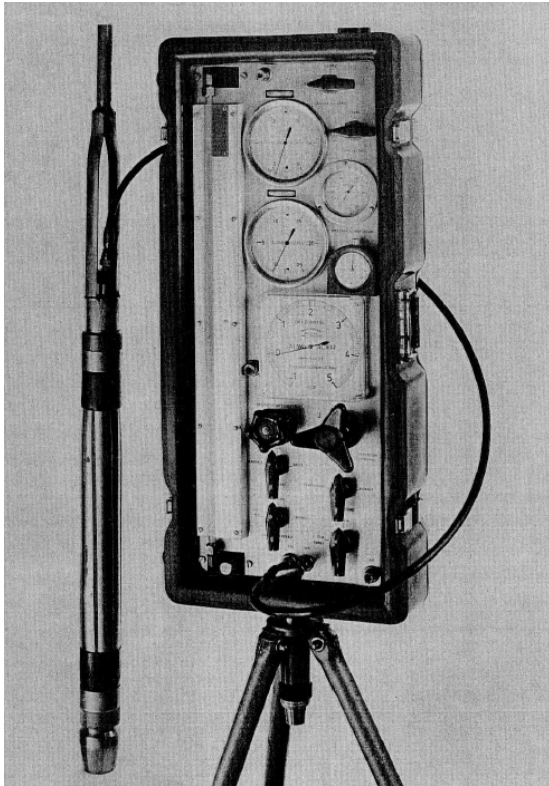


Jornadas de Obras de Interés Geotécnico. 59ª Sesión. DRACE GEOCISA/MENARD



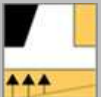
OBRAS RECIENTES DE COMPACTACIÓN DINÁMICA.

Autor: Juan Carlos Montejano Sanz.

Responsable técnico-comercial Menard España.



menARD



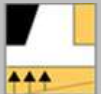
INDICE

1. Antecedentes y experiencia.
2. Aplicabilidad de la técnica.
3. Clasificación de los terrenos frente a la compactación dinámica.
4. Ejemplo de aplicación en terrenos no compactables.



INDICE

1. Antecedentes y experiencia.



EQUIPOS DE COMPACTACIÓN POR MÉTODOS DINÁMICOS

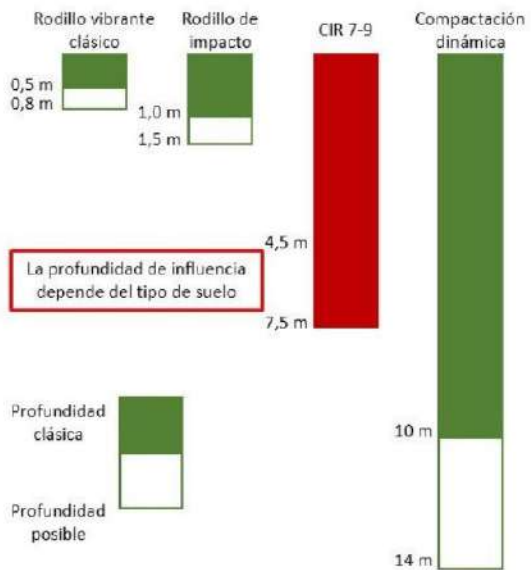


Figura 3-8. Comparativa profundidad de compactación según diferentes técnicas.



RODILLO VIBRANTE



RODILLO DE IMPACTO.



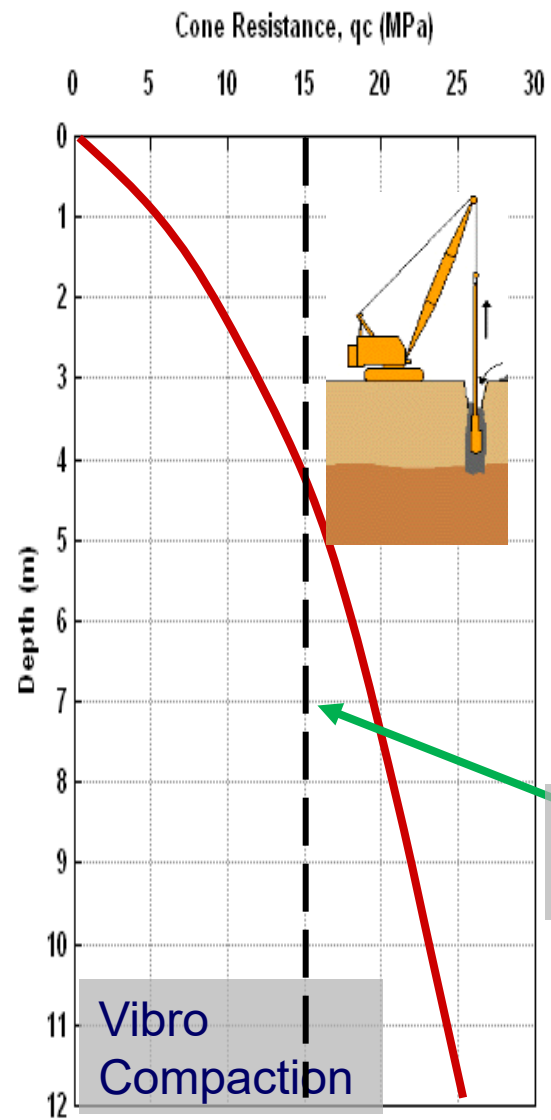
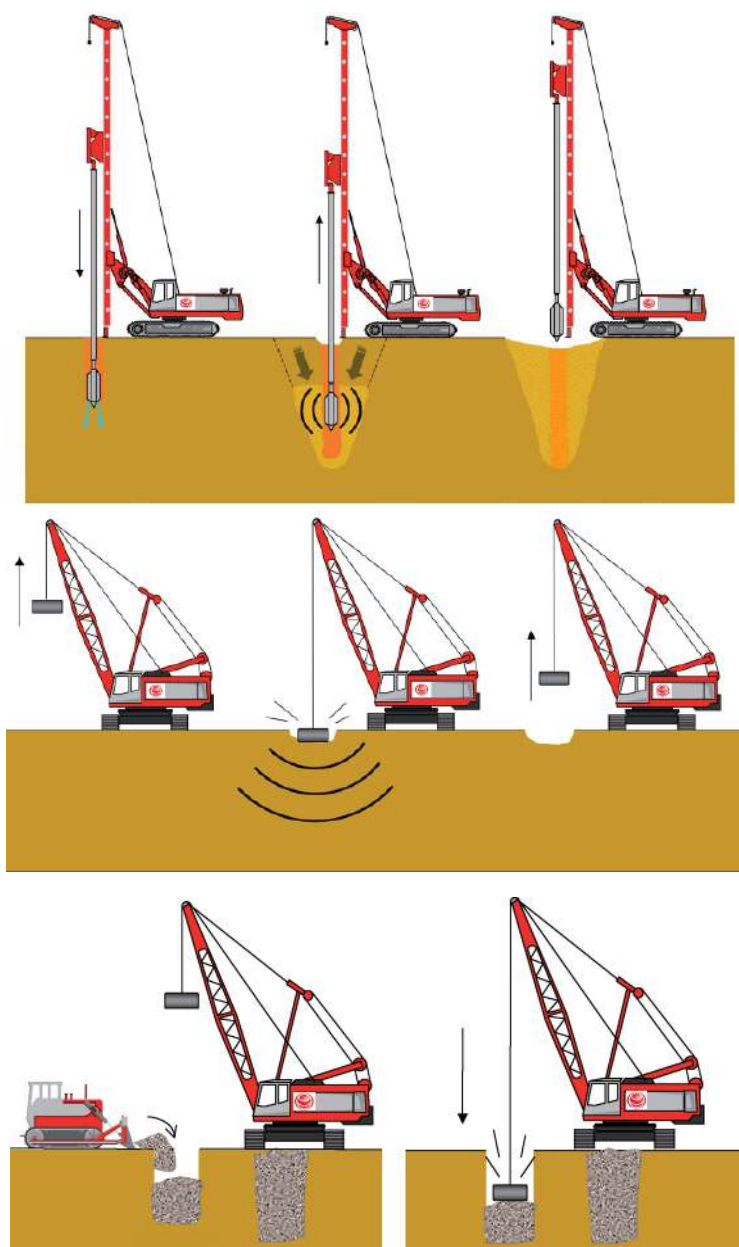
VIBROCOMPACTACIÓN.



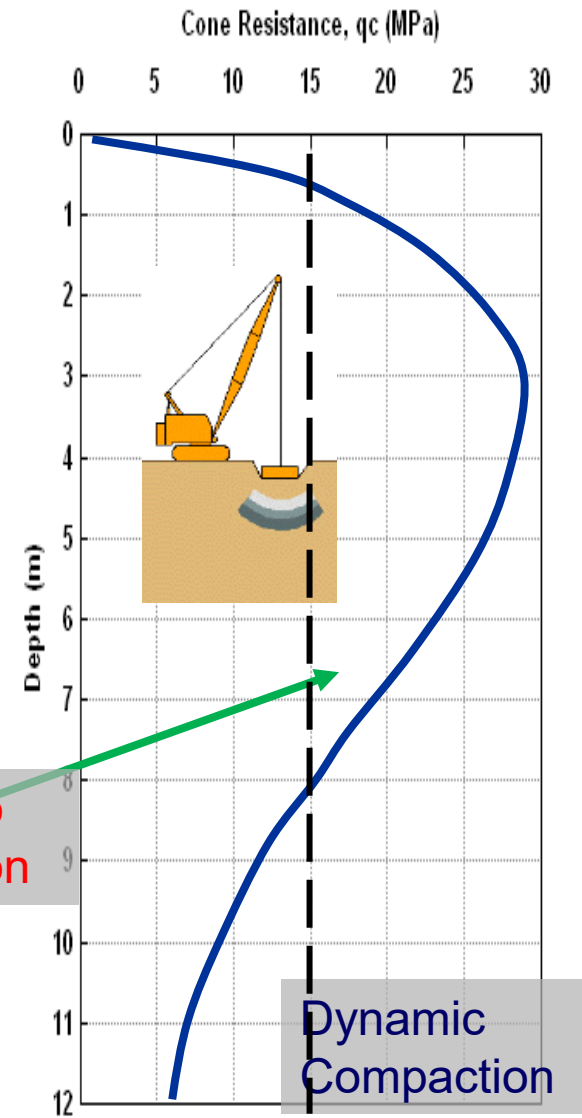
COMPACTACIÓN DINÁMICA LIGERA



COMPACTACIÓN DINÁMICA PESADA

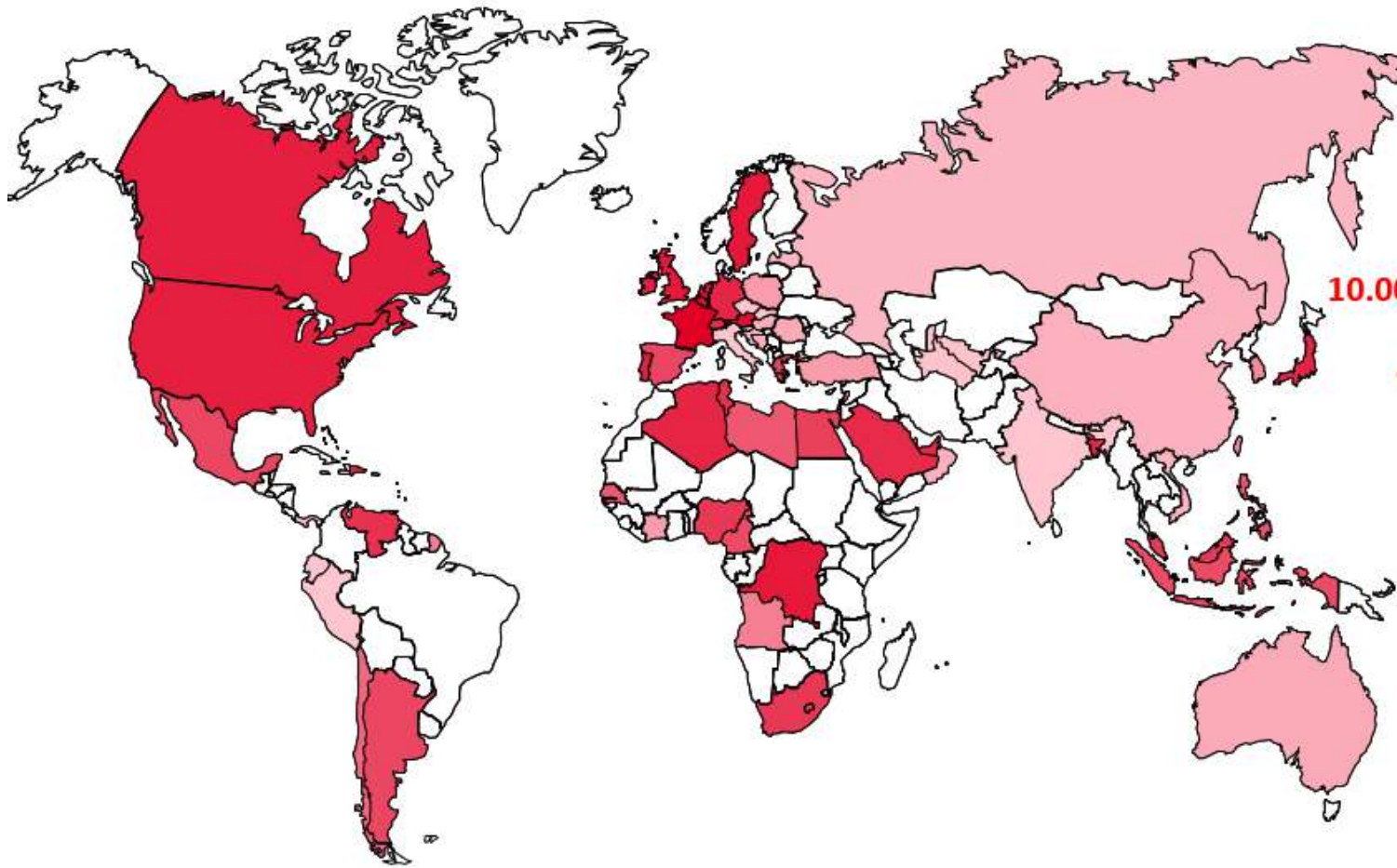


Criterio recepción

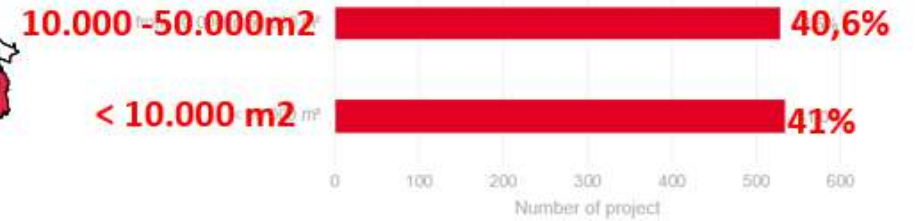


Dynamic Compaction

RESUMEN EXPERIENCIA MENARD GRUPO (CD)

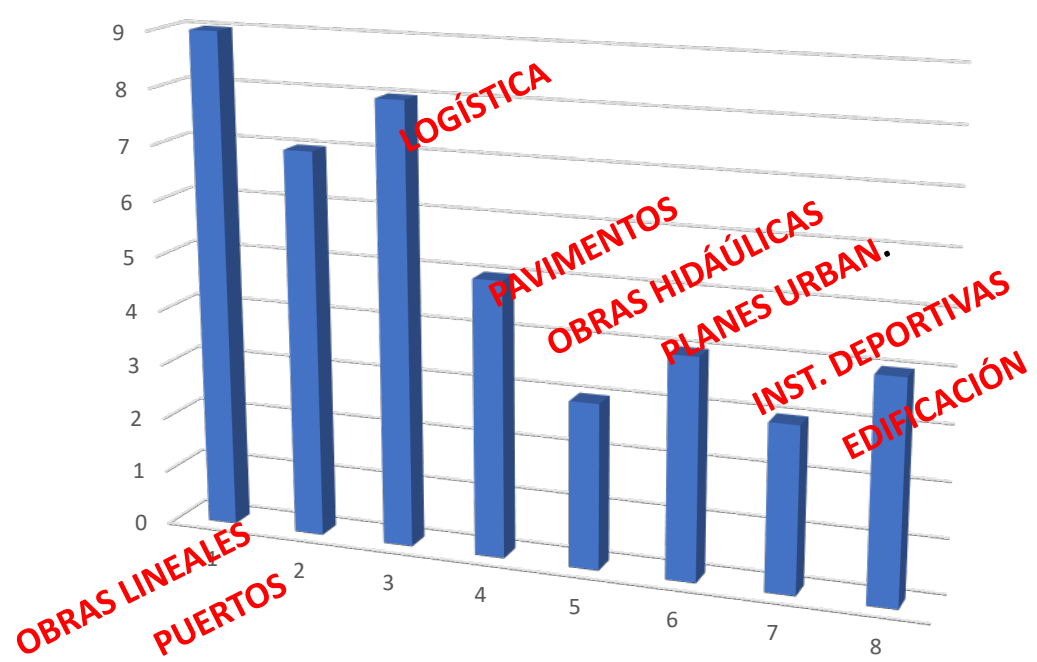


- Mas de 50 años de experiencia en la aplicación de la técnica.
- Aplicación en > 75 países
- Aprox. 80 millones m2
- Aprox. 1.400 proyectos



- **Europe : 62,2% (830)**
- **Middle-East & Central asia : 13,3% (178)**
- **Asia : 10% (134)**
- **North America : 8,3% (111)**
- **Latin America : 2,3% (31)**
- **Africa : 2,1% (28)**

RESUMEN OBRAS CD MENARD ESPAÑA



- GALICIA: 1 proy.
- ASTURIAS: 1 proy
- EUSKADI: 2 proy.
- ARAGON: 1 proy
- CATALUÑA: 5 proy.
- CASTILLA Y LEON: 1 proy
- COM. MADRID: 12 proy.
- CASTILLA L. MANCHA: 2 proy
- COM. VALENCIANA: 6 proy
- MURCIA: 1 proy
- ANDALUCIA: 10 proy.
- CEUTA: 1 proy

INDICE

2. Aplicabilidad de la técnica.

.

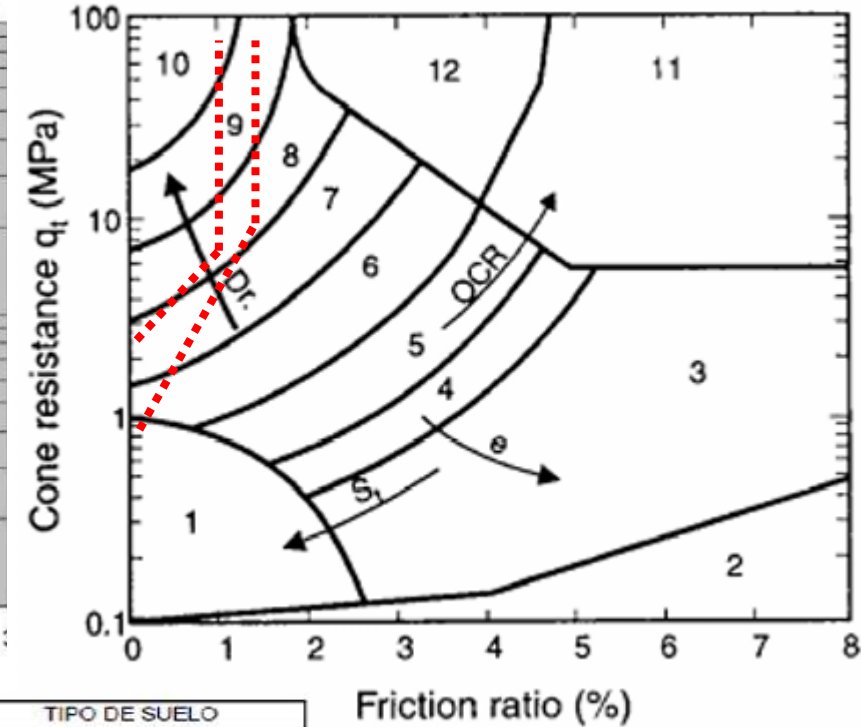
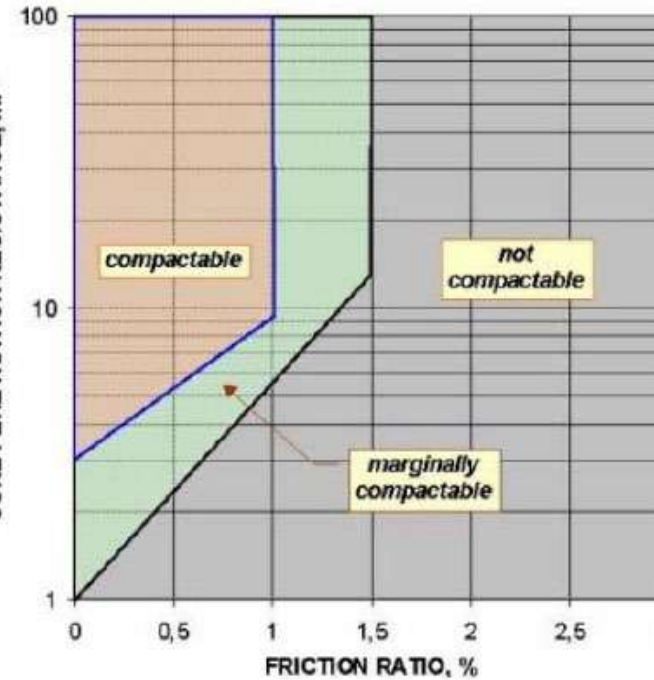
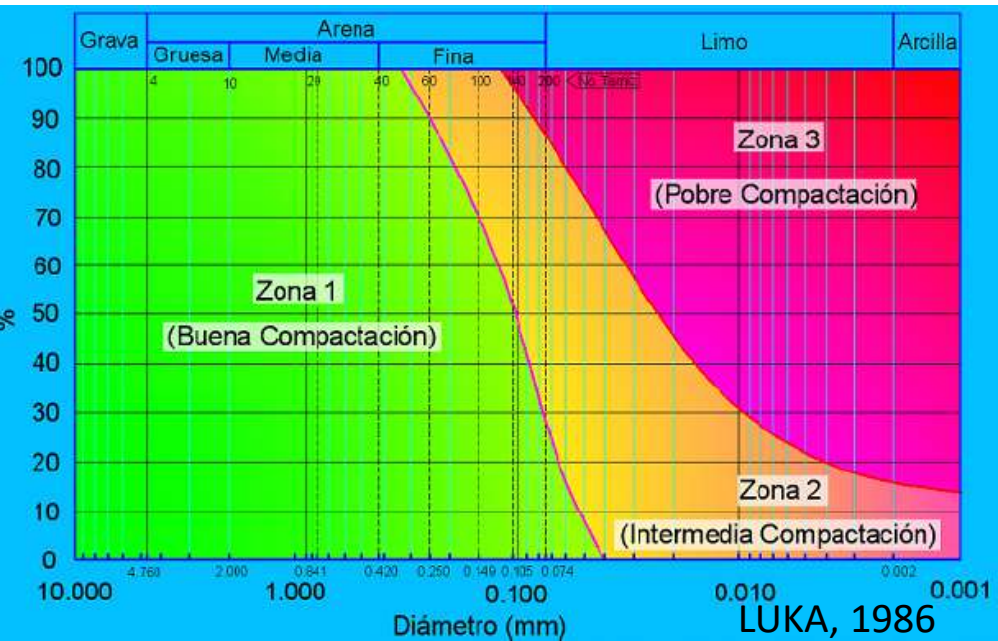
EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO BAJO EL IMPACTO DE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA ES MUY COMPLEJO Y DEPENDE:

1. Clasificación del suelo.
2. Contenido de finos.
3. Contenido de agua,
4. Capas del suelo, espesores y profundidad.
5. Historial del suelo.
6. Respuesta a la licuefacción y disipación de las presiones de poro,
7. La altura de caída de la masa, el peso de masa, la forma de la maza, etc.

DATOS NECESARIOS PROYECTOS CON TRATAMIENTOS COMPAC. DINÁMICA.

1. Granulometrías completas sin sesgado.
2. Granulometrías por sedimentación.
3. Contenido de arcilla.
4. Humedad natural y grado de saturación.
5. Consistencia (limites de Atterberg).
6. Contenido materia orgánica y otros componentes..
7. Ensayos proctor normal/modificado.
8. Porosidad.
9. Permeabilidad.
10. Ensayos CPTu/presiometros.

APLICABILIDAD DE LAS TÉCNICAS DE COMPACTACIÓN



ZONA 1: SUELOS BUENA COMPACTACIÓN

- $IP=0$
- $K < 10^{-5}$ m/sg (suelos permeables)

ZONA 2: SUELOS COMPACTACIÓN INTERMEDIA

- $IP < 8$
- $K = 10^{-5}$ a 10^{-8} m/sg (suelos semipermeables)

ZONA 3: SUELOS MALA COMPACTACIÓN

- $IP > 8$
- $K > 10^{-8}$ m/sg (suelos impermeables)

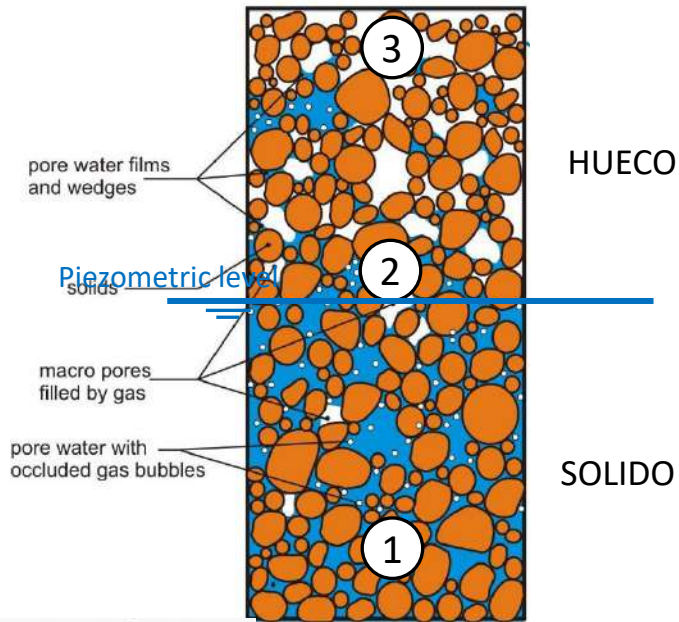
La compactación dinámica es una de las técnicas más adecuadas para tratar suelos granulares flojos.

ZONA	TIPO DE SUELO
1	SUELO FINO SENSITIVO
2	MATERIAL ORGANICO
3	ARCILLA
4	ARCILLA LIMOSA A ARCILLA
5	LIMO ARCILLOSOS A ARCILLA LIMOSA
6	LIMO ARENOSO A LIMO ARCILLOSO
7	ARENA LIMOSA A LIMO ARENOSO
8	ARENA A ARENA LIMOSA
9	ARENA
10	ARENA GRAVOSA A ARENA
11	SUELO FINO MUY RIGIDO
12	ARENA A ARENA ARCILLOSA

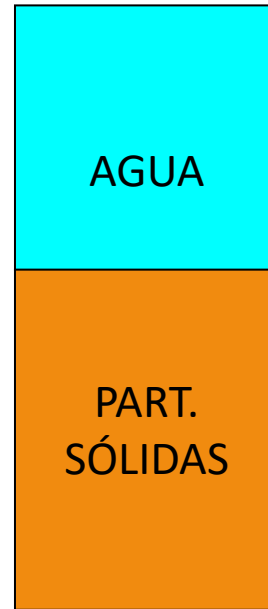
OBRAS RECIENTES COMPACTACIÓN DINÁMICA.

APLICABILIDAD DE LAS TÉCNICAS DE COMPACTACIÓN

PART.SOLIDAS
+
POROSIDAD

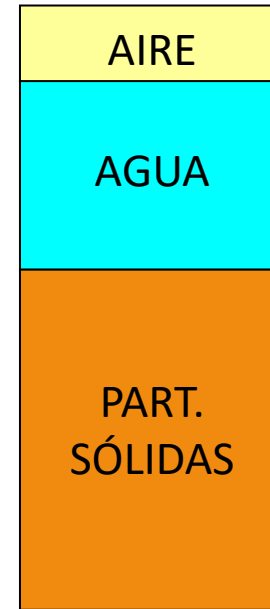


①



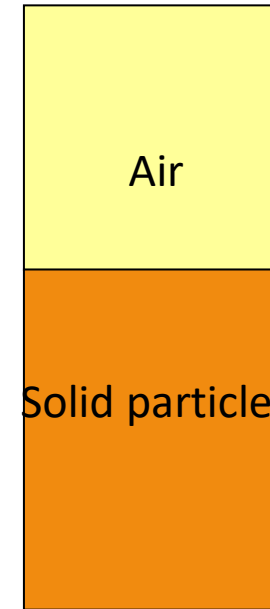
SUELOS
TOTALMENTE
SATURADOS

②

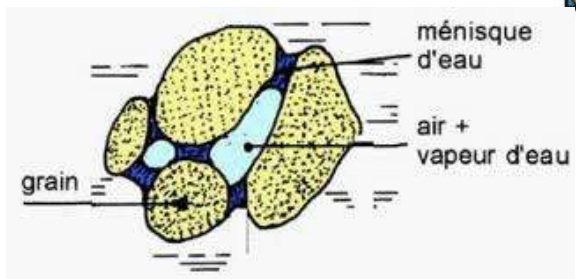


SUELOS
PARCIALMENTE
SATURADOS

③



SUELOS SECOS



OBRAS RECIENTES COMPACTACIÓN DINÁMICA.

MEDIO SATURADO

1. La compactación dinámica no es aplicable o difícilmente aplicable si el **contenido en finos (< 80 μm) es superior al 30 %** ;
2. Si el contenido en finos esta comprendido entre 20 % y el 30 %, el **contenido en arcilla (< 2 μm) no puede superar el 3 %**.
3. Un contenido en finos inferior al 20 %, **no existen restricción en la aplicación de la compactación dinámica**.

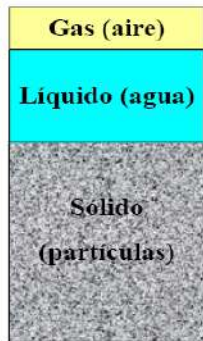
MEDIO NO SATURADO

El ensayo Proctor determina la viabilidad de la ejecución de la compactación

PROCTOR NORMAL: 596 kJ/m³
 PROCTOR MODIFICADO : 2703 kJ/m³
 Nota: 10 kJ = 10 kN.m

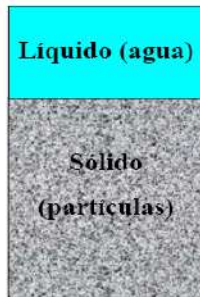
a)

Antes de compactar



$$w_0 = \frac{P_w}{P_s} \quad S_{r_0} = \frac{V_w}{V_v}$$

Después de compactar



$$w_1 = w_0 \quad S_{r_1} = 100\%$$

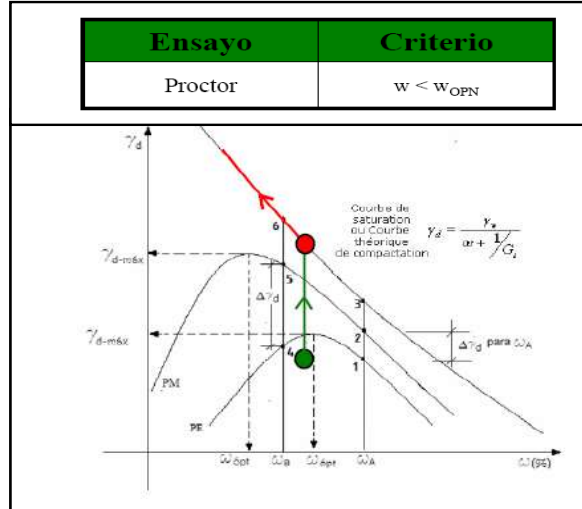
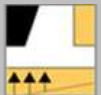


Table 8. Applied energy guidelines.⁽³²⁾

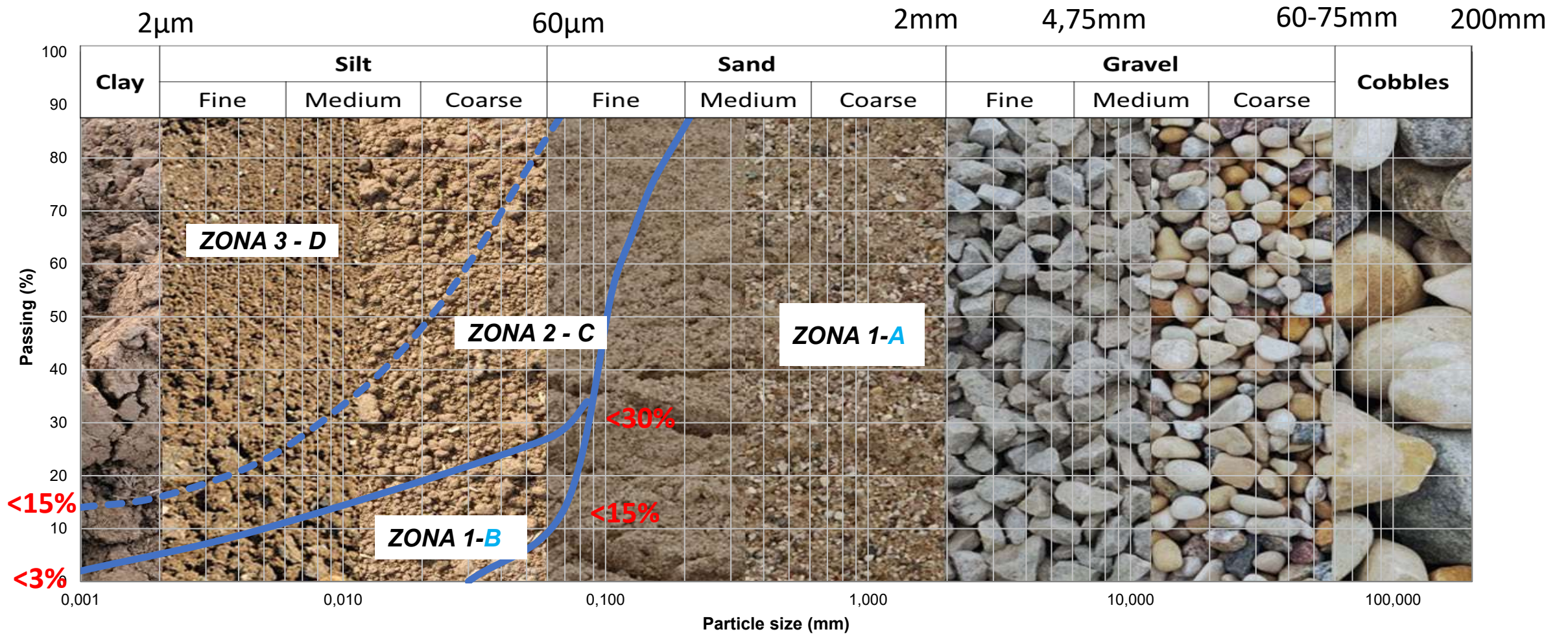
Type of Deposit	Unit Applied Energy (kJ/m ³)	Percent Standard Proctor Energy
Pervious coarse-grained soil - Zone 1 of Figure 5	200- 250	33 - 41
Semipervious fine-grained soils - Zone 2 and clay fills above the water table - Zone 3 of Figure 5	250 - 350	41 - 60
Landfills	600 - 1100	100 - 180

Note: Standard Proctor energy equals 600 kJ/m³.



INDICE

3. Clasificación de los terrenos frente a la compactación dinámica.



APLICACIÓN EN RELLENOS ANTRÓPICOS DE DIFERENTE NATURALEZA COMPACTACION DINÁMICA (CD)

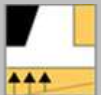


1. TODOS TIPO DE RELLENOS O VERTEDEROS INERTES (RELLENOS SECOS)

- Rellenos de suelos y terrenos no saturados por encima del nivel freático (rellenos de antiguas canteras con materiales de demolición o de excavaciones)
- Rellenos de tipo suelo heterogéneos con contenidos variables de finos (suelos tipo A, B o C)
- Puede incluir bloques o cantos rodados

2. RELLENOS HIDRÁULICOS (ZONAS PORTUARIAS).

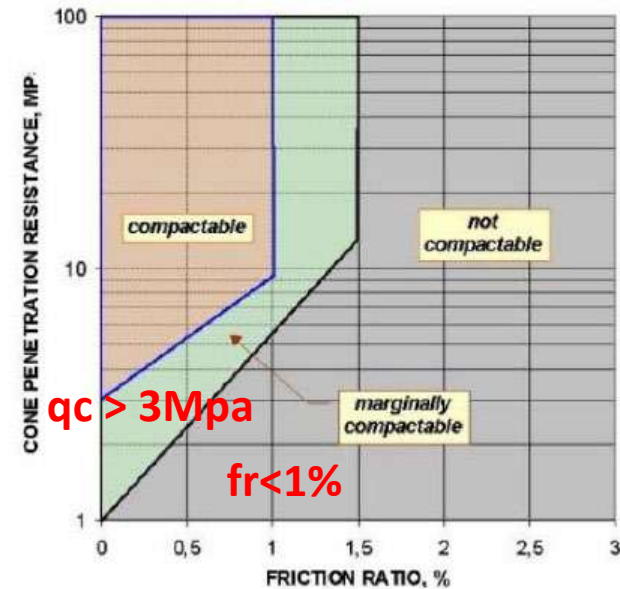
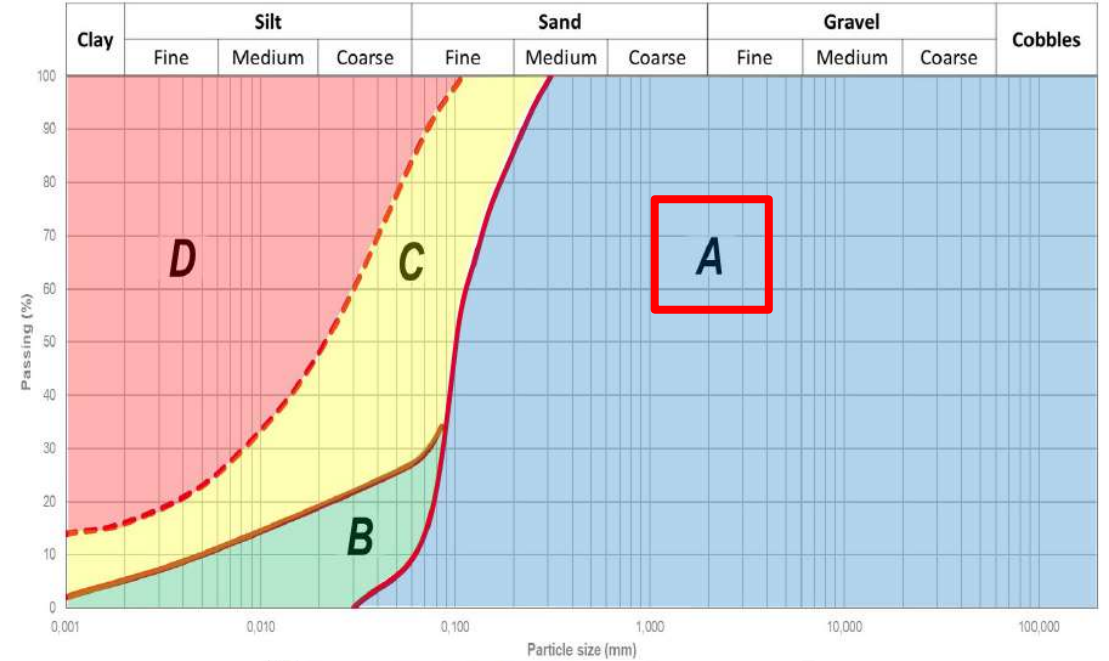
- Suelos totalmente saturados
- Constituidos por suelos inertes relativamente homogéneos con cierto contenido en suelos finos.
- Típicamente suelos poco graduados de arenas finas y arenas limosas (suelo tipo B)



CONDICIONES ESPECÍFICAS SUELOS COMPACTABLES (CD)

Zona A: BUENA COMPACTACIÓN FASE ÚNICA

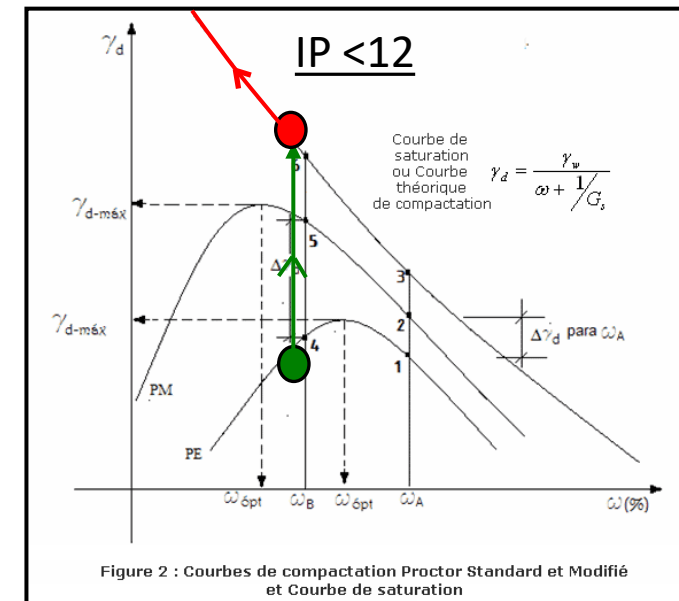
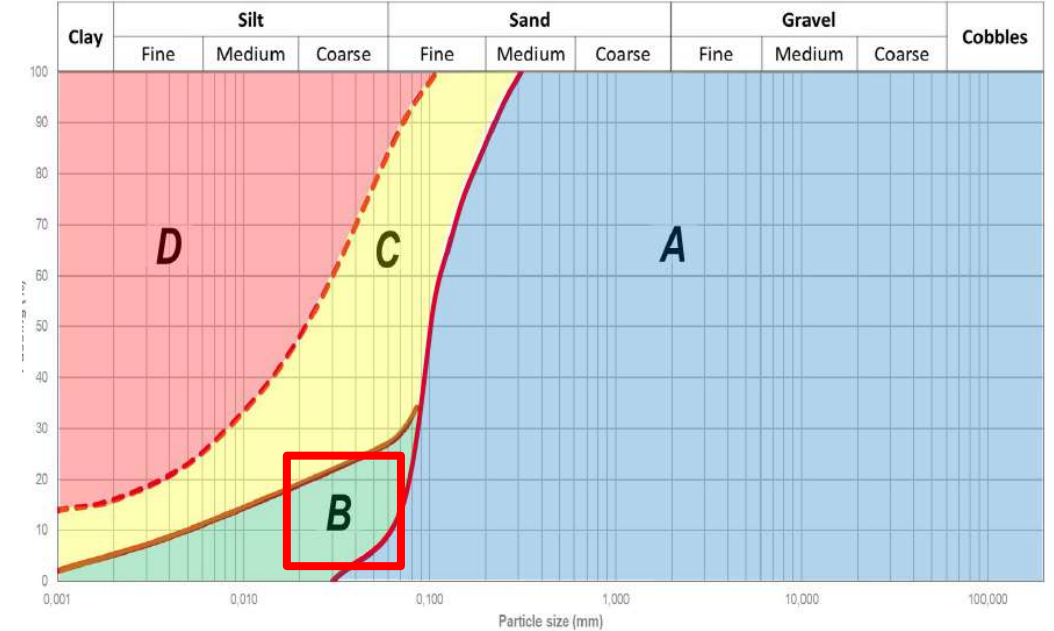
- FINOS: 15%, $IP=NP$, 0% ARCILLA. $D_{min}>30\mu m$
- SUELO PERMEABLE, PERMEABILIDAD SUPERIOR 10^{-5} m/sec.
- ZONA MAS FAVORABLE, FACILMENTE COMPACTABLES.
- COMPACTACIÓN POSIBLE EN CUALQUIER CONDICION DE SATURACION.
- LA ENERGIA SE APLICA NORMALMENTE EN UNA ÚNICA FASE



CONDICIONES ESPECÍFICAS SUELOS COMPACTABLES (CD)

Zona B : BUENA COMPACTACION CON VARIAS FASES

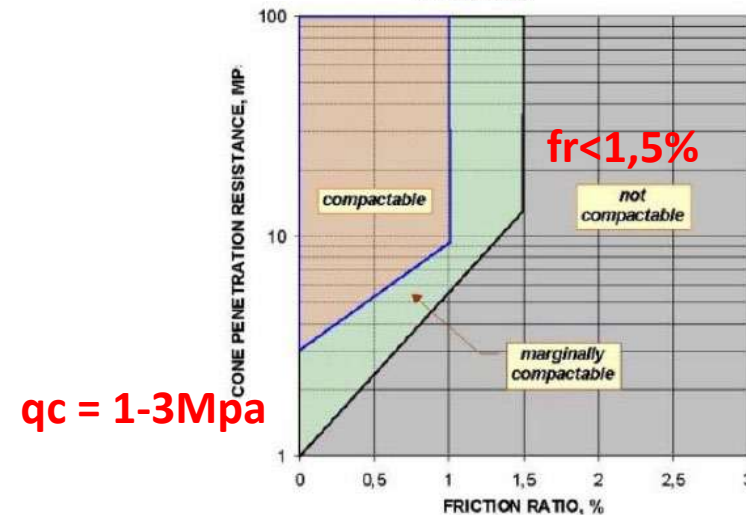
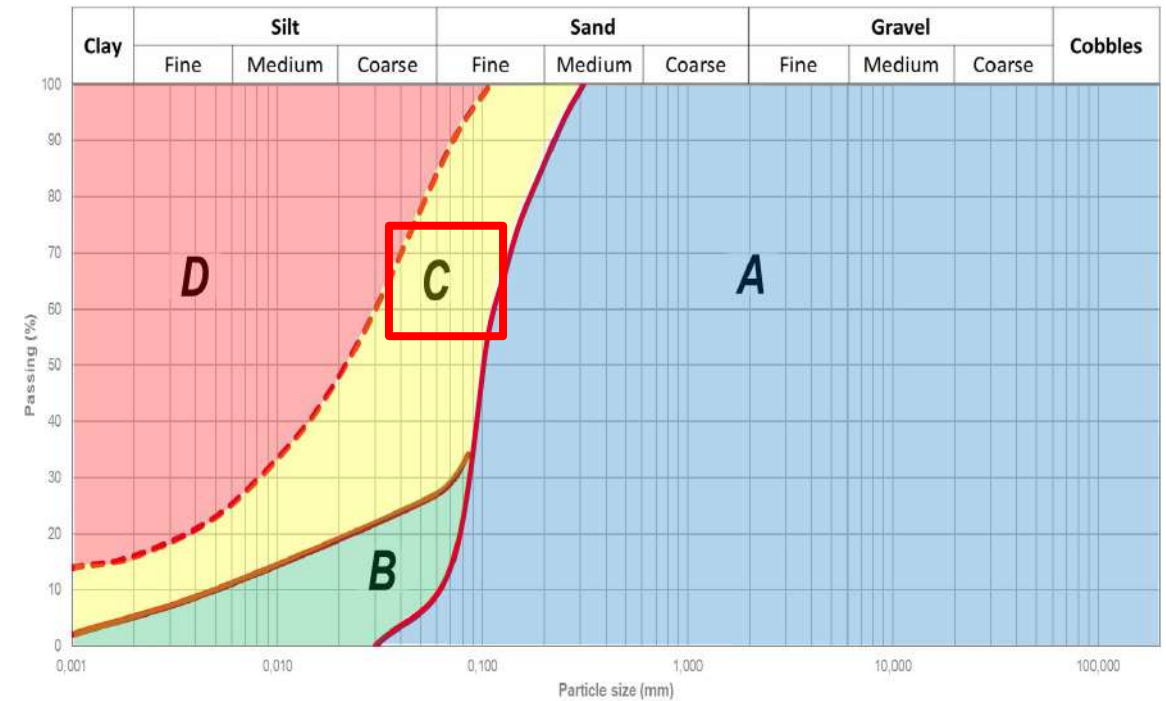
- %FINOS: <30%; PORCENTAJE ARCILLA <3%
- PLASTICIDAD: $0 < IP < 15$.
- RANGO PERMEABILIDAD 10^{-5} a 10^{-7} m/sg; SUELOS SEMIPERMEABLES
- ZONA MARGINAL/ BUENA COMPACTACION DINÁMICA
- COMPACTACION DINAMICA ES POSIBLE EN CUALQUIER CONDICION DE SATURACION
- SI NO ESTA SATURADO, SUELO SERA COMPACTABLE SI $W_n < W_{OPN}$, compactación ocurrira hasta el punto donde el suelo se sature por completo y continuira después de la saturación (SI $IP < 12$)
- LA ENERGIA DE COMPACTACIÓN SE APLICARA EN VARIAS FASES PARA PERMITIR QUE EL EXCESO DE PRESIÓN INTERSTICIAL SE DISIPE.



CONDICIONES ESPECÍFICAS SUELOS MARGINALES A DIFÍCILMENTE COMPACTABLES (CD+MD)

Zone C: MARGINALMENTE COMPACTABLE

- % FINOS = 30 – 85 %; PORCENTAJE ARCILLA < 15%
- PLASTICIDAD: $0 < IP < 25$.
- SUELO SEMIPERMEABLE, PERMEABILIDAD 10^{-6} A 10^{-8} m/sec
- ZONA MARGINAL / DIFICULTAD COMPACTACIÓN DINÁMICA
- COMPACTACIÓN ES MARGINALMENTE POSIBLE:
 - a) CUANDO EL SUELO ESTA SATURADO SI CUMPLE :
 $W_n < LP$, $LL < 35\%$, $IP < 12$
 - b) NO ESTA SATURADO, sera compactable si $W_n < W_{OPN}$,
 la compactacion ocurriera hasta el punto en el que el suelo se sature por completo y continuara después si
 $W_n < LP$, $LL < 35\%$, $IP < 12$.
- LA ENERGIA DE COMPACTACIÓN SE DEBE APLICAR EN VARIAS FASES CON SUFICIENTE TIEMPO DE ESPERA ENTRE FASES PARA LA DISIPACIÓN DE LA PRESIÓN INTERSTICIAL.
- NECESIDAD DE **MECHAS DRENANTES**



CONDICIONES ESPECÍFICAS SUELOS MARGINALES A DIFÍCILMENTE COMPACTABLES (CD+MD)=CONSOLIDACIÓN DINÁMICA

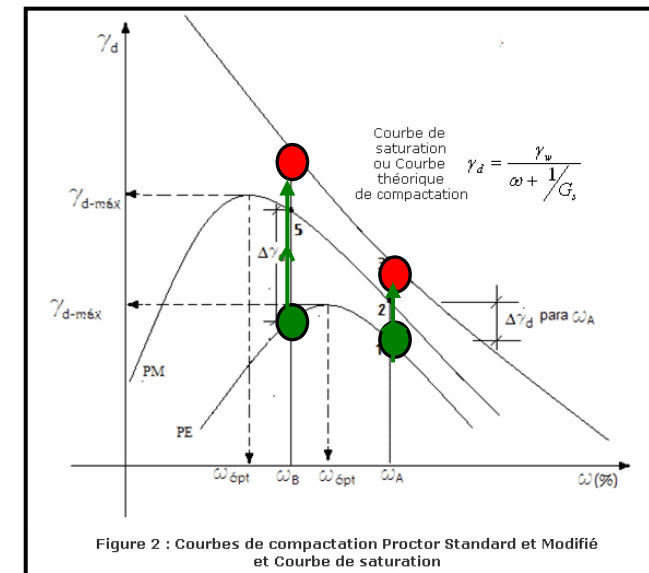
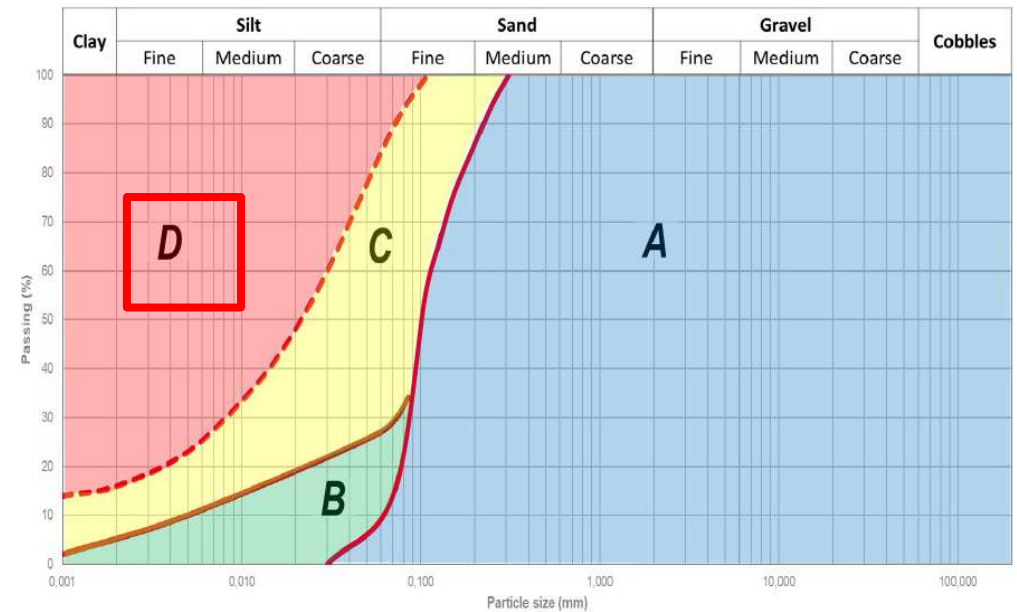
- Para facilitar el proceso de compactación en suelos de baja permeabilidad. SE INSTALAN MD que permiten limitar el aumento de la presión intersticial y reducir los tiempos de espera entre fases de golpeo.
- Las MD se instalan antes de realizar la CD.

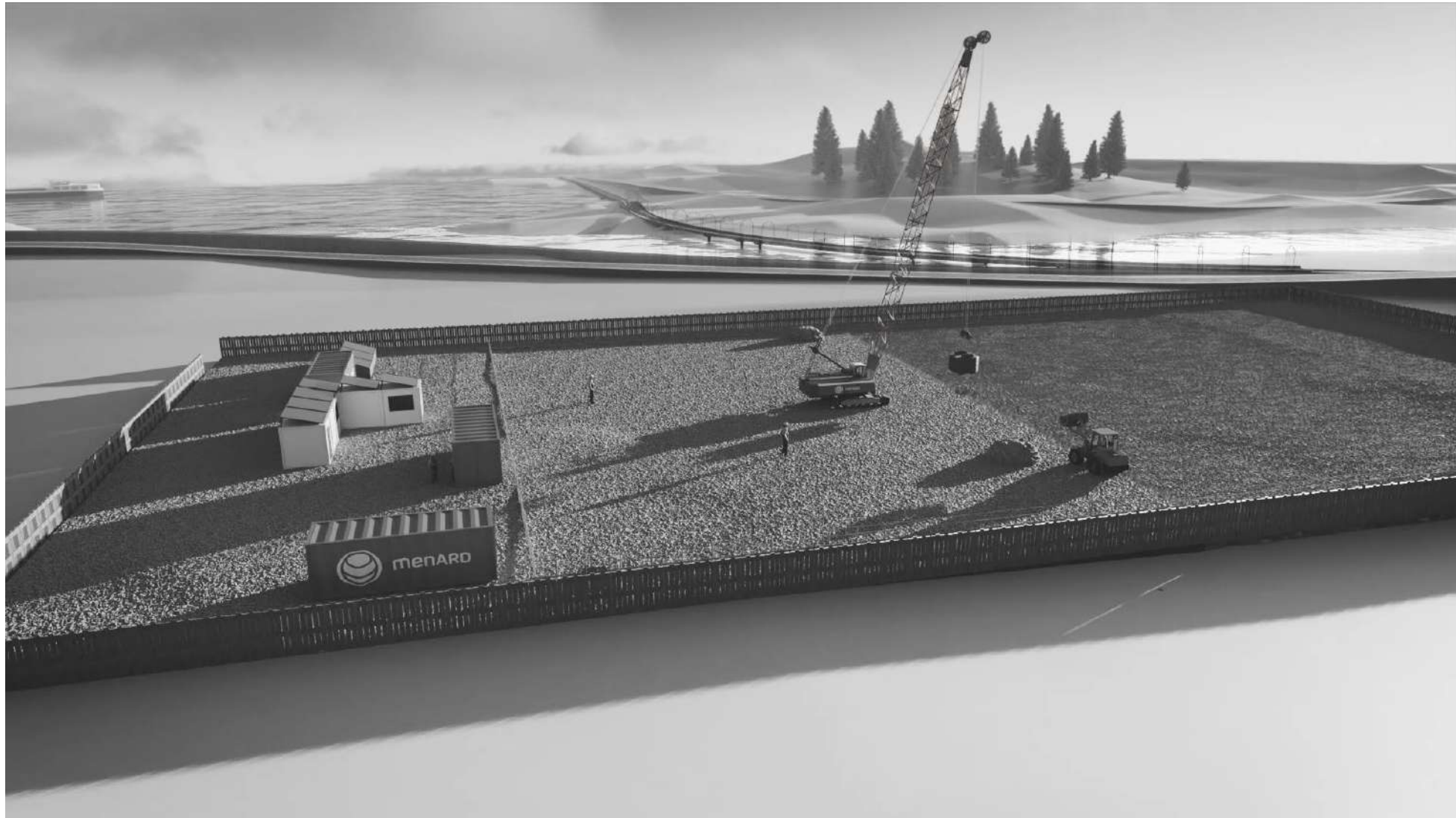


CONDICIONES ESPECÍFICAS SUELOS DIFICILMENTE COMPACTABLES (SD)

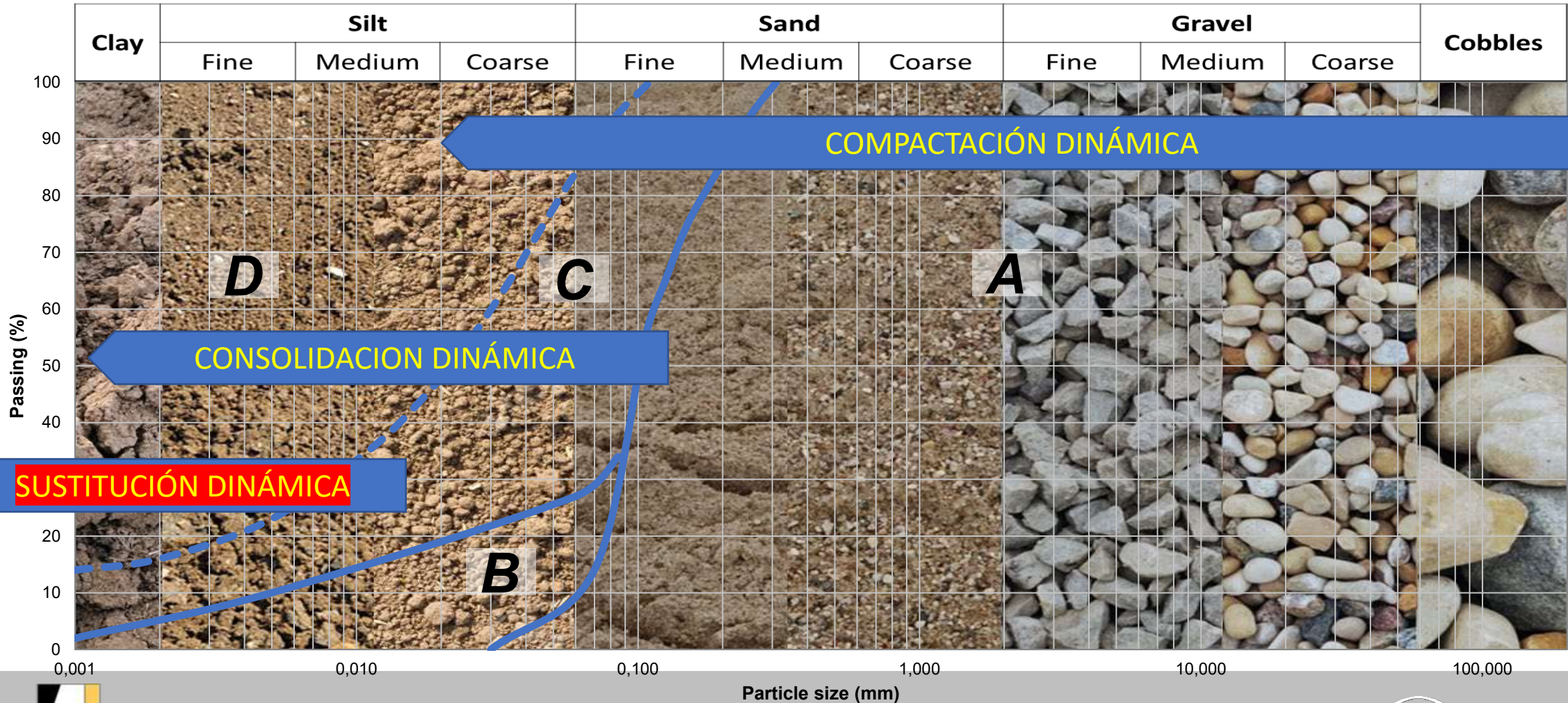
Zone D : DIFICILMENTE COMPACTABLE A NO FAVORABLE

- SUELO IMPERMEABLE, PERMEABILIDAD INFERIOR 10^{-8} m/sec
- PUEDE SER COMPACTABLE EN **SUELOS NO SATURADOS** SI CUMPLE $W_n < LP$, $LL < 35\%$ e $IP < 12$
- LA COMPACTACIÓN SOLO OCURRIRA **HASTA EL PUNTO** EN QUE EL SUELO SE SATURE POR COMPLETO, **NO SE REALIZARÁ NINGUNA MEJORA ADICIONAL INDEPENDIENTE DE LA ENERGÍA APLICADA**, NO SE PRODUCIRA UNA COMPACTACION SIGNIFICATIVA SI $W_n > W_{OP}$
- LA ENERGIA APLICARSE EN **VARIAS FASES CON TIEMPO SUFICIENTE ENTRE FASES DE GOLPEO** PARA LA DISIPACIÓN DE LOS EXCESOS DE PRESION INTERTICIAL.
- SE REQUIERE DE **INCORPORACIÓN DE MATERIAL EN EL INTERIOR DE LOS HUELLAS (SUSTITUCIÓN DINÁMICA) Y/O COMBINARSE CON MECHAS DRENANTES (CONSOLIDACIÓN DINÁMICA)**





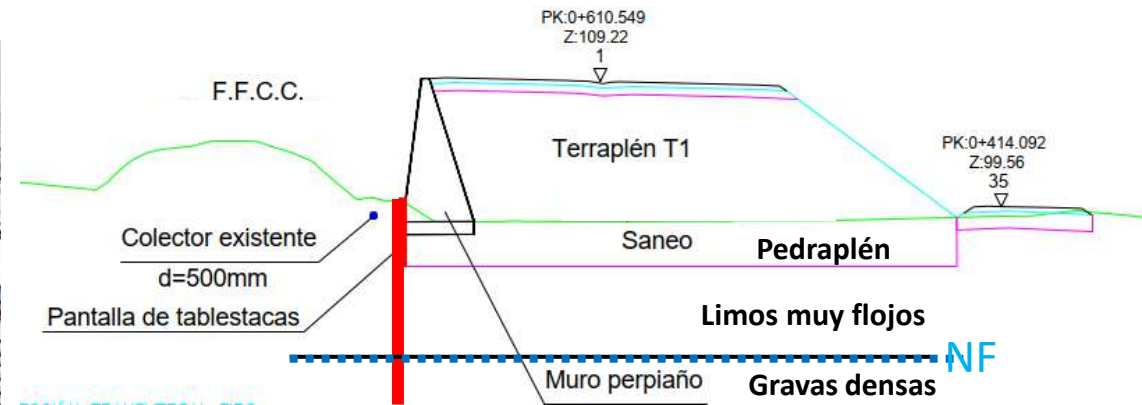
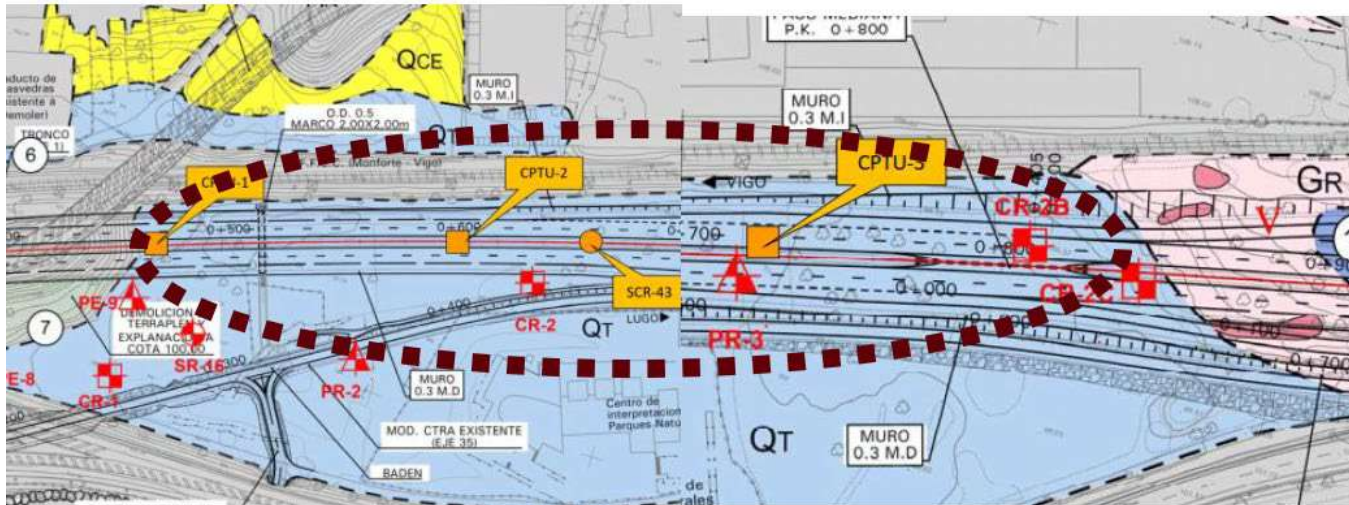
TIPOS DE COMPACTACIONES DINÁMICAS



OBRAS RECIENTES COMPACTACIÓN DINÁMICA.

INDICE

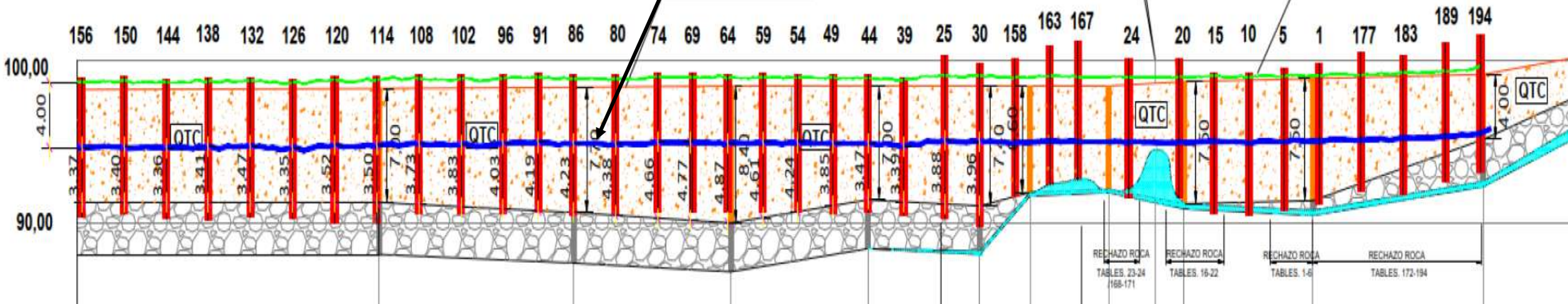
4. Ejemplo de aplicación en terrenos no compactables.

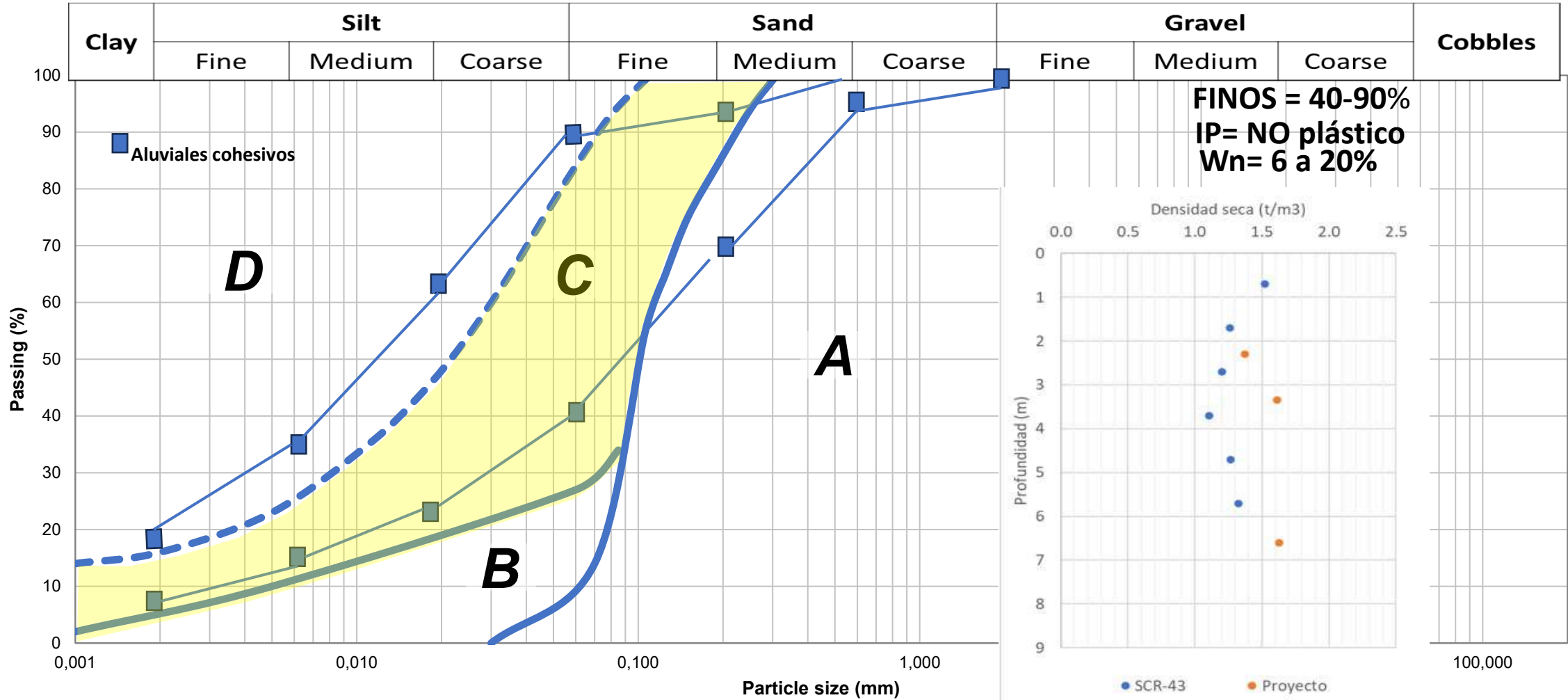


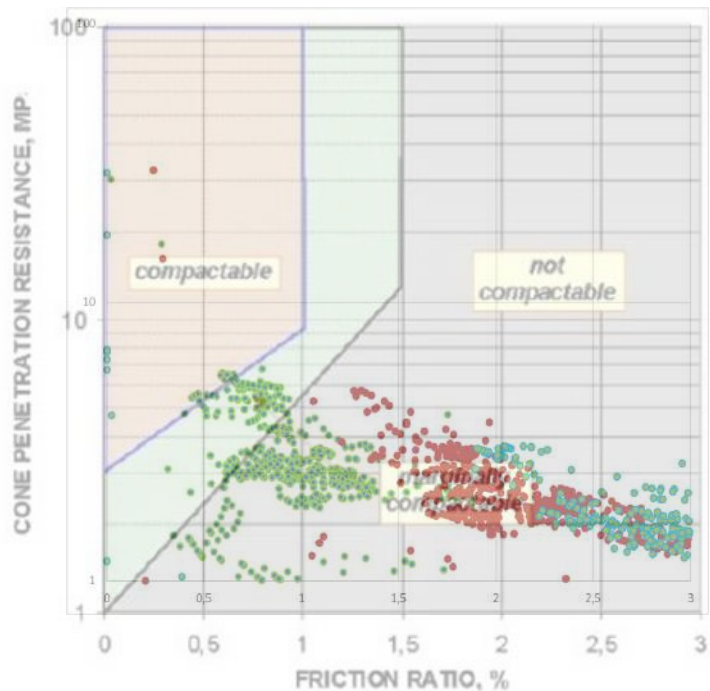
La solución que se plantea consiste en la siguiente:

- Saneos de los tres metros superiores del paquete de limos.
- Ejecución de un refuerzo del paquete de limos, con espesores de unos 4,00m, localmente hasta 5,00m mediante la técnica de compactación dinámica de alta energía.
- Pedraplen de 3m de espesor del material saneado.
- Levantamiento muro y terraplenado.

Línea de saneo





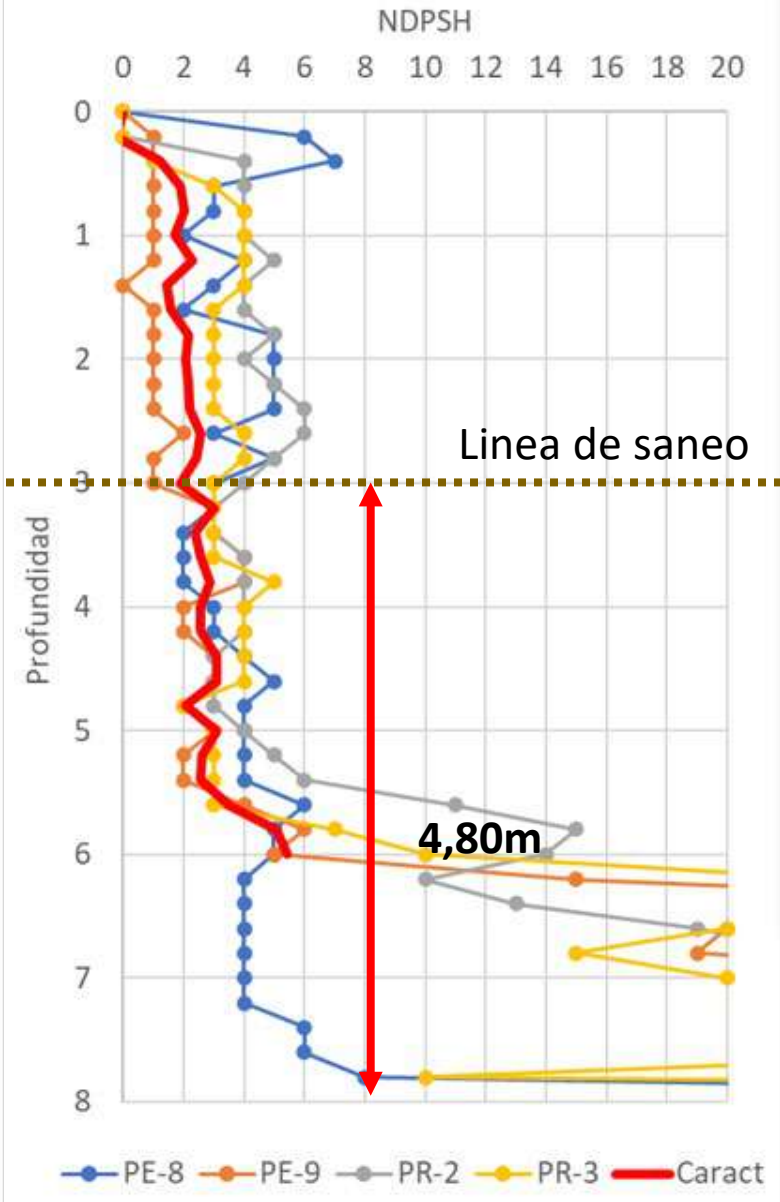
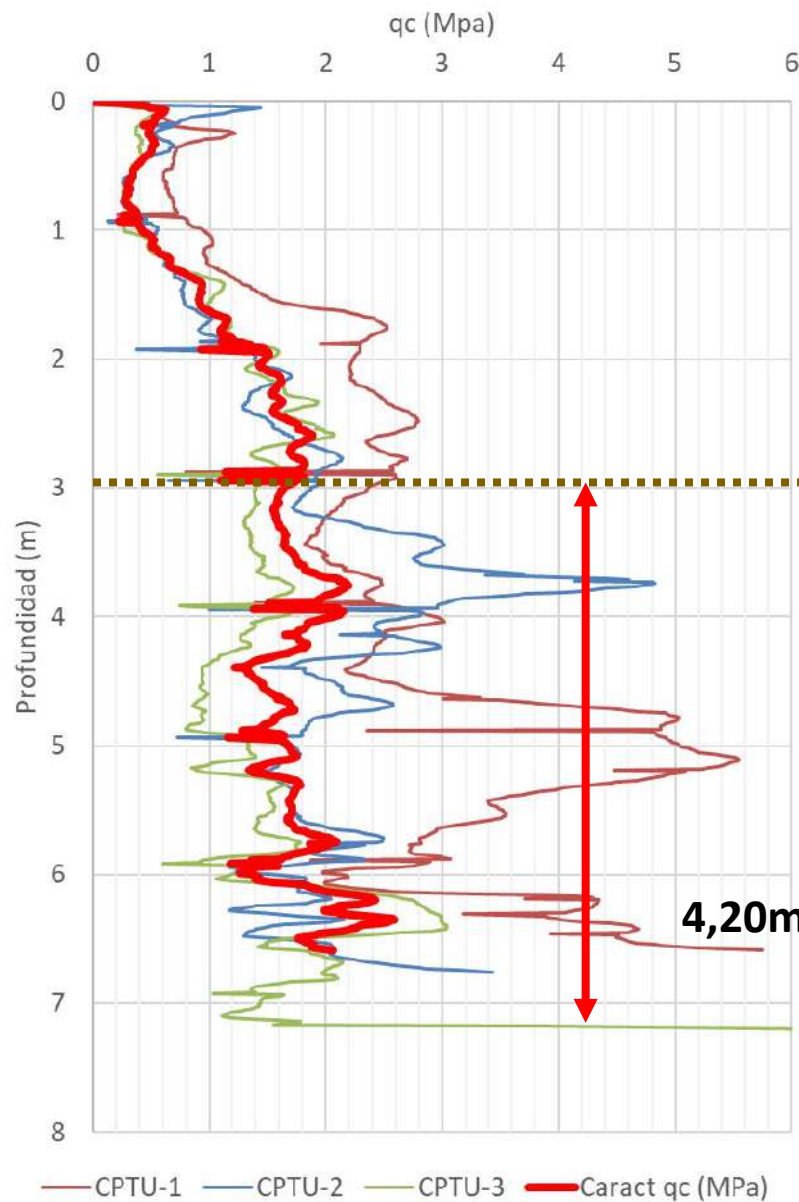


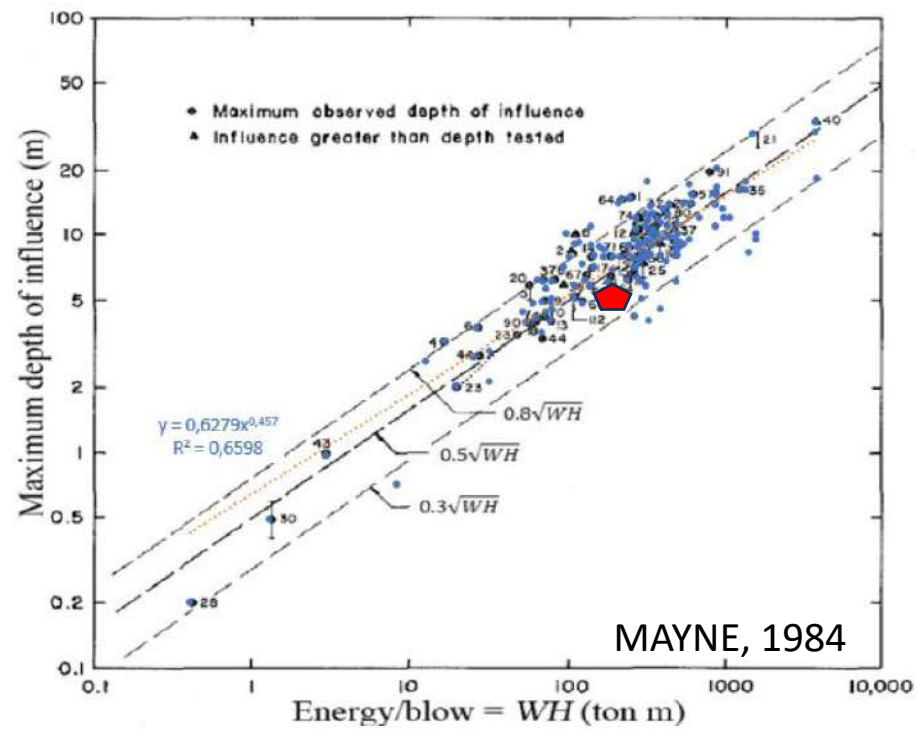
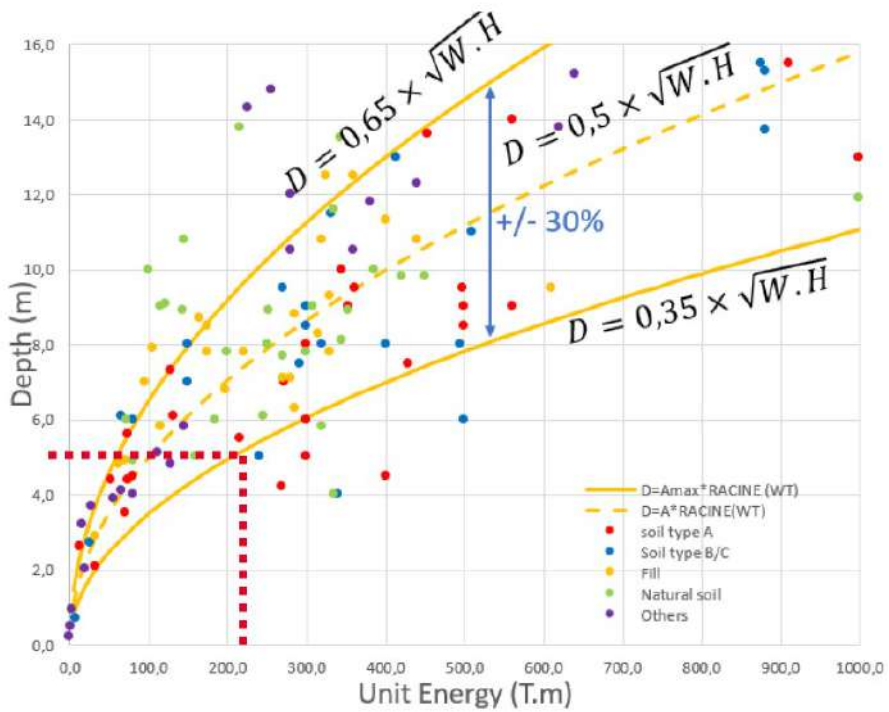
Limos arenosos y arenas limosas

$q_c = 1-2 \text{ Mpa}$

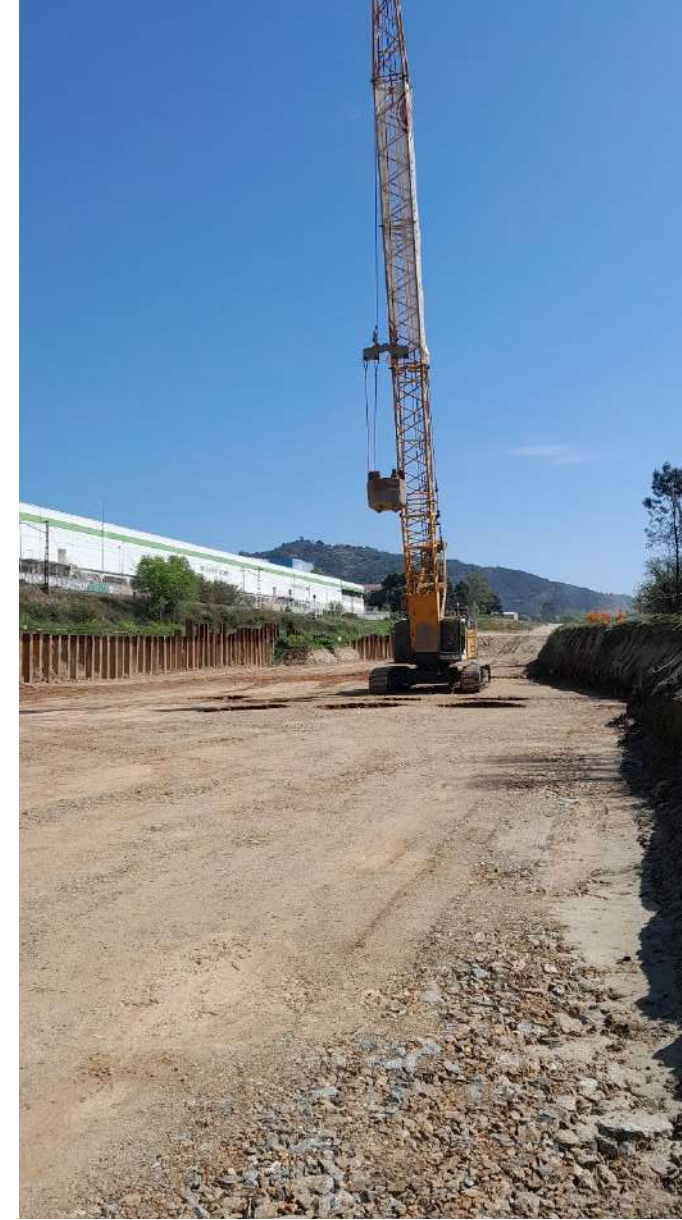
$N_{20} = 1-4 \text{ (2) } z=0-3 \text{ Saneado.}$

$N_{20} = 2-5 \text{ (3) } z=3-8\text{m CD}$





Lukas coeficiente de profundidad de mejora orden de 0.35 a 0.4 para suelos cohesivos parcialmente saturados por encima NF.

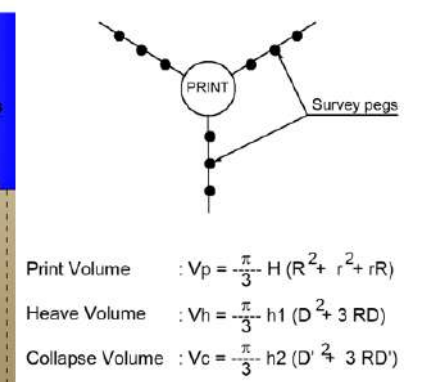
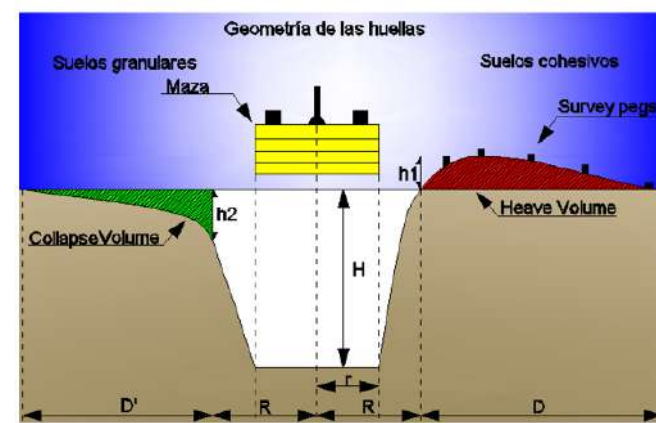


Fase malla PRIMARIA	Nº golpes estimados	Altura caída peso maza	E unitaria (tnxm)	E específica (tnxm/m ²)
1er golpeo	12	14m x 17 tn	238	141,04
2º golpeo	8	12m x 17 tn	204	80,59
3er golpeo	6	8m x 17 tn	136	40,30
4º golpeo	4	4m x 13 tn	78	15,41
Energía específica fase				277 tnxm/m ²

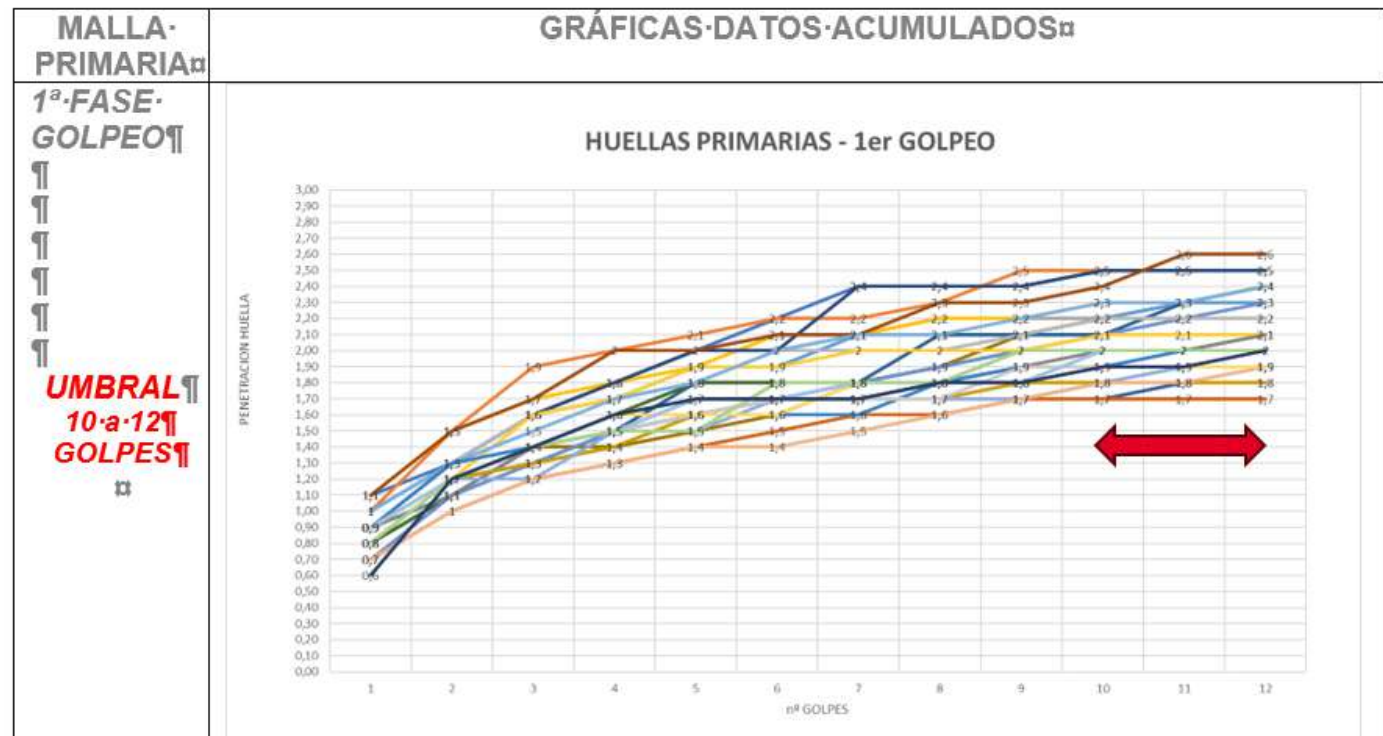
Fase malla SECUNDARIA	Nº golpes	Altura caída peso maza	E unitaria (txm)	E específica (tnxm/m ²)
1er golpeo	6	12m x 17 tn	204	60,44
2º golpeo	6	8m x 17 tn	136	40,30
3er golpeo	4	4m x 13 tn	78	15,41
Energía específica fase				116 tnxm/m ²

Según esto se obtiene una energía específica de **393,48 tnxm/m²** para una tasa de sustitución del **31%**, con un volumen de terreno aportado al interior de las huellas de **1,16 m³/m²**.

	GOLPES	E. Especifica	
HUELLA PRIMARIA	30	277,33	Tnxm/m ²
HUELLA SECUNDARIA	16	116,15	Tnxm/m ²
TASA SUSTITUCIÓN	31%	393,48	Tnxm/m ²
VOLUMEN APORTADO	23,58	m ³	
ÁREA MALLA	20,25	m ²	
APORTE ESTIMADO	1,16	m ³ /m ²	

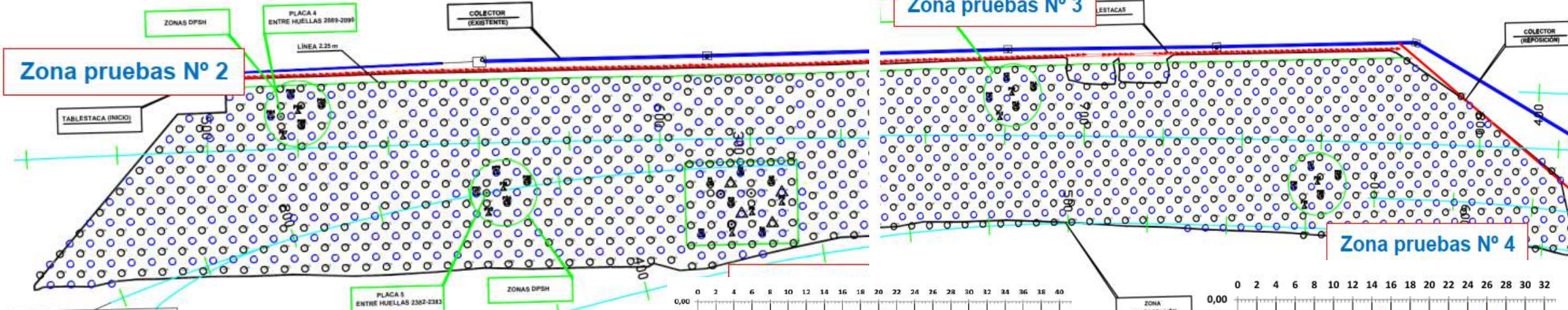


Print Volume : $V_p = \frac{\pi}{3} \cdot H (R^2 + r^2 + rR)$
 Heave Volume : $V_h = \frac{\pi}{3} \cdot h_1 (D^2 + 3RD)$
 Collapse Volume : $V_c = \frac{\pi}{3} \cdot h_2 (D'^2 + 3RD')$

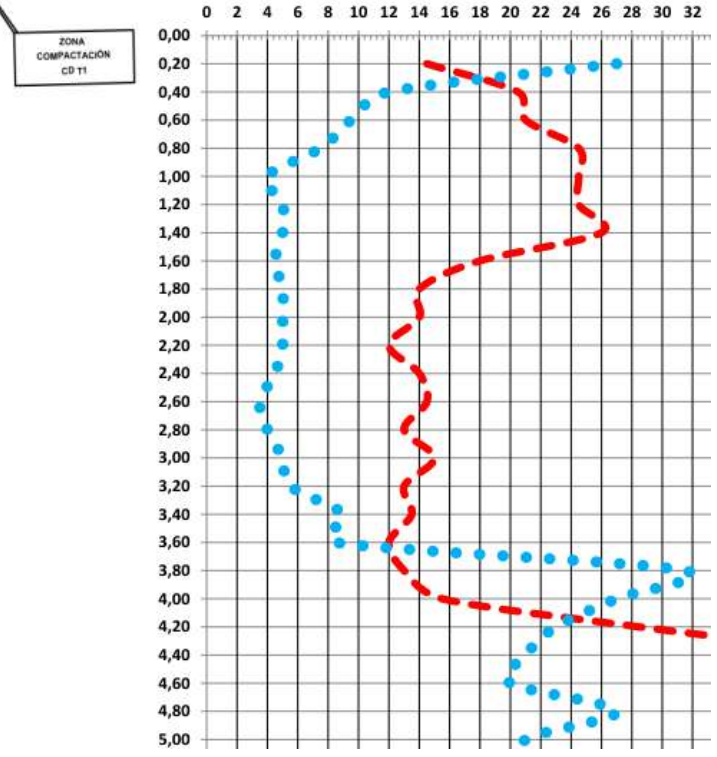
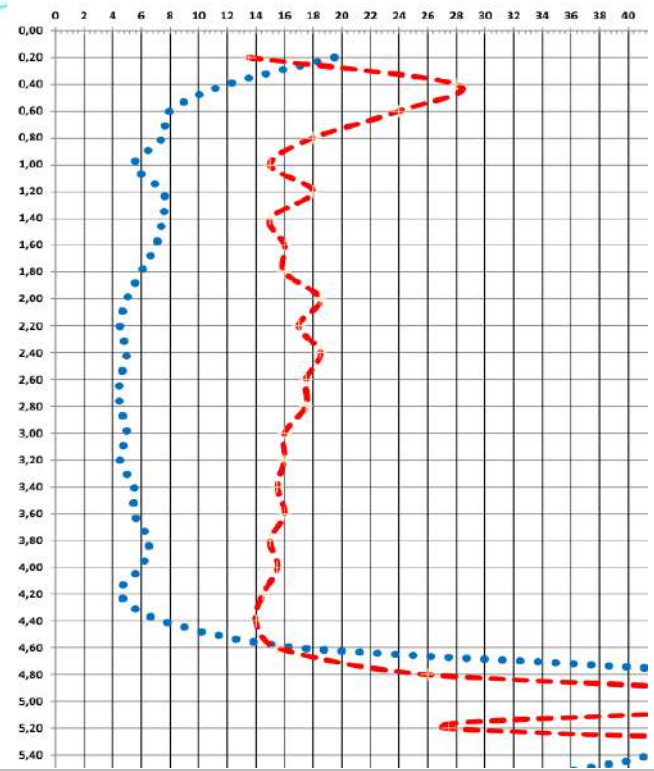
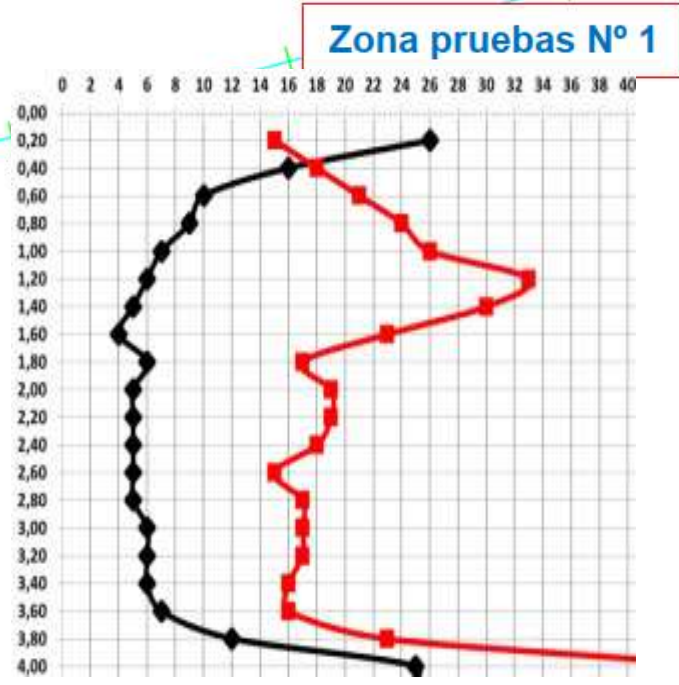








- LEYENDA**
- HUELLAS FASE 1
 - HUELLAS FASE 2
 - DPISH, ANTES Y DESPUÉS
 - PLACAS Ø 1800 mm
 - CONTROL TOPOGRÁFICO DE HUELLA

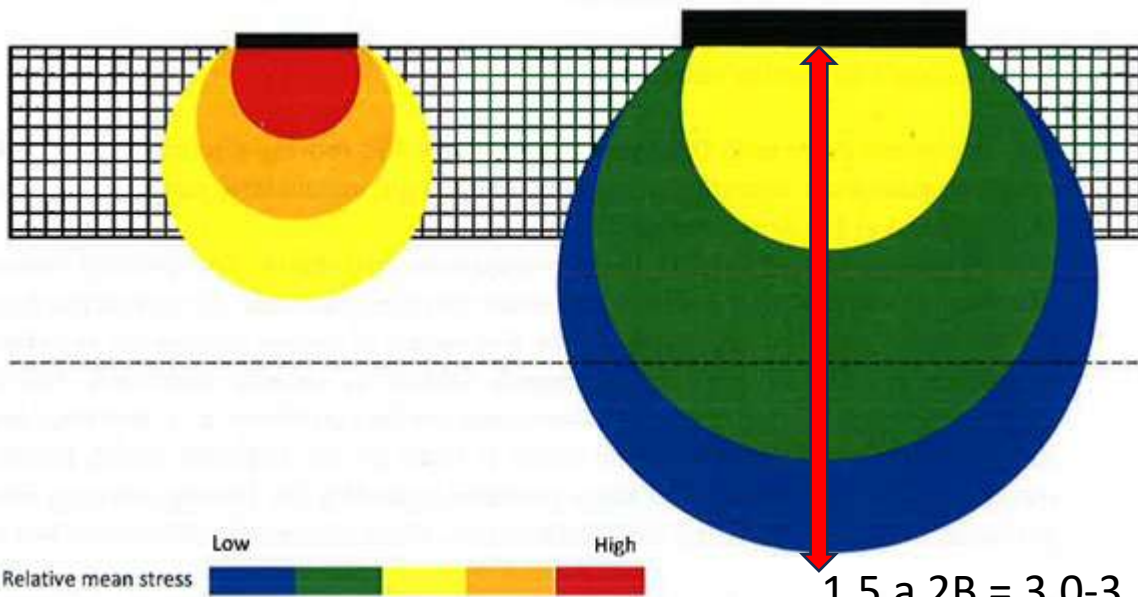




$\Phi=1800\text{mm}$

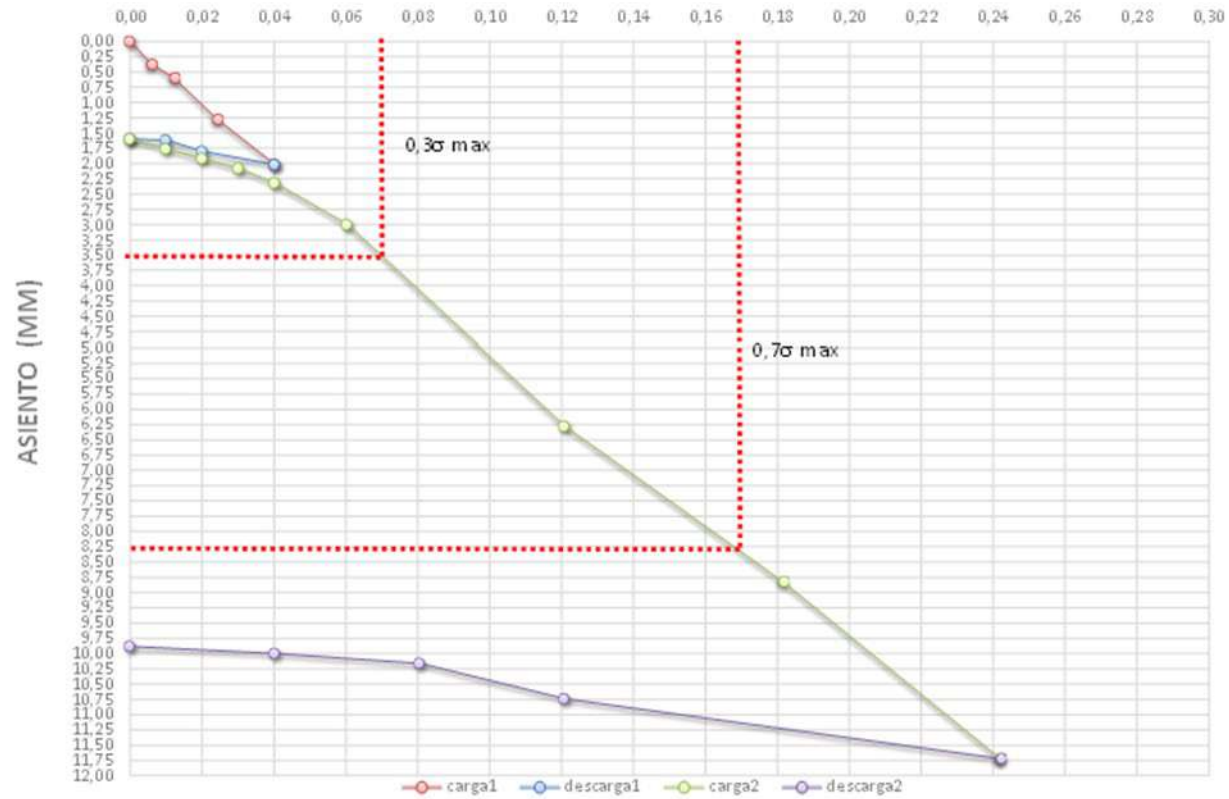
Plate load test

Placa 1800mm



1,5 a 2B = 3,0-3,5 m

ESCALONES DE CARGA EN Mpa.



$$E = \frac{2 \cdot 0,096 \cdot 900 \cdot (1 - 0,4^2)}{4,1} = 35,68 \text{ Mpa}$$

$$E = \frac{2 \cdot 0,096 \cdot 900 \cdot (1 - 0,4^2)}{4,75} = 30,8 \text{ Mpa}$$

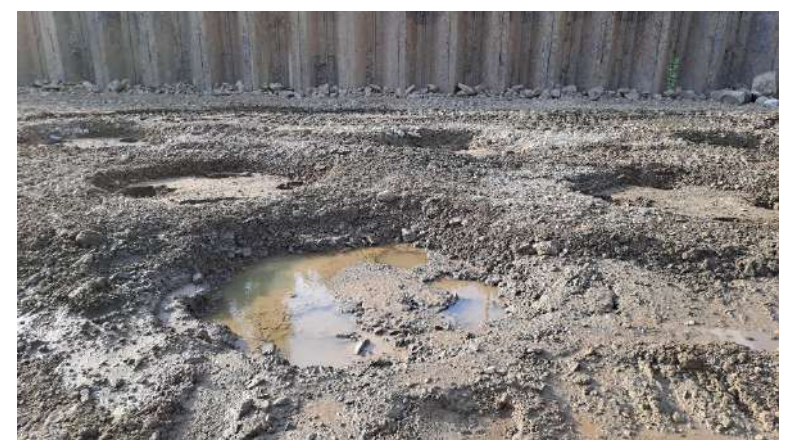
$$E = \frac{2 \cdot 0,096 \cdot 900 \cdot (1 - 0,4^2)}{6,25} = 23,4 \text{ Mpa}$$



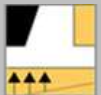
El exceso de presión intersticial provoca que la **estructura del suelo se disocie y se crean fracturas** internas en la propia fábrica del suelo, que serán vías de drenaje alrededor de los puntos de impacto.



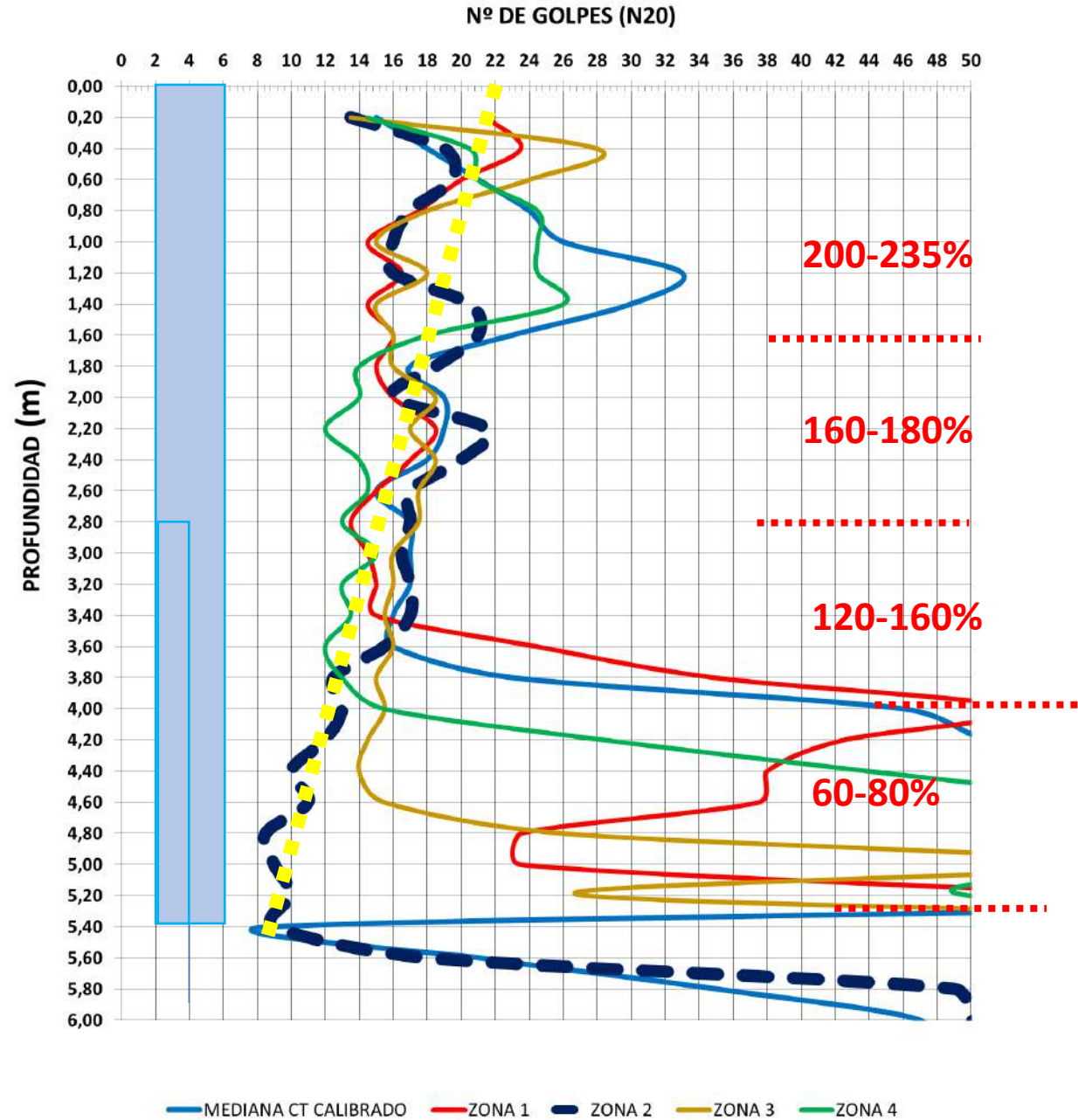
Si la capa superficial no es muy permeable, puede aparecer **volcanes de agua** alrededor de las huellas, y se pueden producir tras varias horas después del golpeo a partir de las fisuras generadas



A medida que se **disipa el exceso de presión intersticial**, el suelo **recupera su estructura y su resistencia** (aumenta la resistencia al corte y módulo de deformación). Las vías de fracturación **se cierran completamente** cuando la presión intersticial se vuelve menor que la tensión horizontal total.

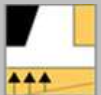


RESUMEN ANTES/DESPUÉS TRATAMIENTO TOTAL DE ENSAYOS





GRACIAS POR SU ATENCIÓN



SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE MECÁNICA DEL SUELO
E INGENIERÍA GEOTÉCNICA

OBRAS RECIENTES COMPACTACIÓN DINÁMICA.



menARD