Geosintéticos en ingeniería geotécnica

Metodologías de diseño, riesgo geotécnico y campañas de exploración — del mejoramiento de subrasantes a la rehabilitación de pavimentos

M. Ing. Juan Pablo Broissin · Director Regional LATAM · **TECHFAB LATAM**

Caso de referencia: Corredor Xochi (Corredor de las Flores), Suchitepéquez–Retalhuleu · 31 km



IV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA SÍSMICA Y GEOTÉCNICA



Guatemala 26 y 27 de octubre 2026
Hotel Real Intercontinental

ICCG
INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO DE GUATEMALA

AGIES
ASOCIACIÓN GUATEMALTECA DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y SÍSMICA

AMSIG

CESEM

AGENDA

Ruta de la charla — 45 minutos

01 **Riesgo geotécnico** — 8 min
Qué es, cómo se cuantifica y qué modos de falla atienden los geosintéticos

02 **Campañas geotécnicas** — 6 min
Qué pedir, dónde y para qué — el caso del corredor Xochi (CBR 1.6 %)

03 **Metodologías de diseño por aplicación** — 24 min
Subrasantes · refuerzo basal · estabilidad · asentamientos · pavimentos · muros MSE · taludes · erosión · drenaje · cavidades · interlayers

04 **Calidad, verificación y lecciones** — 7 min
Ensayos de campo, especificación de materiales, resultados y riesgo residual


Corredor Xochi · Km 143–172 · terraplenes de <1 a 20 m

Hilo conductor: cada método se ilustra con el mismo proyecto — una subrasante de ceniza volcánica saturada, taludes bajo lluvia intensa y vestigios arqueológicos — con la ecuación, el cálculo a mano y la foto de obra.

Riesgo geotécnico: lo que no se explora, se paga en obra

Riesgo geotécnico — FS, confiabilidad y campaña

Definición:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición} \approx P_f \times \text{Consecuencia}$$

Del factor de seguridad a la probabilidad de falla:

$$\beta = \frac{\mu_{FS} - 1}{\sigma_{FS}}, \quad P_f = \Phi(-\beta)$$

Ej.: $\mu_{FS} = 1.30$ con COV = 15 % ($\sigma = 0.195$) → $\beta = 1.54$ → $P_f \approx 6\%$ ×

$\mu_{FS} = 1.50$ con COV = 10 % ($\sigma = 0.15$) → $\beta = 3.3$ → $P_f \approx 5 \times 10^{-4}$ ✓

Más campaña geotécnica ⇒ menor COV ⇒ menor P_f con el mismo FS

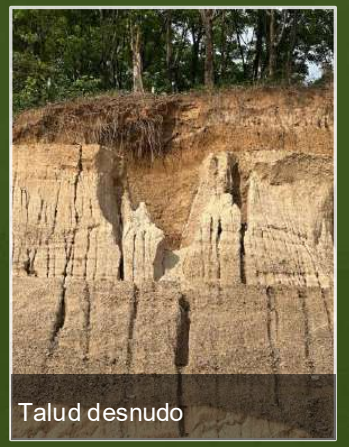
Fuentes de incertidumbre: variabilidad espacial · muestreo · modelo · construcción



Erosión en surcos tras la primera lluvia



Cárcavas en corte de ceniza



Talud desnudo

Fuentes de incertidumbre que el diseño debe absorber

- Variabilidad espacial: 11 de 17 calicatas con CBR < 4 % en un solo sector (14+500 a 22+500); 52 % en otros
- Muestreo: el CBR mínimo del estudio (1.7 %) define el CBR de diseño (1.6 % saturado), no el promedio
- Modelo: el mismo terraplén de 10 m pasa de FS 1.17 (estático) a 0.58 (sismo kh = 0.2)
- Construcción: remoldeo de la subrasante con equipo pesado, traslapes, compactación sin control

Modos de falla que atienden los geosintéticos



Capacidad portante / roderas

Subrasante blanda bajo tránsito de construcción

Giroud-Han · separación + refuerzo



Inestabilidad global

Terraplenes y muros sobre suelo blando o en sismo

Equilibrio límite · refuerzo basal / MSE



Asentamientos diferenciales

Suelos compresibles, cavidades, vestigios

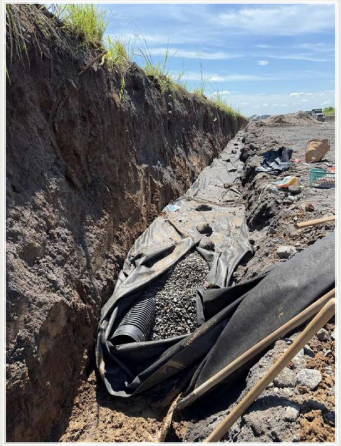
Elasticidad · membrana tensada



Erosión superficial

Lluvia intensa sobre taludes desnudos

RUSLE2 · τ permisible · TRM



Presión de poro / drenaje

NF somero, saturación en construcción

Filtración · dren francés

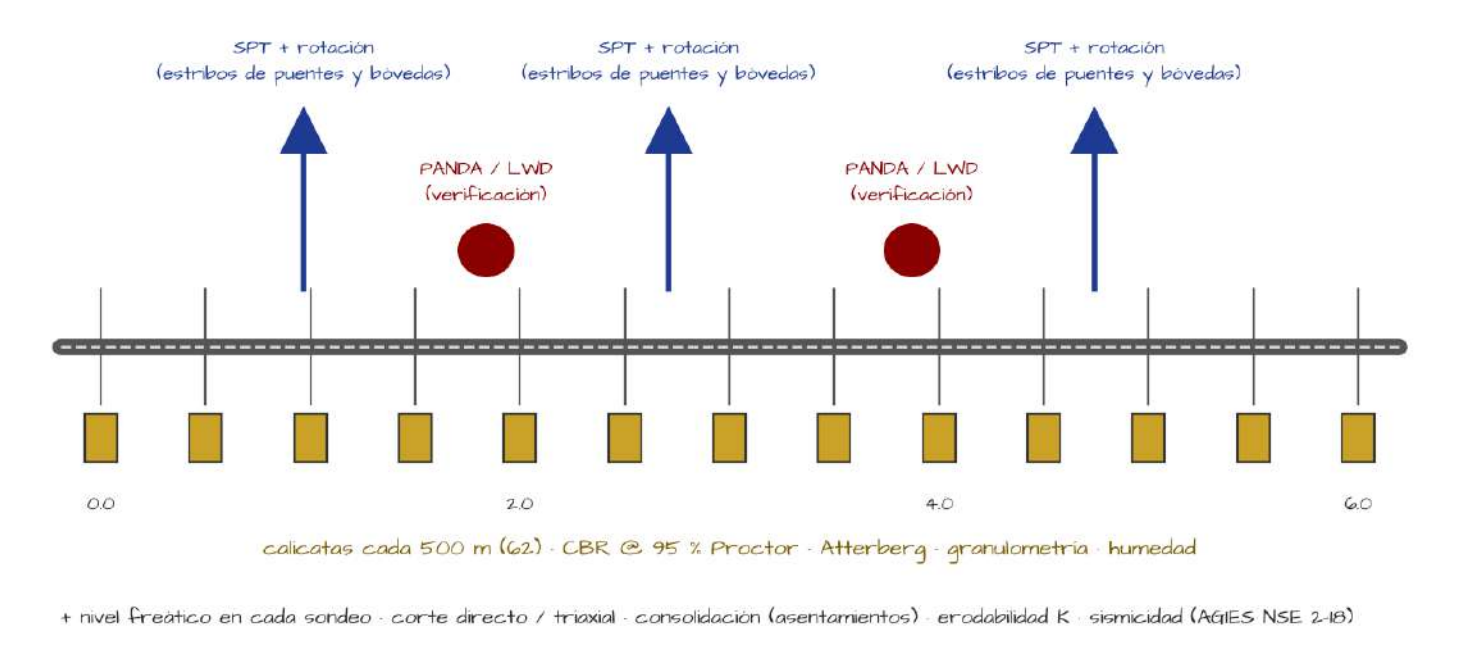


Reflexión de grietas

Pavimentos envejecidos

SAMI · interlayer de refuerzo

Campaña geotécnica: qué pedir según la aplicación



Aplicación	Parámetros clave	Ensayos mínimos
Subrasante / pavimento	CBR saturado, humedad, NF, Atterberg	Calicatas @ 500 m, CBR 95 % Proctor, DCP/PANDA, LWD
Refuerzo basal / terraplén	cu, φ', γ, E, perfil hasta 2B	SPT, veleta, triaxial UU/CU, consolidación
Muros y taludes MSE	φ' relleno, cimentación, NF, sismo	Corte directo, SPT/CPT, granulometría, pH y electroquímica
Erosión / TRM	K (erodabilidad), textura, R lluvia	Granulometría, materia orgánica, pendiente y longitud
Drenaje / filtración	D15, D85, k del suelo	Granulometría por hidrómetro, permeabilidad
Interlayers	Estado de la carpeta, deflexiones	Inventario de grietas, FWD, extracción de núcleos

Corredor Xochi — estudio Bypass Sur (2021)

- 25 puentes + 24 bóvedas con perforación mixta rotativa + SPT (AASHTO T 206) en cada estribo
- 62 calicatas cada 500 m (0+000 a 30+500) con CBR al 95 % Proctor, Atterberg, granulometría
- NF en todas las perforaciones (3–8 m) · humedad natural 20–60 % · hinchamiento hasta 5.8 % · limos A-7 (MH/ML)
- Sismicidad AGIES NSE 2-18: zona 4.2, Scr = 1.79 Ag, suelo tipo C · licuefacción descartada

03

Metodologías de diseño por aplicación

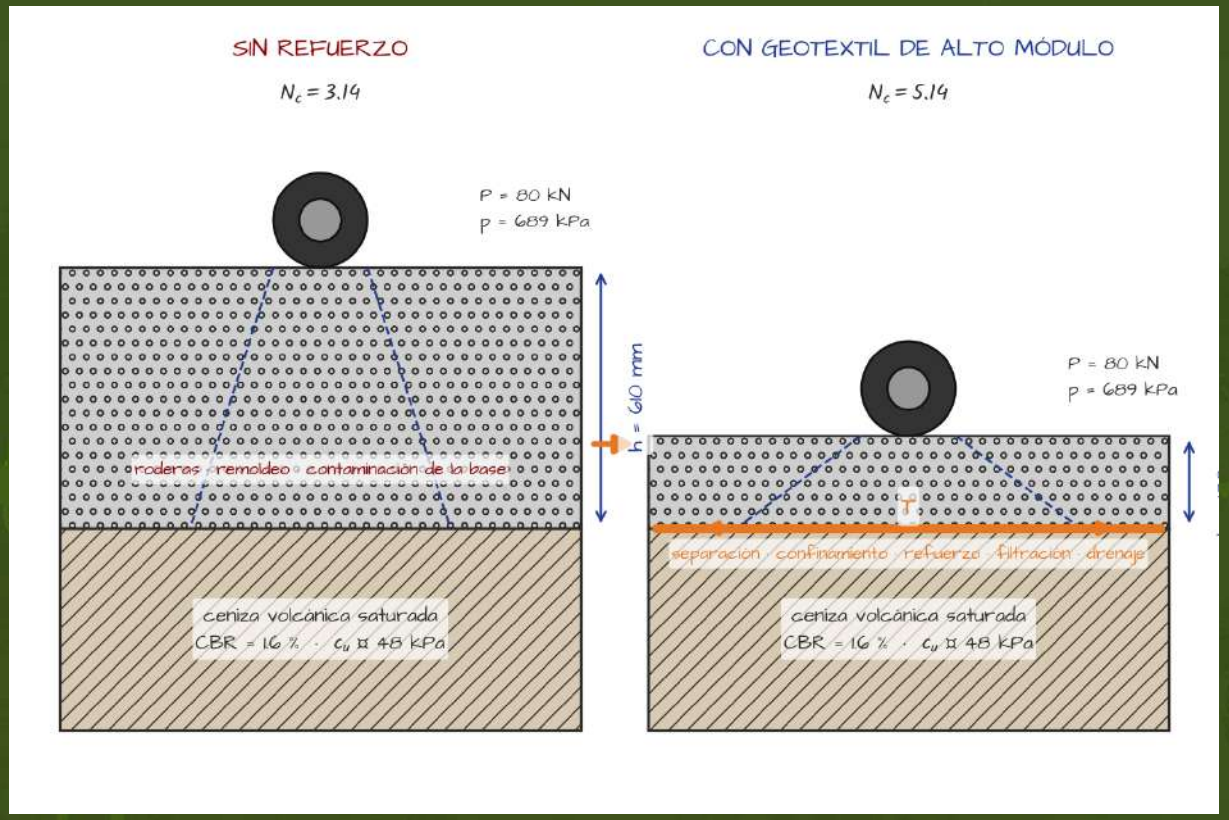
Para cada aplicación: el esquema, las ecuaciones, el cálculo a mano y la obra

Subrasantes	Refuerzo basal	Estabilidad	Asentamientos
Pavimentos	Muros MSE	Taludes	Erosión
Drenaje	Cavidades	Interlayers	



Pedraplén sobre geotextil, al pie del volcán

Estabilización de subrasante — Giroud-Han (2004)



Giroud-Han (2004) — estabilización de subrasante

Datos:

$CBR = 1.6\ \% \rightarrow c_u = 30\,kPa \times CBR = 48\ kPa$

$P = 80\ kN$ (eje), $p = 689\ kPa$, $N = 10{,}000$ pasadas, $s = 38\ mm$

$r = \sqrt{P/(2\pi p)} = \sqrt{80/(2\pi \cdot 689)} = 0.136\ m$, $R_E = \min(3.48\,CBR_{bc}^{0.3}/CBR_{sg},\ 5)$

Capacidad de carga:

$N_c = \pi = 3.14$ (sin) · $N_c = 5.14$ (geotextil) · $N_c = 5.71$ (geomalla)

$$h = \frac{0.868 + 0.661\,(r/h)^{1.5}\log N}{1 + 0.204\,(R_E - 1)} \left[\sqrt{\frac{P}{\pi r^2 \left(\frac{s}{f_s}\right)\left\{1 - 0.9e^{-(r/h)^2}\right\} N_c c_u}} - 1 \right] r$$

iterar h hasta converger · el CF del geosintético (ensayo cíclico a gran escala) entra en el 0.661

$h_{sin} \approx 610\ mm \rightarrow h_{con} \approx 180\ mm$ **(−70 %)**

Regla práctica: con CBR < 1.5 % usar equipo de baja presión; mín. 15 cm de agregado antes de tránsito







Por qué geotextil de alto módulo y no geomalla aquí: grava de río mayor que la abertura (sin trabazón), interacción por fricción en arenas y, sobre todo, subrasante saturada: una geomalla no separa ni filtra.

Km 157+150 — la subrasante que recibió la obra





Pedraplén sobre geotextil, al pie del volcán



Colocación del geotextil de alto módulo







Capa de repartición y plataforma envuelta







Plataforma terminada — lista para la estructura de pavimento







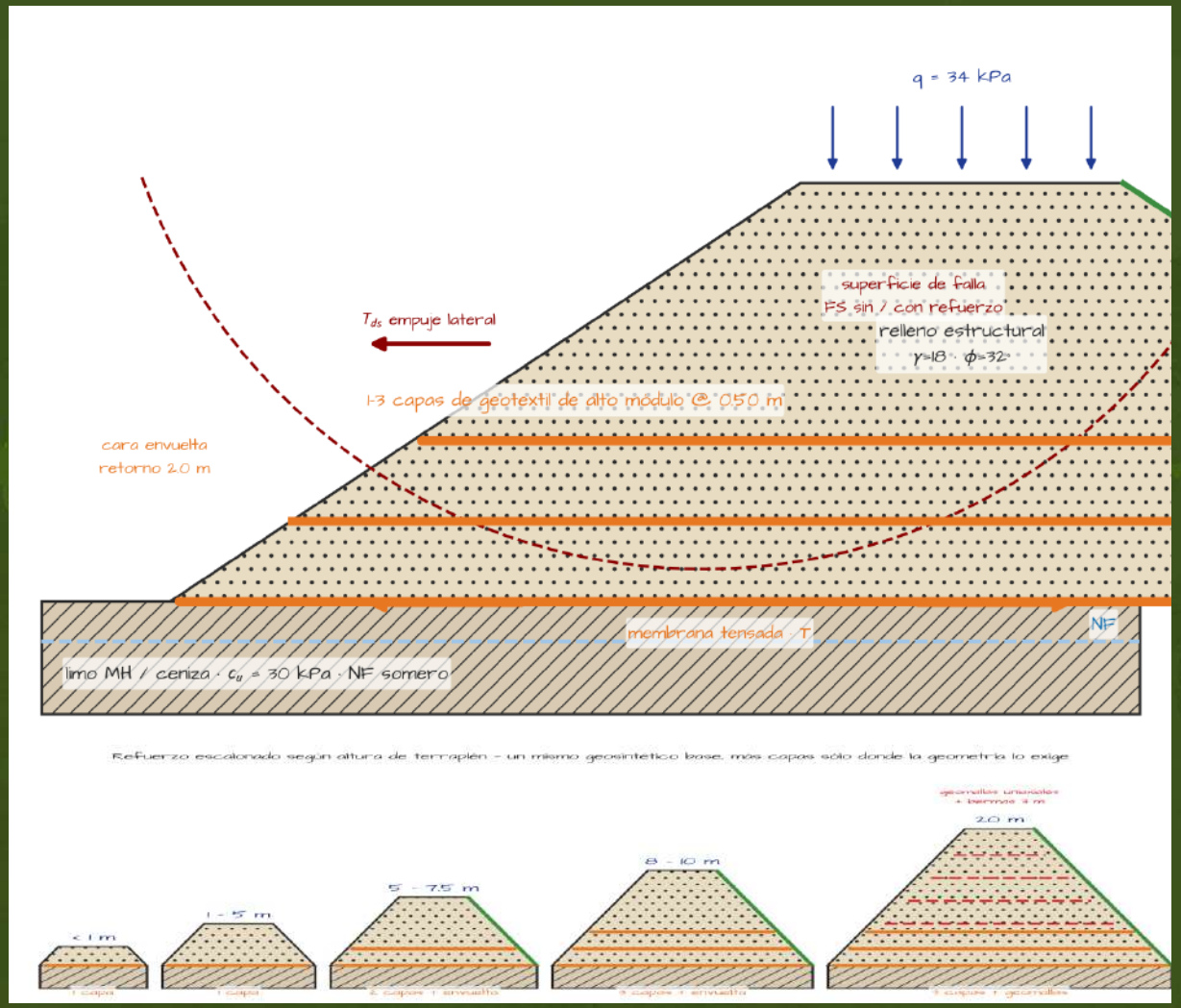
Tramo de prueba y control de colocación







Refuerzo basal de terraplenes sobre suelo blando



Refuerzo basal de terraplenes — BS 8006 / FHWA NHI-10-025

Empuje lateral del relleno (deslizamiento sobre el refuerzo):

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(29°) = 0.307 \quad (\phi_{relleno} = 32°,\ \gamma = 18\ kN/m^3)$$

$$T_{ds} = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 = 0.5 \cdot 0.307 \cdot 18 \cdot 8^2 = 177\ kN/m \quad (H = 8\ m)$$

Capacidad portante del suelo blando (limo MH, c_u = 30 kPa):

$$q_{ult} = (2 + \pi)\, c_u = 5.14 \cdot 30 = 154\ kPa \quad vs \quad q = \gamma H + q_s = 144 + 34 = 178\ kPa$$

$\Rightarrow FS_{bearing} = 154/178 = 0.87 < 1$: sin refuerzo el terraplén de 8 m no es viable

Membrana tensada (efecto refuerzo basal):

$$T_{rp} = \frac{1}{2} q B \left[\frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\delta}{B}\right], \quad T_{diseño} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_D}$$

$T_{req} = T_{ds} + T_{rp}$ repartida en 2–3 capas de geotextil de alto módulo @ 0.50 m

Escalonar: <5 m → 1 capa · 5–7.5 m → 2 capas · 8–10 m → 3 capas · 20 m → + geomallas

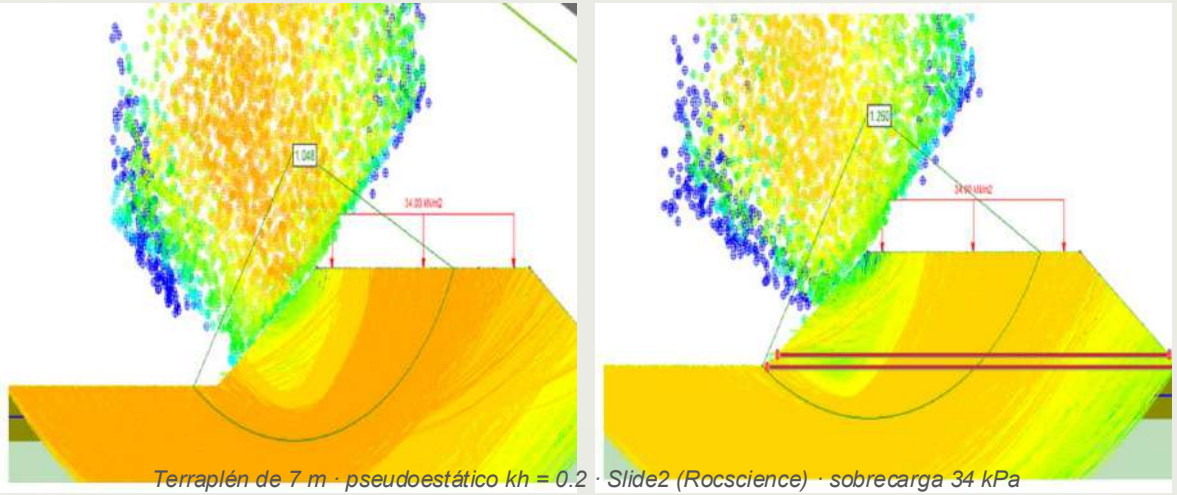





Estabilidad global: equilibrio límite y elementos finitos

SIN REFUERZO · FS = 1.048

2 CAPAS DE GEOTEXTIL · FS = 1.260



Terraplén de 7 m · pseudoestático kh = 0.2 · Slide2 (Rocscience) · sobrecarga 34 kPa



Estabilidad de terraplenes reforzados

Bishop simplificado con refuerzo (Slide2 / equilibrio límite):

$$FS = \frac{\Sigma[c'b + (W - ub)\tan\phi']/m_\alpha + \Sigma T_i \cos\theta_i \tan\phi'/m_\alpha}{\Sigma W \sin\alpha + k_h \Sigma W (y_c/R)}$$

$m_\alpha = \cos\alpha(1 + \tan\alpha\tan\phi'/FS)$ · iterar FS · pseudoestático $k_h = 0.2$ (AGIES zona 4.2)

Parámetros (modelo Xochi):

Relleno: $\gamma = 18$, $c' = 10$, $\phi' = 32°$ · Limo MH: $\gamma = 15$, $c_u = 30$, $\phi = 0$ · sobrecarga 34 kPa

Refuerzo: $T_{adm} = T_{ult}/(RF_{CR} RF_{ID} RF_D)$; en Slide2 = fuerza pasiva en la dovela que cruza

Resultados (FS):

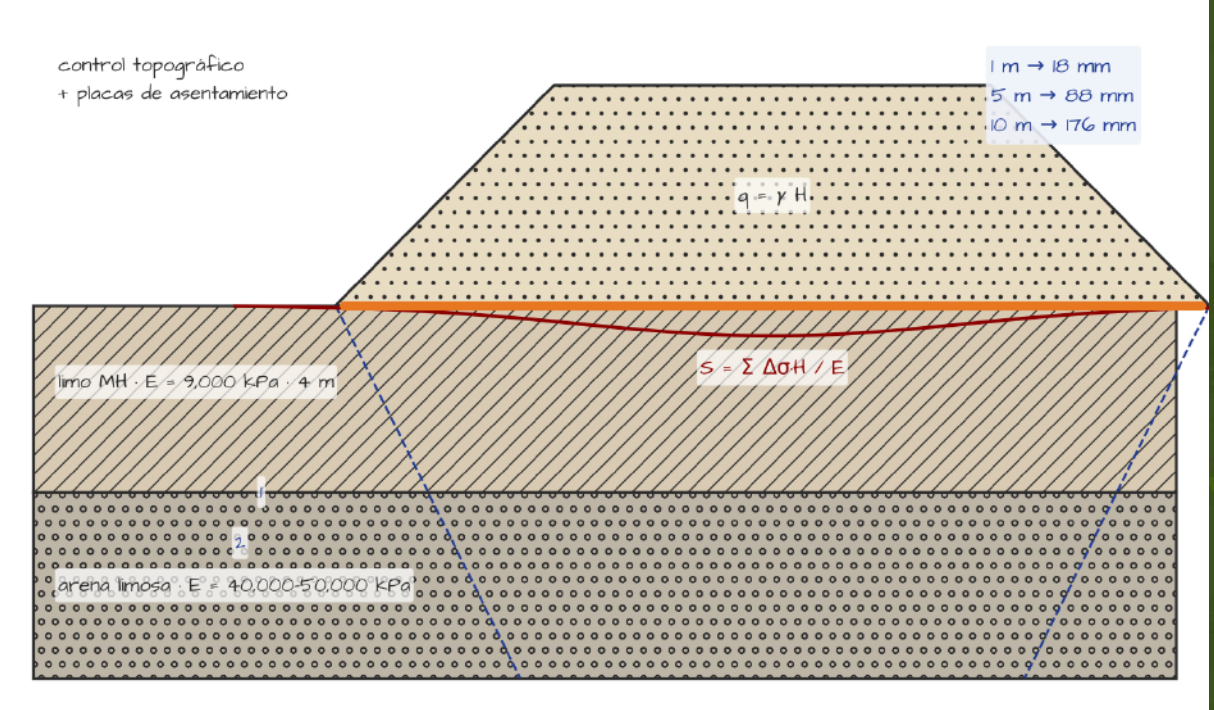
7 m, k_h=0.2: 1.048 → 1.260 · 10 m estático: 1.172 → 1.304

10 m, k_h=0.2: 0.578 (¡colapso!) → ≥ 1.2 · 20 m: 0.964 → 1.377

Todos los rangos reforzados: FS = 1.26 – 1.68 ≥ 1.2 (sismo) / 1.5 (estático)

Honestidad del análisis: los pares no siempre son comparables (en 20 m el caso sin refuerzo incluye sismo y el reforzado no). Recomendación: repetir con el mismo kh. El FEM con reducción de resistencia (SRF, kh = 0.3) sirve de contraste.

Asentamientos: lo que el refuerzo no elimina, se mide



Asentamientos — teoría elástica (Boussinesq / 2:1)

Incremento de esfuerzo (método 2:1):

$$\Delta\sigma_z = \frac{qB}{(B+z)}$$ (por metro de longitud) con $q = \gamma_{rell} H = 18H$

Deformación elástica por estrato:

$$S = \sum_i \frac{\Delta\sigma_{z,i} H_i}{E_i}$$ $E_{MH} = 9{,}000$ kPa · $E_{arena\ limosa} = 40{,}000–50{,}000$ kPa

Ejemplo H = 1 m, limo 4 m + arenas:

$q = 18$ kPa; $B = 12$ m → $\Delta\sigma(z=2) = 18 \cdot 12/14 = 15.4$ kPa

$S_{MH} = 15.4 \cdot 4/9000 = 6.9$ mm ; $S_{arenas} \approx 10.7$ mm ⇒ $S \approx 17.6$ mm

$S(1\,m) = 17.6$ mm · $S(5\,m) = 88$ mm · $S(8\,m) = 141$ mm · $S(10\,m) = 176$ mm

modelo preliminar ⇒ obligatorio control topográfico y placas de asentamiento en obra

Qué sí hace y qué no hace el refuerzo basal

- Sí: uniformiza el asentamiento (reduce el diferencial) y evita la falla por extrusión lateral
- No: elimina la consolidación del limo — se gestiona con etapas de carga, drenaje y tiempo
- Siempre: placas de asentamiento + control topográfico; comparar medido vs. estimado

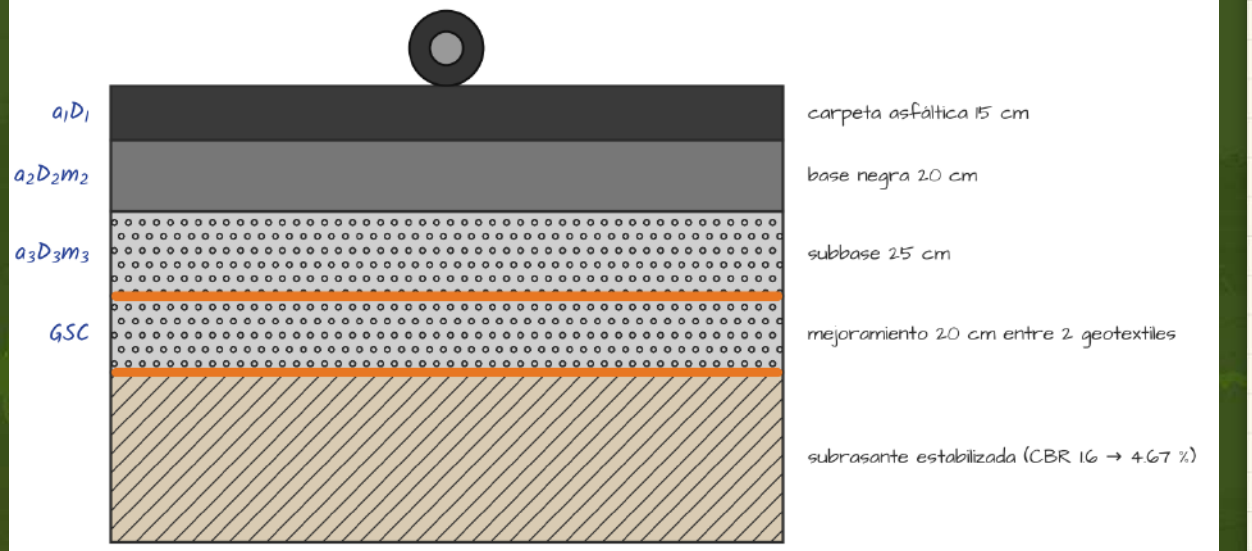





Estructura de pavimento — AASHTO 93 con aporte del geosintético

$$SN = a_1D_1 + GSC \cdot a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

209 M ESAL → 1,010 M ESAL (×4.8)



Pavimento flexible — AASHTO 93 con coeficiente GSC

Módulo resiliente de la subrasante estabilizada:

$M_R = 1500 \cdot CBR\ (psi)$; CBR 1.6 % → 2,400 psi (no aplica AASHTO < 4 %)

Estabilizada (Giroud-Han + Ingold + tramo de prueba): $CBR_{eq} = 4.67\% \Rightarrow M_R \approx 7{,}000$ psi

Número estructural con aporte del geosintético (AASHTO R50-09):

$$SN = a_1D_1 + GSC \cdot a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

$a_1 = 0.44 \cdot a_2 = 0.14$ (base negra 0.30) $\cdot a_3 = 0.11 \cdot m_i$ drenaje · GSC 1.3–1.5 (ensayo)

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

W_{18}: 209.2 M ESAL (sin) → 1,009.6 M ESAL (con) = ×4.8

Secuencia obligatoria: 1° estabilizar (Giroud-Han) → 2° diseñar pavimento (AASHTO 93 + GSC)

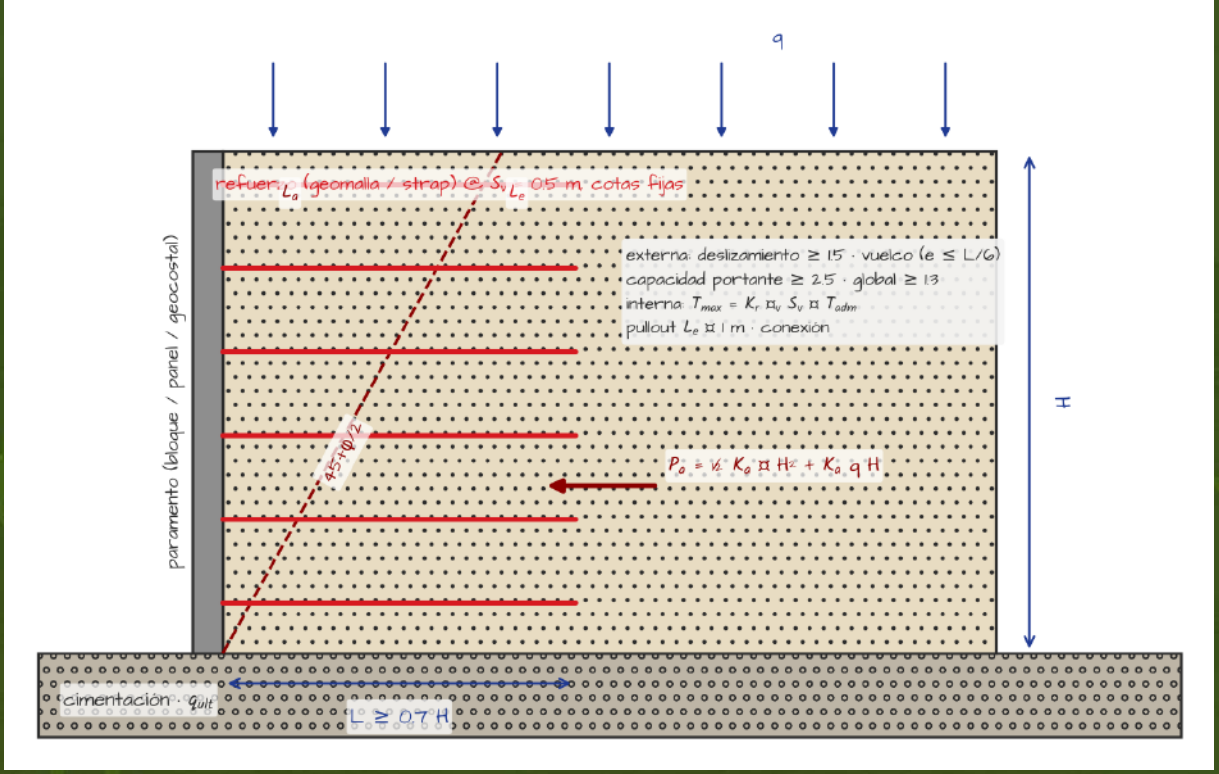

Geotextil de alto módulo bajo el mejoramiento


Tramo de prueba — Km 157



Dos coeficientes distintos: TBR/BCR (AASHTO R50) cuantifican el beneficio en la base; el GSC multiplica el aporte de la capa granular sobre el geosintético. Ambos salen de ensayos de desempeño, no de la rigidez del producto.

Muros y taludes mecánicamente estabilizados (MSE)



Reglas de obra que evitan el caos en campo

- Niveles de refuerzo a cotas fijas y corridas en todo el muro; desplante escalonado en múltiplos de Sv
- Un solo tipo de refuerzo por nivel (no mezclar grados en una misma capa entre tramos)
- Relleno: tamaño máx. 50 mm, ≤ 15 % pasa #200, electroquímica compatible (pH, resistividad)

Muros y taludes MSE — estabilidad externa e interna

Geometría y empuje (FHWA NHI-10-024 / AASHTO LRFD):

$H = 10\ m \cdot L \geq 0.7\,H = 7.0\ m \cdot \gamma = 18 \cdot \phi_r = 32° \rightarrow K_a = 0.307 \cdot q = 34\ kPa$

$$P_a = \frac{1}{2}K_a\gamma H^2 + K_a q H = 0.5 \cdot 0.307 \cdot 18 \cdot 100 + 0.307 \cdot 34 \cdot 10 = 276 + 104 = 380\ kN/m$$

Estabilidad externa:

$$FS_{desliz} = \frac{W \tan\delta}{P_a} = \frac{18 \cdot 10 \cdot 7 \cdot \tan 32°}{380} = \frac{787}{380} = 2.07 \geq 1.5\ \checkmark$$

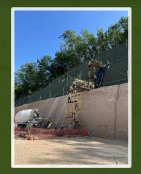
$$e = \frac{M_{vuelco}}{R_v} = \frac{276 \cdot H/3 + 104 \cdot H/2}{W + qL} = \frac{920 + 520}{1260 + 238} = 0.96\ m \leq L/6 = 1.17\ \checkmark$$

Estabilidad interna (capa a z = 8 m, S_v = 0.5 m):

$\sigma_h = K_a(\gamma z + q) = 0.307(144 + 34) = 54.6\ kPa \rightarrow T_{max} = \sigma_h S_v = 27.3\ kN/m$

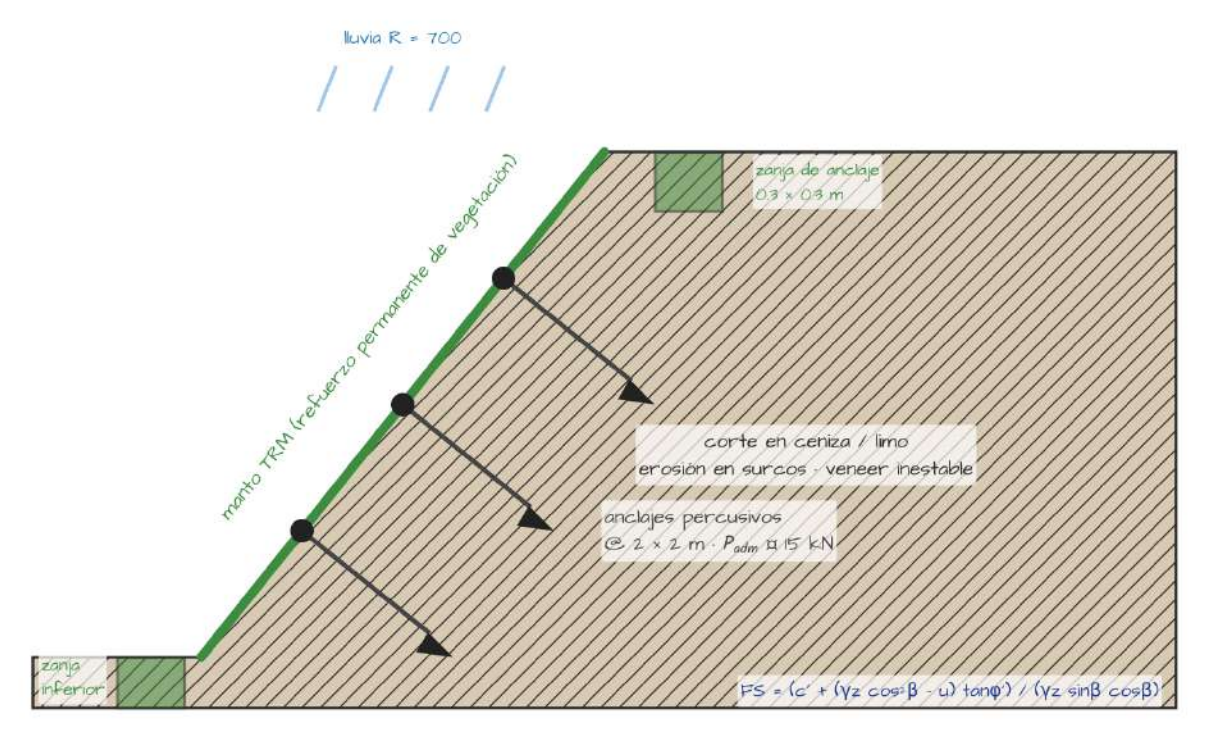
$$L_e = \frac{T_{max} \cdot FS_{po}}{2F^* \alpha \sigma_v} = \frac{27.3 \cdot 1.5}{2 \cdot 0.8 \cdot \tan 32° \cdot 144} = 0.28\ m \geq 1.0\ m\ mín.\ \checkmark$$

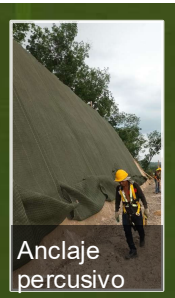
$T_{adm} = T_{ult}/(RF_{CR}\,RF_{ID}\,RF_D) \geq T_{max}$ · **niveles de refuerzo a cotas fijas, un solo producto por nivel**

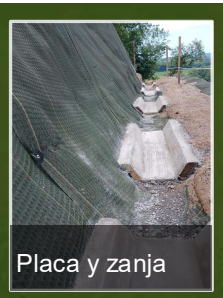


Estabilización de taludes: manto TRM + anclajes




Anclaje percusivo


Tensado


Placa y zanja



Estabilización de taludes — manto TRM + anclajes

Talud infinito (veneer) — capa superficial de espesor z:

$$FS = \frac{c' + (\gamma z \cos^2\beta - u)\tan\phi'}{\gamma z \sin\beta \cos\beta}$$

$\beta = 45°$ (1:1), $z = 0.5$ m, $\gamma = 16$, $c' = 3$ kPa (saturado), $\phi' = 28°$, $u \approx 0$

$$FS = \frac{3 + 16 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot \tan 28°}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.5} = \frac{3 + 2.13}{4.0} = 1.28 \rightarrow \text{con lluvia } (u>0) \text{ cae a } < 1.0$$

Fuerza estabilizadora requerida por anclajes + manto TRM:

$$T_{req} = \gamma z \sin\beta \cos\beta (FS_{obj} - FS) = 4.0\,(1.5 - 1.0) = 2.0 \text{ kN/m}^2 \text{ (condición saturada)}$$

Anclaje percusivo $P_{adm} \approx 15$ kN → malla @ $\sqrt{15/2.0} \approx 2.7$ m → adoptar 2.0 × 2.0 m

TRM ancla en zanja superior e inferior · anclajes 2×2 m · vegetación = refuerzo radicular

el anclaje trabaja a tensión; el manto reparte y protege contra erosión superficial

Cuándo escalar: si la superficie crítica es profunda (no veneer), el manto no basta: refuerzo con geomallas (talud MSE), bermas, drenes horizontales o reconformación. El análisis de equilibrio límite define el límite.

Taludes de corte en ceniza — condición inicial









Erosión en surcos y cárcavas tras la primera lluvia





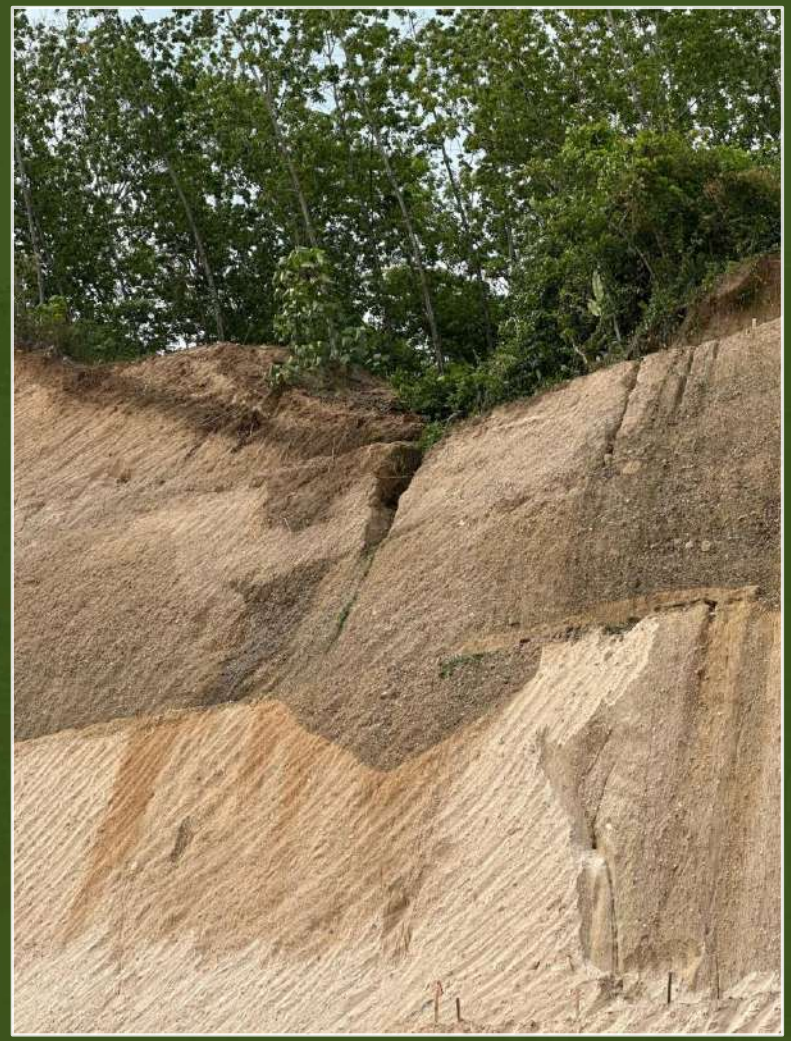




Estratigrafía expuesta: ceniza, limo y pómez







Anclajes percusivos: hincado, tensado y placa







Trabajo en talud 1:1 con línea de vida







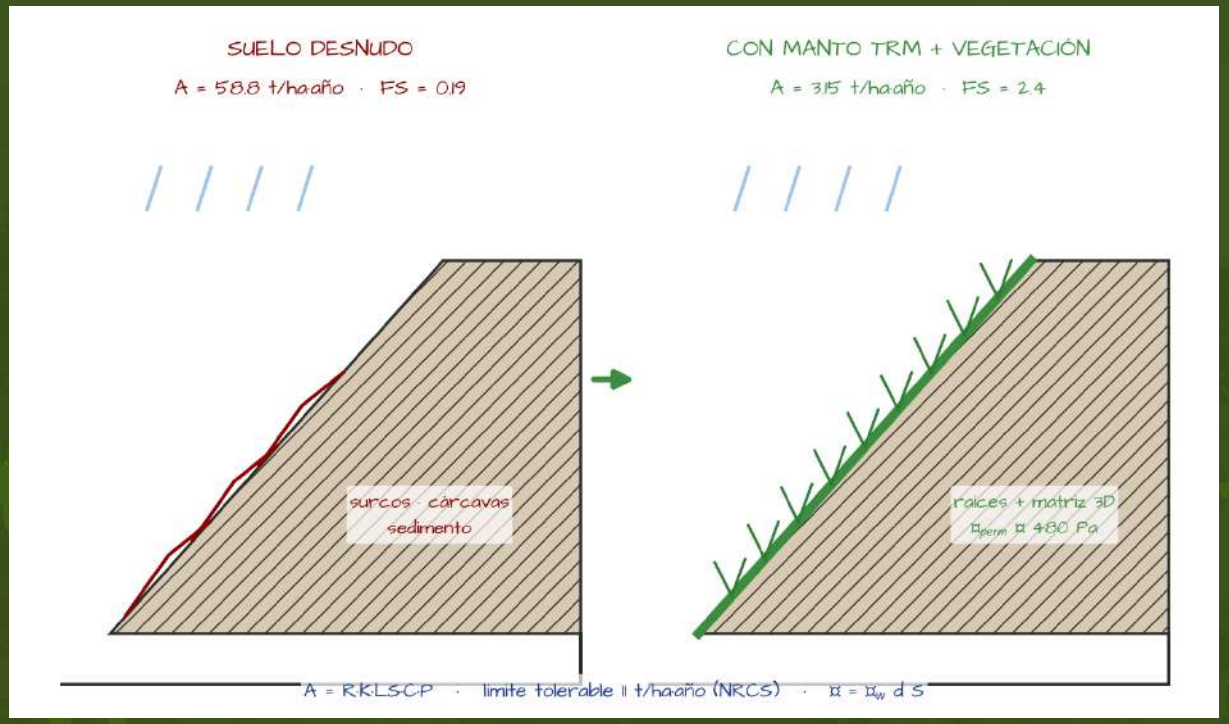
Zanjas de anclaje y remate del manto







Control de erosión en taludes — RUSLE2 y esfuerzo cortante



Control de erosión — RUSLE2 y esfuerzo cortante

Ecuación universal revisada (RUSLE2 – USDA):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad [t/ha\cdot año]$$

$R = 700$ (erosividad de lluvia, Guatemala 700–900) · $K = 0.30$ (franco arcillo-arenoso)

$LS = 0.28$ (talud 1.5H:1V, $L = 20$ m) · $P = 1.0$ · $C = 1.0$ (desnudo) / 0.054 (TRM)

$A_{desnudo} = 700 \cdot 0.30 \cdot 0.28 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \approx 58.8$ t/ha·año >> 11 (tolerable NRCS)

$A_{TRM} = 58.8 \cdot 0.054 \approx 3.15$ **t/ha·año < 11 ✓ (−95 %)**

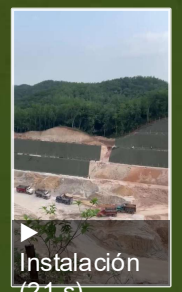
Esfuerzo cortante hidráulico en el talud:

$\tau = \gamma_w d S = 9.81 \cdot 0.03 \cdot 0.67 = 197$ Pa (lámina 3 cm, $S = 0.67$)

$FS = \tau_{perm}/\tau$: **suelo desnudo 38/197 = 0.19 × · TRM vegetado 480/197 = 2.4 ✓**


Manto instalado


Talud protegido


Instalación (21 s)

Criterio de aceptación: pérdida ≤ 11 t/ha·año (NRCS) y τ permisible del sistema vegetado > τ hidráulico. El talud desnudo excede 5× el límite; con manto queda en un tercio. Inspeccionar tras la primera temporada de lluvias.

Despliegue del manto TRM de arriba hacia abajo







Grapado, traslapes y anclaje intermedio







Detalle del manto: matriz 3D y contacto con el suelo







Instalación del manto — video



▶ Despliegue y grapado (21 s)



▶ Cuadrilla en talud (25 s)

Taludes protegidos — resultado







Taludes protegidos — resultado







Taludes protegidos — resultado







Talud terminado con cuneta de pie — video







Vista de dron — corredor y taludes protegidos



Vista de dron — corte protegido con manto



Vista de dron — plataforma y taludes



Vista de dron — panorámica del tramo





Sobrevuelo 1 — video



Sobrevuelo 2 — video

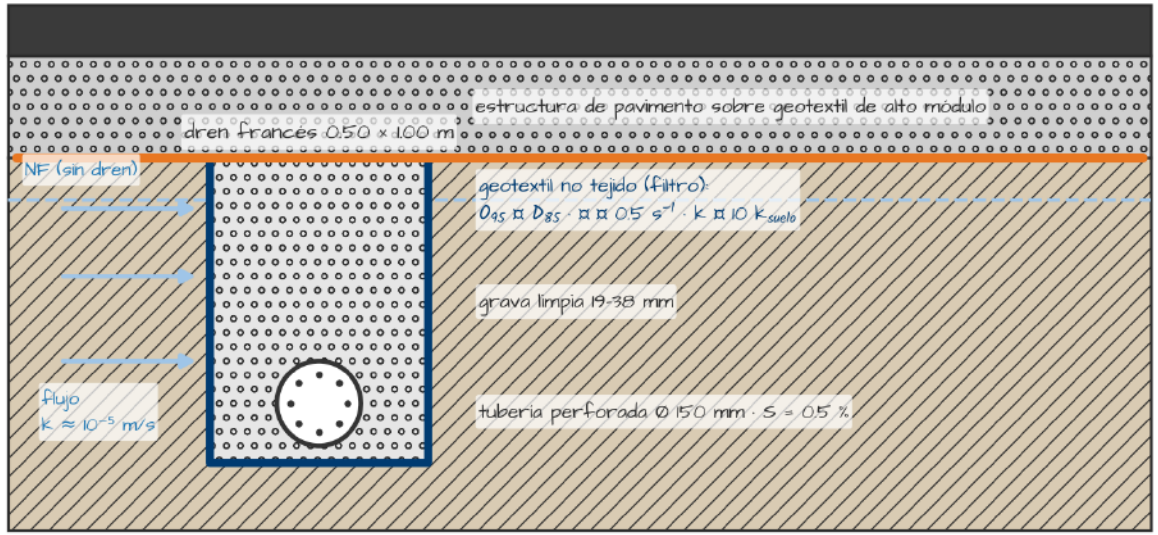


Sobrevuelo 3 — video

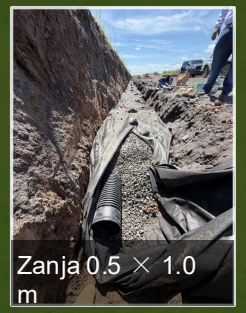


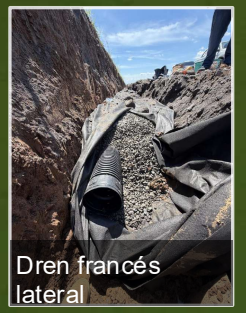
Drenaje y filtración: el aliado silencioso del refuerzo

El drenaje disipa la presión de poro: sin él, el refuerzo trabaja contra un suelo que pierde resistencia




Tubería envuelta en no tejido


Zanja 0.5 × 1.0 m


Dren francés lateral

Drenaje y filtración — dren francés con geotextil no tejido

Criterios de filtro (FHWA NHI-07-092 / AASHTO M 288):

Retención: $O_{95} \leq B \cdot D_{85}$, $B = 1$ (fino, <50 % pasa #200) → $O_{95} \leq 0.30$ mm

Permeabilidad: $k_{geotextil} \geq 10\, k_{suelo}$; permitividad $\psi \geq 0.5\ s^{-1}$ (limo)

Colmatación: $O_{95} \geq 3\, D_{15}$ · área abierta / porosidad > 30 %

Capacidad del dren (0.50 × 1.00 m, grava + tubería perforada Ø 150 mm):

$$Q_{in} = k\,i\,A = 10^{-5} \cdot 1.0 \cdot (1.0 \cdot 1.0) = 10^{-5}\ m^3/s{\cdot}m \text{ (limo)} \approx 0.86\ m^3/día{\cdot}m$$

$$Q_{tubo} = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{0.012} \cdot 0.0177 \cdot 0.0375^{2/3} \cdot 0.005^{1/2} = 0.012\ m^3/s$$

$Q_{tubo} \gg Q_{in} \cdot L$ ✓ → el filtro geotextil no tejido es el elemento crítico (colmatación)

el drenaje controla la presión de poro durante construcción y la vida útil del refuerzo

Tres funciones, un no tejido: retener finos ($O_{95} \leq D_{85}$), dejar pasar el agua ($\psi \geq 0.5\ s^{-1}$) y no colmatarse. El dren francés lateral del Km 157 descarga la plataforma envuelta y protege la cuneta del talud.

Dren francés: tubería perforada envuelta en geotextil no tejido





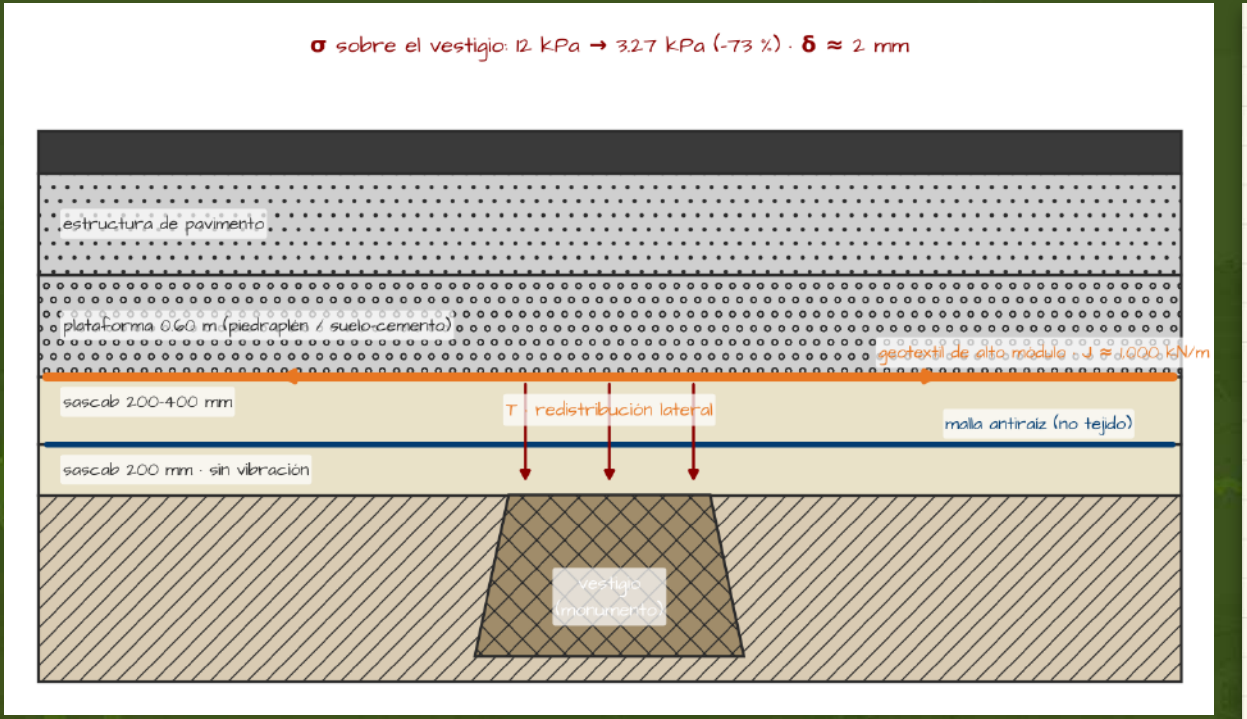


Dren francés — detalle de la envoltura y la zanja





Refuerzo sobre heterogeneidades: vestigios y cavidades



Procedimiento de re-enterramiento (Xochi 3 / Quilá)

- Limpieza y nivelación sin dañar el monumento → 200 mm de sascab compactado sin vibración
- Malla antiraíz (no tejido) en todo el perímetro → segunda capa de sascab 200–400 mm
- Geotextil de alto módulo extendido sin pliegues, traslape ≥ 30 cm (AASHTO M 288) → plataforma 0.60 m

Refuerzo sobre vestigios / cavidades — plataforma tensada

Esfuerzo bajo carga distribuida (Boussinesq):

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi}[\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta)]$$ (franja de ancho B a profundidad z)

Plataforma 0.60 m + pavimento: $q \approx 12$ kPa sobre el vestigio (sin refuerzo)

Membrana tensada sobre heterogeneidad (BS 8006 / Giroud void bridging):

$$T = \frac{qD}{2}\Omega\,,\quad \Omega = \frac{1}{4}\left[\frac{2y}{D} + \frac{D}{2y}\right]\,,\quad \varepsilon = \frac{1}{(2y/D)^2 + 1}\cdots$$

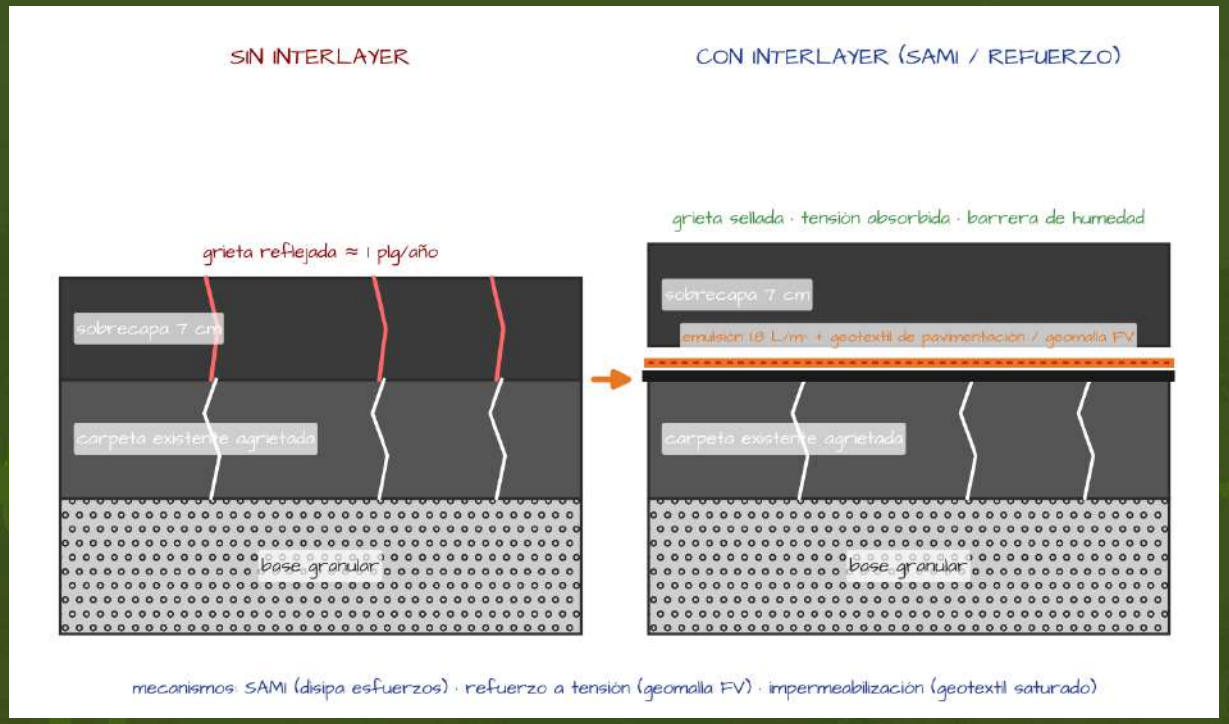
$$\sigma_{vestigio} = q - \frac{2T\sin\theta}{D}$$; con geotextil de alto módulo ($J \approx 1{,}000$ kN/m):

$\sigma_{vestigio}$: 12 kPa → 3.27 kPa (−73 %) · deformación superficial ≈ 2 mm

Secuencia: sascab 200 mm sin vibración → malla antiraíz → sascab 200–400 mm → geotextil integral (traslape 30 cm)

Mismo principio, otro objetivo: la membrana tensada que sostiene un terraplén también puentea cavidades kársticas y protege patrimonio. Objetivo de deformación: 2 mm; esfuerzo sobre el vestigio −73 %.

Rehabilitación de pavimentos asfálticos: interlayers




Tractor con rodillo


Vista superior


▶ Riego de emulsión (12 s)

Rehabilitación de asfaltos — interlayers (SAMI / refuerzo)

Dosificación del riego de liga (emulsión CSS-1h):

Geotextil de pavimentación: 0.40 gal/yd² = 1.8 L/m² → residual asfáltico ≈ 1.1 L/m²

Geomalla + geotextil (compuesto): 0.25–0.30 gal/yd² · curar hasta romper (color negro, sin agua libre)

Equivalencia estructural y reflexión de grietas:

$h_{sobrecapa} = h_{req} - h_{eq,\,interlayer}$; geotextil ≈ 2–4 plg · geomalla FV + geotextil ≈ 3–6 plg

N_{con}/N_{sin} (ciclos a reflexión) ≈ 2–4× (ensayo de fatiga a flexión, vigas con interlayer)

Carpeta mínima sobre el interlayer: 40–50 mm (2.75 plg aplicado) · T asfalto 150–160 °C

Sobrecapa 7 cm + geomalla FV/geotextil ≈ 12–13 cm de carpeta convencional

Sin interlayer: grieta reflejada ≈ 1 plg de carpeta por año (regla empírica)

El 80 % del éxito es la instalación: superficie limpia y seca, dosificación y curado de la emulsión, geotextil con la cara correcta hacia abajo, sin arrugas, traslapes de 10–15 cm con riego adicional y carpeta el mismo día.

Interlayers: preparación del rollo y del equipo



▶ Desempaque del rollo (15 s)





Explicación en campo del sistema interlayer — video



▶ Explicación en obra (23 s)

Riego de emulsión CSS-1h — video



▶ Riego de liga (12 s)

Tractor con rodillo de despliegue

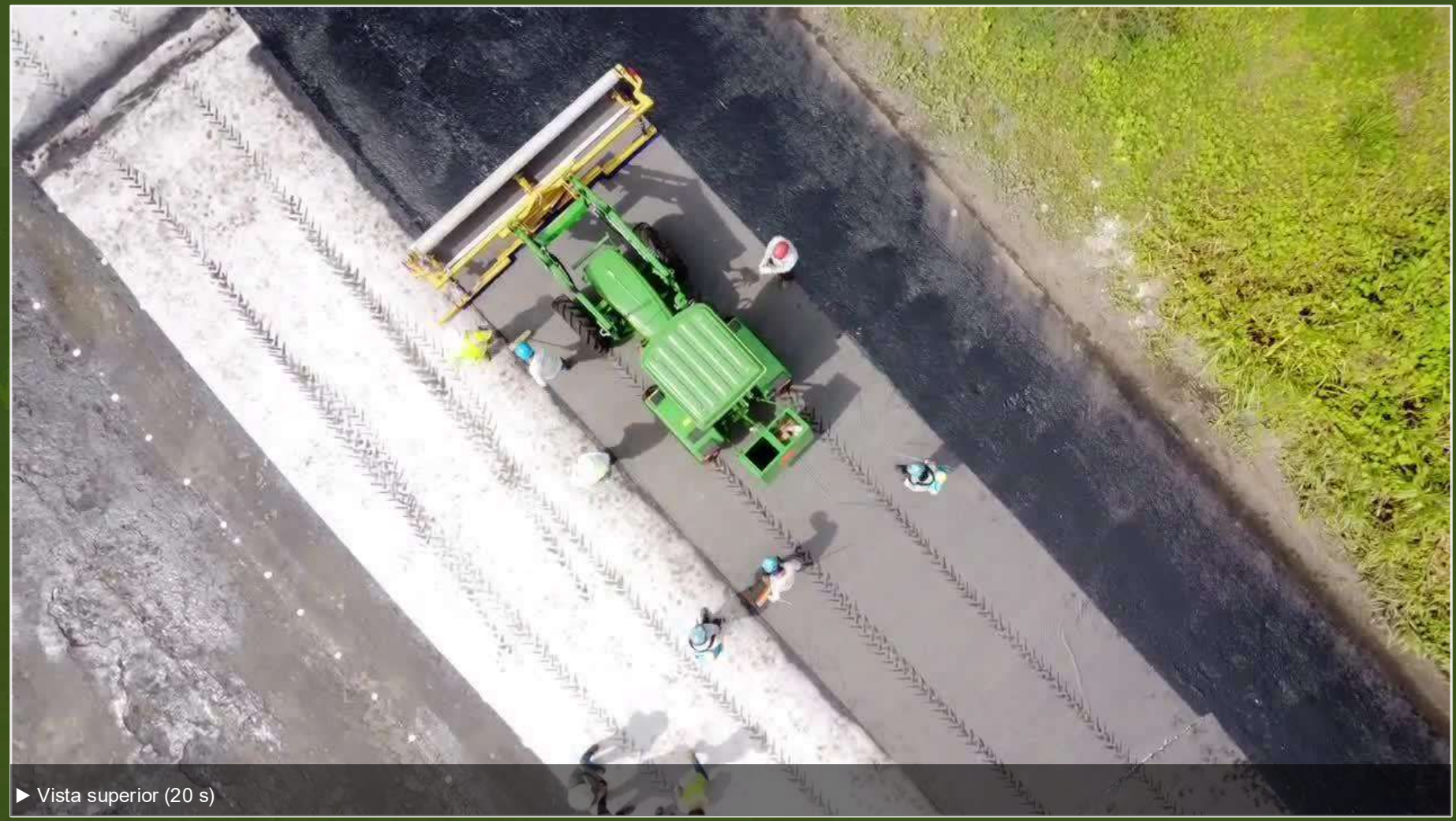








Despliegue mecanizado — video



▶ Vista superior (20 s)

Traslape entre rollos — video



Unión de traslapes y corte de arrugas — video



▶ Corte de arrugas (18 s)

Vista superior: traslapes y alineación





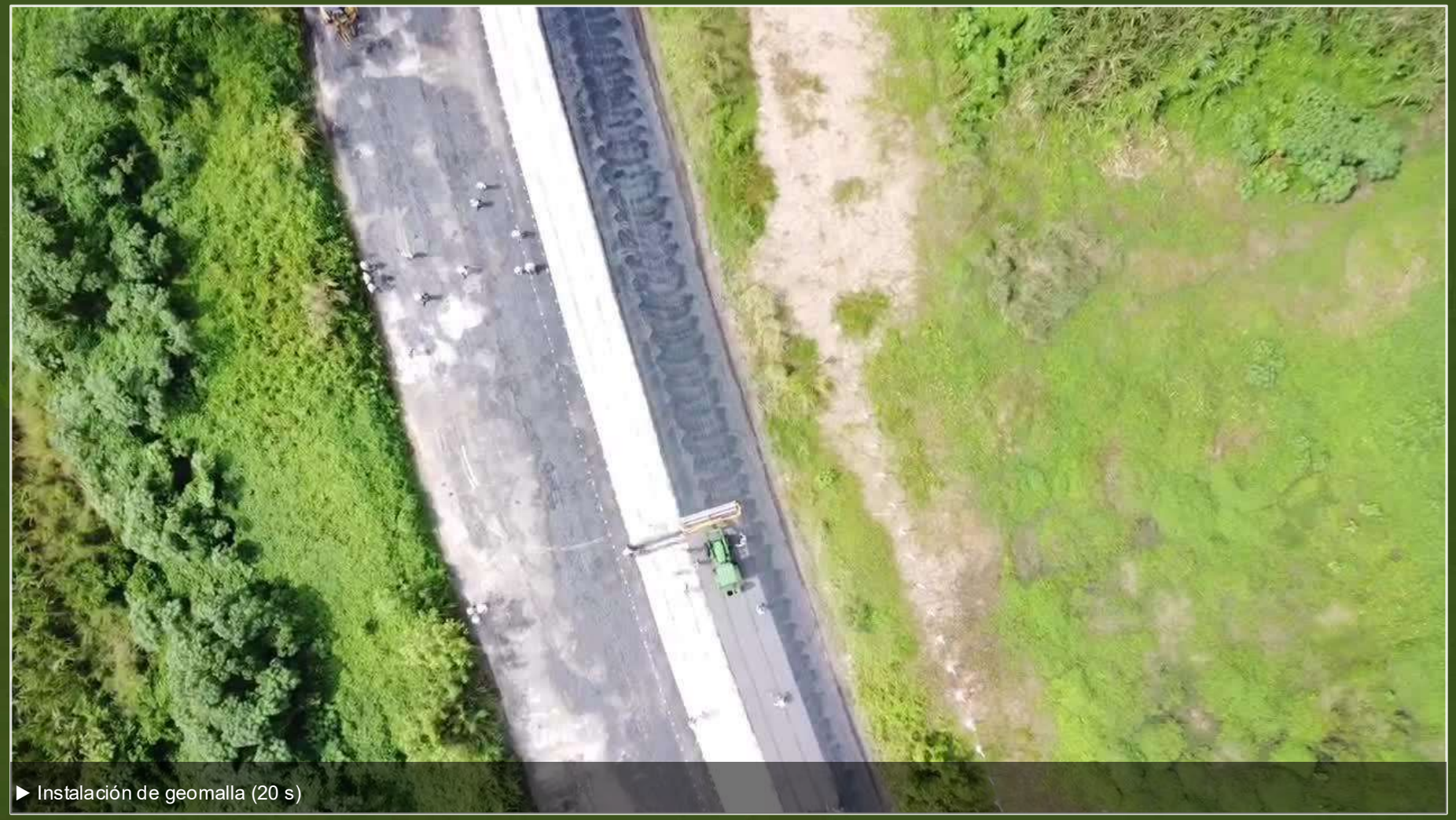




Inspección del geotextil de pavimentación — video



Geomalla de fibra de vidrio — vista de dron



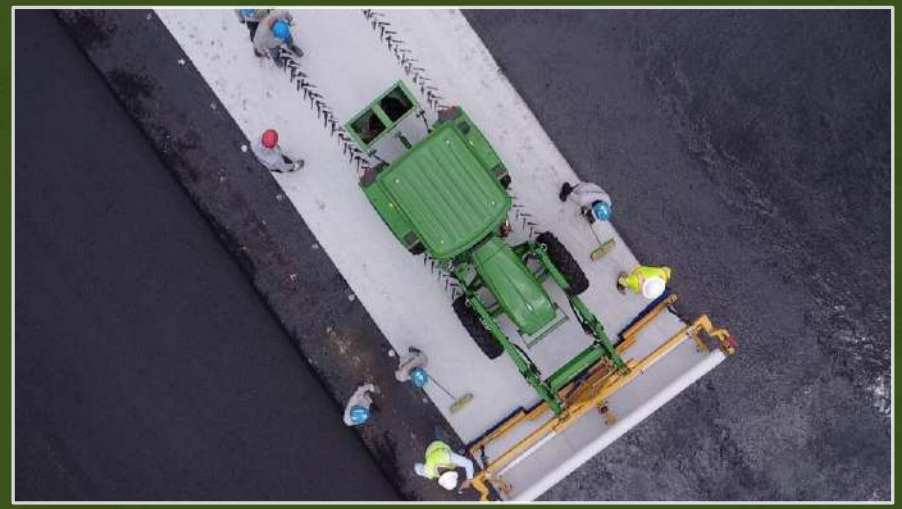
▶ Instalación de geomalla (20 s)

Cuadrilla y supervisión









Carpeta asfáltica sobre el interlayer — video



▶ Extendido de carpeta (18 s)

Carpeta terminada









Verificación en campo: cerrar el ciclo diseño → obra

Verificación en campo — PANDA® / LWD

Penetrómetro dinámico de energía variable (NF P 94-105):

$$q_d = \frac{1}{A} \cdot \frac{\frac{1}{2}Mv^2}{x} \cdot \frac{M}{M+P} \rightarrow \text{perfil } q_d(z) \text{ vs. curva de referencia}$$

$CBR \approx 0.29 q_d^{1.1}$ (q_d en MPa) → subrasante Km 157: CBR 1–2 % ✓ confirma diseño

Deflectómetro de impacto liviano (LWD, placa 300 mm, 10 kg):

$$E_{vd} = \frac{1.5\sigma r}{s} = \frac{22.5}{s(mm)} \text{ MN/m}^2 \quad (\sigma = 0.1 \text{ MPa})$$

Km 143+800: E_{vd} = 28.6 / 31.8 / 34.3 / 36.8 → promedio 32.9 MN/m² ($s \approx 0.68$ mm)

Terraplén 0.61 m A-1-a @ 95 % Proctor: anomalía tipo 2 = ACEPTABLE

Controles de instalación: traslape 30–45 cm (coser si > 1 m) · 15 cm agregado antes de tránsito · parche +0.9 m











Pedraplén sobre geotextil



Capacitación de cuadrilla

Controles de instalación del geotextil de alto módulo

- Recepción: etiqueta, fabricante, estilo y número de rollo; inspección por daños de transporte
- Almacenamiento: sobre polines, cubierto, protegido de UV, químicos, chispas y > 60 ° C
- Preparación: superficie lisa; depresiones o jorobas > 15 cm corregidas antes de extender
- Traslapes 30–45 cm; coser cuando se requiera ≥ 1 m o bajo cargas altas sobre subrasante blanda
- Tránsito: ≥ 15 cm de agregado antes de permitir equipo; sin frenadas, arranques ni giros bruscos
- Reparaciones: parche que exceda ≥ 0.9 m el borde del daño · ensayos de laboratorio ≤ 1 año de antigüedad

Especificar bien: propiedades de desempeño, no sólo de índice

Geotextil de alto módulo

Resistencia a 2 % y 5 % (ASTM D4595), permitividad (D4491), AOS (D4751), punzonamiento CBR (D6241), CF de Giroud-Han por ensayo cíclico

D4595 · D4491 · D4751 · D6241

Geomalla uniaxial (MSE)

Resistencia última (D6637), fluencia (D5262/D6992), daño de instalación (D5818), durabilidad (D5970/D6213), interacción (D6706)

RF = RFcr · RFid · RFd

Manto TRM

Resistencia (D6818), espesor (D6525), τ permisible y velocidad por ensayo a gran escala, resistencia UV 80 % a 3,000 h (D4355)

D6818 · D4355

Interlayer asfáltico

Retención de asfalto (D6140), punto de fusión > 150 ° C, resistencia FV ≥ 50 kN/m, adherencia con emulsión

D6140 · AASHTO M 288 (paving)

Geotextil no tejido (filtro)

AOS, permitividad, resistencia a la perforación; criterios de retención y colmatación

AASHTO M 288 clase 2

Trazabilidad

MARV (valor mínimo promedio del rollo), certificados por lote, programas tipo NTPEP, ensayos de terceros ≤ 1 año

MARV · NTPEP

Resultados en números — Corredor Xochi

610 → 180 mm

espesor de agregado sobre CBR 1.6 % (Giroud-Han) · −70 %

× 4.8

capacidad estructural: 209 → 1,010 M ESAL (AASHTO 93 + GSC)

0.58 → 1.30

FS terraplén 10 m con sismo: de colapso a aceptable

58.8 → 3.15

t/ha·año de pérdida de suelo (RUSLE2) · límite 11

12 → 3.27 kPa

esfuerzo sobre vestigios arqueológicos · −73 %

ACEPTABLE

control PANDA® NF P 94-105 · LWD Evd 32.9 MN/m²




Taludes y plataforma terminados

Riesgo residual y lecciones: lo que el diseño deja abierto

1 Instrumentar

Puntos de control topográfico y placas de asentamiento en terraplenes altos; comparar medido vs. estimado

2 Trazabilidad

Planos as-built y registro fotográfico por tramo; documentar productos instalados cuando difieran del plano

3 Comparar bien

Repetir la estabilidad de la sección de 20 m con el mismo coeficiente sísmico con y sin refuerzo

4 Materiales vigentes

Ensayos de laboratorio de los geosintéticos con antigüedad ≤ 1 año al momento de instalar

5 Primera lluvia

Inspeccionar taludes tras la primera temporada, donde el manto aún no tiene vegetación establecida

6 Supervisión

Compactación y drenaje con control permanente; equipo de baja presión cuando CBR < 1.5 %



Antes: corte expuesto



Después: manto instalado

Conclusiones

1 Una subrasante con CBR 1.6 % puede ser plataforma confiable sin sustitución masiva: el método (Giroud-Han) y el producto correcto (alto módulo, con CF ensayado) redujeron el agregado de 610 a 180 mm.

2 El refuerzo escalonado por altura — una, dos o tres capas y geomallas sólo en 20 m — llevó todos los rangos a FS 1.26–1.68 frente a escenarios sin refuerzo que caían a 0.58.

3 Un solo geosintético resolvió cinco funciones (refuerzo, separación, confinamiento, filtración, drenaje); eso justifica geotextil y no geomalla en un sitio saturado con grava de río.

4 El mismo principio de membrana tensada protege patrimonio y puentea cavidades: 12 → 3.27 kPa sobre los vestigios.

5 La erosión es parte del sistema, no un tratamiento aparte: sin manto, 5× el límite tolerable.

6 La campaña geotécnica no es un costo: es la variable que reduce el COV y, con el mismo FS, la probabilidad de falla.



¡Gracias!

M. Ing. Juan Pablo Broissin
Director Regional LATAM — **TECHFAB LATAM**
jp.broissin@techfablatam.com · +52 55 4263 1451 · www.techfablatam.com
At the Heart of Geosynthetic Activity

Referencias principales: Giroud & Han (2004) ASCE JGGE · AASHTO (1993) · AASHTO R50-09 · FHWA NHI-10-024/025 · FHWA NHI-07-092 · BS 8006-1 · USDA RUSLE2 · NF P 94-105 · AGIES NSE 2-18 · Koerner (2012). Caso: estudio geotécnico Bypass Sur (2021), expediente de diseño y ensayos de campo del Corredor Xochi (2024–2025).

Diseño y suministro de geosintéticos en Guatemala — Corredor Xochi



Escanea para contactar a Urrea Ingeniería