



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Consejo Departamental de La Libertad

**MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE
CARGA DEL SUELO USANDO EL SISTEMA
DE GEOCELDAS PARA EL PATIO DE
ALMACENAMIENTO DE MINERALES DE
IMPALA - PERÚ**

Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado
www.jorgealvahurtado.com



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

INTRODUCCIÓN

El año 2011, **Impala Terminales Perú** comenzó a implementar la expansión y modernización de los almacenes del Callao, con la finalidad de mejorar la capacidad de trabajo y cumplir con los estándares internacionales de calidad. Una parte de esta expansión se produjo en los almacenes de Cormin II y Toromocho, los que en estudios de suelos iniciales presentaron materiales de muy baja capacidad de carga y nivel freático alto debido a la proximidad del Océano Pacífico.



PACIFIC OCEAN

IMPALA

CALLAO

BELLAVISTA

LA PERLA

Google earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2016 DigitalGlobe
Image © 2016 TerraMetrics
Image © 2016 DigitalGlobe

Fechas de imágenes: 2/13/2016 18 L 267674 90 m E 8666728 44 m S elevación 10 m alt. ojo 8.13 km

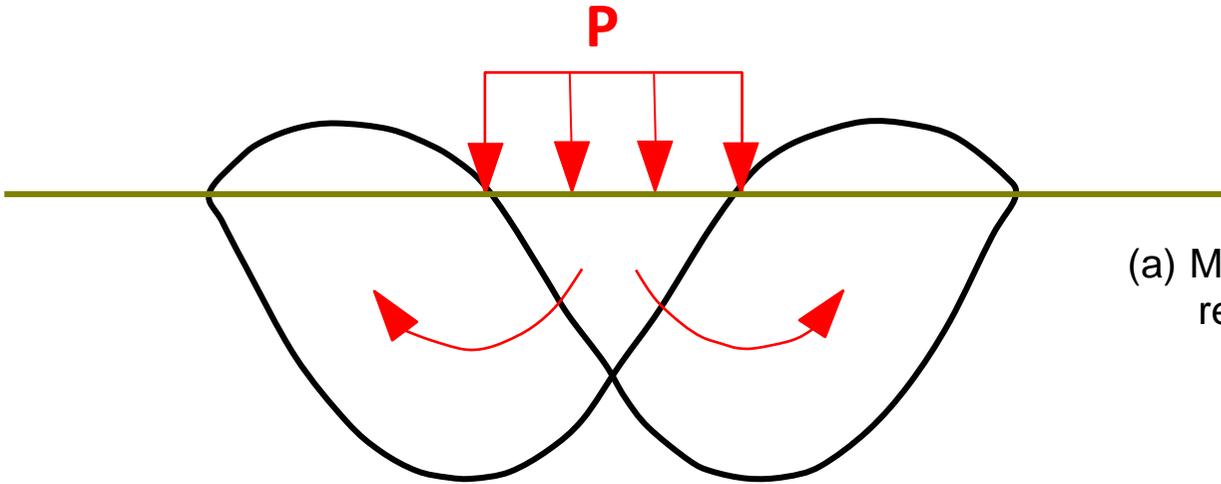
Localización del Área de Trabajo

- Inicialmente, fue considerada la necesidad de reemplazar grandes volúmenes de material y aumentar moderadamente las dimensiones de la cimentación, para encontrar un balance entre las cargas transmitidas por la estructura y los minerales almacenados con la capacidad de carga del suelo, minimizando los esfuerzos transmitidos y mejorando las condiciones de trabajo.
- El principal problema ocurrió con el almacén Cormin II y la faja transportadora de materiales, debido a la presencia de materiales de pobre calidad (limos arcillosos). El volumen de trabajo fue muy alto debido a las áreas grandes.

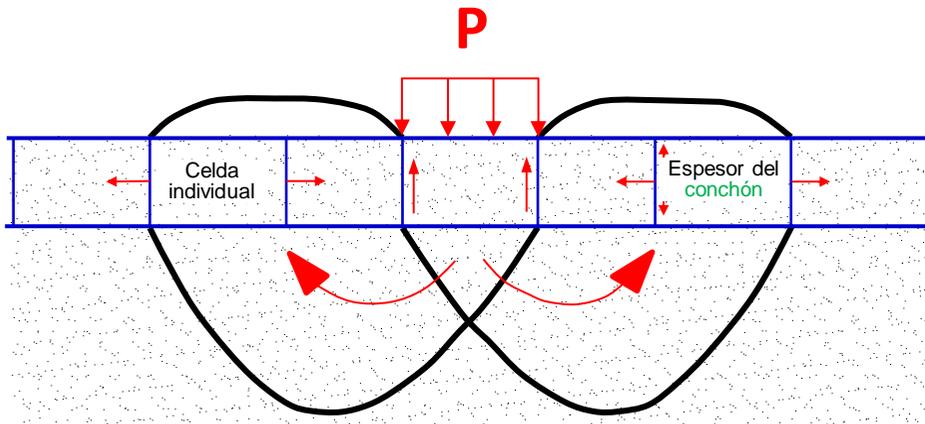
- Las soluciones convencionales resultaron costosas y tomaban mucho tiempo, por tal motivo fue ideal encontrar propuestas nuevas, rentables y que respondieran a las necesidades del proyecto.
- Entre estas nuevas alternativas se encuentran los materiales geosintéticos, los que aplicados a la ingeniería tradicional, proporcionan resultados muy favorables.



- Uno de estos materiales es la geocelda para soporte de cargas , implementada para mejorar los terrenos de baja capacidad portante, mejorando el comportamiento mecánico del suelo que contienen y redistribuyendo las cargas de manera mas eficiente.
- Como resultado de estos efectos, se observa la reducción de los asentamientos y el aumento de la capacidad de carga admisible del terreno.

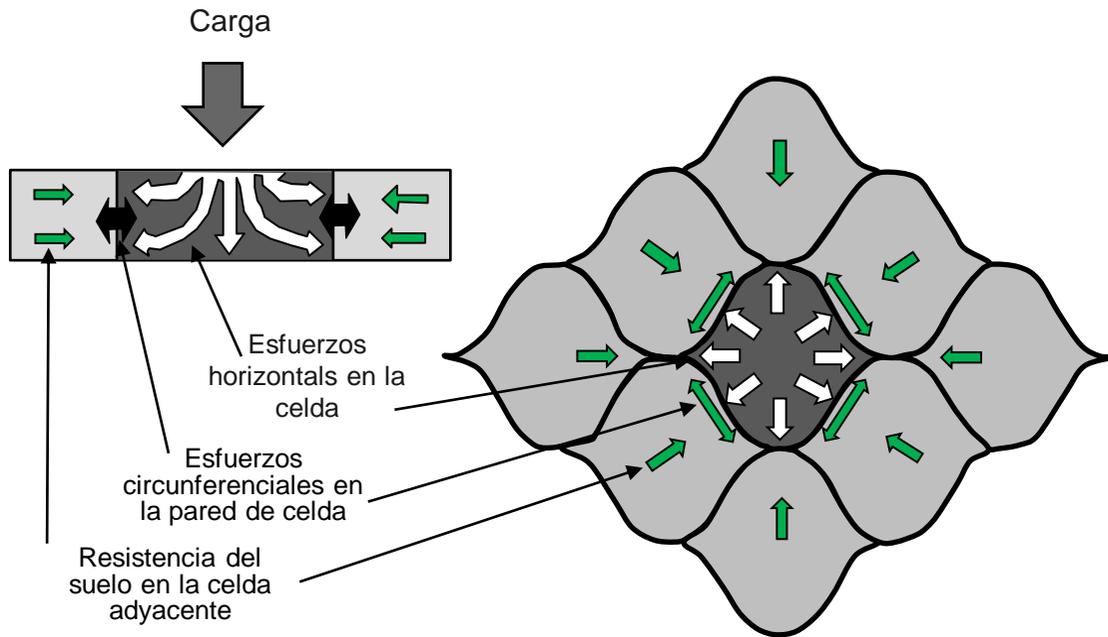


(a) Mecanismos de falla para terreno normal sin refuerzo.



(b) Mecanismos de falla para terreno reforzado con sistema de geoceldas.

En su libro “Diseño de Geosintéticos”, Koerner (2005) sugiere que la contribución del sistema de geoceldas en una cimentación está dada por la Eq. 1, incluida en la ecuación de capacidad de carga planteada por Terzaghi, de acuerdo a la Eq 2.



$$\tau = \sigma_h \tan \delta \quad \dots \text{Eq. 1}$$

$$q_d = 2\tau + cN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad \dots \text{Eq. 2}$$

Donde:

σ_h = Esfuerzo horizontal medio en la geocelda

δ = Angulo de interacción entre las paredes de la geocelda y el material de relleno

Mecanismo de refuerzo de la geocelda

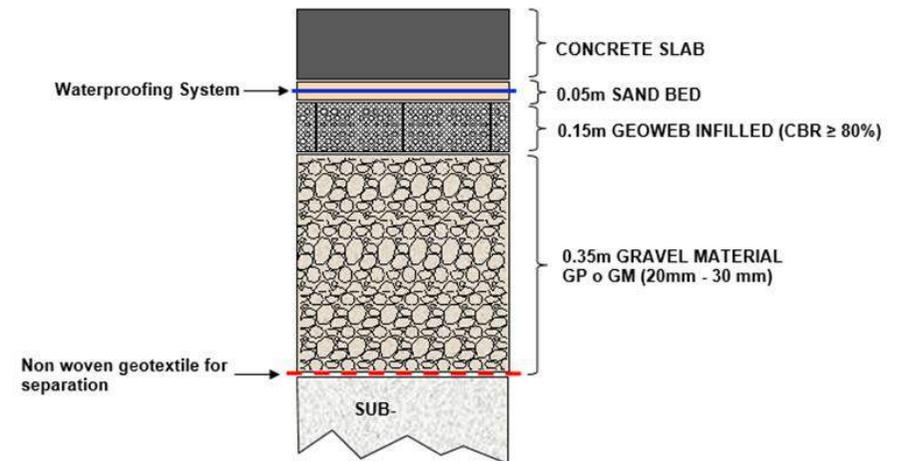
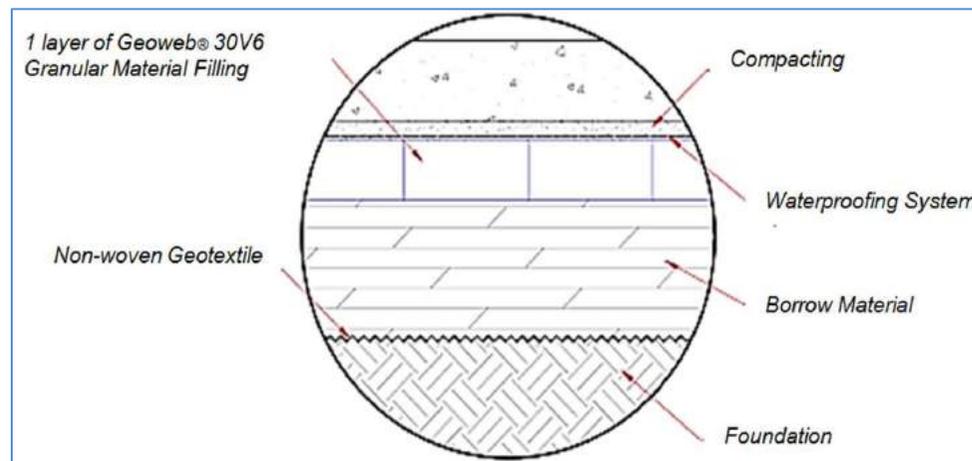
SOLUCIÓN PROPUESTA

La propuesta fue dividida en dos áreas:

- Cimentación de losas de los patios de almacenamiento
- Cimentación de las paredes de los almacenes. Esta última también fue utilizada para la cimentación del tren de carga que suministra la faja transportadora.

LOSAS DEL PATIO DE ALMACENAMIENTO

La primera propuesta estaba destinada a mejorar la capacidad admisible del terreno natural desde 100 kPa a 340 kPa de carga distribuida, a la profundidad más baja posible. Esto se logró con una (1) capa de geoceldas de 150 mm de espesor y un relleno adicional de material de base de 350 mm. Asimismo, una capa de 50 mm de material compactado fue colocada en la parte superior de la geocelda.



Refuerzo usado para la Cimentación de las Losas del Patio de Almacenamiento

GEOWEB Load Support Design

Project: **THE SLABS OF THE STORAGE YARDS**

γ_1 (KN/m³) = 17.00 $\beta^e = 0.00$ Water table SI
 γ_2 (KN/m³) = 17.00 F.S. = 3.00 Prof.W.T. (m) = 1.00
 $\phi^e = 0.00$ γ_{sat} (KN/m³) = 17.00 KN/m³
 C (KN/m²) = 95.00 (PDC-6)

Terzagui y Peck (1967) / Vesic (1973)

$$q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} + 0.5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s}$$

Df (m)	B (m)	L (m)	q (KN/m ²) (sobrecarga)	Loads Factors			Shape factors			qu (KN/m ²)	qa (KN/m ²)
				Nc	Nq	N γ	Fcs	Fqs	F γs		
0.50	1.00	1.00	6.05	5.14	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	494.50	164.83
1.00	1.00	1.00	17.00	5.14	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	505.45	168.48
1.50	1.00	1.00	20.60	5.14	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	509.05	169.68

New capacity increased by Geoweb.

$$q_{GWB} = q_U + \sigma_r$$

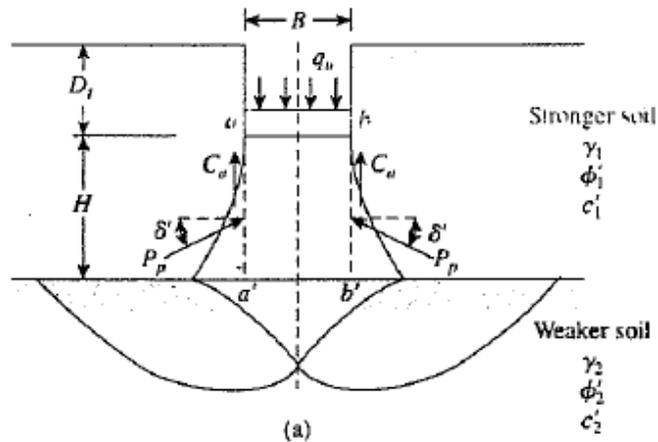
$$\sigma_r = C_{GWB} + 2 \left(\frac{H}{D} \right) \sigma_{avg} \tan \delta$$

$\phi = 30^\circ$ Soil compacted at least at 95% o Maximun Density according to modify Proctor test. A CBR=80% expected.
 $r = 0.90$ Indentations (Textured surface) and Perforated Geoweb interaction benefit for shear transfer.
 $H = 0.30$ m Cell Height
 $D = 0.28$ m Cell Diameter estimation for GW30V model.
 $C_{gwb} = 100.00$ KN/m² Pseudo cohesion - cell filled with granular material

Df (m)	qu (KN/m ²)	σ_r (KN/m ²)	q _{GWB} (KN/m ²)	q _{adm} (KN/m ²)
0.50	494.50	160.56	655.06	218.35
1.00	505.45	160.56	666.01	222.00
1.50	509.05	160.56	669.61	223.20

CAPACIDAD DE CARGA DE SUELOS ESTRATIFICADOS

Stronger Soil Underlain by Weaker Soil (Meyerhof y Hanna 1978)



where

B = width of the foundation

C_a = adhesive force

P_p = passive force per unit length of the faces aa' and bb'

q_b = bearing capacity of the bottom soil layer

δ' = inclination of the passive force P_p with the horizontal

$F_{cs(1)}, F_{qs(1)}, F_{\gamma s(1)}$ = shape factors with respect to top soil layer

$F_{cs(2)}, F_{qs(2)}, F_{\gamma s(2)}$ = shape factors with respect to bottom soil layer

$$q_u = q_b + \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{2c_a H}{B}\right) + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \left(\frac{K_s \tan \phi_1}{B}\right) - \gamma_1 H \leq q_t$$

Where

$$q_b = c_2 N_{c(2)} F_{cs(2)} + \gamma_1 (D_f + H) N_{q(2)} F_{qs(2)} + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_{\gamma(2)} F_{\gamma s(2)}$$

$$q_t = c_1 N_{c(1)} F_{cs(1)} + \gamma_1 D_f N_{q(1)} F_{qs(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma(1)} F_{\gamma s(1)}$$

$$K_s = f\left(\frac{q_2}{\sigma_s}, \phi_1\right)$$

$$q_1 = c_1 N_{c(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma(1)}$$

$$q_2 = c_2 N_{c(2)} + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_{\gamma(2)}$$

$$q_{adm} = 342.7 \text{ kN/m}^2$$

ASENTAMIENTO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Description: THE SLABS OF THE STORAGE YARDS THE SLABS OF THE STORAGE YARDS

Q_0 (KN/m²) = 340.00
H (m) = 5.00

B (m) = 1.00
L (m) = 1.00

E_s (KN/m²) = 29,000.00
 μ = 0.35

Df (m) = 0.20
 E_f (KN/m²) = 0.00
t (m) = 0.00

k (KN/m²/m) = 25,000.0
 E_o (KN/m²) = 16,500.0

$$S = \frac{q \times \alpha \times B' \times (1 - \mu^2)}{E_s} \times I_s$$

Terzagui (1943)

Settlement of the center

$\alpha = 4$
 $B' = 0.50$
 $m' = 1.00$
 $n' = 10.00$
 $I_s = 0.505$

S_i (m) = 0.010
 S_i (cm) = 1.039

Settlement of the corner

$\alpha = 1$
 $B' = 1.00$
 $m' = 1.00$
 $n' = 5.00$
 $I_s = 0.451$

S_i (m) = 0.005
 S_i (cm) = 0.464

Settlement MAX (cm) = 0.575

$$S = \frac{q \times \alpha \times B' \times (1 - \mu^2)}{E_s} \times I_s \times I_f$$

Bowles (1987)

Settlement of the center

$\alpha = 4$
 $B' = 0.50$
 $m' = 1.00$
 $n' = 10.00$
 $I_s = 0.505$
 $I_f = 0.92$

S_i (m) = 0.010
 S_i (cm) = 0.951

Settlement of the corner

$\alpha = 1$
 $B' = 1.00$
 $m' = 1.00$
 $n' = 5.00$
 $I_s = 0.451$
 $I_f = 0.92$

S_i (m) = 0.004
 S_i (cm) = 0.425

Settlement MAX (cm) = 0.526

$$S = \frac{q \times B_e \times (1 - \mu^2)}{E_o} \times I_G \times I_F \times I_E$$

Mayne y Poulos (1999)

Settlement of the center

$B_e = 1.13$
 $\beta = 0.58$
H/Be = 4.43
 $I_G = 0.52$
 $I_F = 1.003$
 $I_E = 0.962$

S_i (m) = 0.010
 S_i (cm) = 1.023

Settlement of the corner

$B_e = 0.56$
 $\beta = 1.17$
H/Be = 8.86
 $I_G = 0.64$
 $I_F = 1.003$
 $I_E = 0.937$

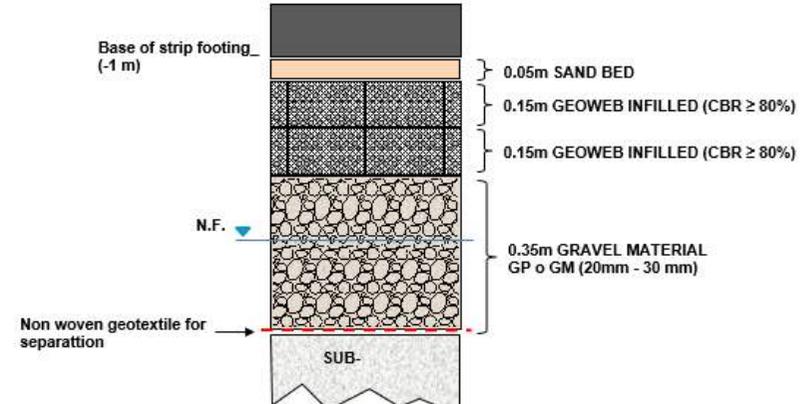
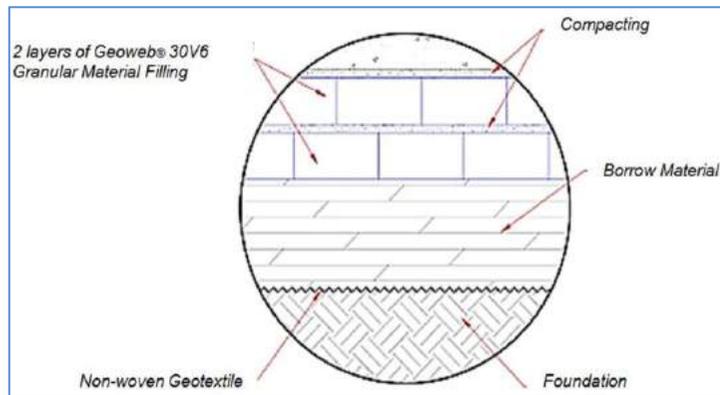
S_i (m) = 0.006
 S_i (cm) = 0.614

Settlement MAX (cm) = 0.410

SETTLEMENT	Terzagui (1943)	Bowles(1987)	Mayne y Poulos (1999)	Settlement based on theory of Elasticity
Settlement of the center foundations (cm)	1.039	0.951	1.023	1.00
Settlement of the corner foundations (cm)	0.464	0.425	0.614	0.50

CIMENTACIONES PARA LAS PAREDES DE LOS ALMACENES

La segunda propuesta estaba destinada a mejorar la capacidad admisible del terreno natural, a partir de 0.50 kg/cm^2 hasta 1.50 a 2 kg/cm^2 . Los efectos de los asentamientos fueron también minimizados. Todo esto se logró con un refuerzo consistente de dos (2) capas de geoceldas de 150 mm y un relleno adicional con material de base de 350 mm . Asimismo, fue colocada una capa adicional de 50 mm de material compactado, dividida en 25 mm por encima de cada geocelda.



Refuerzo usado para la Cimentación de las Paredes de los Almacenes

GEOWEB Load Support Design

Project: **THE FOUNDATIONS FOR THE WALLS OF THE WAREHOUSES**

γ_1 (KN/m³) = 17.00 β^e = 0.00 Water table = SI
 γ_2 (KN/m³) = 17.00 F.S. = 3.00 Prof.W.T. (m) = 1.00
 ϕ^e = 0.00
 C (KN/m²) = 25.9 (Referencial) γ_{sat} (KN/m³) = 18.00 KN/m³

Terzagui y Peck (1967) /Vesic (1973)

$$q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} + 0.5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s}$$

Df (m)	B (m)	L (m)	q (KN/m ²) (sobrecarga)	Loads Factors			Shape factors			qu (KN/m ²)	qa (KN/m ²)
				Nc	Nq	N γ	Fcs	Fqs	F γs		
0.50	1.00	1.00	6.30	5.14	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	139.36	46.45
1.00	1.00	1.00	17.00	5.14	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	150.07	50.02
1.50	1.00	1.00	21.10	5.14	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	154.16	51.39

New capacity increased by Geoweb.

$$q_{GWB} = q_U + \sigma_r$$

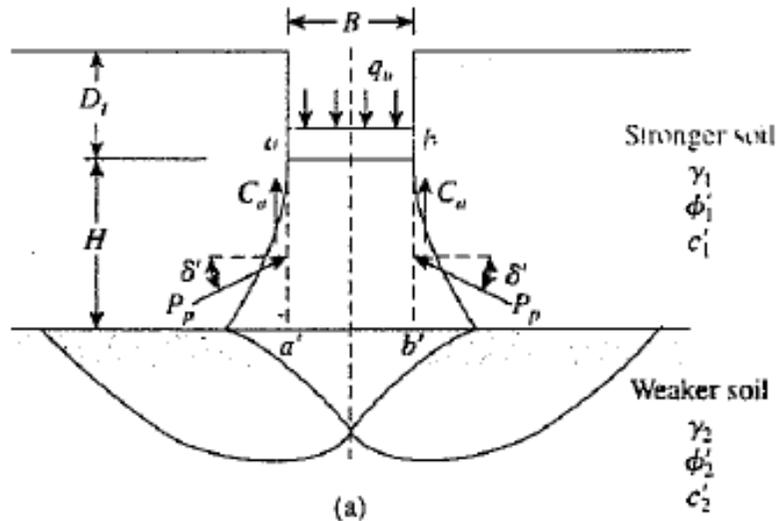
$$\sigma_r = C_{GWB} + 2 \left(\frac{H}{D} \right) \sigma_{avge} \tan \delta$$

$\phi = 30^\circ$ Soil compacted at least at 95% o Maximun Density according to modify Proctor test. A CBR=80% expected.
 $r = 0.90$ Indentations (Textured surface) and Perforated Geoweb interaction benefit for shear transfer.
 $H = 0.30$ m Cell Height
 $D = 0.28$ m Cell Diameter estimation for GW30V model.
 $C_{gwb} = 100.00$ KN/m² Pseudo cohesion - cell filled with granular material

Df (m)	qu (KN/m ²)	σ_r (KN/m ²)	q_{GWB} (KN/m ²)	q_{adm} (KN/m ²)
0.50	139.36	170.50	309.86	103.29
1.00	150.07	170.50	320.57	106.86
1.50	154.16	170.50	324.66	108.22

CAPACIDAD DE CARGA DE SUELOS ESTRATIFICADOS

Stronger Soil Underlain by Weaker Soil (Meyerhof y Hanna 1978)



where

B = width of the foundation

C_a = adhesive force

P_p = passive force per unit length of the faces aa' and bb'

q_b = bearing capacity of the bottom soil layer

δ' = inclination of the passive force P_p with the horizontal

$F_{cs(1)}, F_{qs(1)}, F_{\gamma s(1)}$ = shape factors with respect to top soil layer

$F_{cs(2)}, F_{qs(2)}, F_{\gamma s(2)}$ = shape factors with respect to bottom soil layer

$$q_u = q_b + \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{2c_a H}{B}\right) + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \left(\frac{K_s \tan \phi_1}{B}\right) - \gamma_1 H \leq q_t$$

Where

$$q_b = c_2 N_{c(2)} F_{cs(2)} + \gamma_1 (D_f + H) N_{q(2)} F_{qs(2)} + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_{\gamma(2)} F_{\gamma s(2)}$$

$$q_t = c_1 N_{c(1)} F_{cs(1)} + \gamma_1 D_f N_{q(1)} F_{qs(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma(1)} F_{\gamma s(1)}$$

$$K_s = f\left(\frac{q_2}{a_s}, \phi_1\right)$$

$$q_1 = c_1 N_{c(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma(1)}$$

$$q_2 = c_2 N_{c(2)} + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_{\gamma(2)}$$

$$q_{adm} = 204.0 \text{ kN/m}^2$$

ASENTAMIENTO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Description: THE FOUNDATIONS FOR THE WALLS OF THE WAREHOUSES

$$Q_o \text{ (KN/m}^2\text{)} = 200.00$$

$$H \text{ (m)} = 6.00$$

$$B \text{ (m)} = 1.00$$

$$L \text{ (m)} = 1.00$$

$$E_s \text{ (KN/m}^2\text{)} = 30,000.00$$

$$\mu = 0.35$$

$$D_f \text{ (m)} = 0.00$$

$$E_f \text{ (KN/m}^2\text{)} = 0.00$$

$$t \text{ (m)} = 0.00$$

$$k \text{ (KN/m}^2\text{/m)} = 25,000.0$$

$$E_o \text{ (KN/m}^2\text{)} = 17,500.0$$

$$S = \frac{q \times \alpha \times B' \times (1 - \mu^2)}{E_s} \times I_s$$

Terzagui (1943)

Settlement of the center
 $\alpha = 4$
 $B' = 0.50$
 $m' = 1.00$
 $n' = 12.00$
 $I_s = 0.514$

Settlement of the corner
 $\alpha = 1$
 $B' = 1.00$
 $m' = 1.00$
 $n' = 6.00$
 $I_s = 0.469$

$$S_i \text{ (m)} = 0.006$$

$$S_i \text{ (cm)} = 0.602$$

$$S_i \text{ (m)} = 0.003$$

$$S_i \text{ (cm)} = 0.274$$

Settlement MAX (cm) = 0.328

$$S = \frac{q \times \alpha \times B' \times (1 - \mu^2)}{E_s} \times I_s \times I_f$$

Bowles (1987)

Settlement of the center
 $\alpha = 4$
 $B' = 0.50$
 $m' = 1.00$
 $n' = 12.00$
 $I_s = 0.514$
 $I_f = 1.00$

Settlement of the corner
 $\alpha = 1$
 $B' = 1.00$
 $m' = 1.00$
 $n' = 6.00$
 $I_s = 0.469$
 $I_f = 1.00$

$$S_i \text{ (m)} = 0.006$$

$$S_i \text{ (cm)} = 0.602$$

$$S_i \text{ (m)} = 0.003$$

$$S_i \text{ (cm)} = 0.274$$

Settlement MAX (cm) = 0.328

$$S = \frac{q \times B_e \times (1 - \mu^2)}{E_o} \times I_G \times I_F \times I_E$$

Mayne y Poulos (1999)

Settlement of the center
 $B_e = 1.13$
 $\beta = 0.62$
 $H/B_e = 5.32$
 $I_G = 0.55$
 $I_F = 1.003$
 $I_E = 1.000$

Settlement of the corner
 $B_e = 0.56$
 $\beta = 1.24$
 $H/B_e = 10.63$
 $I_G = 0.64$
 $I_F = 1.003$
 $I_E = 1.000$

$$S_i \text{ (m)} = 0.006$$

$$S_i \text{ (cm)} = 0.624$$

$$S_i \text{ (m)} = 0.004$$

$$S_i \text{ (cm)} = 0.363$$

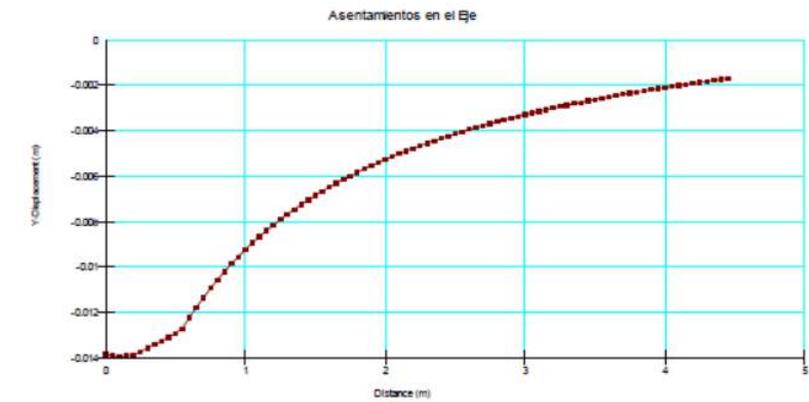
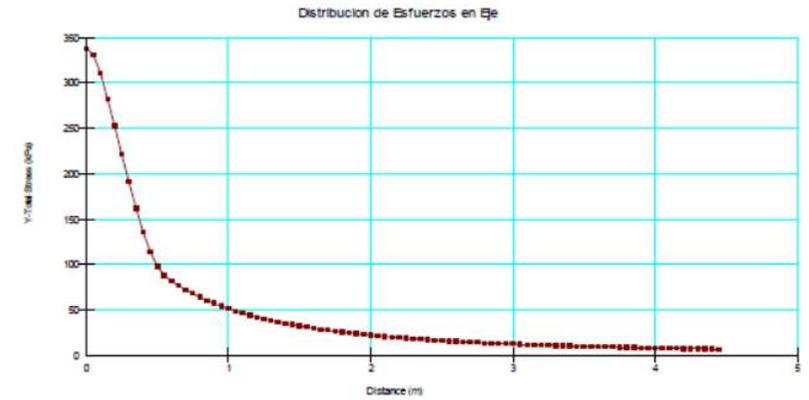
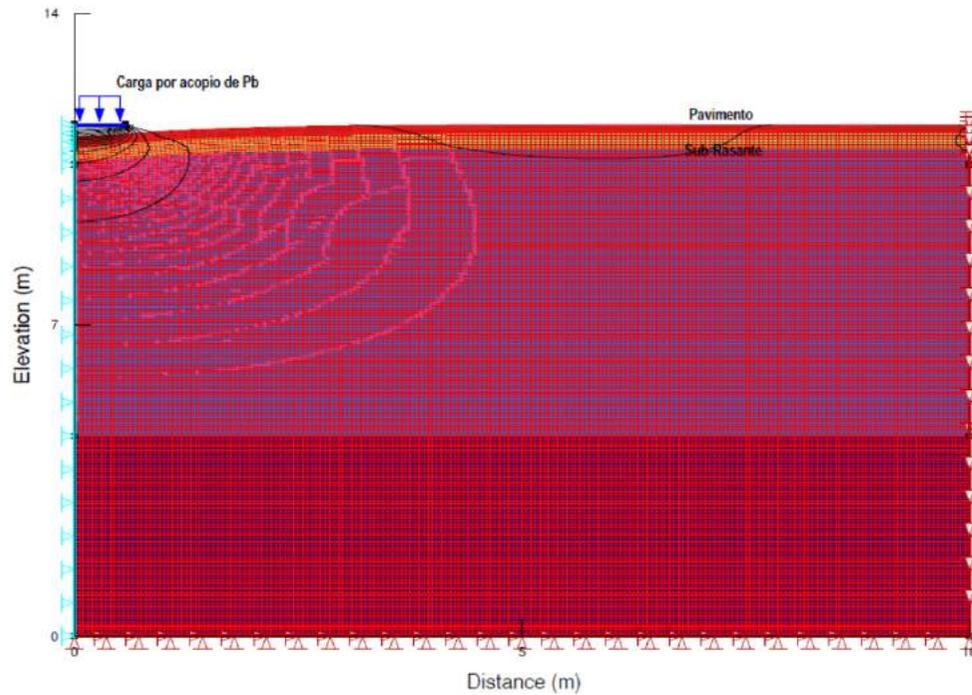
Settlement MAX (cm) = 0.261

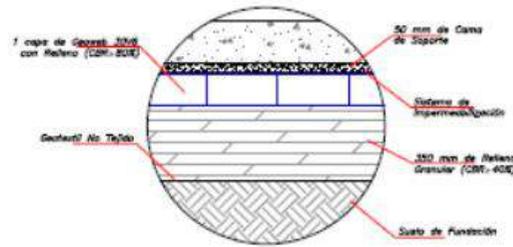
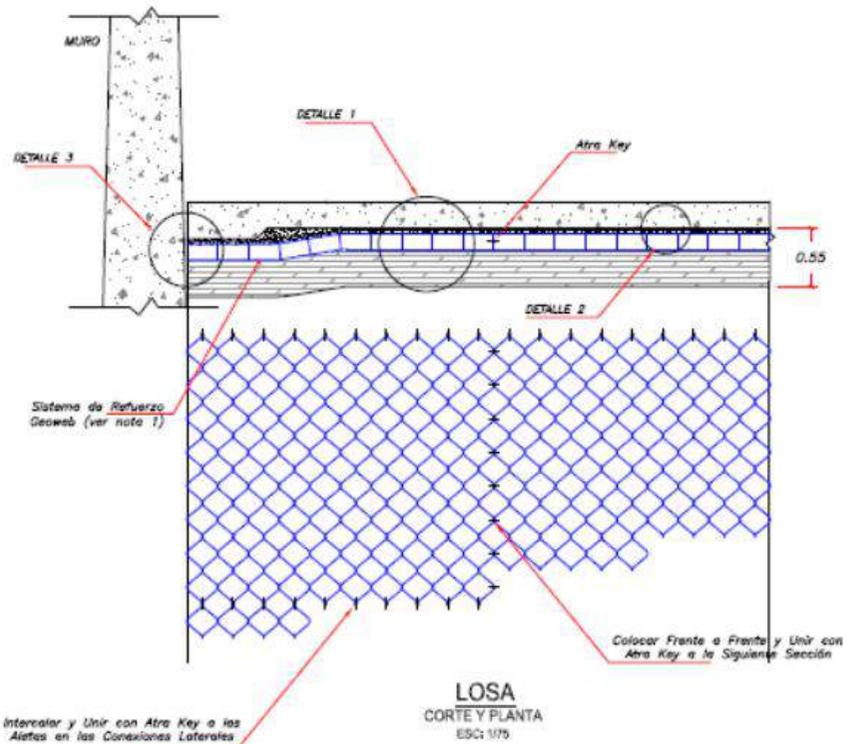
SETTLEMENT	Terzagui (1943)	Bowles(1987)	Mayne y Poulos (1999)	Settlement based on theory of Elasticity
Settlement of the center foundations (cm)	0.602	0.602	0.624	0.61
Settlement of the corner foundations (cm)	0.274	0.274	0.363	0.30

LOSAS DE LOS PATIOS DE ALMACENAMIENTO

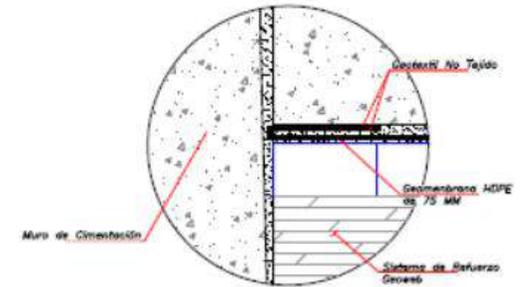
Patio de Acopio

ANEXO 03

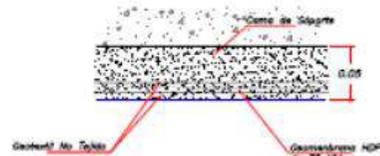




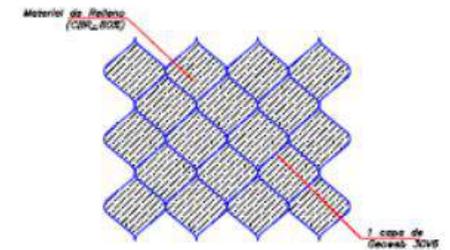
DETALLE 1
REFUERZO
ESQ. 1/25



DETALLE 3
ANCLAJE



DETALLE 2
SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN



DETALLE
DISTRIBUCIÓN

ESPECIFICACIONES	
TIPO	: GR3006
MATERIAL	: Polietileno de alta densidad.
ESPESOR DE FOLIO	: 0.935 - 0.950 g/cm ² (ASTM D-1505)
TEXTURADO	: 1.80mm x 0.17mm (ASTM D-1506)
RELEVO (ANCHAS x ALTO) PLANO	: 04 kg (ASTM D-2893).
UNIDAD TECNICO-COMERCIAL	: 2000mm x 3200mm
ANCHO	: 2000 mm
ALTO	: 3200 mm
CARACTERÍSTICAS	: Superficie texturada y perforada color negro y paso para tendones.
ESTABILIDAD	: 1.00-05 negro de humo.
RESIST. AL AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIÓN AL SECADO	: 3000 hrs (ASTM D-1963).
OTRA RESISTENCIA	: MN 1.30

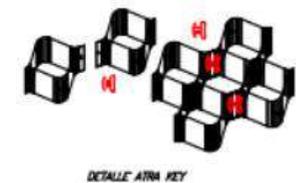
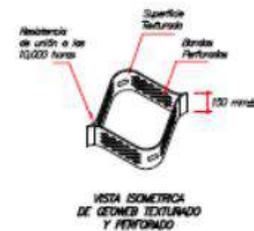
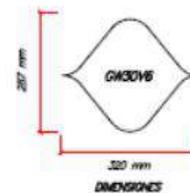
NOTAS

① De acuerdo a la configuración del detalle de la losa, se recomienda una inclinación de 10° o al desarrollo en el tramo rectificado de 2 a 3 celdas fuera al nivel normal de acabado (Detalle 1) para la capa de refuerzo Geoweb.

PROPIEDADES DEL TEXTURADO Y PERFORADO

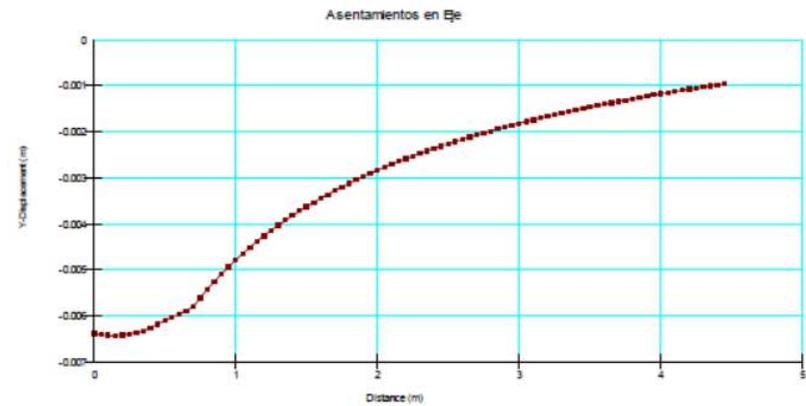
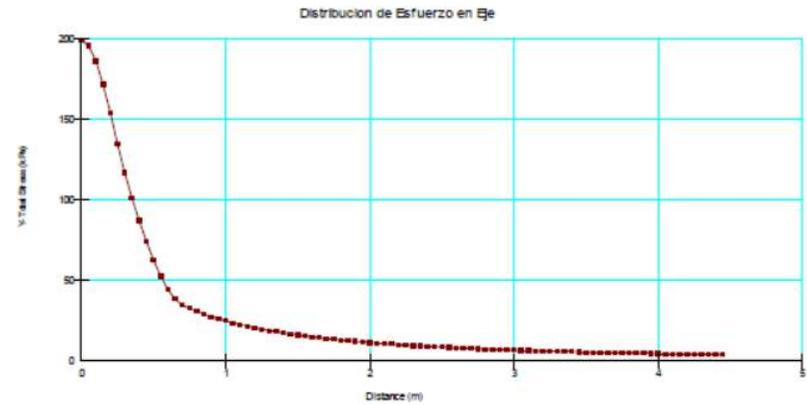
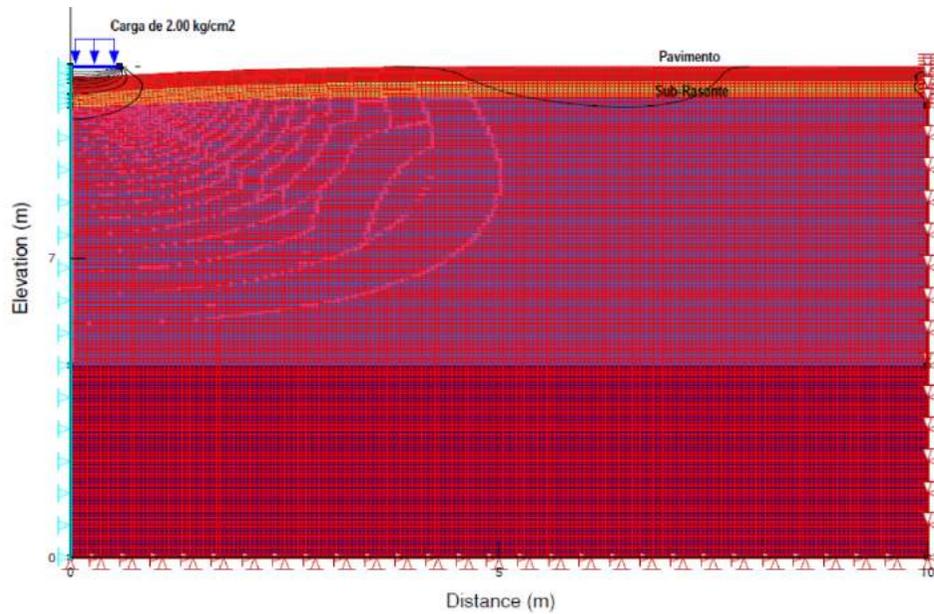
Descripción:
Texturaciones romboidales (forma de diamante).
Densidad superficial 22-31 texturaciones por cm².
Espesor de faja indurado indentado 1.52mm±0.12mm ASTM D5199.
Perforaciones de 120mm en hilera.
Separación horizontal entre centros 19mm.
Separación vertical entre centros 12mm.

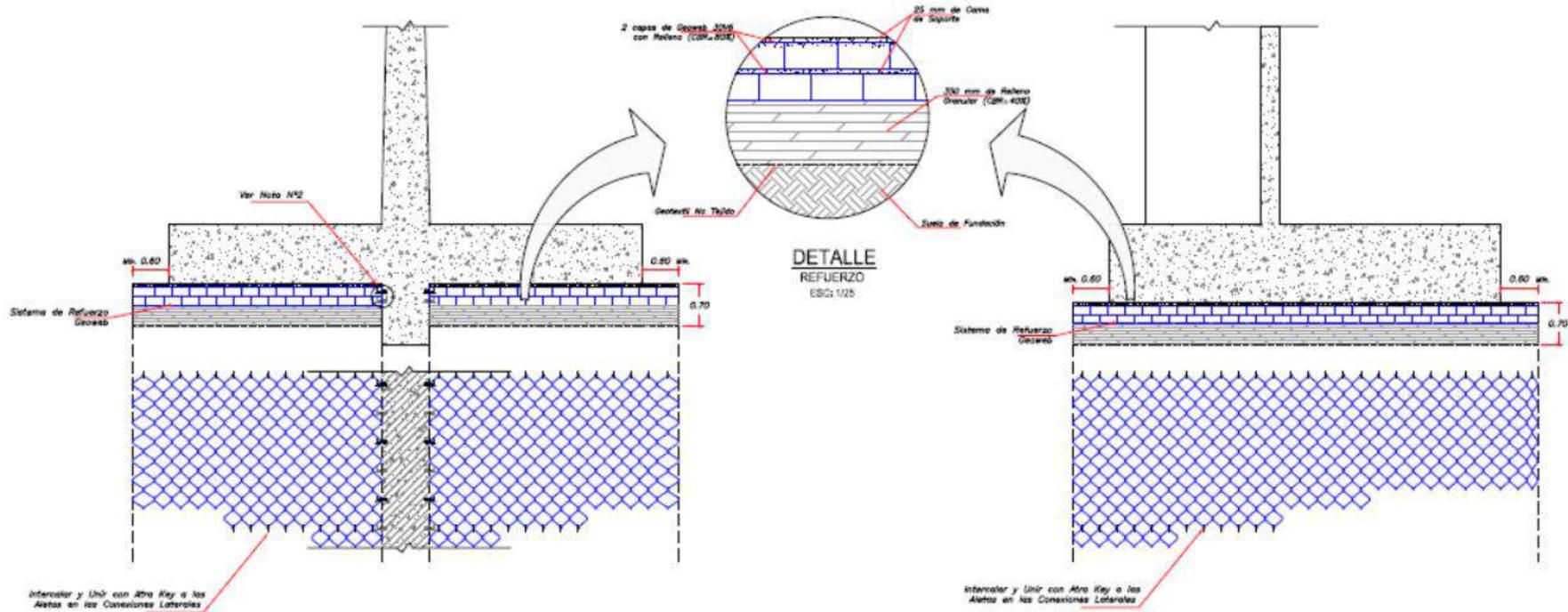
Capacidad:
Las fajas de polietileno están texturadas y perforadas en forma tal que el ángulo de fricción mínimo de la arena alícea #40 con 100% de densidad relativa no sea menor del 85% del ángulo de fricción mínimo de la arena alícea alíada, ensayada con el método del corte directo bajo norma ASTM D5321. Las perforaciones resistirán 15% ± 20% del área de las paredes de la celda.



DETALLE
SISTEMA GEOWEB

CIMENTACIÓN DE LAS PAREDES DE LOS ALMACENES





CIMENTACION A
CORTE Y PLANTA
ESC: 1/75

CIMENTACION B
CORTE Y PLANTA
ESC: 1/75

ESPECIFICACIONES

TIPO	: OROVIA
MATERIAL	: Polietileno de Alta Densidad
ESPESES DE PARED	: 0.250 ± 0.005 mm (ASTM D-1505)
TEXTURAS	: 1.00mm ± 0.15mm (ASTM D-1198)
HEBIT (UNIDAD) y LARGO PLAZO	: 95 kg (ASTM D-2992)
INDICACIONES (p + q)	: 200mm x 200mm
ALTEZA	: 150 mm
CHARACTERISTICAS	: Superficie texturizada y perforada color negro y peso por hectárea 1.300-2000 pesos de peso
ESTABILIZADOR RESIST. AL AGRIETAMIENTO POR EXPOSICION AL HELADO INMEDIATA	: 3000 lbs (ASTM D-1683)

ATA KEV RESISTENCIA : N° 1.20

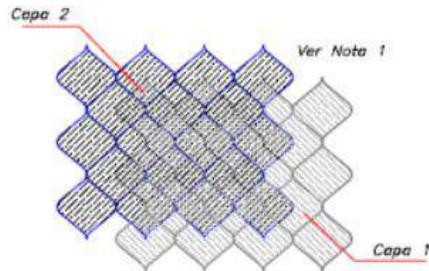
NOTAS

- Las 2 capas del sistema Geotextil serán colocadas de tal manera que se solape en la parte media de las celdas ubicadas debajo de estas. D detalle se muestra en el dibujo.
- Se requiere la implementación de estacas con alfileres N°4 para la unión del Sistema Geotextil a las mallas de concreto (zona memoria). Disposición horizontal de 0.50m y vertical de 0.15m, según sea debido.
- El cambio de amarra no deberá estar en contacto con el suelo estructural de la cimentación; se tendrá por lo menos una separación mínima de 2 cm.

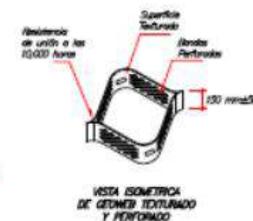
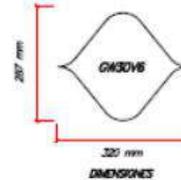
PROPIEDADES DEL TEXTURADO Y PERFORADO

Descripción:
Texturaciones romboidales (forma de diamante).
Densidad superficial 22-31 "techaradas" por cm².
Espesor de faja incluyendo enderizado 1.52mm±0.15mm ASTM D5199.
Perforaciones de 10mm en líneas.
Separación horizontal entre centros 15mm.
Separación vertical entre centros 12mm.

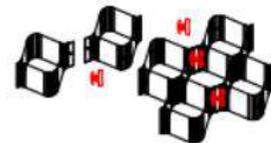
Capacidad:
Las fajas de polietileno estarán texturadas y perforadas en forma tal que el ángulo de fricción máximo de la arena silicea #40 con 100% de densidad relativa no sea menor del 65% del ángulo de fricción máximo de la arena silicea clasificada, medizada con el método del corte directo bajo norma ASTM D5321. Las perforaciones mostrarán 15% a 20% 2/3 del área de las patillas de la celdas.



DETALLE 1
DISTRIBUCION DE CAPAS



VESTA ISOMETRICA DE GEOTEXTIL TEXTURADO Y PERFORADO



DETALLE ATA KEV

DETALLE 2
SISTEMA GEOTEXTIL

Todas las soluciones propuestas con el sistema de geoceldas tomaron en cuenta la presencia de nivel freático alto en el proyecto. También fueron considerados métodos para el control de flujos de agua subterránea mediante el uso de subdrenes sobre el material (American Association of State Highway and Transportation Officials-AASHTO).

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GEOCELDAS



Cimentación Inicial



Trabajo en el Subdren



Nivelación



Colocación de las Geoceldas



Colocación de las Geoceldas



Colocación de las Geoceldas



Colocación de las Geoceldas



Cimentación para las Paredes de los Almacenes



Patio de Almacenamiento de Minerales de Impala – Perú

MONITOREO

Hasta la fecha, la losa del patio del contenedor de almacenamiento y la faja transportadora no han mostrado problemas. Esto es una clara señal de la contribución del sistema a la solución final, cumpliendo con los requerimientos de diseño iniciales, exigidos por este importante proyecto.

CONCLUSIONES

- El uso de estructuras celulares de contención con relleno, dispuestas de manera adecuada, permite la distribución de las presiones del suelo y las cargas externas con mas eficacia que el terreno natural, debido a la contención y a la reducida capacidad de deformación dada por el material contenido, proporcionando al sistema un mejor desempeño que un soporte de carga convencional.
- Soluciones tradicionales para el proyecto estudiado fueron descartadas por falta de rentabilidad, en comparación con el sistema de geoceldas.
- El sistema de geoceldas es una solución económicamente viable para este medio debido a que, el uso de material de reemplazo es mínimo, su construcción es simple, no requiere mano de obra especializada y el rendimiento en su construcción es alto. Además, este sistema representa una solución ecológica. El sistema de geoceldas ha demostrado un funcionamiento adecuado hasta la actualidad, después que todas la estructuras del proyecto fueron implementadas.