

Mejoramiento de suelos aplicado a los enfoques de puentes

César DAVIN

Gerente General Menard Colombia

cesar.davin@menard-mail.com



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



menARD



Agenda

- 01** — Generalidades sobre el mejoramiento de suelos

- 02** — Técnicas y metodologías aplicadas en aproches de puentes



01

Generalidades sobre el mejoramiento de suelos



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menARD



¿ En qué consiste es el mejoramiento de suelos?



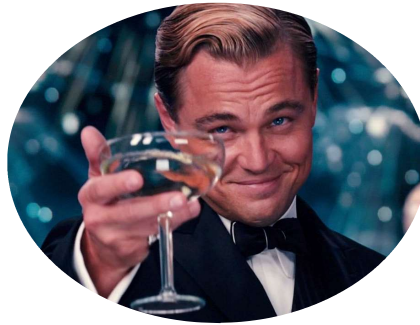
¿ En qué consiste es el mejoramiento de suelos?

Mejoramiento de las propiedades de los suelos pobres para obtener condiciones geotécnicas óptimas para soportar estructuras de manera eficiente y efectiva.



¿ En qué consiste es el mejoramiento de suelos?

Mejoramiento de las propiedades de los suelos pobres, permitiendo construir de manera superficial (y así evitar cimentaciones profundas tipo pilotes).



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

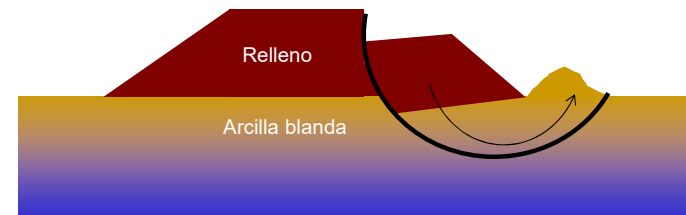
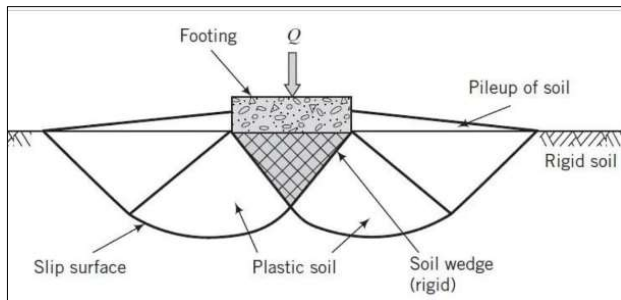
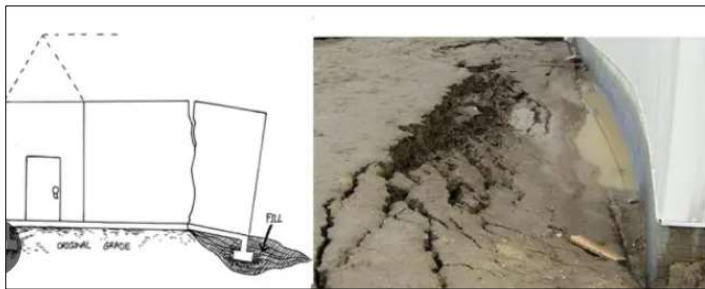


De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



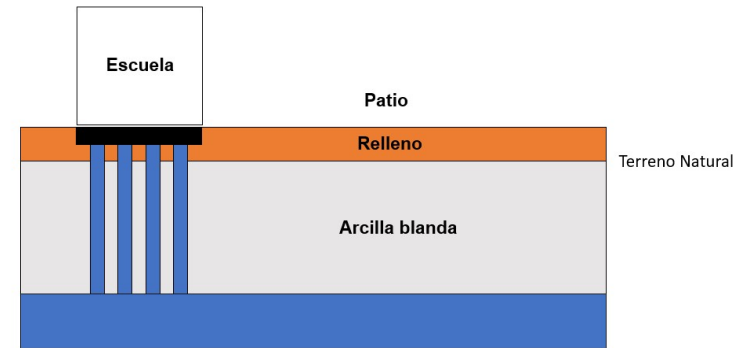
¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

1.Problemas de capacidad portante / estabilidad / rigidez



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

2. Asentamientos altos (totales / diferenciales)



Escuela de Pointe-à-Pitre,
unos días después de su construcción



Escuela de Pointe-à-Pitre,
10 años después



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

3. Riesgo de licuación



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

1. Problemas de capacidad portante / estabilidad / rigidez

2. Asentamientos altos (totales / diferenciales)

3. Riesgo de licuación

Problemáticas estáticas

Problemática dinámica



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

1. Problemas de capacidad portante / estabilidad / rigidez

2. Asentamientos altos (totales / diferenciales)

3. Riesgo de licuación

Problemáticas estáticas

Problemática dinámica

En realidad, la problemática se resume a los criterios de recepción de cada proyecto (especificaciones).

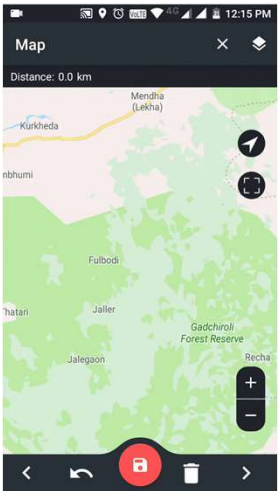


¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

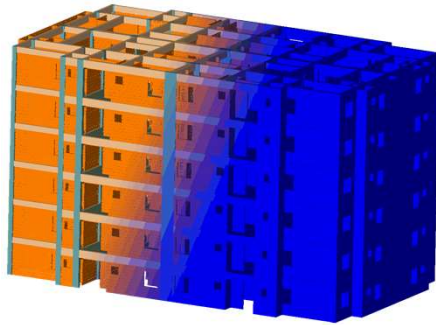
1. Problemas de capacidad portante / estabilidad
 - Punzonamiento $FS = \frac{(\pi+2).C_u}{\sigma'_v}$
 - Falla circular de talud Abaco de Taylor
Elementos Finitos
2. Asentamientos altos (totales / diferenciales) $\rightarrow \Delta h = \sigma'_v * (H/E_{edo})$
3. Riesgo de licuación
 - Factor de Seguridad frente al riesgo de licuación: $FS = \frac{CRR_{7.5} \times MSF}{CSR} \times K_\sigma$
 - Asentamientos sismo-inducidos



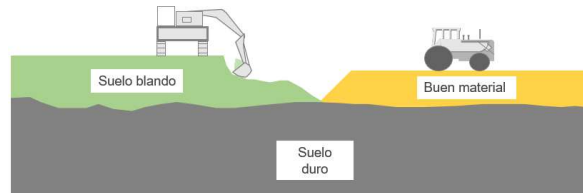
Soluciones tradicionales para mitigar estas problemáticas



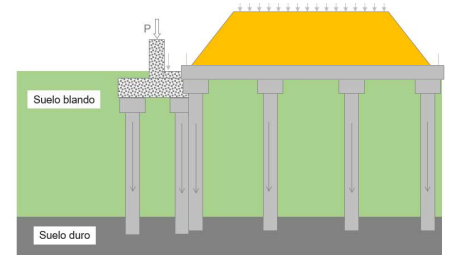
Cambiar la
ubicación
del proyecto



Sobre diseñar la
estructura



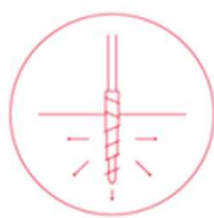
Sustituir el suelo
blando



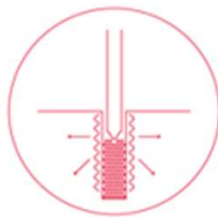
Hacer fundaciones
profundas (pilotes)



El mejoramiento de suelos como alternativa



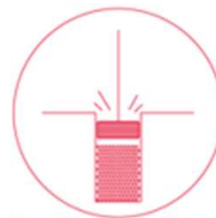
CMC



Columnas de grava



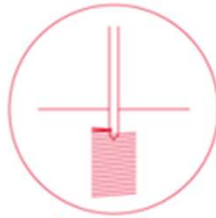
Drenes Verticales



Sustitución Dinámica



Compactación por impacto rápido



Jet grouting



Soil Mixing



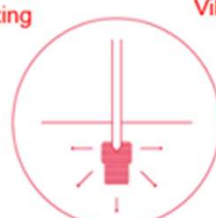
Vibrocompactación



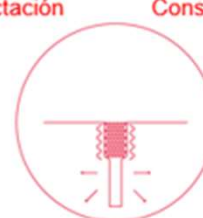
Consolidación por vacío



Compactación Dinámica



Compactación Grouting



Columnas bi-módulo



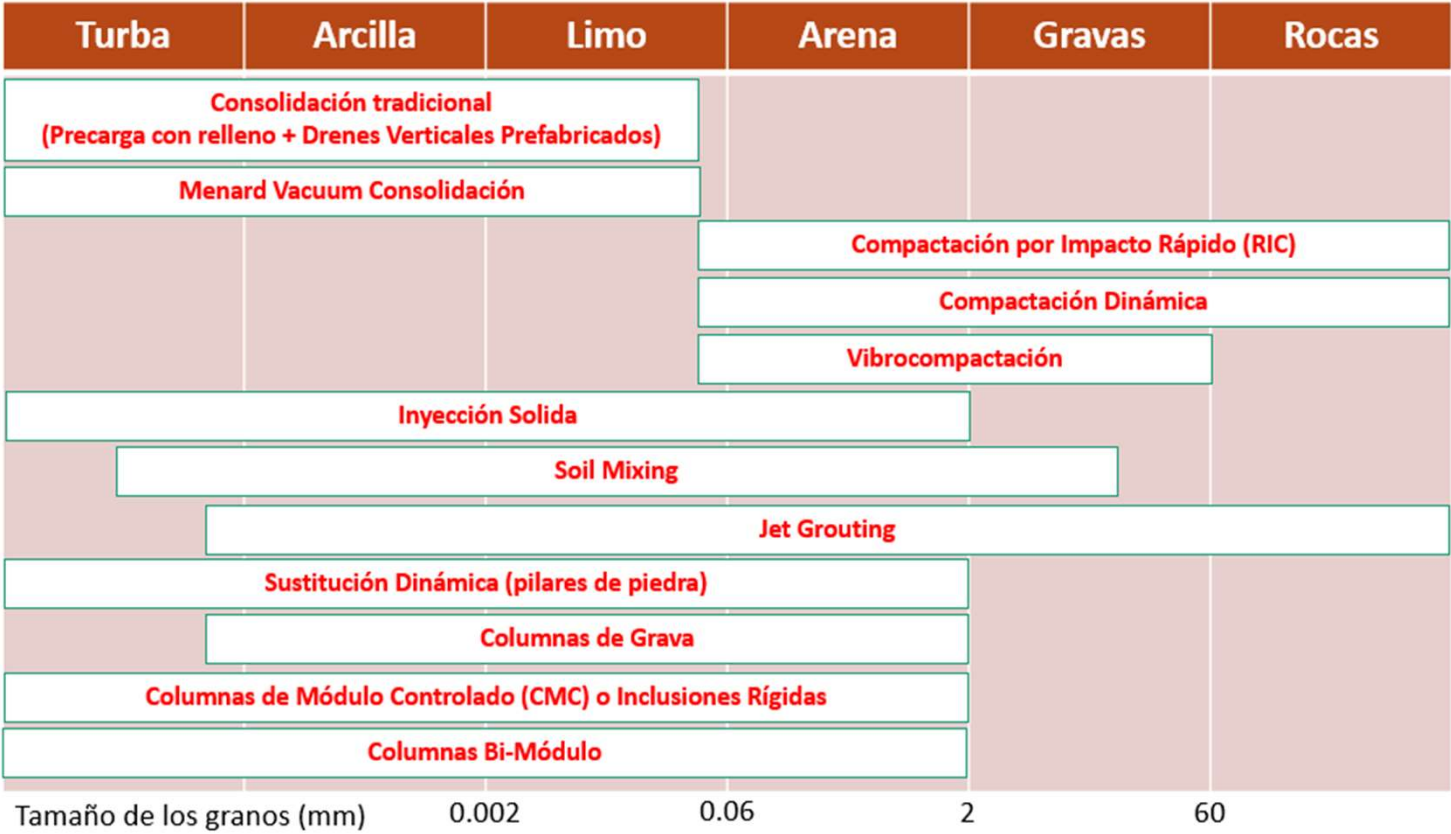
A. Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



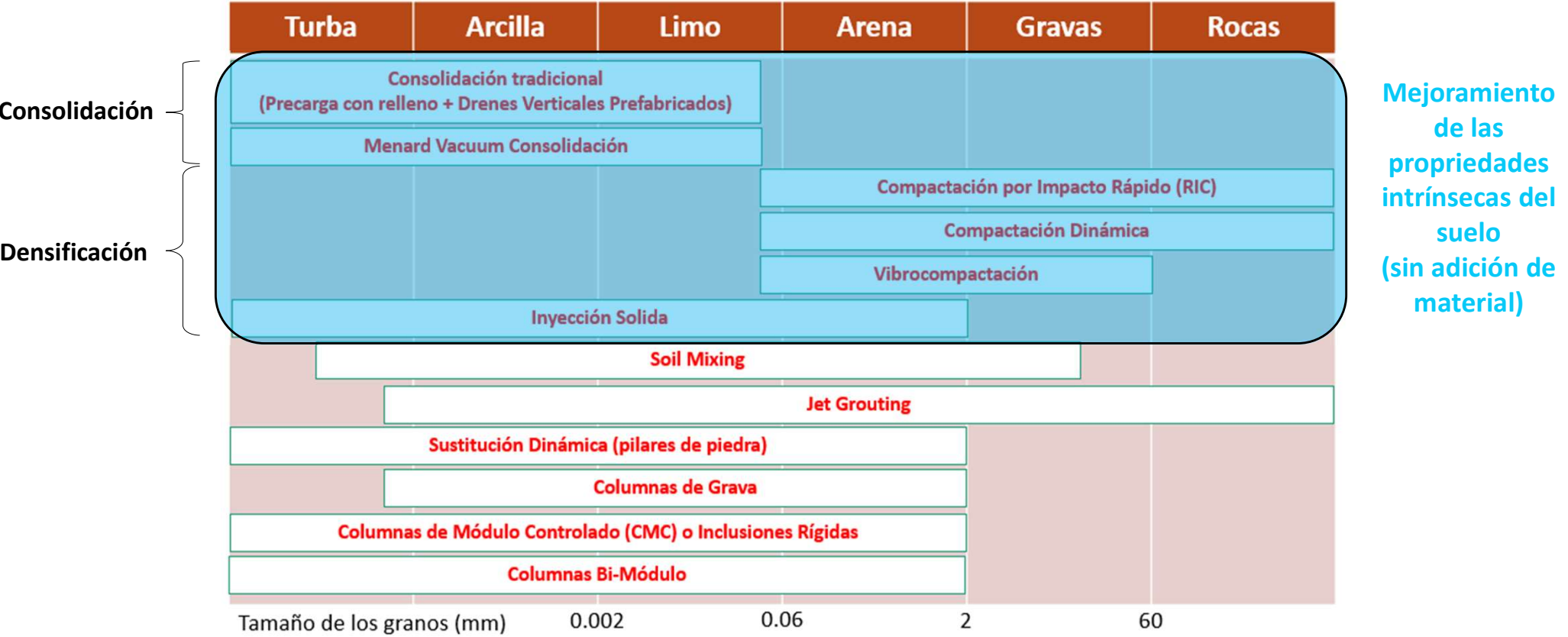
De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



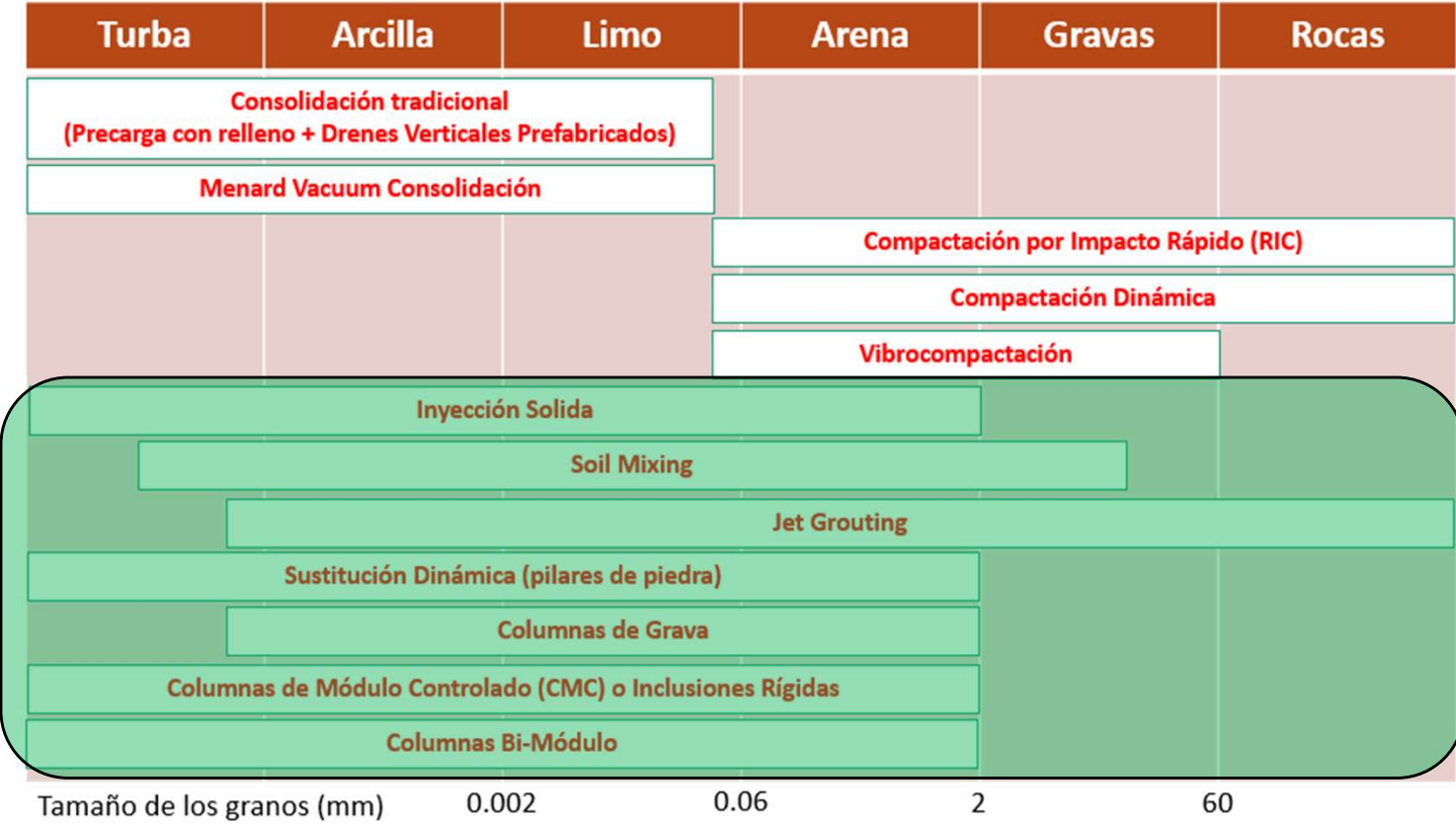
A. Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



A. Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



A. Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)

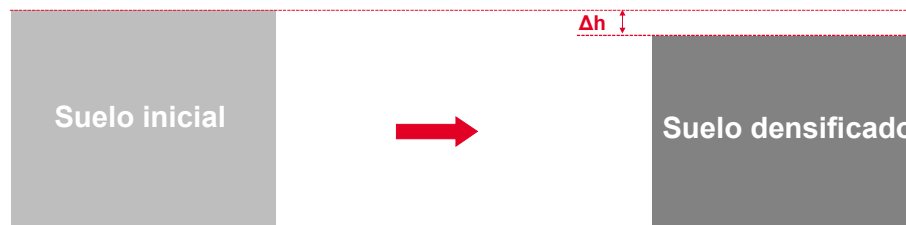


Reforzamiento de
suelo
(alivio del suelo de
una parte de las
cargas mediante el
agregado de
elementos rígidos
o semirrígidos)

A. Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)

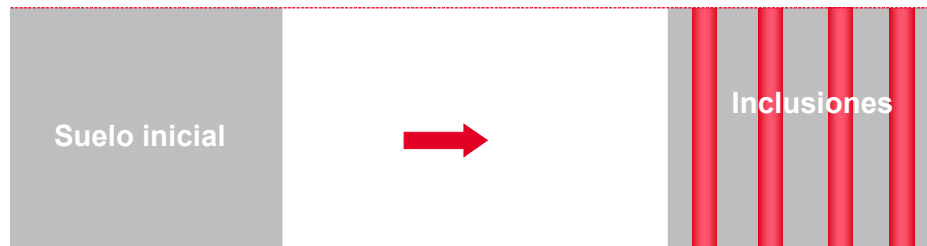
Técnicas de mejoramiento de las propiedades intrínsecas de los suelos

- + Densificación por acción directa sobre las características del suelo, consumo de los asentamientos **antes** de la vida útil del proyecto



Técnicas de reforzamiento de suelos mediante elementos rígidos o semirrígidos

- + Mejoramiento global del comportamiento del suelo por instalación de inclusiones, reducción de los asentamientos **durante** la vida útil del proyecto



B. Técnicas para mitigar problemáticas dinámicas (riesgo de licuación)



De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



B. Técnicas para mitigar problemáticas dinámicas (riesgo de licuación)

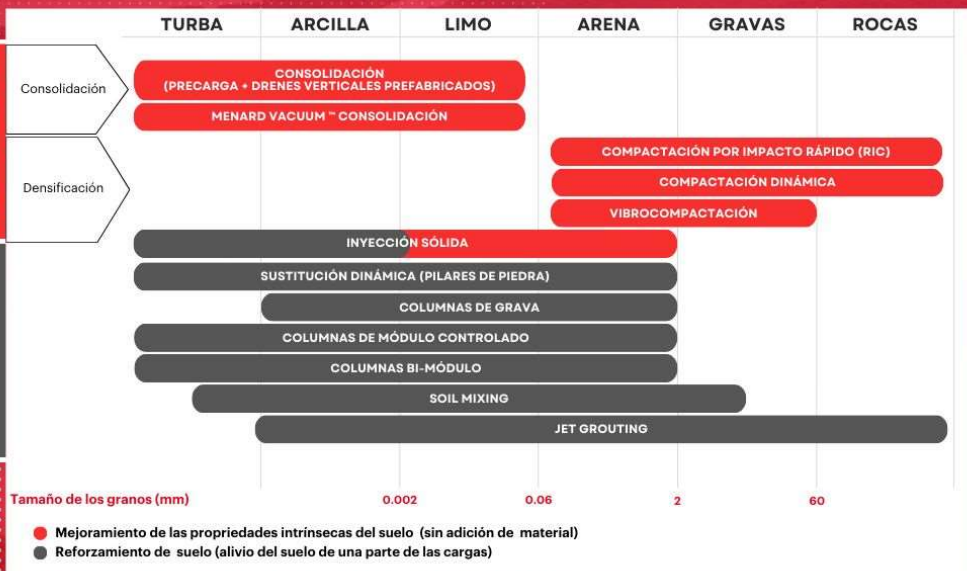
1	2		3	4
DENSIFICACIÓN	REDUCCIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE SÍSMICO		DRENAJE	AUMENTO DEL FACTOR K0
	INCLUSIÓN DE ELEMENTOS RÍGIDOS EN EL SUELO	CONFINAMIENTO		
<ul style="list-style-type: none">• Compactación Dinámica• Vibrocompactación• Inyección Sólida	<ul style="list-style-type: none">• Columnas de Grava / de Arena• Sustitución Dinámica• Inclusiones Rígidass• Inyección Sólida• Soil Mixing / Jet Grouting	<ul style="list-style-type: none">• Pantallas tradicionales (tablestacas, etc.)• Pantallas de Soil Mixing / Jet Grouting	<ul style="list-style-type: none">• Columnas de Grava / de Arena• Sustitución Dinámica• Drenes sísmicos (EQ Drains)	<ul style="list-style-type: none">• Técnicas que generan una expansión lateral del suelo (densificación del suelo circundante)



Técnicas de mejoramiento de suelos para problemáticas estáticas

MEJORAMIENTO

REFORZAMIENTO



Técnicas de mejoramiento de suelos para la mitigación del riesgo de licuación

1	2		3	4
DENSIFICACIÓN	REDUCCIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE SÍSMICO		DRENAJE	AUMENTO DEL FACTOR K0
	INCLUSIÓN DE ELEMENTOS RÍGIDOS EN EL SUELO	CONFINAMIENTO		
<ul style="list-style-type: none">• Compactación Dinámica• Vibrocompactación• Inyección Sólida	<ul style="list-style-type: none">• Columnas de Grava / de Arena• Sustitución Dinámica• Inclusiones Rígidas• Inyección Sólida• Soil Mixing / Jet Grouting	<ul style="list-style-type: none">• Pantallas tradicionales (tablestacas, etc.)• Pantallas de Soil Mixing / Jet Grouting	<ul style="list-style-type: none">• Columnas de Grava / de Arena• Sustitución Dinámica• Drenes sísmicos (EQ Drains)	<ul style="list-style-type: none">• Técnicas que generan una expansión lateral del suelo (densificación del suelo circundante)



SIMPÓSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menard



02

Técnicas y metodologías aplicadas en aproches de puentes



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menARD



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

1. Problemas de capacidad portante / estabilidad / rigidez

2. Asentamientos altos (totales / diferenciales)

3. Riesgo de licuación

Problemáticas estáticas

Problemática dinámica



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

1. Problemas de capacidad portante / estabilidad
2. Asentamientos altos (totales / diferenciales)
3. Riesgo de licuación

Problemáticas estáticas

Problemática dinámica

Posibles problemáticas para la construcción
de aproches de puentes



¿ Por qué necesitar mejoramiento de suelos?

1. Problemas de capacidad portante / estabilidad

2. Asentamientos altos (totales / diferenciales)

3. Riesgo de licuación

Punzonamiento / Falla circular de talud

$FS > 1.3$ (obra temporal)

$FS > 1.5$ (obra definitiva)

- Asentamientos totales max.: 3 – 10 cm
- Asentamientos diferenciales max.:
1:500
0.2% a 1% de la altura del muro en
Tierra Armada
+ definir en cual plazo

Factor de Seguridad frente al riesgo de
licuación (en general $FS > 1.25$)

Asentamientos sismo-inducidos

Posibles problemáticas para la construcción
de aproches de puentes

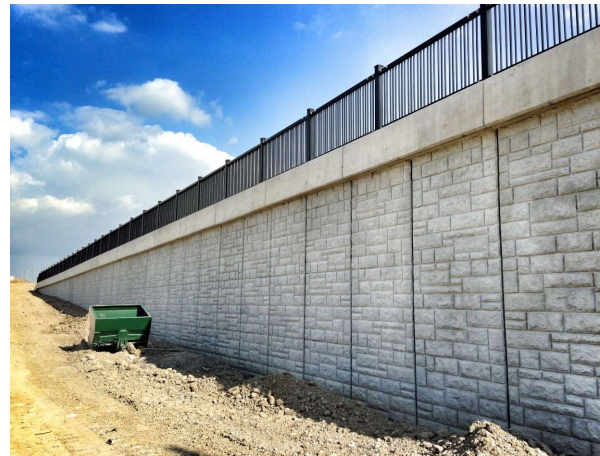


Tipos de aproches de puentes

TALUDES



MUROS DE TIERRA ARMADA

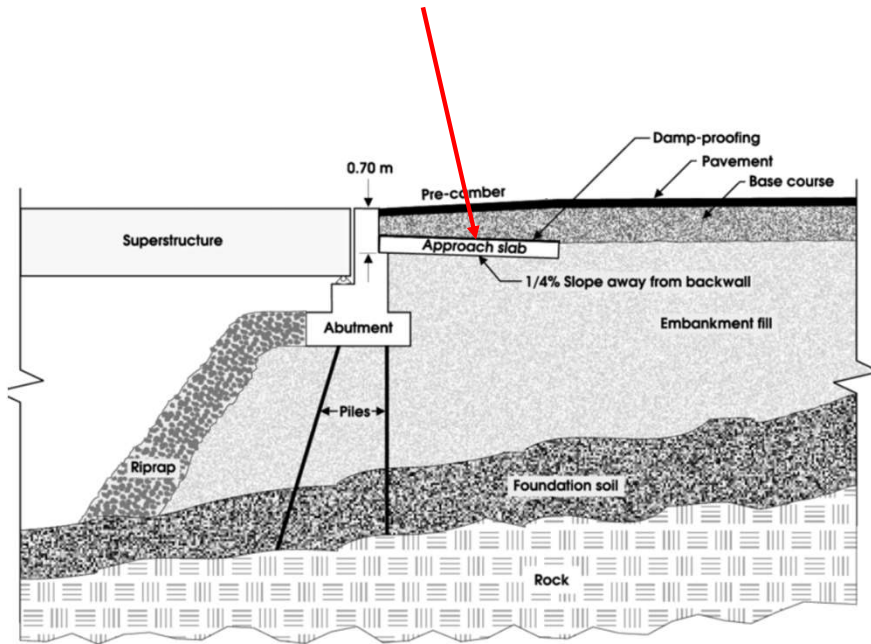


Henri Vidal



Aproches de puentes: buenas prácticas

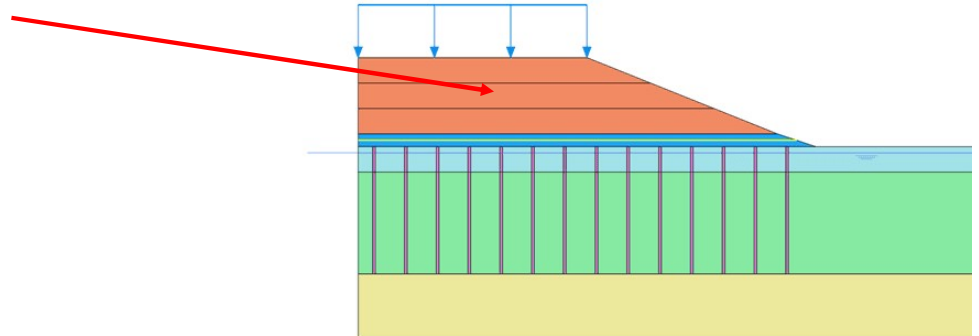
Losa de aproximación



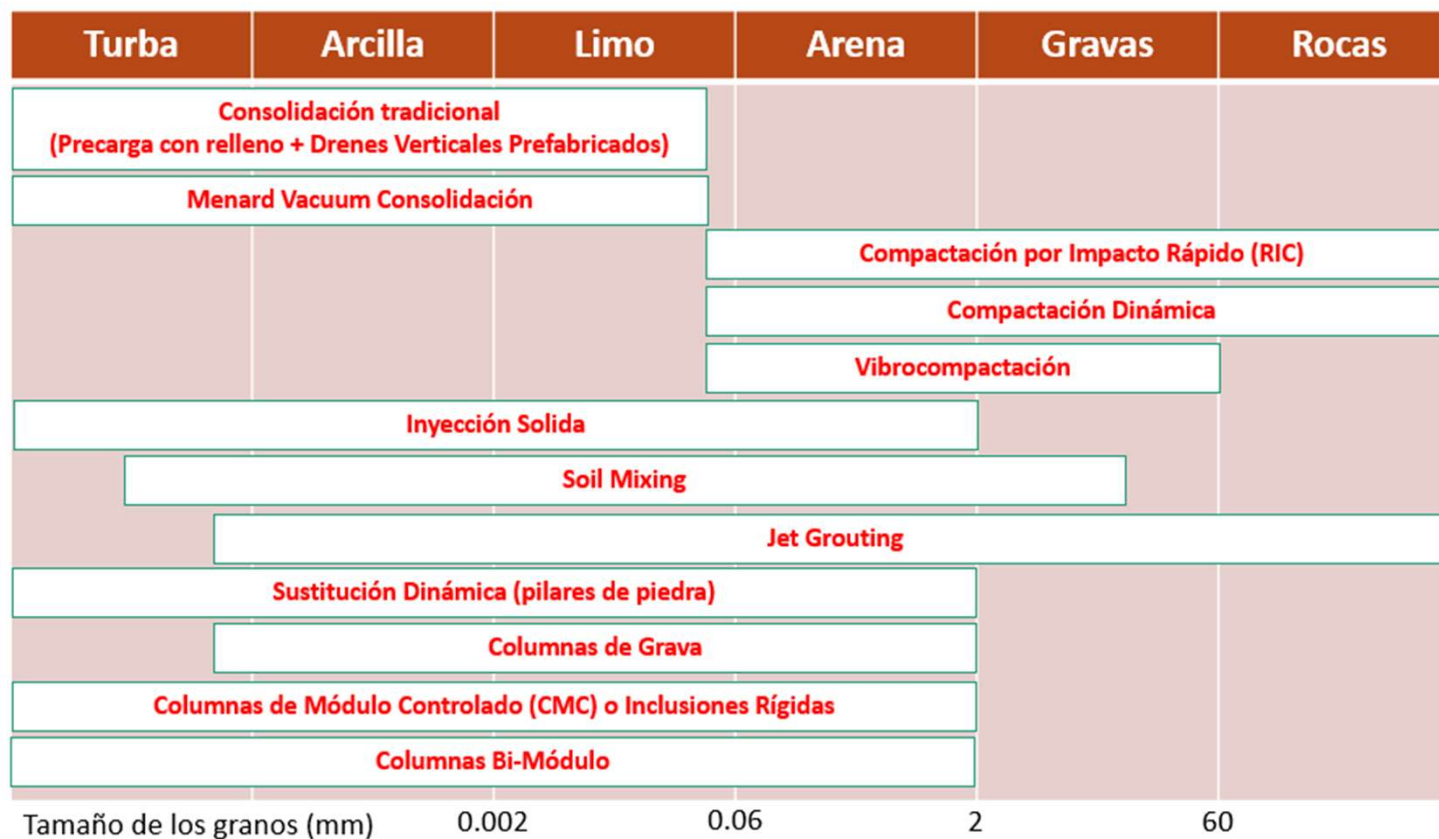
Aproches de puentes: buenas prácticas

Material de relleno del abroche

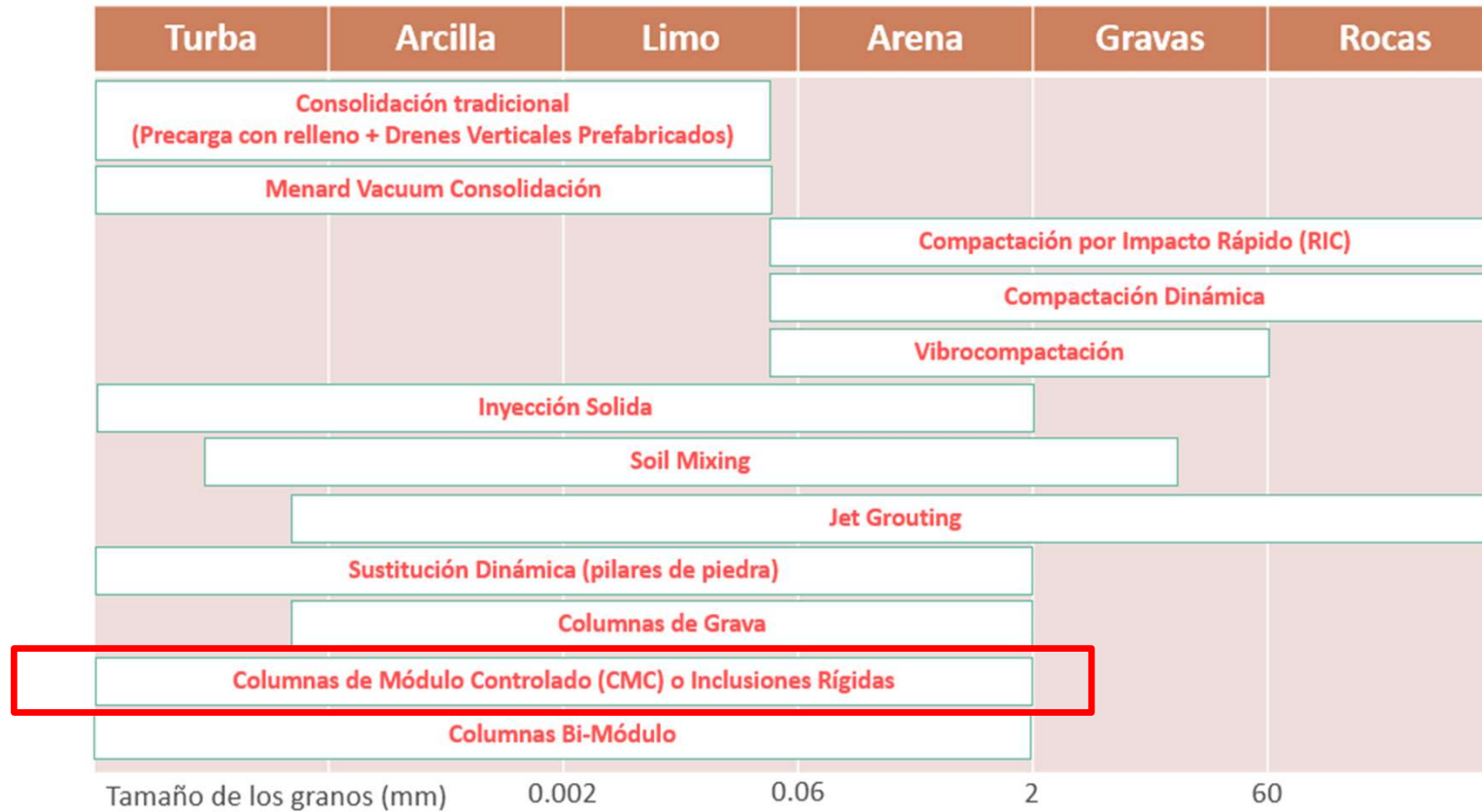
- **Material granular** (< 5% de finos)
- **Bien compactado**, por capas de 30 cm
- **Un geotextil anticontaminante** puede ser necesario para separar la capa de suelo fino blando subyacente del relleno del abroche
- **Control calidad de la compactación del relleno:** por ensayo Proctor modificado ($> 95\%$) o ensayos de placa ($EV2 > 50 \text{ MPa}$ y $EV2/EV1 < 2$)



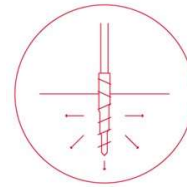
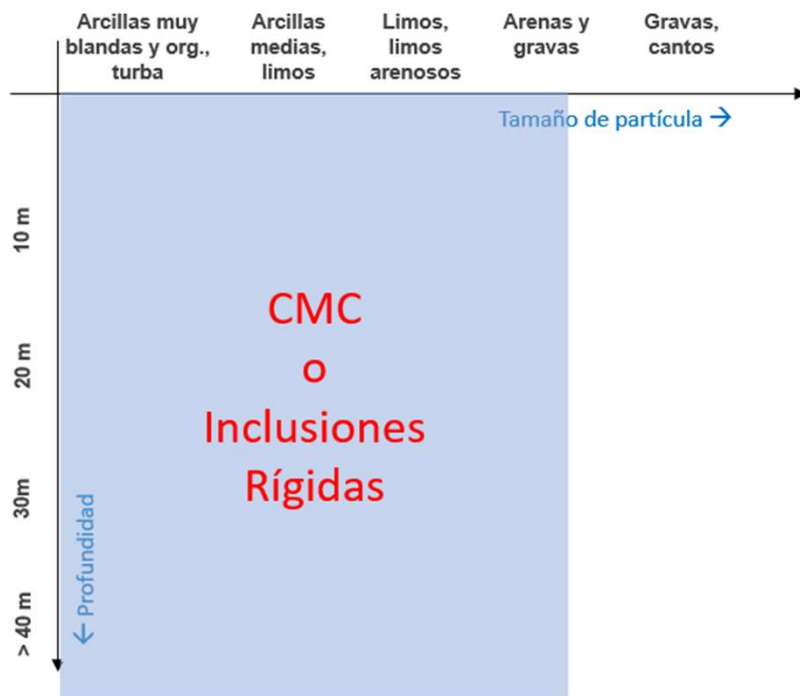
Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



*Jean-Marie
Cognon
(Menard)*



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

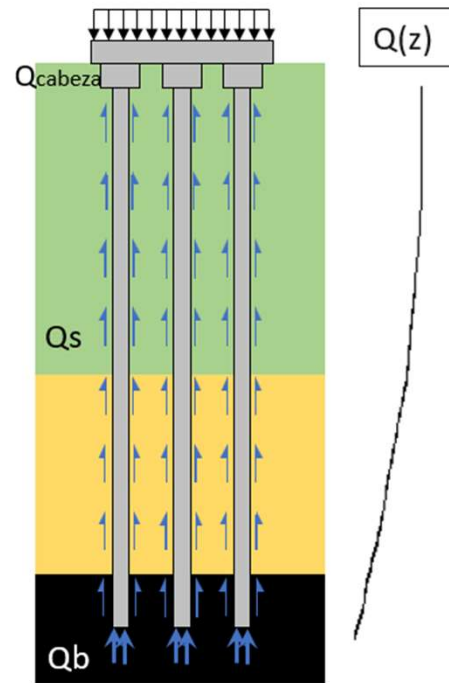
Pilotes

100% de las cargas
en los pilotes

Ninguna carga en el suelo

Q_{\max} en la cabeza:
 $Q_{\max} = Q_{cab} = Q_s + Q_b$

Asentamientos $\approx 0-1\text{cm}$

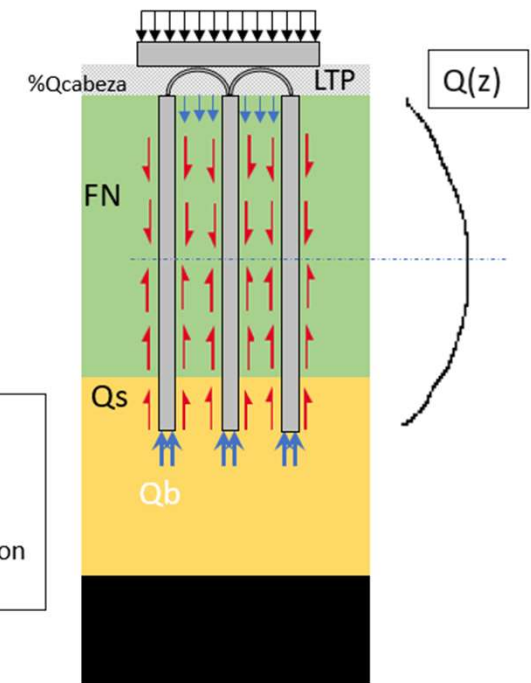


Inclusiones Rígidas / CMC

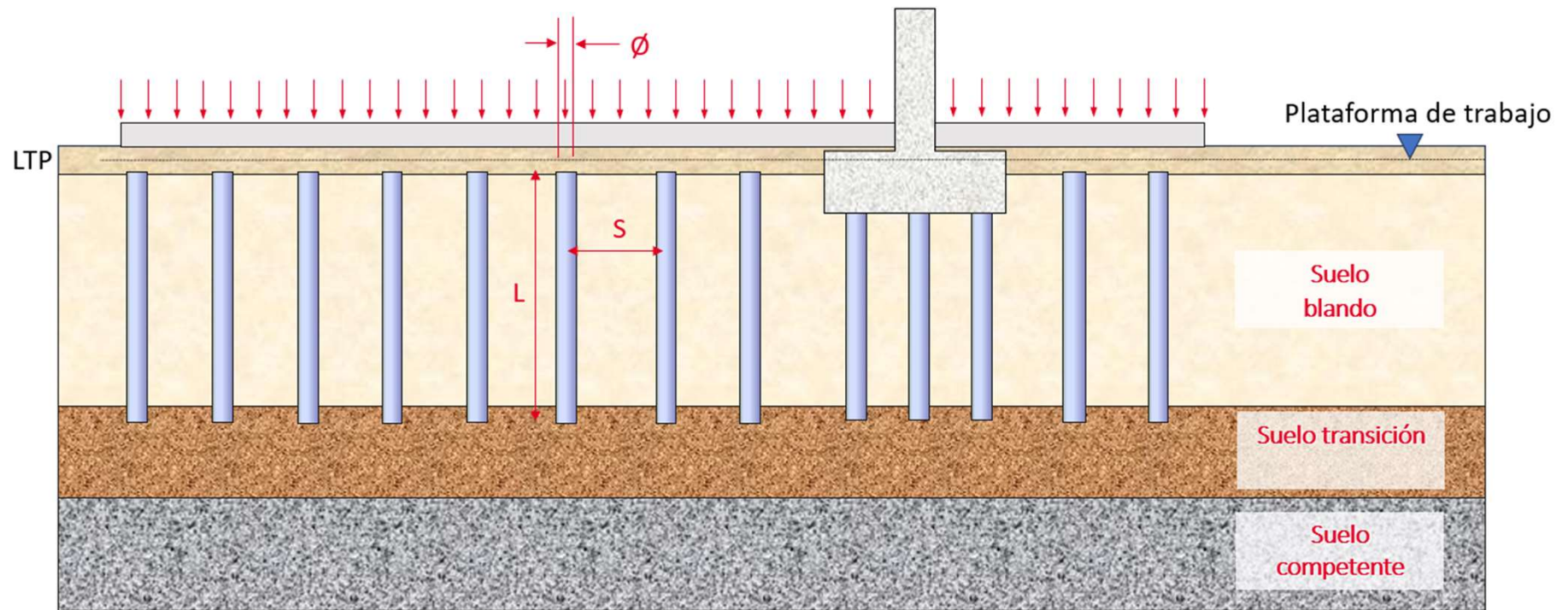
Distribución de las
cargas entre las CMC y
el suelo

Q_{\max} al plano neutro:
 $Q_{\max} = \%Q_{cab} + FN = Q_s + Q_b$

Asentamientos : el diseño de las
CMC esta ajustado para cumplir con
los criterios del proyecto

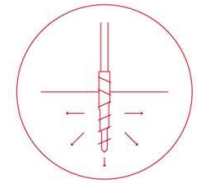


Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



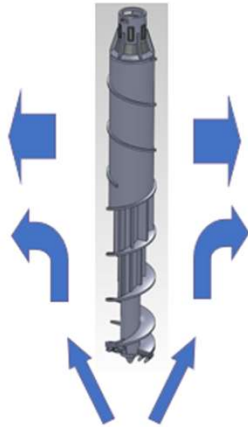
Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

- Profundidad: 2 a 50 m
- Diámetros: 280 mm a 450 mm
- Tasa de remplazo: 1% a 9%
- Concreto o mortero, R_c 8 a 35 MPa
- Rango del factor de reducción de asentamientos: 2 a 10



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

Rotación & broca de
desplazamiento lateral de suelo
(Menard)



Rotación & broca CFA
(Continuous Flight Auger)
Extracción de suelo



VCC (Vibro Concrete Columns)



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

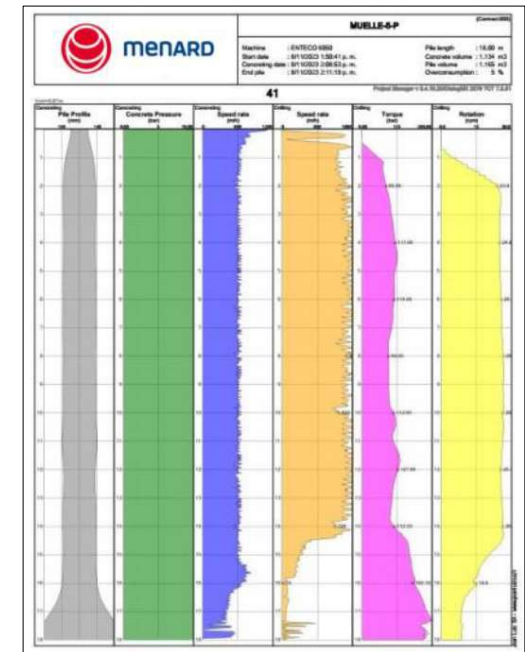
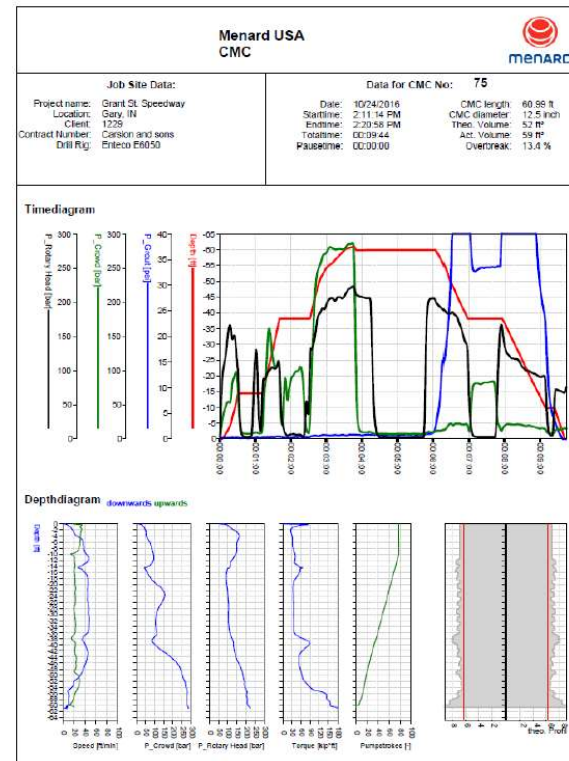


Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

Monitoreo de la ejecución:

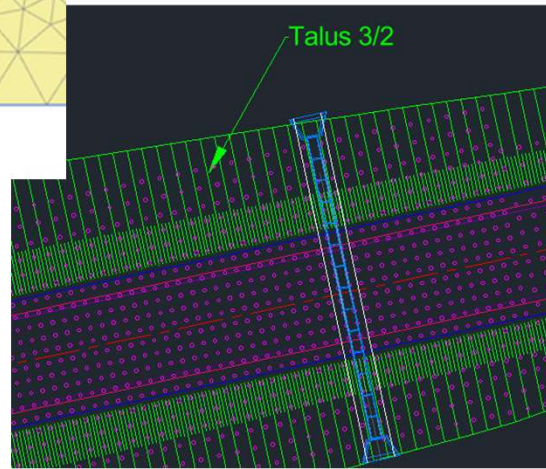
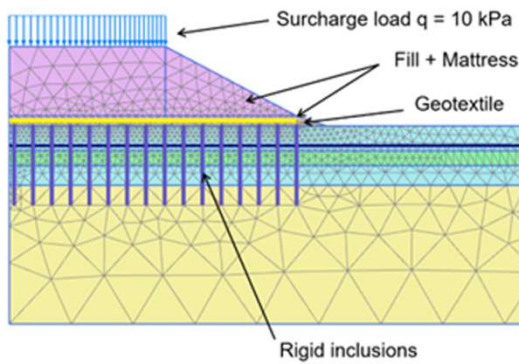
Registro de los parámetros de perforación y de hormigonado

- Omnibox
- Jean Lutz
- Guhma

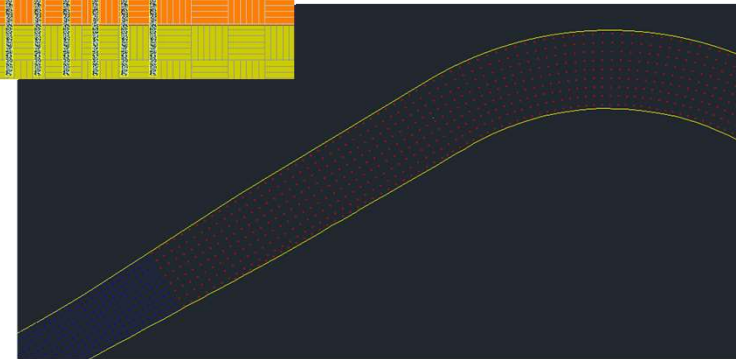
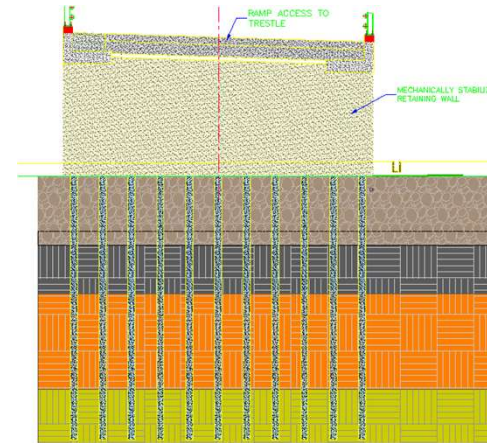


Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

TALUDES

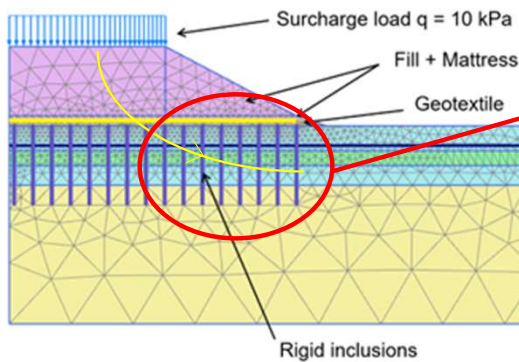


MUROS DE TIERRA ARMADA

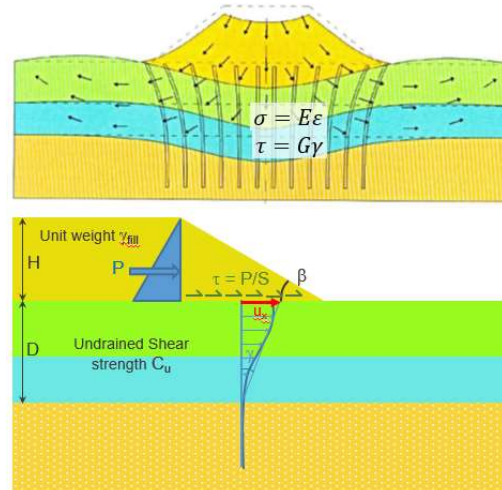


Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

TALUDES



Chequear la integridad de las Inclusiones Rígidas debajo de los taludes, sometidas a flexión compuesta



En caso de exceder la resistencia de la inclusión a la flexión compuesta:

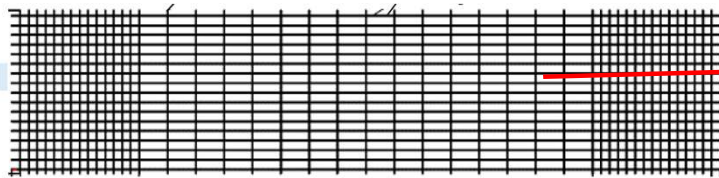
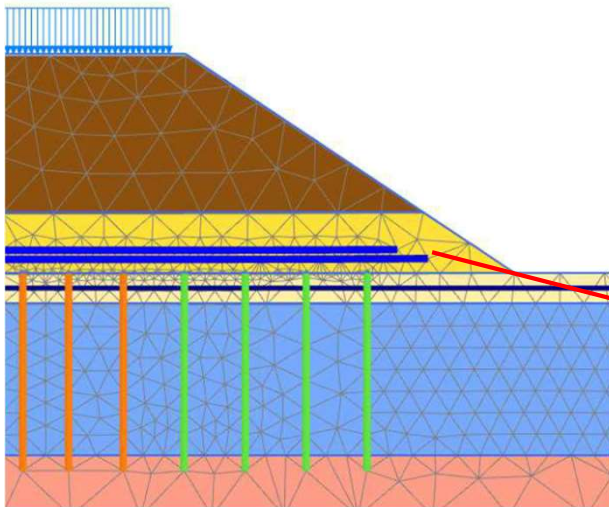
Reforzar la columna
O
Reforzar el relleno

Puede ocurrir con rellenos muy altos y suelos blandos



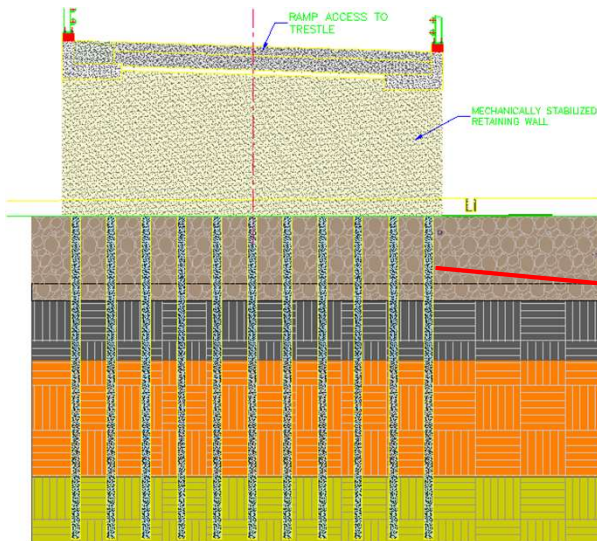
Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

TALUDES



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

MUROS DE TIERRA ARMADA



La ubicación de la ultima fila debe ser bien definida para que las columnas estén al 100% comprimidas



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)

Comentarios generales:

- Se recomienda utilizar un **modelo de elementos finitos (FEM) en 2D (Plane Strain) o 3D** (con software como Plaxis, Midas, etc.) para el análisis de los enfoques de puentes (disimetría de las cargas).
Y hacer **una verificación** del diseño en una zona específica (con cargas simétricas) **de manera analítica**.
- **Buena práctica:** Dividir el enfoque en tramos (tanto longitudinal como transversalmente), con el fin de optimizar la malla / la profundidad de las CMC, considerando siempre el espesor máximo del relleno en cada tramo
- **Controles de calidad:** Ensayos de placa estática, PIT, control del diámetro, control de la calidad del concreto + monitoreo de la ejecución en tiempo real

Recomendaciones de diseño: ASIRI



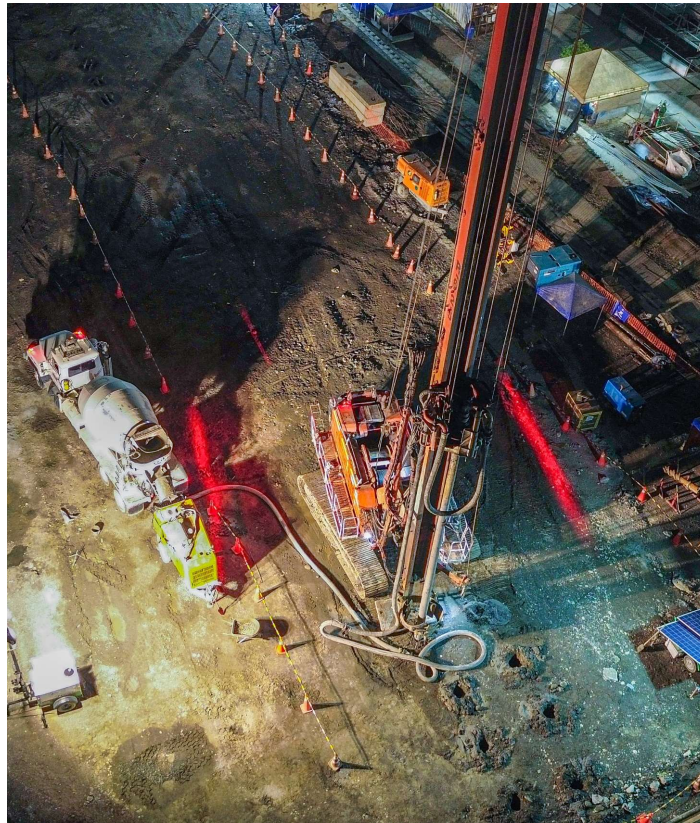
Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



Pacific Highway Upgrade
New South Wales
Australia



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



Puerto Antioquia
Colombia



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menARD



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



Pasos vehiculares (AIFA)
Tecamac
México



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



Puente Sibate
Cundinamarca
Colombia



Inclusiones Rígidas o Columnas de Módulo Controlado (CMC)



I-564 Intermodal
Norfolk, VA
Estados Unidos



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

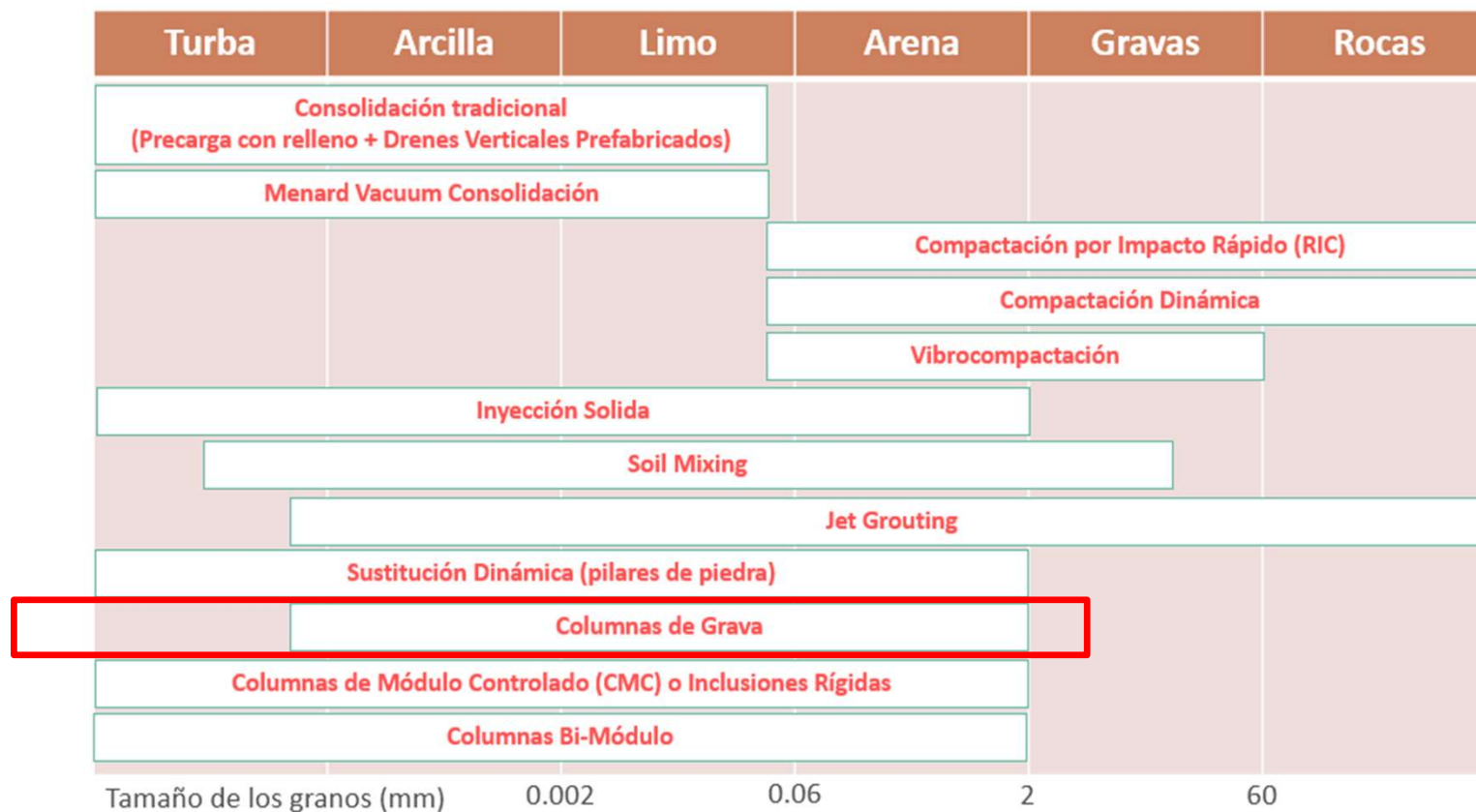
De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



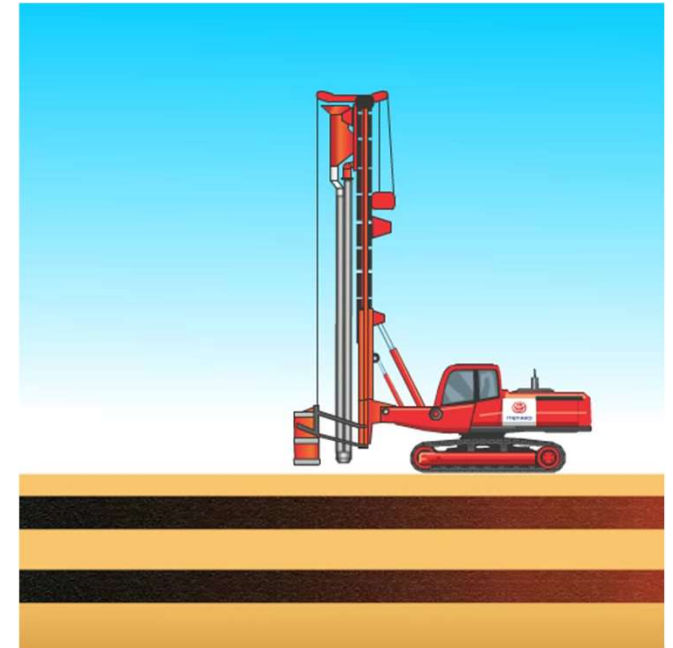
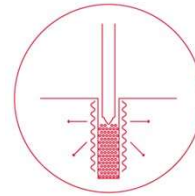
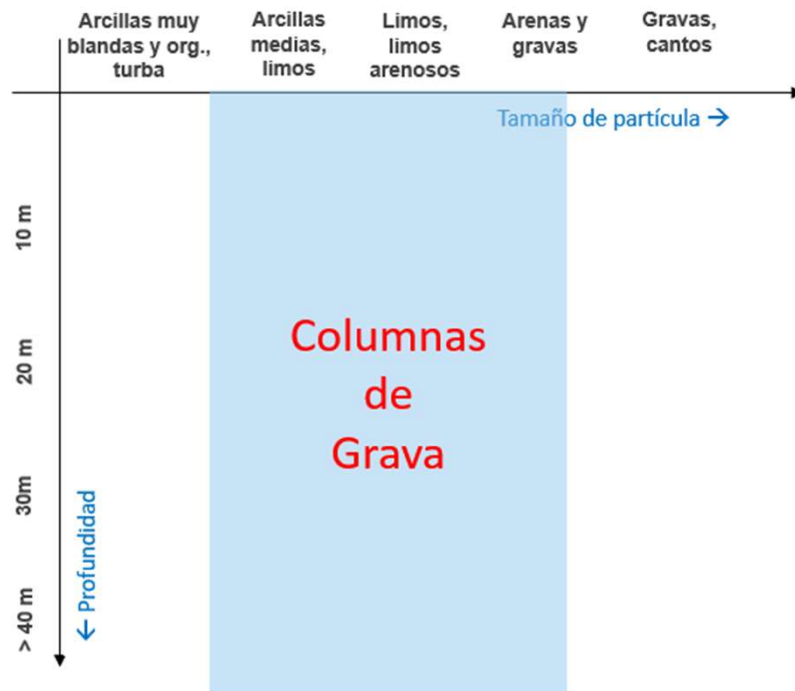
menard



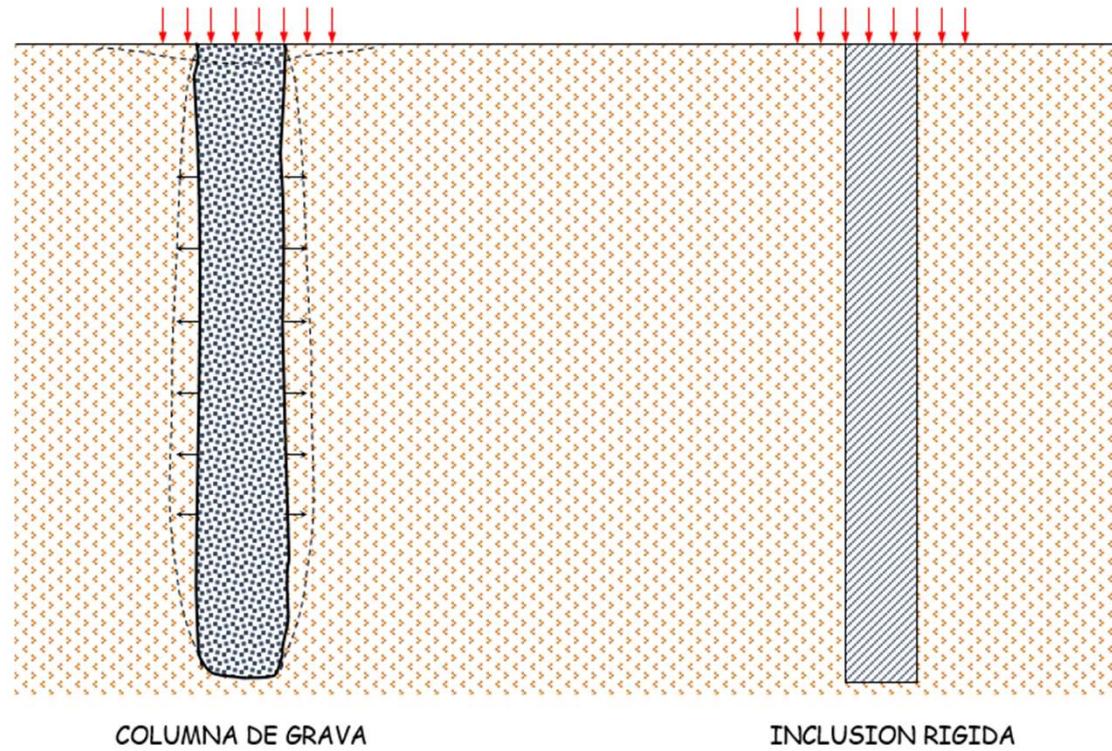
Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



Columnas de Grava

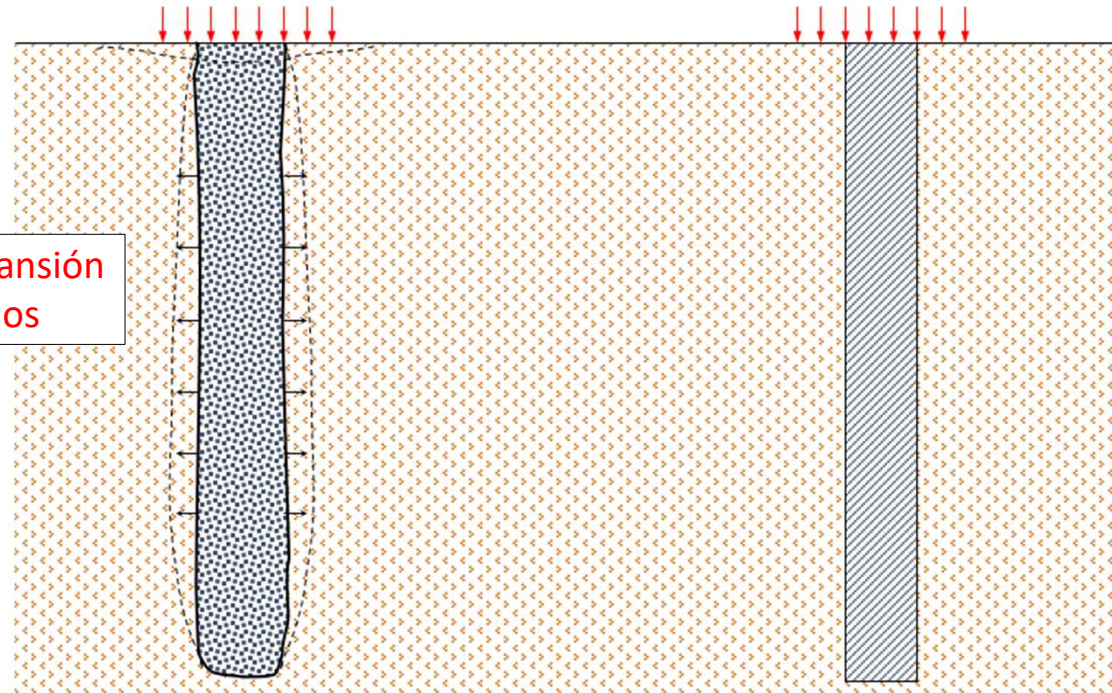
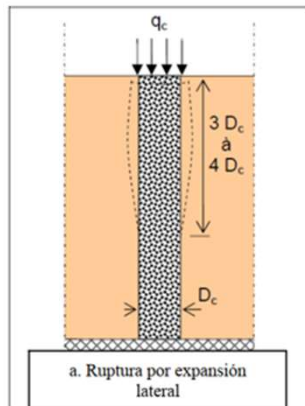


Columnas de Grava



Columnas de Grava

Riesgo de ruptura por expansión lateral en suelos blandos



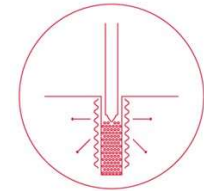
COLUMNA DE GRAVA

INCLUSION RIGIDA

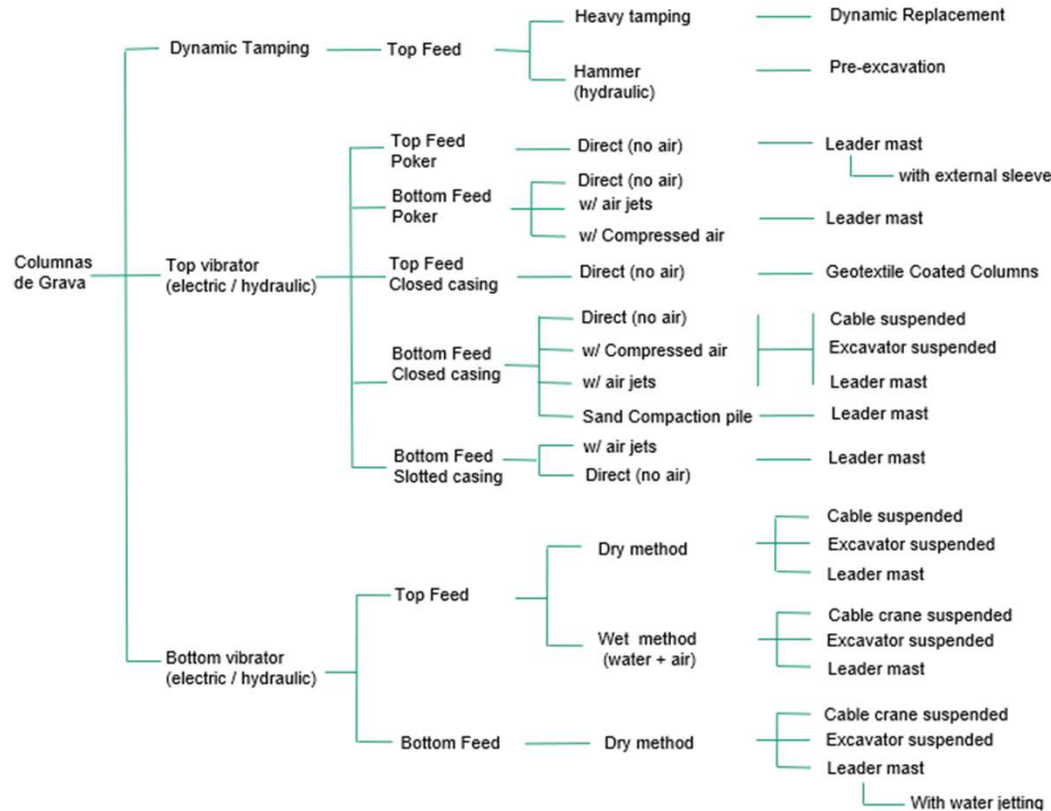


Columnas de Grava

- Profundidad: 3 a 60 m
- Diámetros: 300 mm a 2000 mm
- Tasa de remplazo: 3% a 25%
- Rango del factor de reducción de asentamientos: de 2 a 3
- No aplica en suelos cohesivos con $S_u < 20$ kPa ($q_c < 300$ kPa)
- Buena resistencia a los esfuerzos cortantes / laterales
- Carácter drenante que permite acelerar la consolidación



Columnas de Grava



Cada metodología tiene sus ventajas & desventajas de diseño / de ejecución

Se debe elegir la técnica la más adecuada a cada proyecto



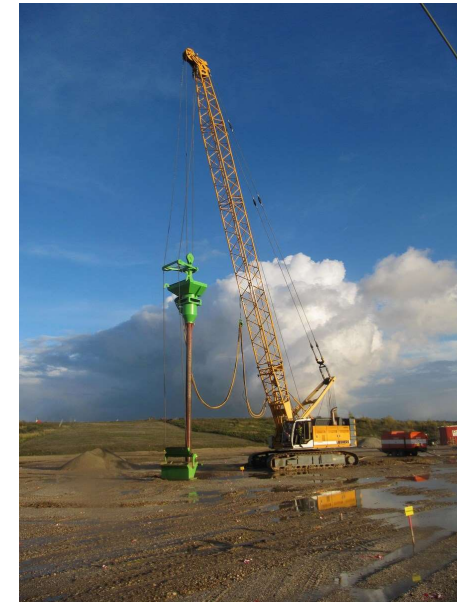
Columnas de Grava



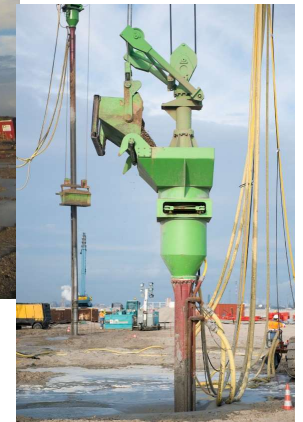
Wet top feed
Vibrador en la punta



Dry bottom feed
(slotted casing)
Vibrador en la cabeza



Dry bottom feed
Vibrador en la punta



Columnas de Grava



**Dry Bottom Feed
Vibrador en la cabeza**



**Dry Bottom Feed
Vibrador en la punta**



**Dry bottom feed
Vibrador en la punta**



Columnas de Grava

6.2.1 Test Frequency

METHOD	WET		DRY	
	recorded	unrecorded	recorded	unrecorded
Checking diameter	1 per set of 50 columns up to 100, beyond that at least 3			
Checking continuity	1/50	1/20	only if an anomaly is detected	1/50
Compaction verification	1/80 under concrete slab or raft foundation + 1/20 under ground mass with a minimum of 5			
Load test*	1 test up to 800 m and 1 per section beyond 800 m.		1 test up to 2000 m and 400 columns, and at least one more beyond 2000 m.	

Con ensayos CPT (o similares) en las columnas

Hasta 1.5 veces la carga ELS



Columnas de Grava



4to puente sobre el canal de Panamá



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



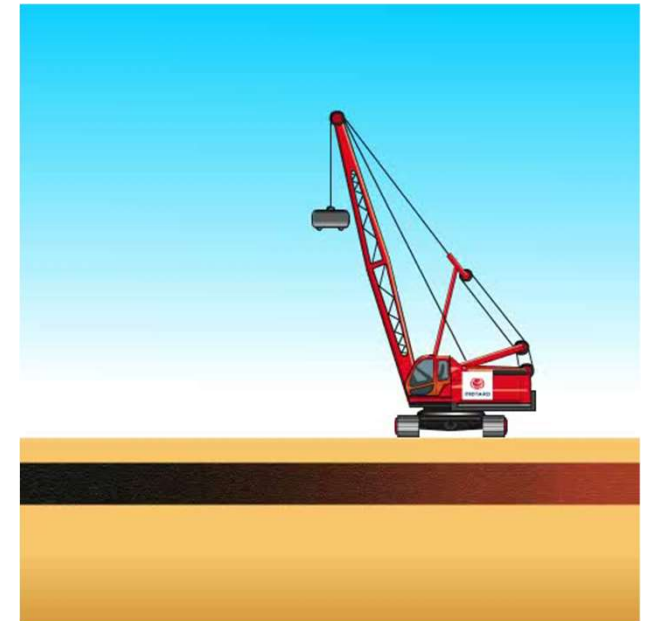
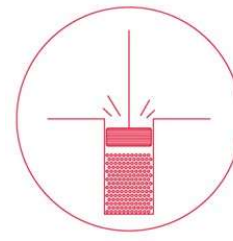
menard



Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)

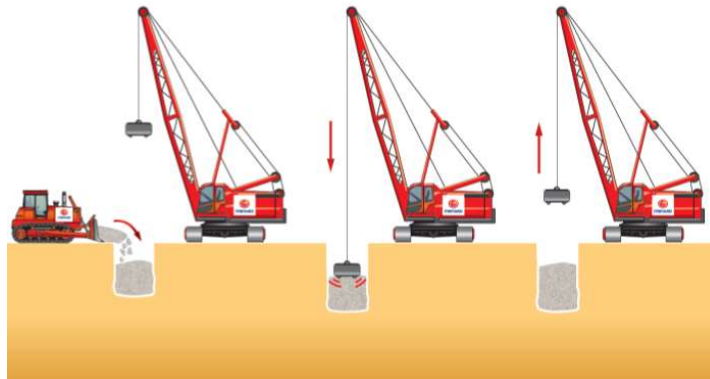


Sustitución Dinámica

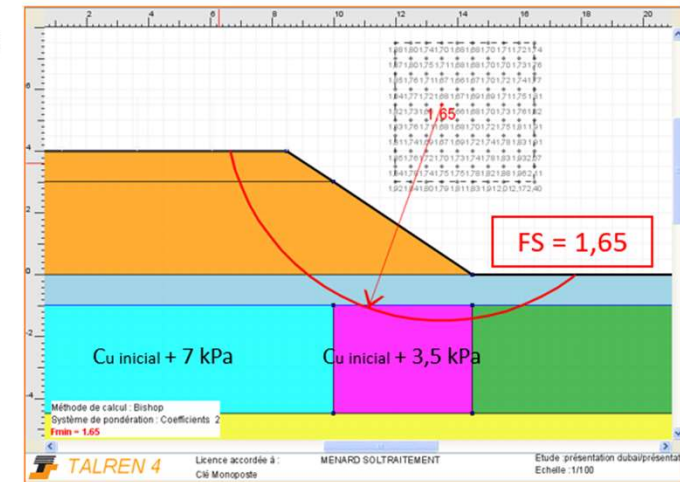
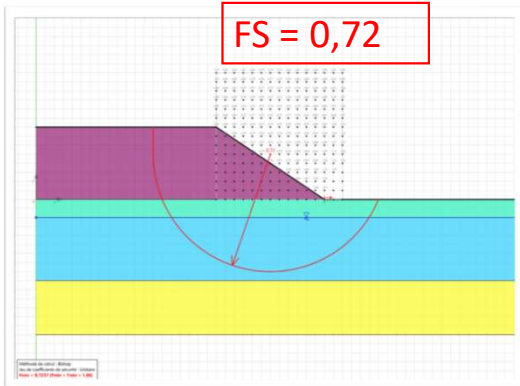
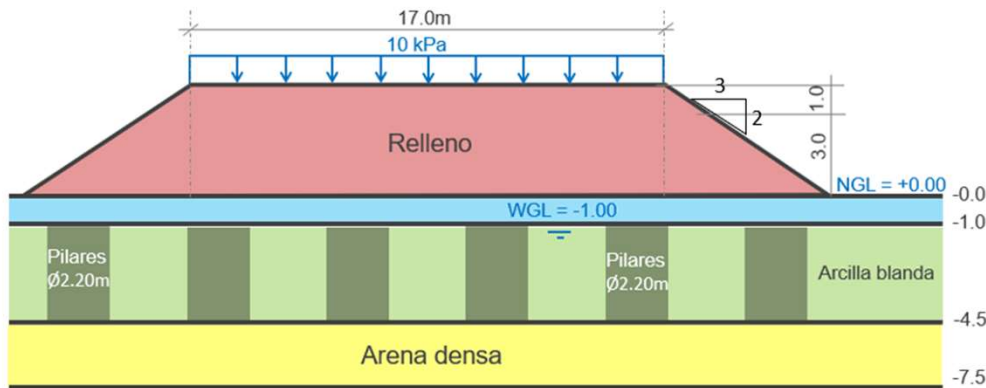


Sustitución Dinámica

- Caída libre de una masa de 10 a 35 ton, desde una altura de 10 a 30 m
- Pilares:
 - Diámetro típico: 1.5 m – 3.5 m
 - Profundidad máxima: 6 m – 7 m
 - Malla típica: 3.5 m – 6 m



Sustitución Dinámica



Aproche de puente - autopista Francia



Sustitución Dinámica



CEDI
Girardota, Antioquia
Colombia



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

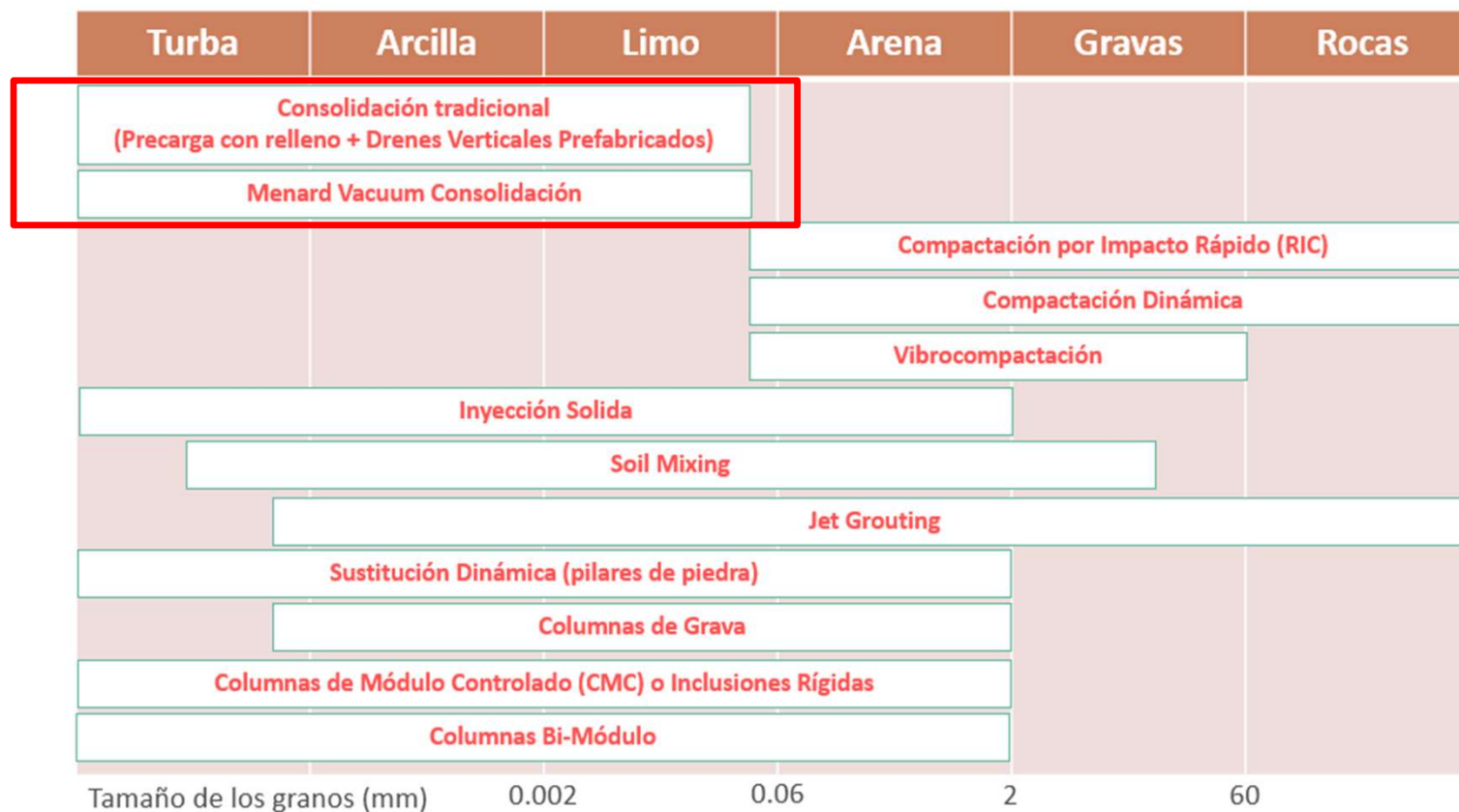
De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menard



Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

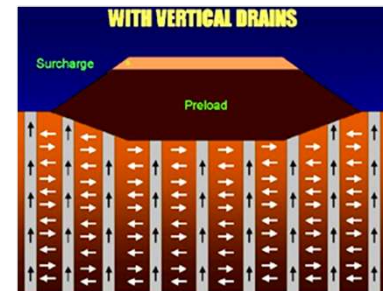
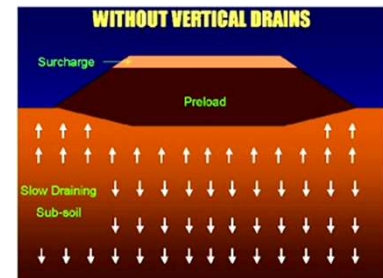
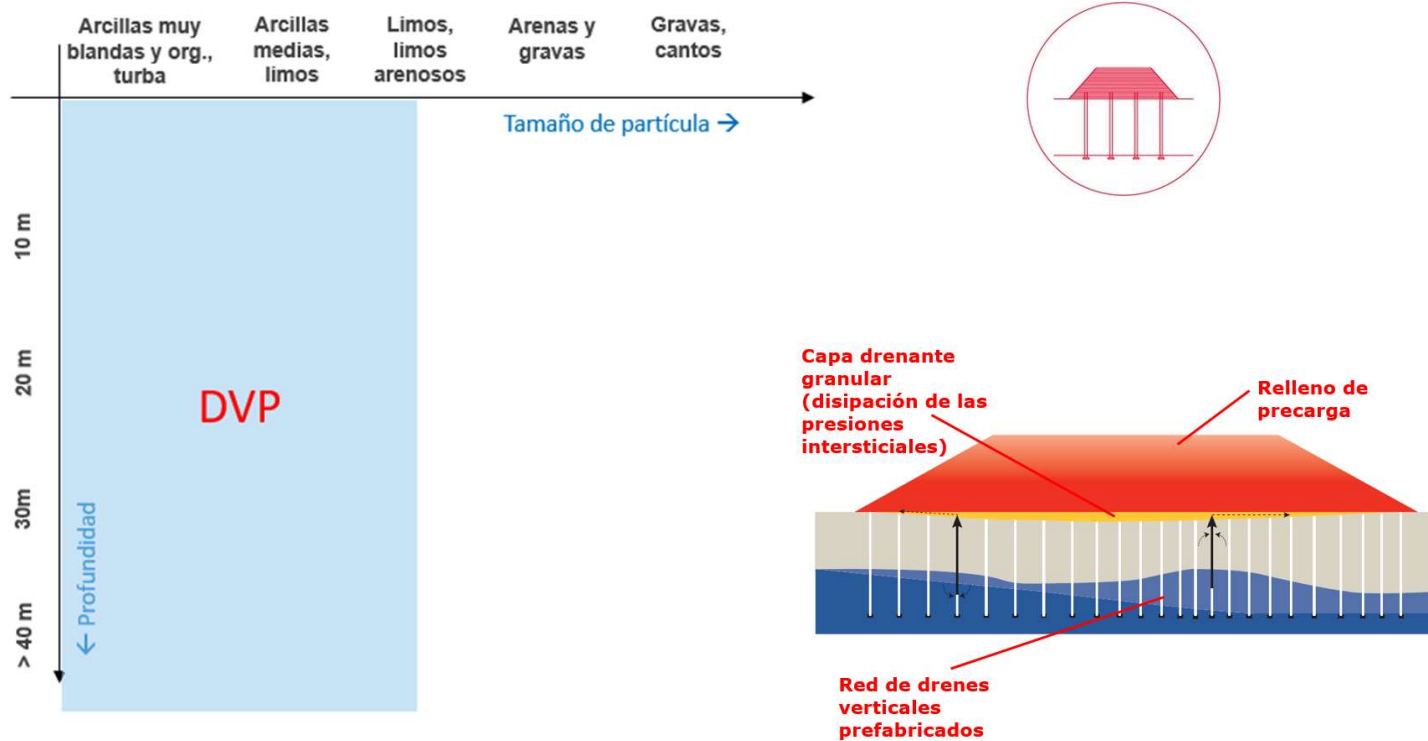
De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menard



Drenes Verticales Prefabricados



Drenes Verticales Prefabricados



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menARD



Drenes Verticales Prefabricados



Puerto Antioquia
Colombia



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro

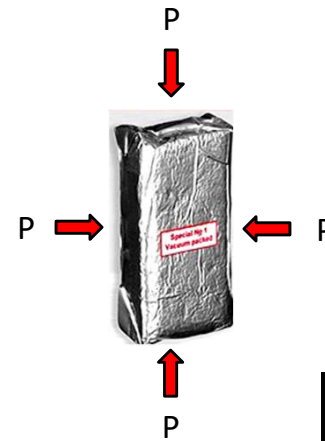
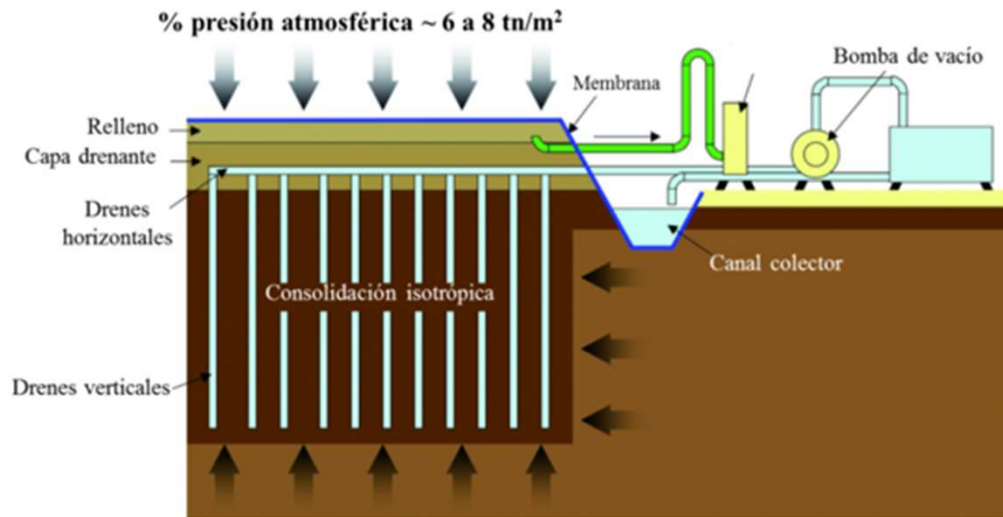


menard



Drenes Verticales Prefabricados

Menard Vacuum TM



Jean-Marie
Cognon
(Menard)



Drenes Verticales Prefabricados



Drenes Verticales Prefabricados

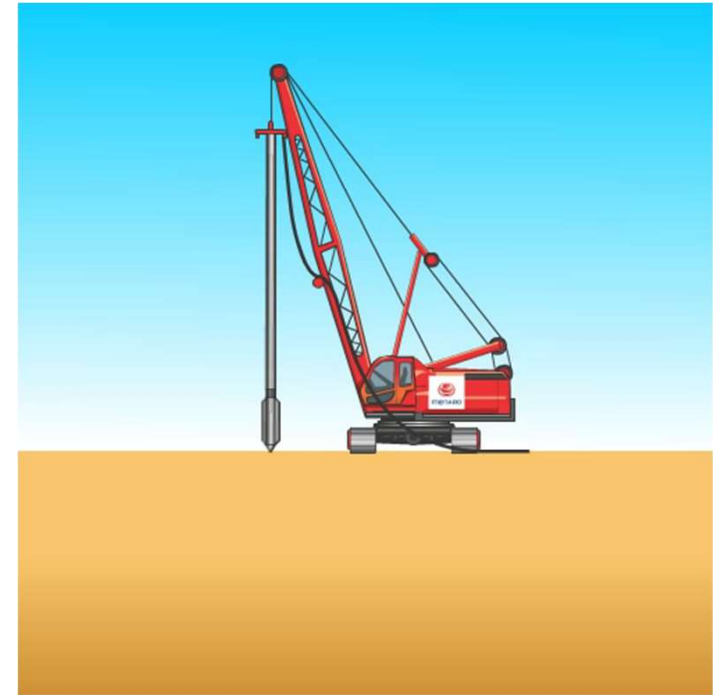
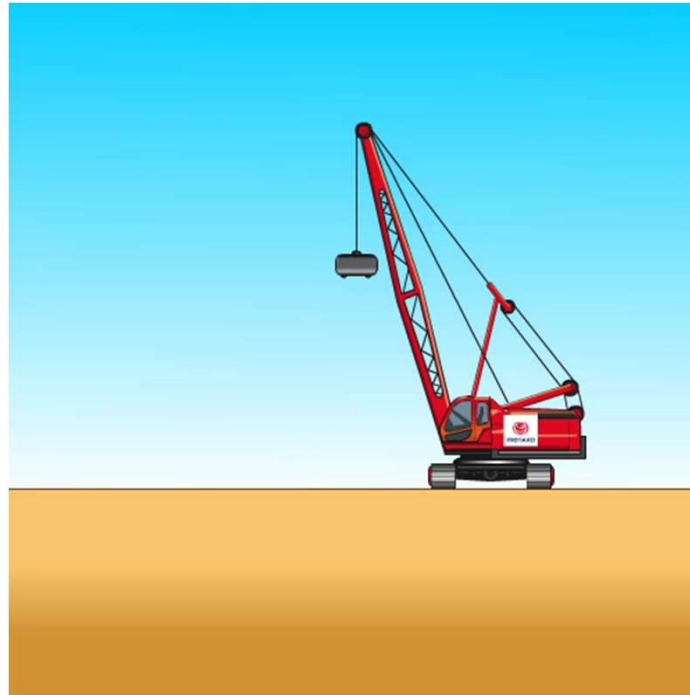
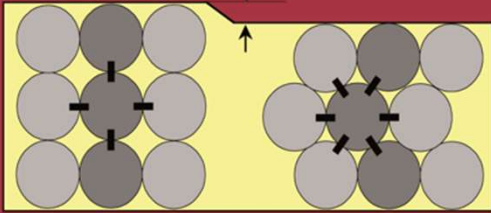


Técnicas para mitigar problemáticas estáticas (baja capacidad portante / asentamientos altos)



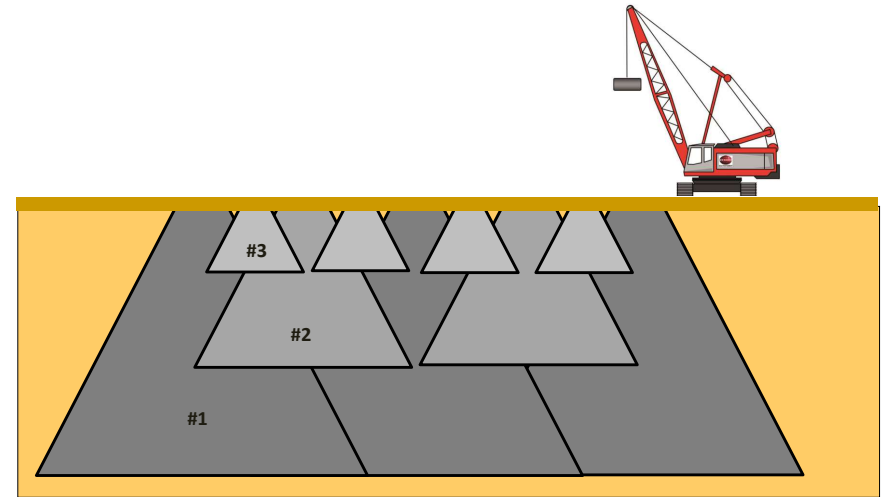
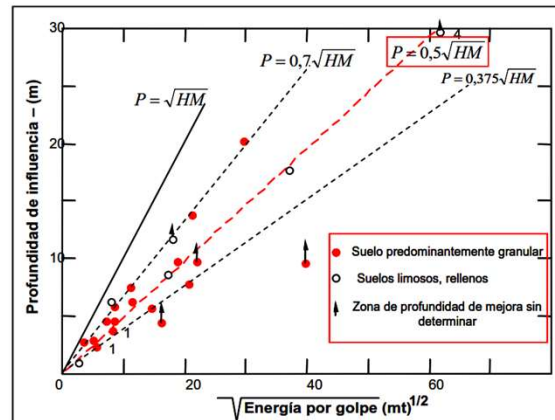
Densificación: Vibrocompactación y Compactación Dinámica

Recolocación óptima de las partículas del suelo



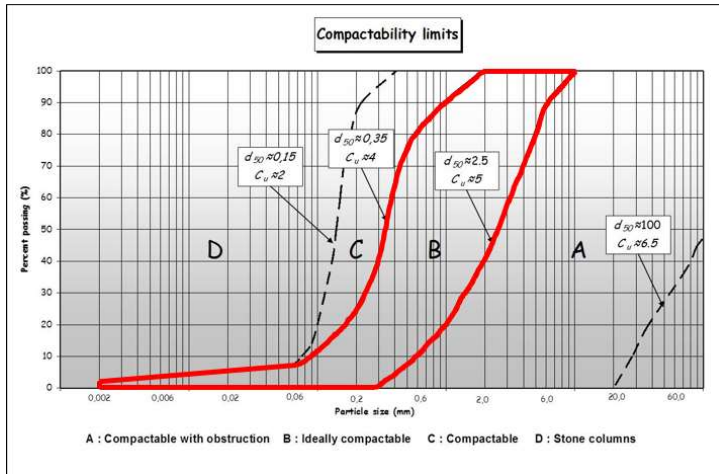
Densificación: Vibrocompactación y Compactación Dinámica

Compactación Dinámica



Densificación: Vibrocompactación y Compactación Dinamica

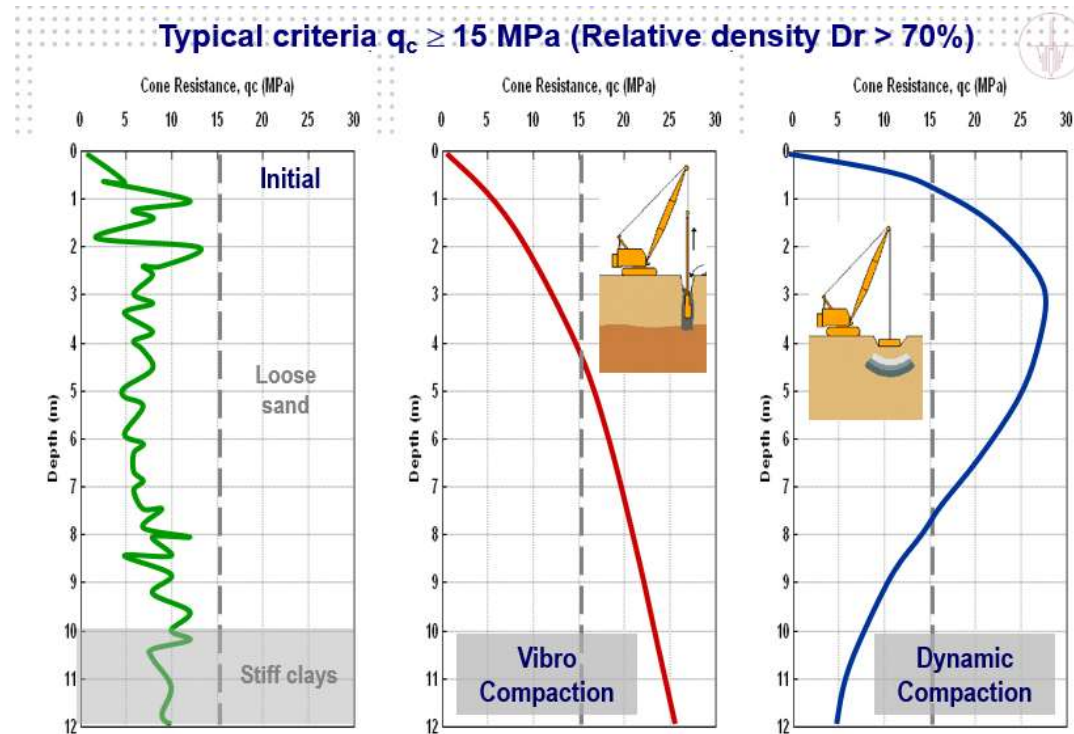
Vibrocompactación / Vibroflotación



Presa Peribonka, Canadá, 2005



Densificación: Vibrocompactación y Compactación Dinamica



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



menard



Densificación: Vibrocompactación y Compactación Dinamica



Puente Industrial
Concepción
Chile



Densificación: Vibrocompactación y Compactación Dinamica

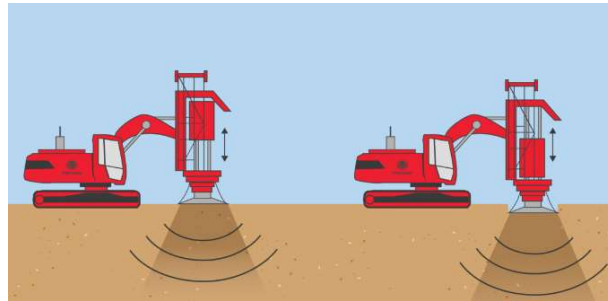


Palm Jumeirah &
Jebel Ali
Dubai



Densificación: Vibrocompactación y Compactación Dinamica

Rapid Impact Compaction (RIC)



Autopista Ruda Slaska
Polonia



CONCLUSIONES

- **El mejoramiento de suelos** es una alternativa comprobada y eficaz frente a la cimentación profunda tradicional, especialmente **adecuada para resolver las problemáticas asociadas a los aproches de puentes**.
- Además de generar **ahorros económicos**, estas técnicas permiten **reducir los plazos de ejecución y la huella de carbono (CO₂)**.
- **La elección de la técnica más adecuada** debe basarse en **las condiciones específicas** del proyecto: tipo de suelo, nivel freático, cargas, criterios de recepción, entorno, plazos, impacto ambiental, entre otros.
- **Las Inclusiones Rígidas (o CMC)** representan la solución más versátil y eficaz para los aproches de puentes. Es fundamental verificar su integridad sin necesidad de reforzamiento bajo los taludes.





César DAVIN
Gerente General
Menard Colombia

cesar.davin@menard-mail.com

Gracias



 **Menard Colombia**

www.menardlatam.com



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro

