cada sector con precarga.

SECTOR # 1 ABSCISA 21+900 - 22+320					
Hr (metros)	1,50	2,00	2,50	3,00	-
Prec (metros)	3,00	2,50	3,00	2,50	-
Tiempo	181	267	273	348	-
SECTOR # 2 ABSCISA 22+350 - 24+128,05					
Hr (metros)	2,00	3,00	4,00	-	-
Prec (metros)	3,00	3,00	3,00	-	-
Tiempo	327	457	525	-	-
SECTOR # 3 ABSCISA 24+128,05 - 24+620					
Hr (metros)	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Prec (metros)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Tiempo	77	99	113	-	-
SECTOR # 4 ABSCISA 24+700 - 25+980					
Hr (metros)	1,50	2,50	3,50	4,50	-
Prec (metros)	3,00	3,00	3,00	3,00	-
Tiempo	508	698	832	926	-
SECTOR # 5 ABSCISA 26+010 - 27+116					
Hr (metros)	2,00	3,00	4,00	5,00	-
Prec (metros)	-	-	-	-	-
Tiempo	110	110	110	110	-
SECTOR # 6 ABSCISA 27+116 - 29+152,97					
Hr (metros)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Prec (metros)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Tiempo	55	80	100	112	-

Los tiempos de consolidación al colocar la precarga oscilan entre 55 a 525 días, sin embargo para el sector #4 el tiempo es de 926 días, que corresponde a 2,53 años, en este caso se tendrá consideración para otras soluciones que ayuden a disminuir el tiempo.

Al colocar la precarga, el agua comenzará a ser expulsada por lo que se necesita una capa drenante entre el terreno natural y la precarga, de manera que tenga libertad de evacuar el estrato compresible hacia el exterior.

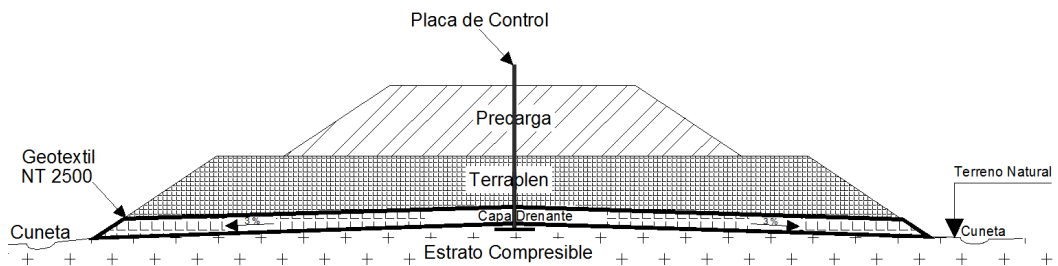


Gráfico 5. 21 Detalle de capa drenante.

La capa drenante será de un espesor de 50 cm, compuesto de grava redondeada entre 7,5 y 10 cm de diámetro, el terreno tendrá un bombeo transversal de 3% de manera que garantice la expulsión hacia los costados donde se encuentran las cunetas, sobre la capa deberá ser colocado un geotextil.

Para esto debe verificarse el criterio de retención el cual determina el tamaño de las aberturas para evitar la migración de suelo fino hacia las capas granulares, de manera que cumpla el siguiente término:

$$TAA < D_{85} \times B$$

TAA= Tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante.
Corresponde a la abertura de los espacios libres (en milímetros).

D₈₅= Tamaño de partículas (en milímetros) que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE CLASIFICACION:						
Humedad	3,9	%				
Límite Líquido	38	%			SUCS: SC	
Límite Plástico	27	%			AASTHO: A-2-6	
Índice Plástico	11	%			IG: 0	
Tamiz	Peso	Porcentajes en peso		Pasante	Diámetro	
ASTM	Parcial	Retenido	Acumulado	Acumulado	Medio	
Abertura No	gr.	%	%	%		
S e r i e G r u e s a	3"	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	2 1/2"	488,43	7,04	7,04	92,96	485,51
	2"	513,13	7,39	14,43	85,57	417,66
	1 1/2"	475,88	6,86	21,28	78,72	299,93
	1"	375,23	5,41	26,69	73,31	168,93
	3/4"	452,32	6,52	33,21	66,79	143,36
	1/2"	320,46	4,62	37,82	62,18	72,71
	3/8"	367,78	5,30	43,12	56,88	58,28
	No 4	321,28	4,63	47,75	52,25	32,98
	S e r i e F i n a	No 8	310,22	4,47	52,22	47,78
No 10		255,16	3,68	55,89	44,11	8,01
No 16		223,69	3,22	59,12	40,88	5,12
No 20		213,48	3,08	62,19	37,81	3,12
No 30		287,63	4,14	66,34	33,66	3,00
No 40		210,16	3,03	69,36	30,64	1,55
No 50		188,55	2,72	72,08	27,92	0,98
No 80		223,16	3,21	75,29	24,71	0,77
No 100		184,79	2,66	77,96	22,04	0,44
No 200		180,13	2,59	80,55	19,45	0,29
FONDO	1350,00	19,45	100,00	0,00		
TOTAL	6941,48	100,00			17,19	

Gráfico 5. 22 Granulometría del material que conforma el terraplén.

El Gráfico 5.22 determina el D₈₅:

D₈₅= 48,96 mm

B= Coeficiente que varía entre 1 y 3. Depende del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo de geotextil.

Para suelos arenosos B debe estar entre 1,5 y 2.

B=2

$TAA < 48,96 \times 2$

$TAA < 97,92 \text{ mm}$

El geotextil NT2500 posee un $TAA = 0,15 \text{ mm}$ cumpliendo el criterio de retención.

También debe verificarse el criterio de permeabilidad, el cual indica:

$K_{\text{geotextil}} > K_{\text{suelo}}$

$0,36 \text{ cm/s} > 1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$

Revisados estos criterios el geotextil NT 2500 cumple.

5.2 Precarga con drenes verticales de arena

Los drenes verticales son perforaciones rellenas con arena (material drenante) que se utilizará para reducir el tiempo de consolidación de un estrato poco permeable, sometido a un incremento de carga, aprovechando que la permeabilidad horizontal generalmente es mayor que la vertical y que la distancia que debe recorrer el agua para drenarse se reduce. Al respecto, el agua fluye radialmente a la red de drenes verticales y por ellos a la superficie libre. La separación entre los drenes es el factor que más influye en la eficiencia del procedimiento.

Al colocar los drenes se buscará reducir por lo menos el 50 % de la consolidación lograda con la precarga, se realizarán drenes cuyo diámetro será de 0.15 m, la ecuación con la cual se determina la separación de los drenes se presenta a continuación:

$$t = \frac{Dw^2}{8Ch} \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{dw^2}{Dw^2}\right)} \ln\left(\frac{Dw}{dw}\right) - 0,75 + 0,25 \left(\frac{dw^2}{Dw^2}\right) + z\pi(2L - z) \left(\frac{Ks}{qw}\right) \right) \ln(1/1 - U)$$

Ecuacion 5.1 Espaciamiento de drenes.

Fuente: "Soil Mechanics and foundations Muni Budhu"

t: Tiempo de consolidación al cual se requiere llegar colocando los drenes (s).

Dw: Diámetro de influencia de los drenes (m), parámetro que se desea encontrar.

Ch: Coeficiente de consolidación horizontal (m^2/s), se lo aproxima a 1.2 coeficiente de consolidación vertical.

dw: Diámetro del dren de arena (m).

L: Espesor del estrato compresible en análisis (m).

Z: Distancia vertical de recorrido del agua $L/2$ (m).

Ks: Permeabilidad del suelo $1 \times 10^{-10} \text{cm/s}$.

qw: Capacidad de descarga del dren $1,77 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, la permeabilidad del dren será $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ en un área transversal de $1,77 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

U: Porcentaje de consolidación logrado con la precarga (U%).

S: separación de los drenes (m).

El cálculo de los drenes se ha realizado en el sector #1, sector #2 y sector #4, en los demás no se considera necesario.

Los drenes tendrán la siguiente conformación:

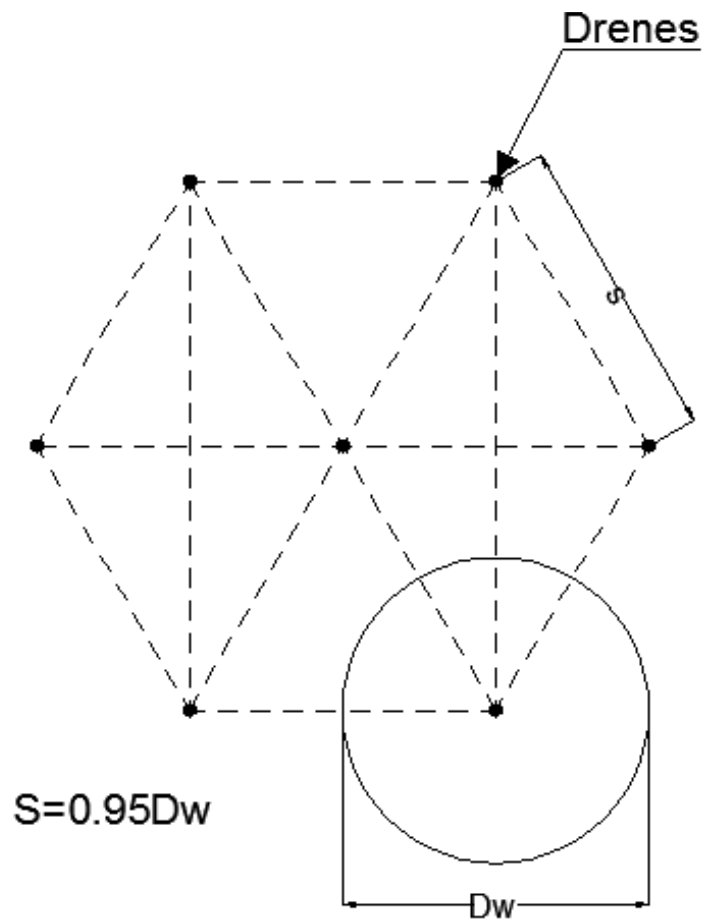


Gráfico 5. 23 Ubicación típica en planta de los drenes.

5.2.1 Cálculo del espaciamiento de drenes abscisa 21+900 – 22+320

En este tramo por la colocación de los drenes se espera lograr llegar a 88 días cumplido el asentamiento esperado, los parámetros correspondientes a este sector se presentan a continuación, así como el resultado de la separación:

Tabla LXXV Cálculo de separación de drenes para el sector #1.

Parámetros:	
t (segundos)	7603200
C_h (m ² /s)	5,90278E-07
d_w (m)	0,150
D_w (m)	3,927
z (m)	6,25
L (m)	12,5
K_s (m/s)	1,00E-10
q_w (m ³ /s)	1,77E-06
U(%)	60
S(m)	3,731

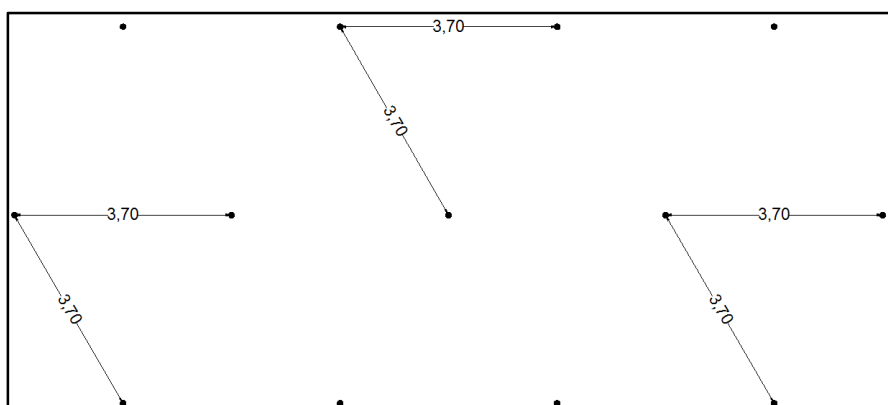


Gráfico 5. 24 Conformación de drenes en planta sector #1.

5.2.2 Cálculo del espaciamiento de drenes abscisa 24+350 – 24+128,05

En este tramo por la colocación de los drenes se espera lograr llegar a 102 días cumplido el asentamiento esperado, los parámetros correspondientes a este sector se presentan a continuación, así como el resultado de la separación:

Tabla LXXVI Cálculo de separación de drenes para el sector #2.

Parámetros:	
t (segundos)	8812800
C_h (m ² /s)	2,65278E-07
d_w (m)	0,150
D_w (m)	2,685
z (m)	4,5
L (m)	9
K_s (m/s)	1,00E-10
q_w (m ³ /s)	1,77E-06
U(%)	70
S(m)	2,550

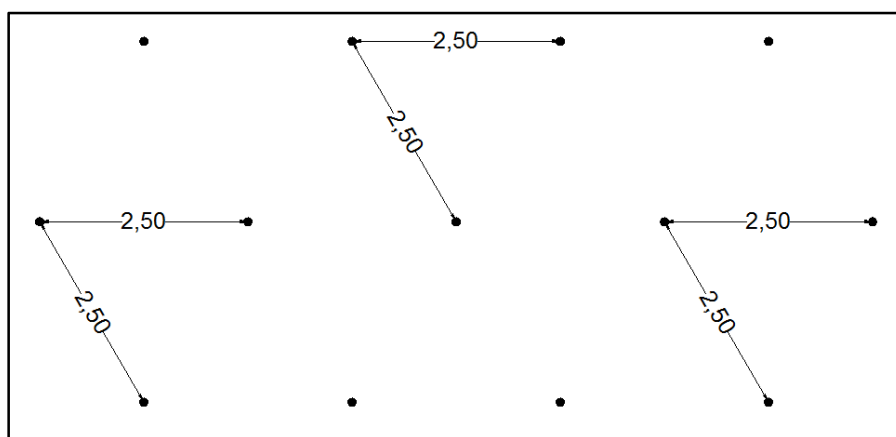


Gráfico 5. 25 Conformación de drenes en planta sector #2.

5.2.3 Cálculo del espaciamiento de drenes abscisa 24+700 – 25+980

En este tramo por la colocación de los drenes se espera lograr llegar a 176 días, para cumplir el asentamiento esperado, los parámetros correspondientes a este sector se presentan a continuación, así como el resultado de la separación:

Tabla LXXVII Cálculo de separación de drenes para el sector #4.

Parámetros:	
t (segundos)	15206400
C_h (m ² /s)	3,72222E-07
d_w (m)	0,150
D_w (m)	4,075
z (m)	8,75
L (m)	17,5
K_s (m/s)	1,00E-10
q_w (m ³ /s)	1,77E-06
U(%)	65
S(m)	3,871

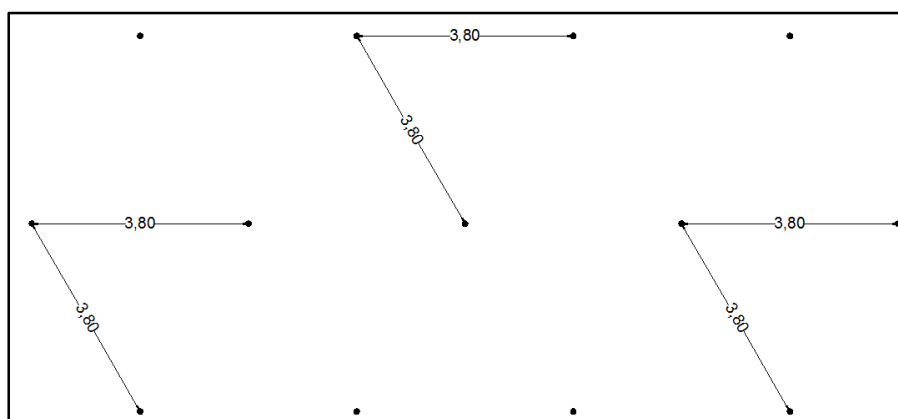


Gráfico 5. 26 Conformación de drenes en planta sector #4.

5.3 Solución con Geobloques

Los geobloques son elementos fabricados en una densidad aparente que oscila entre los 15 y 30 kg/m³; la aplicación del geobloque se basa en equilibrar las cargas del terraplén, reemplazando el material de relleno muy pesado por bloques de Poliestireno Expandido, procurando que sea únicamente el peso de la estructura de pavimento lo que actúe sobre el terreno blando (Ref. www.aislapor.com/geobloque.html), consiguiendo llegar a la cota del proyecto que se requiere.

El gráfico a continuación muestra un geobloque tipo:

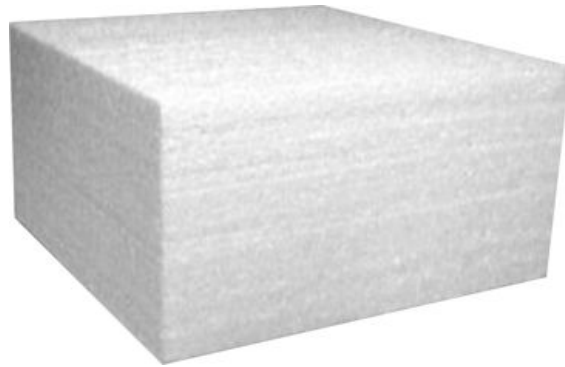


Gráfico 5. 27 Geobloque tipo.

Las dimensiones comercializadas en el país son de 6,00 metros de largo, 1,20 metros de ancho y 0,50 metros de alto ocupando un volumen de 3,6 m³.

Los geobloques poseen características impermeables y de resistencia mecánica a la degradación, por lo que no se tiene peligro ante el drenaje ni tampoco a la contaminación del material con el suelo.

Poseen una alta resistencia a la compresión (mayor a 6 T/m^2), por lo que no sufren deformaciones al colocar la estructura del pavimento, así como también una alta resistencia a la tensión (mayor a $1,5 \text{ T/m}^2$).

A continuación se presenta como quedarían colocados los geobloques en el terraplén:

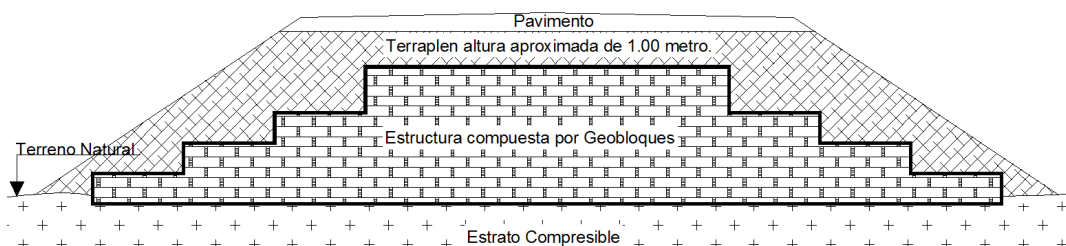


Gráfico 5. 28 Estructura del Terraplén con Geobloque.

Los geobloques deberán ser empotrados al menos 50 cm en el terreno natural, de manera que no se produzcan desplazamientos horizontales, serán cubiertos por el material del terraplén como se observa en el Gráfico 5.28.

Por su elevado costo, solo se colocarán en las zonas donde las alturas de relleno sean superiores a 6,00 metros. En estas zonas no se ha calculado

asentamientos y corresponde al sector #3 y #4, donde se producen los mayores asentamientos.

Este sector se localiza en las abscisas 24+550 a 24+770, cuya longitud es 220 metros, de los cuales 130 metros son del puente sobre el Río Vices, por lo cual se tendrá en 90 metros la aplicación de este producto.

Debido al metro de relleno que conformará la estructura de terraplén con geobloques, provocará un asentamiento de 20 cm (consolidación primaria + inmediato):

Tabla LXXVIII Transmisión de Esfuerzo para sector con geobloques.

1,00 metros relleno+0,625 Pavimento						
Z	B ₁	B ₂	q ₀	α ₁	α ₂	Δσ(T/m ²)
0,00	7,90	2,43	1,53	-	-	1,5
0,50	7,90	2,43	1,53	0,01	1,51	1,5
1,50	7,90	2,43	1,53	0,04	1,38	1,5
4,25	7,90	2,43	1,53	0,10	1,08	1,5
9,50	7,90	2,43	1,53	0,13	0,69	1,2
17,00	7,90	2,43	1,53	0,11	0,44	0,9
22,25	7,90	2,43	1,53	0,09	0,34	0,7
23,75	7,90	2,43	1,53	0,09	0,32	0,7
25,25	7,90	2,43	1,53	0,09	0,30	0,6
27,50	7,90	2,43	1,53	0,08	0,28	0,6
29,75	7,90	2,43	1,53	0,07	0,26	0,6
32,75	7,90	2,43	1,53	0,07	0,24	0,5
36,25	7,90	2,43	1,53	0,06	0,21	0,5

A la descarga provocada por 1,00 metro del terraplén y los 0,625 m de la estructura del pavimento se ha restado el peso del suelo escavado.

Tabla LXXIX Cálculo de asentamiento por consolidación primaria para sector con geobloques.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	H(m)	σ'_c (T/m ²)	Cc	Cs	Gs	e	OCR	σ' (T/m ²)	$\Delta\sigma'$ (T/m ²)	$(\sigma'+\Delta\sigma')/\sigma'_c$	S (m)
CH	0,00	- 1,00										
Se excavará este material.												
ML	1,00	- 2,00	1,00	22,39	0,29	0,04	2,71	1,17	8,78	2,5	1,5	0,03
SM	2,00	- 6,50										
OH	6,50	- 12,50	6,00	7,90	1,00	0,13	2,71	2,43	1,00	7,9	1,2	1,11
SM	12,50	- 21,50										
CL	21,50	- 23,00	1,50	15,85	0,24	0,03	2,71	1,87	1,00	15,9	0,7	1,0
CH	23,00	- 24,50	1,50	16,60	0,68	0,09	2,62	2,52	1,00	16,6	0,7	1,0
SM	24,50	- 26,00										
CH	26,00	29,00	3,00	38,60	0,41	0,05	2,62	0,92	2,00	19,3	0,6	0,5
SM	29,00	30,50										
CL	30,50	35,00	4,50	70,73	0,29	0,04	2,62	1,07	3,00	23,6	0,5	0,3
CH	35,00	37,50	2,50	130,87	0,40	0,05	2,62	1,24	5,00	26,2	0,5	0,00
ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION PRIMARIA												0,15

Tabla LXXX Cálculo de asentamiento inmediato en sector con geobloques.

ESTRATO	PROFUNDIDAD	q (T/m ²)	B (m)	μ	lf (cm/m)	Es (T/m ²)	S(m)
CH	0,00	- 1,00	1,52	15,80			
ML	1,00	- 2,00	1,52	15,80			
SM	2,00	- 6,50	1,47	15,80	0,25	254	2500
OH	6,50	- 12,50	1,22	15,80			
SM	12,50	- 21,50	0,88	15,80	0,25	254	2500
CL	21,50	- 23,00	0,72	15,80			
CH	23,00	- 24,50	0,68	15,80			
SM	24,50	- 26,00	0,65	15,80	0,25	254	3000
CH	26,00	29,00	0,60	15,80			
SM	29,00	30,50	0,56	15,80	0,20	254	7500
CL	30,50	35,00	0,51	15,80			
CH	35,00	37,50	0,47	15,80			
ASENTAMIENTO INMEDIATO TOTAL							0,05

CAPÍTULO 6

6. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

Se realizó un análisis a cada solución, comparando precios, con el objetivo de aplicar una o varias técnicas, teniendo en cuenta el tiempo de construcción.

6.1 Presupuesto de Precarga

Se calculó los volúmenes de relleno en m³, los cuales se utilizarán en los 5 sectores mencionados en la Tabla LXXXI, el cálculo del volumen se lo ha realizado mediante secciones, seleccionando el área transversal del material y multiplicándolo por la longitud correspondiente.

Tabla LXXXI Volumen total de precarga.

Sector	Abscisa	Volumen (m3)
Sector #1	21+900 - 22+320	6663
Sector #2	22+350 - 24+128,05	49270
Sector #3	24+128,05 - 24+620	14038
Sector #4	24+700 - 25+980	6056
Sector #6	27+116 - 29+152,97	55903
TOTAL		131930

Tabla LXXXII Costo de precarga

Volumen de Precarga (m3)	Precio	Valor total
131930	\$ 19,76	\$ 2.606.927,33

El valor total incluye el transporte.

6.2 Presupuesto de drenes verticales de arena

Se calculó las cantidades de drenes que se podrían realizar en el sector #1, sector #2 y sector #4.

Tabla LXXXIII Costo de los drenes verticales de arena

Sector	Profundidad del dren (m)	Separacion transversal (m)	Separacion longitudinal (m)	Longitud del sector (m)	Drenes Totales (m)	Profundidad Total (m)	Precio	Valor total
1	12,50	3,70	3,20	420	656	8200	\$ 25,13	\$ 206.066,00
2	9,00	2,50	2,17	1778	5736	51624	\$ 25,13	\$ 1.297.311,12
4	17,50	3,80	3,29	1280	1945	34038	\$ 25,13	\$ 855.362,38
							Total	\$ 2.358.739,50

El costo total para que se puedan realizar los drenes es de \$2`358.739,50.

Por el elevado costo de los drenes, se ha decidido solo construirlos en el sector #4 los cual costaría \$855.362,38, reduciendo al 36,26%.

6.3 Presupuesto de Geobloques

Como se explicó en el capítulo anterior el uso de los geobloque es de alto costo, por esta razón solo se ha considerado colocar en los accesos al puente del rio Vinces los cuales constan de terraplenes con alturas mayores a 6,00 metros, se colocaran 45 metros a cada lado del puente.

Se considera colocar 20 geobloques por sección de 50 cm a lo largo del acceso.

Tabla LXXXIV Costo del Uso de Geobloques

Geobloque por sección de 50cm (U)	Longitud (m)	Total	Precio Unitario	Valor Total
20	90	3600	\$ 355,49	\$ 1.279.764,00

El precio de \$355,49 incluye movilización, equipo, mano de obra e instalación, este precio fue dado mediante una cotización por parte de AISLAPOL S.A.

Con las tres soluciones se ha procedido a realizar el siguiente cuadro resumen de los costos:

Tabla LXXXV Resumen de los costos para las soluciones.

Solución	Monto	Porcentaje
Precarga	\$ 2.606.927,33	42%
Drenes	\$ 2.358.739,50	38%
Geobloques	\$ 1.279.764,00	20%
Total	\$ 6.245.430,83	

Si se decide realizar las 3 soluciones tendría un costo de \$6`245.430,83.

Siendo la solución con geobloques la más económica sin embargo esta solo tiene aplicación en 90 metros a lo largo del proyecto.

Con lo cual se decide no colocar los geobloques ni tampoco los drenes en los sectores #1 y #2.

El resumen de los costos quedaría de la siguiente manera:

Tabla LXXXVI Resumen de los costos para las soluciones.

Solución	Monto	Porcentaje
Precarga	\$ 2.775.519,65	76%
Drenes	\$ 855.362,38	24%
Geobloques	\$ -	0%
Total	\$ 3.630.882,03	

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El terreno del proyecto corresponde a depósitos aluviales de origen fluvial, conformados por capas alternas de arcillas, limos y arenas de grano medio a fino, intercaladas por capas de turba de espesor variando entre 1,50 a 6,00m (ver Anexo 5).
2. Para el cálculo de las deformaciones verticales se sectorizó la ruta en 6 tramos, colocando terraplenes con alturas de relleno que varían ente 1 a 6 metros, los cuales originarían asentamientos de 0,35 a 1,82 metros, como se indicó en la tabla XLVII del capítulo 4.
3. La deformación mínima calculada a lo largo de la ruta fue de 0,35 metros con un relleno de 1,00 metro de altura en el sector #6 de la

abscisa 27+116 a 29+150. mientras que el valor máximo fue de 1,82 metros con un relleno de 4,50 metros de altura en el sector #4 de la abscisa 24+700 a 25+980.

4. De los resultados de los asentamientos resumidos en la Tabla XLVII del capítulo 4, se deduce mediante la Tabla LXI que en el intervalo de 0,7 a 5.7 años se producirán asentamientos que varían entre 0,35 y 1,82 metros, siempre que el suelo de fundación no sea sometido a un proceso de mejoramiento.
5. Por el método de Precarga los tiempos de consolidación variarán entre 55 y 525 días, es decir entre 0,15 y 1,44 años, exceptuando el sector #4, comprendido entre las abscisa 24+700- 25+980, cuyo tiempo de consolidación aun aplicando la precarga es de aproximadamente 508 y 926 días es decir 1,39 y 2,54 años.
6. Por el método de Drenes Verticales de Arena los tiempos de consolidación serán 88, 102 y 176 días correspondiente al sector #1, #2 y #4, es decir entre 0,24 y 0,48 años.
7. El presupuesto para el mejoramiento de suelo del proyecto en los sectores #1, #2, #3, #4 y #6 mediante el método de precarga será de

\$2'606.927,33; para los drenes verticales de arena es de \$2'358.739,50 considerando los sectores #1, #2 y #4.

8. El cálculo mediante la solución de geobloques fue analizado en los accesos al puente del río Vines los cuales constan de terraplenes con alturas mayores a 6,00 metros siendo su distribución de 45 metros a cada lado; su presupuesto es 1'279.764,00.
9. Para controlar los asentamientos en obra, se deberán colocar placas de control como muestra el siguiente gráfico, de manera que se tomen los niveles de como descendería el terreno:



Gráfico 7. 29 Ubicación de Placas para control de asentamientos en obra.

10. Debido al elevado costo de las 3 soluciones propuestas, para asentamientos de gran magnitud y tiempos de consolidación prolongados; se decidió elegir la precarga en los sectores #1, #2, #3, #4 y #6, además del uso de los drenes para el sector #4 el cual es el crítico, generando un costo total de 3'630.882,03.

BIBLIOGRAFÍA

1. Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones (Quinta Edición, Thomson, 2006).
2. Braja M. Das, Principios de Ingeniería Geotécnica (Cengage Learning Latin Am, 2001).
3. Joseph E. Bowles, Propiedades Geofísicas de los Suelos (Mc Graw-Hill, 1982).
4. Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado, Diseño de Cimentaciones (Segunda Edición, Instituto de la Construcción y Gerencia, 2012).
5. Joseph E. Bowles, Manual de Laboratorio de Suelos en ingeniería civil (McGraw-Hill, 1980).
6. Exploración y Muestreo de Suelos para Proyecto de Cimentaciones, Petróleos Mexicanos (Primera Edición, 1975).
7. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Norma Ecuatoriana Vial-12 (Ecuador, 2012).

8. CEVACONSULT S.A, ensayos de laboratorio del proyecto “Construcción de Paso Lateral de Salitre”.
9. <http://www.aislapor.com/geobloque.html>
10. Muni Budhu, Soil Mechanics and foundations. (2006).
11. Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capitulo 9 Geotécnia y Cimentaciones. (Ecuador, 2011).
12. Jorge Nuques, Comportamiento de las Arcillas blandas de la ciudad de Guayaquil. (1982).
13. PAVCO, Manual de diseño con Geosinteticos. (2009).

ANEXOS