

OPTIMIZACION PARA EL MEJORAMIENTO DEL TERRENO

LOTE BARRIO JOSÉ DOMINGO OLIVEROS
MUNICIPIO DE YONDÓ - ANTIOQUIA.

A continuación, se presenta los parámetros geo mecánicos de los suelos presentes en el lote, determinados en el estudio geotécnico inicial.

Tabla 1. Parámetros geotécnicos de los geomateriales.

Nº DE ESTRATO	CLASIF. SUCS	PROF. DE ESTRATO	Nº GOLDPES /PIE	γ (Ton/m ³)	Cu (Kpa)	ϕ	Ey (KN/m ²)
1	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD COLOR NARANJA Y GRIS OSCURO [MH]	0,00-6,00	0-24	1,70	30	-	5000

γ : Peso húmedo del suelo. ϕ = Angulo de fricción.
Cu = Cohesión no drenada. Ey = Módulo de Young.

TIPO Y NIVEL DE DESPLANTE

Según los hallazgos derivados de la investigación de campo y laboratorio, **NO SE RECOMIENDA** el uso de cimentación superficial en la edificación de las estructuras destinadas a las viviendas proyectadas. Esto se debe a que la litología identificada está compuesta mayormente por suelos limosos que exhiben características normalmente consolidadas, alta compresibilidad, plasticidad significativa y un marcado grado de expansión. En consecuencia, se anticipan asentamientos importantes debido a la consolidación como consecuencia de la ejecución de la infraestructura proyectada.

Por tal motivo, se recomienda emplear el método de **PRECOMPRESIÓN** con material de relleno compacto, con el fin de minimizar el asentamiento posterior a la compresión impuesta por las cargas asociadas a las viviendas proyectadas.

10.4 CÁLCULO DE ESPESOR DE RELLENO PARA PRECOMPRESIÓN

Los principios de la precompresión se explican a continuación: La carga estructural propuesta por área unitaria es $\Delta\sigma'_p$ y el espesor del estrato de material compresible que

experimenta consolidación es H_c , El asentamiento por consolidación primaria máxima causada por la carga estructural es:

$$S_{c(p)} = C_c * \frac{H_c}{1 + e_0} * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_p}{\sigma'_0}$$

La relación asentamiento-tiempo ante la carga estructural será como la que se muestra en la Figura 1. Sin embargo, si se coloca una sobrecarga $\Delta\sigma'_p + \Delta\sigma'_f$ sobre el terreno, el asentamiento por consolidación primaria será:

$$S_{c(p+f)} = C_c * \frac{H_c}{1 + e_0} * \log \frac{\sigma'_0 + [\Delta\sigma'_p + \Delta\sigma'_f]}{\sigma'_0}$$

Donde:

C_c : coeficiente de compresión del suelo.

σ'_0 : esfuerzo efectivo del suelo

$\Delta\sigma'_p$: incremento de esfuerzo por la imposición de la carga.

$\Delta\sigma'_p + \Delta\sigma'_f$: incremento de esfuerzo por la imposición de la carga de precompresión.

En la figura también se puede observar que un asentamiento total $S_{c(p)}$ ocurriría en un tiempo t_2 , que es mucho más breve que t_1 . Por lo tanto, si se aplica una sobrecarga total temporal $\Delta\sigma'_p + \Delta\sigma'_f$ sobre la superficie del terreno durante un tiempo t_2 , el asentamiento será igual a $S_{c(p)}$. En ese tiempo, si la sobrecarga se remueve y se construye una estructura con una carga permanente por área unitaria de $\Delta\sigma'_p$ no ocurrirá un asentamiento apreciable. El procedimiento antes descrito se denomina Precompresión.

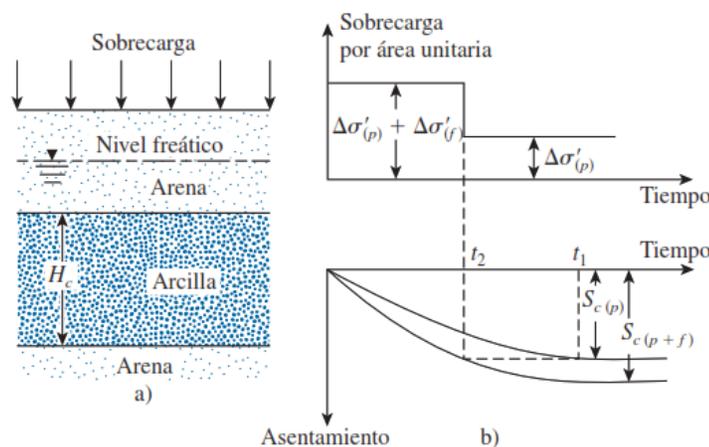


Figura 1. Esquema de principios de la precompresión. Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Braja Das, 2015.

Durante la construcción de las viviendas proyectadas, la carga permanente sobre la superficie del terreno máxima es de 10 kN/m^2 . En este contexto, se proporcionan los datos necesarios para calcular el espesor de relleno requerido en la siguiente tabla, considerando un periodo de precompresión de 12 meses, como se detalla a continuación.

Inicialmente, se determina el espesor del material compresible, sujeto a fenómenos de consolidación, considerando las direcciones de drenaje en dicho estrato. Es decir, se evalúa si el agua drena únicamente por la superficie superior o por ambas, de acuerdo con las características del material que lo confina. Como se mencionó previamente, el periodo de precompresión está establecido en 12 meses. Con esta información, se procede a la estimación del factor T_v , directamente vinculado al grado de consolidación del suelo, como se detalla a continuación.

Tabla 2. Parámetros de cálculo del facto T_v .

Hc	10.00	m
Drenaje	SIMPLE	-
H_{DR}	5.00	m
Cv	0.667	m ² /mes
t₂	12.00	meses
T_v	0.32	-

De acuerdo con la Figura 2 para $T_v=0,32$, el valor de U es de 40%.

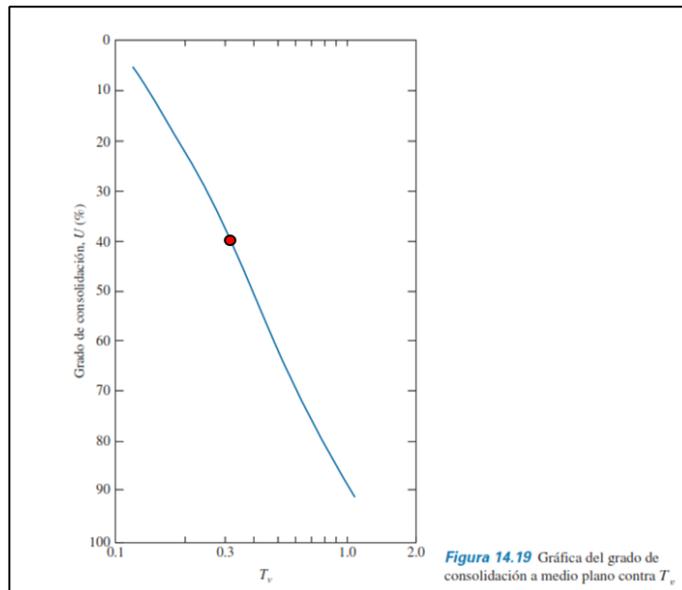


Figura 2. Gráfica del grado de consolidación a medio plano contra T_v . Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Braja Das, 2015.

Al definir el grado de consolidación que alcanza el estrato de limo de alta plasticidad (MH), el tiempo durante el cual ocurrirá dicha consolidación, es posible estimar la relación $\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$ de acuerdo al gráfico presentado en la Figura 3.

Tabla 3. Parámetros para estimación de la altura del relleno.

U	40.00	%
$\Delta\sigma'_{(p)}$	10.00	kPa
$\sigma'_{(o)}$	40.00	kPa
$\Delta\sigma'_{(p)} / \sigma'_{(o)}$	0.25	-
$\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$	1.60	-
$\Delta\sigma'_{(f)}$	16.00	kPa
$\Delta\sigma'_{(p)} + \Delta\sigma'_{(f)}$	26.00	kPa
H_{relleno}	1.30	m

De acuerdo a la siguiente figura la relación $\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$ corresponde a 1,60, y considerando un relleno con un peso específico de 20 kN/m³, la altura del relleno recomendada corresponde a 1,30 m de las superficie del terreno actual.

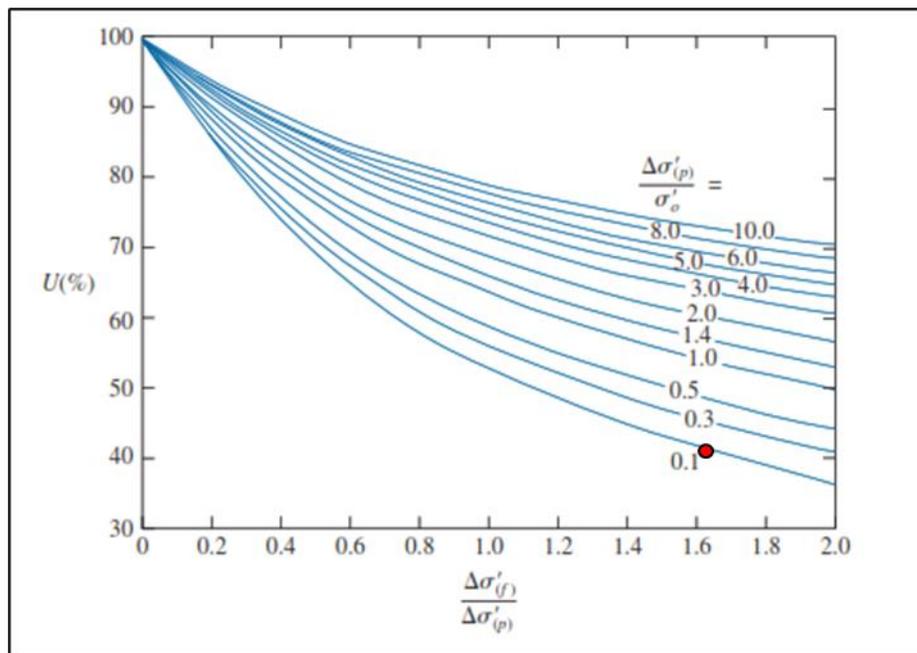


Figura 3. Grafica de U contra $\Delta\sigma'_{(p)} + \Delta\sigma'_{(f)}$ para varios valores de $\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$.

A continuación, se exponen los cálculos relativos a los asentamientos previstos al compactar el relleno conforme a la precompresión recomendada, así como para el escenario de descarga del suelo.

10.5. ASENTAMIENTOS DEL RELLENO RECOMENDADO PARA LA ETAPA DE PRECOMPRESIÓN

Debido a se hace necesario realizar un relleno con material seleccionado para garantizar la cimentación de las estructuras proyectadas, se presenta a continuación los asentamientos inmediatos y por consolidación que se pueden presentar al construir el relleno recomendado.

De acuerdo con el numeral H.4.8 los estados límite de servicio resultan del cálculo de asentamientos inmediatos, por consolidación, los asentamientos secundarios y los asentamientos por sismo. Las evaluaciones de los asentamientos se realizan empleando parámetros de deformación obtenidos a partir de ensayos de laboratorio o correlaciones de campo.

Los asentamientos totales calculados a 20 años se deben limitar a los siguientes valores:

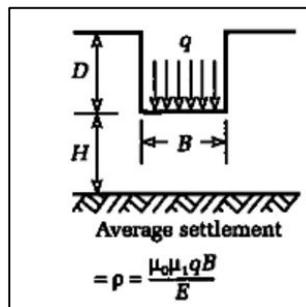
- a) Para construcciones aisladas 30 cm, siempre y cuando no se afecten la funcionalidad de conducciones de servicios y accesos a la construcción.
- b) Para construcciones entre medianeros 15 cm, siempre y cuando no se afecten las construcciones e instalaciones vecinas.

Los asentamientos totales son la suma de asentamientos inmediatos, por consolidación y secundarios, cuando estos últimos son importantes.

a. Análisis de asentamientos inmediatos durante la etapa de Precompresión

Material Arcilloso

Para el cálculo de los asentamientos inmediatos promedios en suelos arcillosos saturados, se empleó la teoría planteada por Janbu et al (1956).



$$s_e = \mu_1 * \mu_2 \frac{B q_n}{E_s}$$

Dónde:

q_n = Intensidad de la presión de contacto

B = Mínima dimensión del área efectiva.

E = Modulo elásticos del terreno.

En la anterior ecuación se asume que la relación de Poisson es $\mu=0.5$. Los factores μ_1 y μ_2 están relacionados con la profundidad de desplante de la cimentación D_f , el espesor H del estrato compresible y la relación largo y ancho L/B .

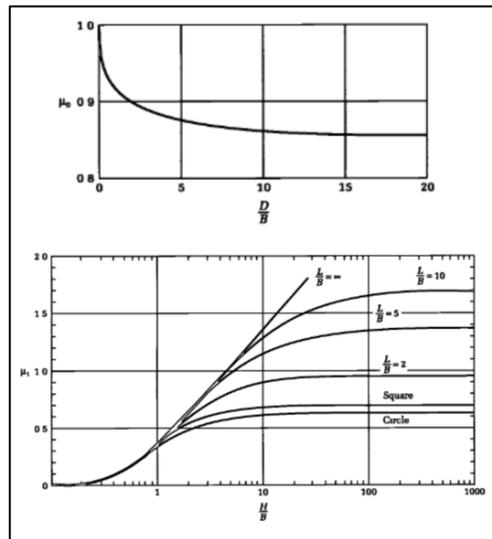


Figura 4. Factores para cálculo del asentamiento inmediato promedio de un área cargada en arcillas saturadas.

En la siguiente tabla se describen los parámetros empleados para la estimación de los asentamientos elásticos o inmediatos en el terreno al momento de conformar el relleno para el proceso de Precompresión.

Tabla 4. Parámetro de cálculo de asentamiento elásticos para escenario de conformación del relleno.

MATERIAL	TIPO DE SUELO	PROFUNDIDAD (m)		H (m)	H/B	γ_{hum} (kN/m ³)	E (MPa)	μ_0	μ_1
		desde	hasta						
LIMO DE ALTA PLASTICIDAD DE CONSISTENCIA BLANDA	COHESIVO	0.00	10.00	10.00	0.67	18	5	0.97	0.2
LIMO DE PLASTICIDAD MEDIA DE CONSISTENCIA FIRME	COHESIVO	10.00	20.00	10.00	0.67	18	15	0.97	0.2

CONCEPTO GEOTECNICO

PROFUNDIDAD (m)	PROF. MEDIA (m)	s_v (kPa)	u (kPa)	s'_v (kPa)	P (kPa)	P_0 (kPa)	E (MPa)	Tipo de suelo	C_1 / μ_0	C_2 / μ_1	% DE CAPA (ARCILLA)	DH _i (m)	DH _{acumulada} (cm)	z/B
-6.00	5.50	108.00	60.00	48.00	24.97	9	5	COHESIVO	0.97	0.20	10%	0.03		0
-6.50					24.73									
-7.00	6.50	126.00	70.00	56.00	24.47	9	5	COHESIVO	0.97	0.20	10%	0.03		0
-7.50					24.18									
-8.00	7.50	144.00	80.00	64.00	23.86	9	5	COHESIVO	0.97	0.20	10%	0.03		0
-8.50					23.53									
-9.00	8.50	162.00	90.00	72.00	23.18	9	5	COHESIVO	0.97	0.20	10%	0.03		0
-9.50					22.81									
-10.00	9.50	180.00	100.00	80.00	22.43	9	5	COHESIVO	0.97	0.2	10%	0.03		0
-10.50					22.03									
-11.00	10.50	198.00	110.00	88.00	21.63	9	15	COHESIVO	0.97	0.2	10%	0.01		0

CONCEPTO GEOTECNICO

PROFUNDIDAD (m)	PROF. MEDIA (m)	s_v (kPa)	u (kPa)	s'_v (kPa)	P (kPa)	P_0 (kPa)	E (MPa)	Tipo de suelo	C_1 / μ_0	C_2 / μ_1	% DE CAPA (ARCILLA)	DH_i (m)	$DH_{acumulada}$ (cm)	z/B
-17.00	16.50	306.00	170.00	136.00	16.56	9	15	COHESIVO	0.97	0.2	10%	0.01		1
-17.50					16.16									
-18.00	17.50	324.00	180.00	144.00	15.77	9	15	COHESIVO	0.97	0.2	10%	0.01		1
-18.50					15.38									
-19.00	18.50	342.00	190.00	152.00	15.00	9	15	COHESIVO	0.97	0.2	10%	0.01		1
-19.50					14.63									
-20.00	19.50	360.00	200.00	160.00	14.27	9	15	COHESIVO	0.97	0.2	10%	0.01		1
-20.50					13.92									

ASENTAMIENTO TOTAL (cm)	36.00
-------------------------	-------

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (U)	1
------------------------------	---

ASENTAMIENTO TOTAL ESPERADO (cm)	36.00
----------------------------------	-------

De acuerdo con los cálculos resumidos en la tabla anterior, se espera que la estructura presente unos asentamientos inmediatos promedio de 36.0 cm.

b. Análisis de asentamientos por consolidación durante la etapa de Precompresión

El asentamiento por consolidación está relacionado con el cambio en el volumen en los suelos saturados cohesivos a raíz de la expulsión de agua de los poros y son ocupados por el aire. Como el asentamiento está relacionado al cambio en la presión de poros primero se calcula la relación de vacíos del suelo. Los valores de relación de vacíos (e_0) se determinaron con base en los valores de gravedad específica (Gs), contenido de humedad (w) y se asumió un valor de saturación del 100% (S):

Para el cálculo de cambio de vacíos se tiene la siguiente ecuación:

$$S_c = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} * H$$

Donde:

S_c : asentamiento por consolidación.

Δe : cambio en la relación de vacíos

e_0 : relación de vacíos inicial del suelo.

H: espesor de la capa de suelo analizada.

El cambio total de la relación de vacíos es calculado con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta e = C_c * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \quad (\text{para arcillas normalmente consolidadas})$$

$$\Delta e = C_r * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \quad (\text{para arcillas normalmente sobreconsolidadas con } \sigma'_0 + \Delta\sigma < \sigma'_c)$$

$$\Delta e = C_r * \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + C_c * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \quad (\text{para arcillas normalmente sobreconsolidadas con } \sigma'_0 + \Delta\sigma > \sigma'_c)$$

Donde:

C_c : coeficiente de compresión del suelo.

C_r : coeficiente de recompresión del suelo.

σ'_0 : esfuerzo efectivo del suelo

$\Delta\sigma$: incremento de esfuerzo por la imposición de la carga.

σ'_c : esfuerzo de preconsolidación.

A continuación, se presentan los análisis de los resultados de los asentamientos por consolidación:

PROFUNDIDAD (m)	PROF. MEDIA (m)	s_v (kPa)	u (kPa)	s'_v (kPa)	$\Delta\sigma_v$ (kPa)	C_c	C_r	σ'_{vm} (kPa)	e_0	OCR	μ_g	S_c (cm)	$DH_{acumulado}$ (cm)	z/B
-5.50	5.50	99.00	55.00	44.00	24.97	0.28	0.00	44	0.84	1.0	1.0	2.97	37.20	4
-6.00					24.73									
-6.50	6.50	117.00	65.00	52.00	24.47	0.28	0.00	52	0.84	1.0	1.0	2.55	39.75	4
-7.00					24.18									
-7.50	7.50	135.00	75.00	60.00	23.86	0.28	0.00	60	0.84	1.0	1.0	2.21	41.96	5
-8.00					23.53									
-8.50	8.50	153.00	85.00	68.00	23.18	0.28	0.00	68	0.84	1.0	1.0	1.94	43.90	6
-9.00					22.81									
-9.50	9.50	171.00	95.00	76.00	22.43	0.28	0.00	76	0.84	1.0	1.0	1.71	45.61	6
-10.00					22.03									
-10.50	10.50	189.00	105.00	84.00	21.63	0.14	0.00	84	0.6	1.0	1.0	0.87	46.48	7

CONCEPTO GEOTECNICO

PROFUNDIDAD (m)	PROF. MEDIA (m)	s_v (kPa)	u (kPa)	s'_v (kPa)	$\Delta\sigma_v$ (kPa)	C_c	C_r	σ'_{vm} (kPa)	e_0	OCR	μ_g	S_c (cm)	$DH_{acumulado}$ (cm)	z/B
-16.50	16.50	297.00	165.00	132.00	16.56	0.14	0.00	132	0.6	1.0	1.0	0.45	50.07	11
-17.00					16.16									
-17.50	17.50	315.00	175.00	140.00	15.77	0.14	0.00	140	0.6	1.0	1.0	0.41	50.47	12
-18.00					15.38									
-18.50	18.50	333.00	185.00	148.00	15.00	0.14	0.00	148	0.6	1.0	1.0	0.37	50.84	12
-19.00					14.63									
-19.50	19.50	351.00	195.00	156.00	14.27	0.14	0.00	156	0.6	1.0	1.0	0.33	51.17	13
-20.00					13.92									

ASENTAMIENTO TOTAL (cm)	51.00
-------------------------	-------

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (U)	1
------------------------------	---

ASENTAMIENTO TOTAL ESPERADO (cm)	51.00
----------------------------------	-------

De acuerdo a los cálculos resumidos en la tabla anterior, se espera que al ocurrir aproximadamente en 100% de la consolidación del suelo se presenten unos asentamientos promedio de 51.0 cm. Con el fin de establecer los asentamientos que ocurrirán dentro del periodo de precompresión del terreno, se realizó el cálculo de acuerdo con el modelo de consolidación de Terzagui donde se tienen los siguientes supuestos

- Material en la muestra es uniforme
- Partículas sólida y moléculas de agua son incompresible
- Flujo e deformación unidimensional
- Espacio poroso todo saturado
- Permeabilidad constante en todas las direcciones
- Compresibilidad lineal del suelo

Para determinar el tiempo se calcula el coeficiente de consolidación que está relacionado inversamente a la compresibilidad y directamente a la permeabilidad del medio poroso.

Dimensionalmente C_v este expresado como $[m^2/s]$

$$C_v = \frac{K * (1 + e)}{C_c H^2 \gamma_w}$$

Donde la permeabilidad K para arcillas se tomó un valor de 1×10^{-6} m/s.

Adicionalmente se debe calcular el factor tiempo adimensional y la relación con el asentamiento en el tiempo mediante las siguientes expresiones:

$$T_v = \frac{C_v t}{d^2}$$

Donde:

d es la distancia máxima de drenaje (o recorrido máximo de escape por el agua) y t el tiempo de consolidación.

Teniendo en cuenta lo anterior se presenta el cálculo del asentamiento por consolidación que se presentará durante la preconsolidación del terreno propuesta.

Tabla 7. Asentamientos por consolidación en el tiempo de preconsolidación del relleno.

H_c	20.00	m
Drenaje	SIMPLE	-
H_{DR}	20.00	m
C_v	0.667	m ² /mes
t	1.00	años
T_v	0.02	-
U	16.00	%
Asentamiento U= 100 % consolidación	51.00	cm
Asentamiento U= 16 % consolidación	8.00	cm

Asentamiento (%)	Asentamiento (Cm)	Tv	Tiempo (meses)	Tiempo (años)
10%	5.10	0.00785	5	0.4
15%	7.65	0.01767	11	0.9
20%	10.20	0.03142	19	1.6
25%	12.75	0.04909	29	2.4
30%	15.30	0.07069	42	3.5
35%	17.85	0.09621	58	4.8
40%	20.40	0.12566	75	6.3
45%	22.95	0.15904	95	7.9
50%	25.50	0.19635	118	9.8
55%	28.05	0.23758	143	11.9
60%	30.60	0.28628	172	14.3
65%	33.15	0.34038	204	17
70%	35.70	0.40285	242	20.2
75%	38.25	0.47672	286	23.8
80%	40.80	0.56714	340	28.3
85%	43.35	0.68371	410	34.2
90%	45.90	0.84800	509	42.4

Para el espesor recomendado de 1,30 m de relleno inicial recomendado, el asentamiento máximo por consolidación teórico esperado es de 8,00 cm durante el periodo de precompresión.

c. Asentamiento total durante la etapa de Precompresión

De acuerdo con los cálculos resumidos en la tabla anterior, se espera que la estructura presente unos asentamientos totales de 44,0 cm.

Tabla 8. Asentamiento total esperado durante la etapa de Precompresión.

Se	36,0	cm
Sc	8,00	cm
S_{total}	44.0	cm

10.5. ASENTAMIENTOS EN LA ETAPA DE DESCARGA

Posterior a los 12 meses especificados para la etapa de precompresión del terreno, se debe realizar una descarga del terreno. Esta descarga se debe asignar de acuerdo con la profundidad de desplante de la cimentación de las viviendas proyectadas (0,50 m).

La descarga del terreno se fundamenta en la conformación de material de relleno compacto, con el fin de minimizar el asentamiento posterior a la compresión impuesta por las cargas asociadas a las viviendas proyectadas. Esta teoría de descarga posterior a la precompresión se basa en la teoría de las cimentaciones compensadas, dado que el incremento en la presión neta en el suelo a cualquier profundidad es relativamente uniforme y no supera la carga impuesta en la etapa de precompresión. Considerando como carga de Precompresión 26 kPa.

Los asentamientos por consolidación para la etapa de descarga se estimaron en el software Geo5 Versión 2017. Estos análisis básicamente se dividieron en tres etapas:

- Fase de equilibrio geostático del modelo.
- Fase de conformación de relleno de precompresión.
- Fase de descarga para cimentación de viviendas.

Fase 1

La fase 1 corresponde al modelo geostático del modelo donde los asentamientos se calibraron a nullos (cero), esto refleja la condición inicial del terreno.

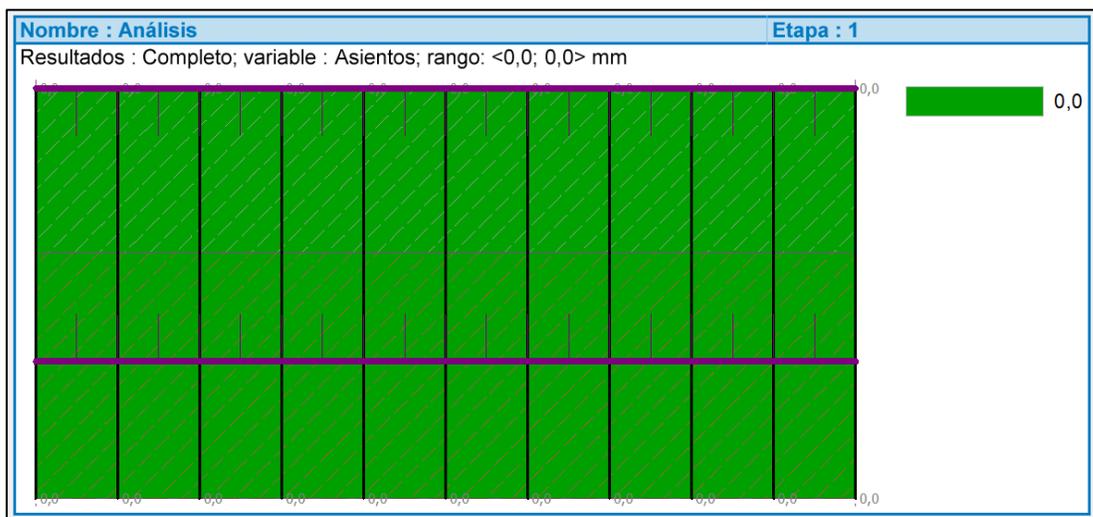


Figura 5. Fase 1. Calibración geostática del modelo.

Fase 2

Corresponde al análisis de asentamientos por consolidación al conformar el relleno para la carga de precompresión, la cual estará impuesta en el terreno durante un periodo no menor a 12 meses. Los asentamientos en esta fase arrojan un valor de 7,89 cm, ajustándose muy bien a los obtenidos analíticamente, los cuales arrojaron resultados de 8,00 cm de asentamientos por consolidación en 12 meses.

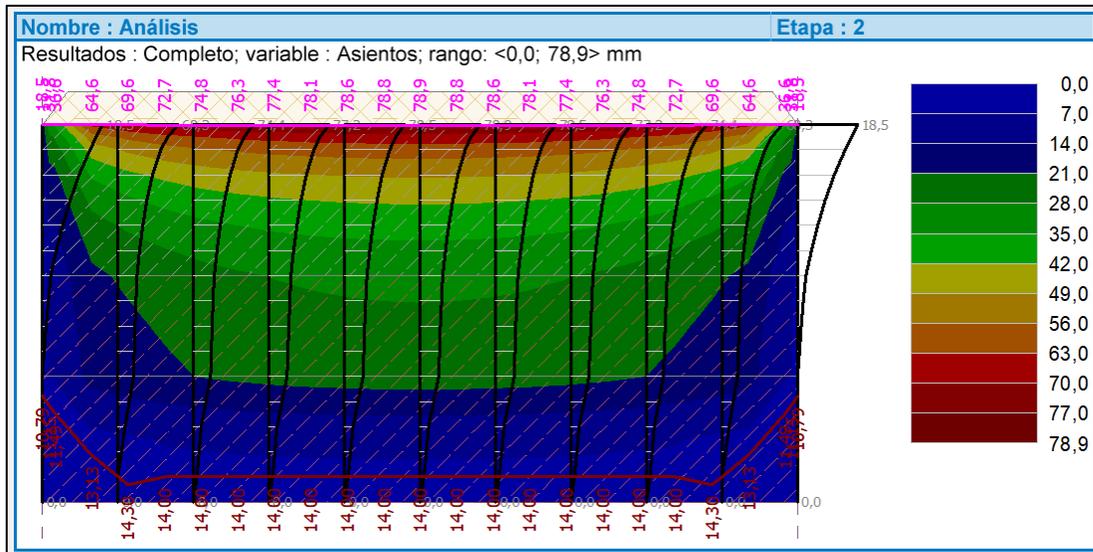


Figura 6. Fase 2. Cálculos de asentamientos por consolidación al conformar el relleno para precarga.

Fase 3

La Fase 3 consiste básicamente en la estimación del asentamiento del terreno por consolidación al imponer la carga de las viviendas proyectadas. Para este caso se consideró un escenario de análisis conservador donde se considera que se retiran 0,50 m del relleno, es decir, el relleno no se retira por completo. Este criterio de diseño se adopta, considerando que la profundidad de desplante de cimentación de viviendas se recomienda a 0,5 m desde la superficie del relleno.

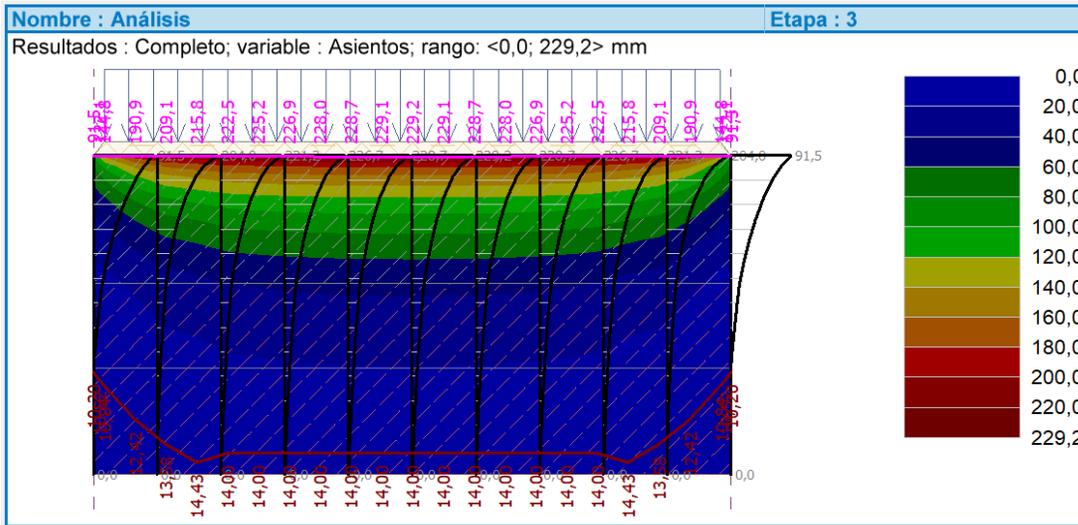


Figura 7. Cálculos de asentamientos por consolidación descargar 0,50 m de espesor del material de relleno.

Como resultado de estos análisis mencionados anteriormente, los asentamientos esperados por consolidación para un periodo de 20 años se estiman en 23,0 cm. En la gráfica que se presenta a continuación, se muestra la evolución del porcentaje de consolidación (asentamiento) contra el tiempo.

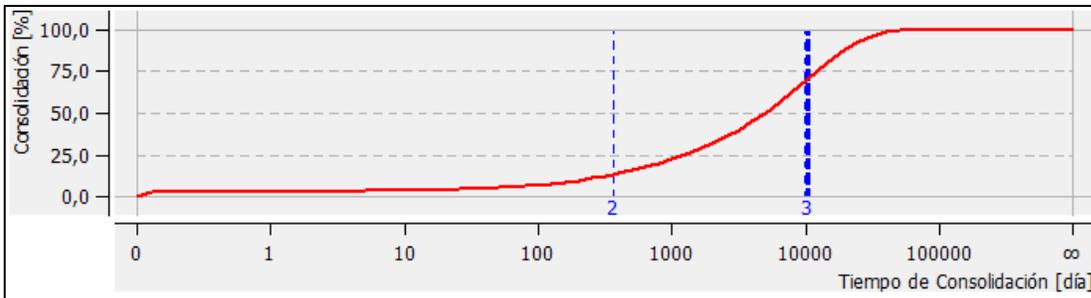


Figura 8. Evolución del porcentaje de consolidación en el tiempo.

Asentamientos totales posterior a la construcción de las viviendas

De acuerdo con los cálculos resumidos en la tabla anterior, se espera que la estructura presente unos asentamientos totales de 29,0 cm.

Tabla 9. Asentamiento total esperado durante la etapa de Precompresión.

S_e	23,0	cm
S_c	6,00	cm
S_{total}	29,0	cm

10.5. ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DEL ESPESOR DEL RELLENO

A continuación, se exponen los cálculos relativos a la alternativa de reducir el espesor del relleno a 1 metro para los trabajos de Precompresión. Esta propuesta, diseñada con el objetivo de optimizar el proyecto, no solo implica una modificación en la estructura física, sino también una extensión del período de monitoreo de 12 a 15 meses.

La decisión de reducir el espesor del relleno se sustenta en un análisis técnico detallado que garantiza la seguridad y estabilidad de las obras proyectadas. No obstante, esta modificación viene acompañada de una prolongación en el tiempo de monitoreo para asegurar una evaluación de la nueva configuración. La extensión a 15 meses permitirá una observación más completa de los efectos a largo plazo, brindando un margen adicional para recopilar datos relevantes y ajustar estrategias, si es necesario.

Tabla 10. Parámetros de cálculo del facto T_v .

Hc	10.00	m
Drenaje	SIMPLE	-
H_{DR}	5.00	m
C_v	0.667	m ² /mes
t₂	15.00	meses
T_v	0.40	-

De acuerdo con la Figura 9 para $T_v=0,32$, el valor de U es de 50%.

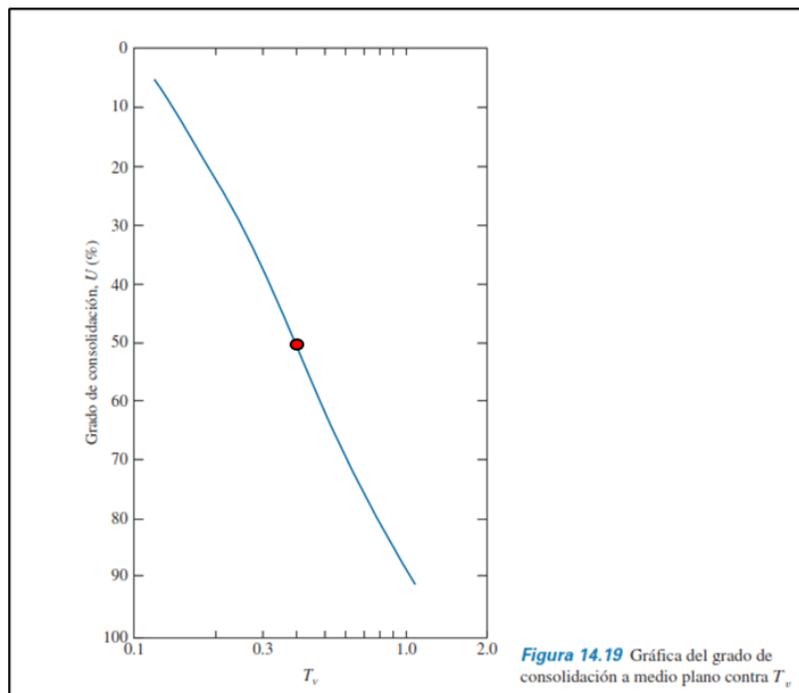


Figura 9. Gráfica del grado de consolidación a medio plano contra T_v . Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Braja Das, 2015.

Al definir el grado de consolidación que alcanza el estrato de limo de alta plasticidad (MH), el tiempo durante el cual ocurrirá dicha consolidación, es posible estimar la relación $\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$ de acuerdo al gráfico presentado en la Figura 10.

Tabla 11. Parámetros para estimación de la altura del relleno.

U	50.00	%
$\Delta\sigma'_p$	10.00	kPa
σ'_o	40.00	kPa
$\Delta\sigma'_p / \sigma'_o$	0.25	-
$\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$	1.00	-
$\Delta\sigma'_{(f)}$	10.00	kPa
$\Delta\sigma'_{(p)} + \Delta\sigma'_{(f)}$	20.00	kPa
H _{relleno}	1.00	m

De acuerdo a la siguiente figura la relación $\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$ corresponde a 1,00, y considerando un relleno con un peso específico de 20 kN/m³, la altura del relleno recomendada corresponde a 1,0 m de la superficie del terreno actual.

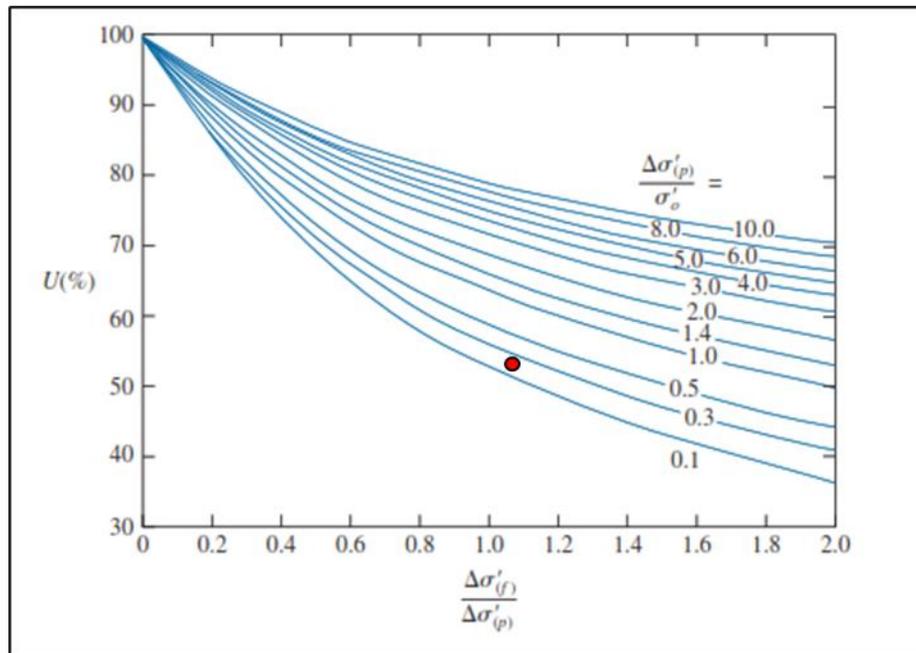


Figura 10. Grafica de U contra $\Delta\sigma'_{(p)} + \Delta\sigma'_{(f)}$ para varios valores de $\Delta\sigma'_{(f)} / \Delta\sigma'_{(p)}$.

Asentamiento total durante la etapa de Precompresión

De acuerdo con los cálculos resumidos en la tabla anterior, se espera que la estructura presente unos asentamientos totales de 32,0 cm.

Tabla 12. Asentamiento total esperado durante la etapa de Precompresión.

Se	28,0	cm
Sc	5,00	cm
S_{total}	32.0	cm

Asentamientos totales posterior a la construcción de las viviendas

De acuerdo con los cálculos resumidos en la tabla anterior, se espera que la estructura presente unos asentamientos totales de 28,0 cm.

Tabla 13. Asentamiento total esperado durante la etapa de Precompresión.

Se	22,0	cm
Sc	6,00	cm
S_{total}	28,0	cm

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

La capacidad de carga admisible para cimentación de viviendas de un nivel de altura, una vez realizado el relleno recomendado con monitoreo de 12 meses se puede estimar con la siguiente ecuación:

En el diseño la cimentación se consideran los estados límite de falla del suelo de soporte y de los elementos estructurales de la cimentación y los estados límites de servicio. De acuerdo con el numeral H.4.2.3 de la NSR-10, la capacidad admisible de diseño para la cimentación deberá ser el menor valor entre el esfuerzo límite de falla (véase H.4.2.1, NSR-10), reducido por el factor de seguridad, y el que produzca asentamientos iguales a los máximos permitidos (véase H.4.8, NSR-10).

9.3.1 Estados límites de Falla

Inicialmente se revisó la capacidad de carga por resistencia al corte del suelo en su condición actual. Debido a las propiedades de los materiales encontrados en las capas más superficiales en el sitio y a las características de las cargas aplicadas, la capacidad portante deberá revisarse por medio del criterio de cimientos superficiales apoyados sobre suelos cohesivos en una condición no drenada. Lo anterior debido a que esta representa la condición crítica de resistencia ante la aplicación de esfuerzos cortantes. Estos análisis se hicieron considerando la teoría de Skempton (1951) para el cálculo de capacidad de carga en suelos cohesivos saturados.

$$q_{ult} = S_u * N_c + \gamma_t * D_f$$

Donde:

S_U: cohesión no drenada del suelo de fundación.

N_c : factor de capacidad de carga.

γ_t : peso unitario total del suelo.

D_f : profundidad de desplante de la cimentación.

Para definir los valores de N_c Skempton determino que el aumento de este factor está condicionado con el aumento de la profundidad de cimentación hasta llegar a un límite con base en la relación D_f/B . A continuación, en la siguiente figura se muestra la variación de este factor para cimentaciones circulares y cuadradas.

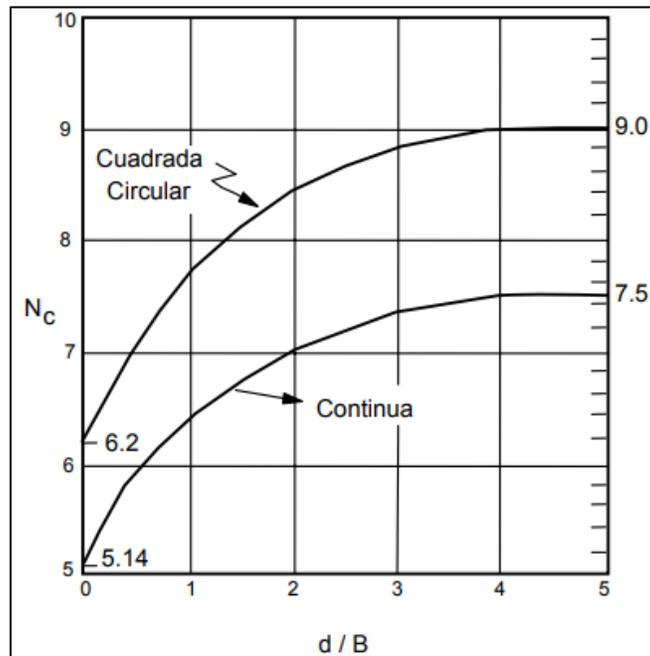


Figura 11. Variación del factor N_c para cimentaciones circulares y cuadradas.

Para cimentaciones rectangulares, Skempton definió la siguiente ecuación:

$$\frac{N_c(\text{rectangular})}{N_c(\text{cuadrado})} = 0.84 + 0.16 * \frac{B}{L}$$

Donde:

B: ancho de la cimentación.

L: Largo de la cimentación.

Los análisis de capacidad portante por resistencia al corte del suelo en su condición actual se resumen en la tabla 10. Capacidad de carga ultima y admisible para cimentación corrida $L/B > 5-10$ y profundidad de desplante $D_f = 0.5$

Tabla 14. Capacidad de carga ultima y admisible para cimentación con viga corrida de ancho B: 0.5-1.0 y profundidad de desplante $D_f=0.5$ m.

DATOS DE SALIDA							
ANCHO DE LA BASE	B (m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
LONGITUD DE LA BASE	L (m)	5	5	5	5	5	5
ANCHO DE LA BASE CORREGIDO	B' (m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
LARGO DE LA BASE CORREGIDO	L' (m)	5	5	5	5	5	5
RELACIÓN DE FORMA PARA FACTOR N_c	T/B	12.00	10.00	8.57	7.50	6.67	6.00
FACTOR ADIMENSIONAL DEPENDIENTE DE ϕ Y GEOMETRÍA - NAVFAC	N_c	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53
CAPACIDAD PORTANTE ULTIMA - NAVFAC	q_{ult} (kPa)	174.4	175.4	176.4	177.4	178.4	179.4
RELACIÓN DE PROFUNDIDAD PARA CÁLCULO DE N_c	D/B	1.00	0.83	0.71	0.63	0.56	0.50
FACTOR ADIMENSIONAL DEPENDIENTE DE ϕ Y GEOMETRÍA - SKEMPTON	N_c	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
CAPACIDAD PORTANTE ULTIMA - SKEMPTON	q_{ult} (kPa)	162.58	158.16	158.73	159.31	159.88	160.46
CAPACIDAD PORTANTE ÚLTIMA NO DRENADA	q_{ult} (kPa)	162.6	158.2	158.7	159.3	159.9	160.5
CAPACIDAD ADMISIBLE PARA FS=3	q_{adm} (kPa)	54.2	52.7	52.9	53.1	53.3	53.5

Basándonos en los resultados expuestos en la tabla anterior, la capacidad de carga admisible del suelo, con un factor de seguridad de 3, se estima en aproximadamente 50 kPa (equivalente a 5 ton/m²). No obstante, para asegurar los niveles de asentamiento detallados en los capítulos precedentes, se ha establecido un límite en la capacidad de carga admisible del suelo, fijándolo en 3 ton/m². Esta medida se implementa con el propósito de garantizar el estado límite de servicio de la estructura y prevenir asentamientos que excedan los valores calculados.

RECOMENDACIONES

RELLENO DE MATERIAL SELECCIONADO

Para la construcción del relleno se recomienda material granular seleccionado tipo INVIAS

Tabla 15. Requisitos de los materiales para terraplenes.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Partes del terraplén a las que se aplican		Todas	Todas	Cimiento y Núcleo
Tamaño máximo, mm	E-123	75	100	150
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) en masa, máximo	E-123	80	80	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200) en masa, máximo	E-123	25	35	35
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	E-121	0	1.0	1.0
Límite líquido, máximo (%)	E-125	30	40	40
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	10	15	-
CBR de laboratorio, mínimo (%) (Nota 1)	E-148	10	5	3
Expansión en prueba CBR, máximo (%)	E-148	0.0	2.0	2.0
Índice de colapso, máximo (%) (Nota 2)	E-157	2.0	2.0	2.0
Contenido de sales Solubles, máximo (%)	E-158	0.2	0.2	-

1. Fuente: Especificación INVIAS, Terraplenes Artículo 220-13.

Para el proceso de conformación del terraplén se recomienda:

1. Realizar el descapote de mínimo 30cm de espesor o retirar todo el material orgánico o contaminado con materia orgánica.
2. Compactar el material del fondo de excavación
3. Construir la red de filtros paralelos con dirección a la fuente hídrica más cercana como está estipulado en el estudio geotécnico inicial.
4. Colocar capas de máximo 30cm de espesor hasta alcanzar la cota de final de relleno.
5. en zonas de proyección de vías o donde se presenten hundimientos o fallos se recomienda realizar mejoramiento con crudo de rio y geotextil, antes de iniciar el relleno con material seleccionado.

Durante la compactación se recomienda realizar el control de calidad en la compactación y garantizar un relleno granular compacto, mediante la toma densidades en campo, se recomienda tomar 3 densidades por cada 2000m² en cada capa para.

Todas las capas de remplazo deberán ser compactadas hasta alcanzar una densidad mínima del 95% de la densidad máxima del material, determinada en laboratorio mediante el ensayo Proctor modificado INV E 142-13.

Antes de la etapa de desarrollo del proyecto (Estructuras de un nivel de altura) se recomienda realizar el monitorio previo recomendado del relleno con el objetivo de garantizar la consolidación inicial del terreno, y se recomienda verificar las condiciones geotécnicas del suelo mediante sondeos y ensayos de laboratorio para definir la profundidad final de desplanté y tipo de cimentación.



Ing. Neyer Bareño León
Esp. En Geotecnia
Mat: 68202180667