

Congreso de Suelos Dispersivos y Sulfatados

Asunción, 24-25/10/19



Sociedad
Paraguaya
de Geotecnia



ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS



COMITÉ
NACIONAL
PARAGUAYO

CASOS HISTORICOS SUFUSION Y ERODABILIDAD

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

1. EROSIONES EN CARRETERAS
2. TERRAPLENES Y PEQUEÑAS PRESAS
3. ASIENTO CIMENTACIONES

CASOS HISTORICOS SUFUSION Y ERODABILIDAD

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

1. EROSIONES EN CARRETERAS
2. TERRAPLENES Y PEQUEÑAS PRESAS
3. ASIENTO CIMENTACIONES

EROSION EN CARRETERAS



EROSION EN CARRETERAS



Circunvalación de la Ciudad de Córdoba
Argentina, 2019

EROSION EN CARRETERAS

Circunvalación de la
Ciudad de Córdoba
Argentina, 2019



EROSION EN CARRETERAS



Circunvalación de la
Ciudad de Córdoba
Argentina, 2019

EROSION EN CARRETERAS

Circunvalación de la
Ciudad de Córdoba
Argentina, 2019

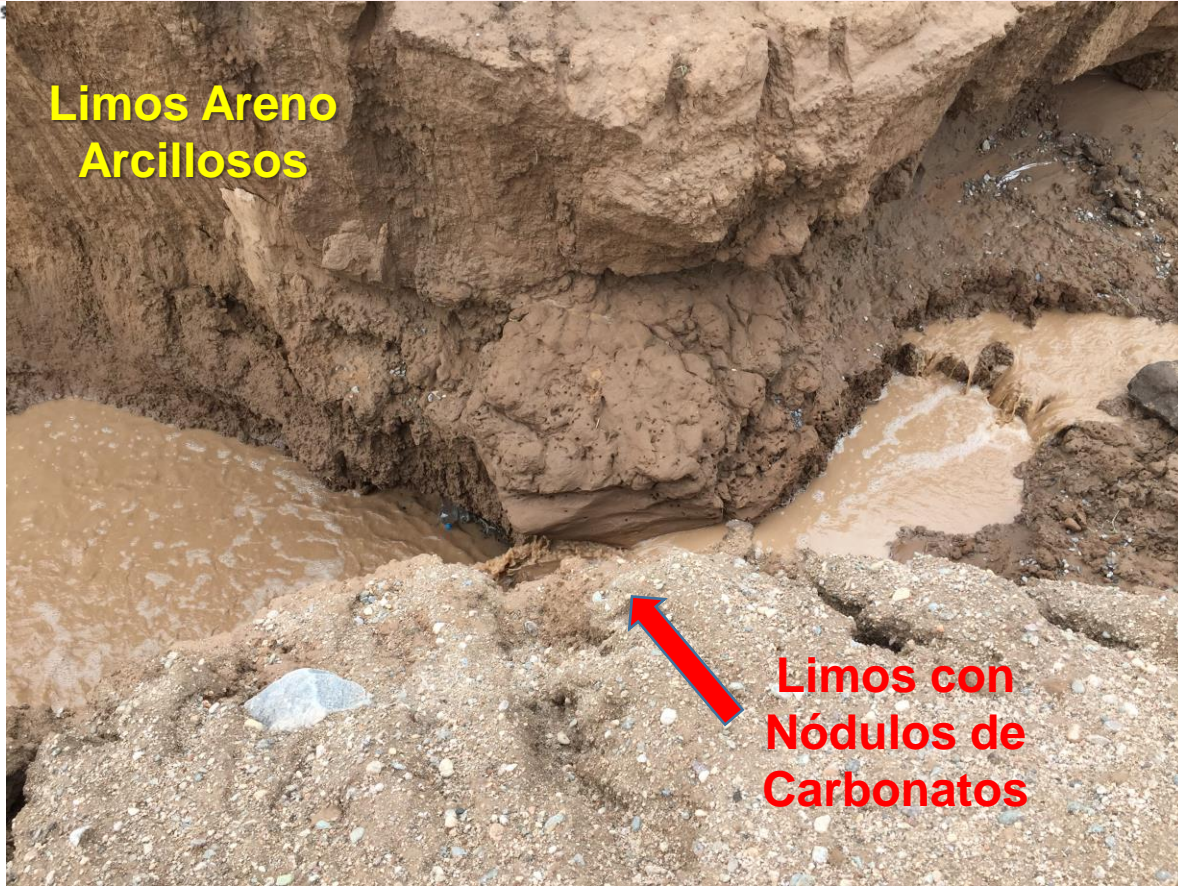


ELEMENTOS
RIGIDOS



EROSION EN CARRETERAS

**Limos Areno
Arcillosos**



Circunvalación de la
Ciudad de Córdoba
Argentina, 2019

**Limos con
Nódulos de
Carbonatos**

EROSION EN CARRETERAS

Circunvalación de la
Ciudad de Córdoba
Argentina, 2019



EROSION EN CARRETERAS

Circunvalación de la
Ciudad de Córdoba
Argentina, 2019





“Inestabilidad Interna en Suelos Limo Arcillosos. Fenómenos de Sufusión”

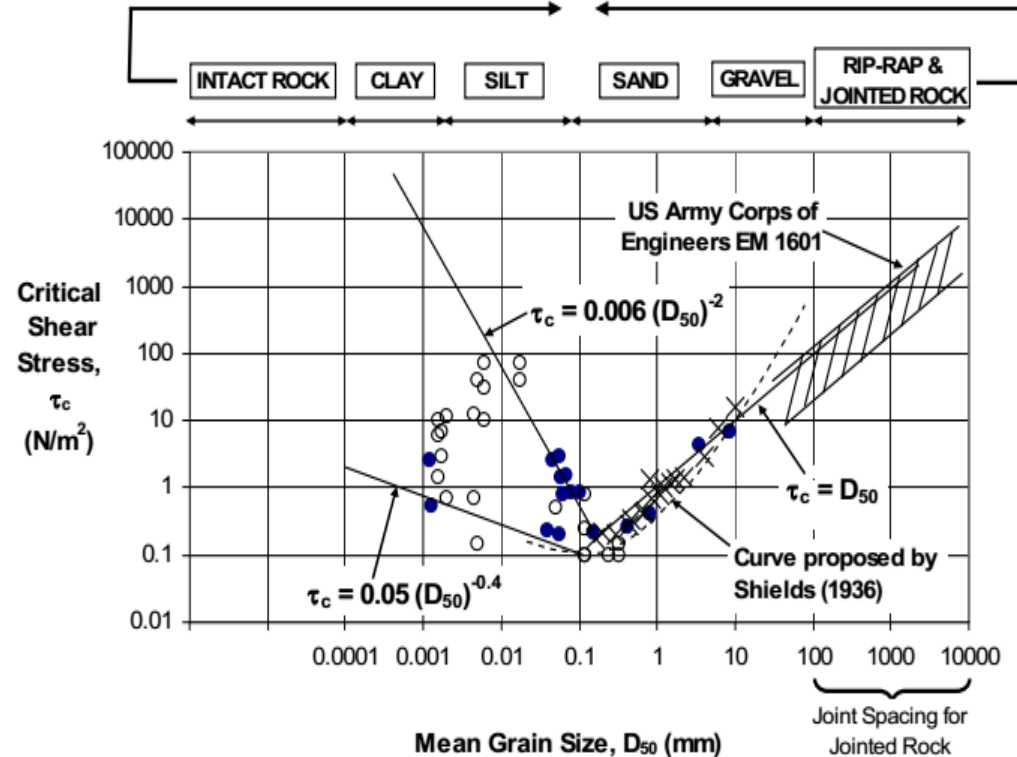
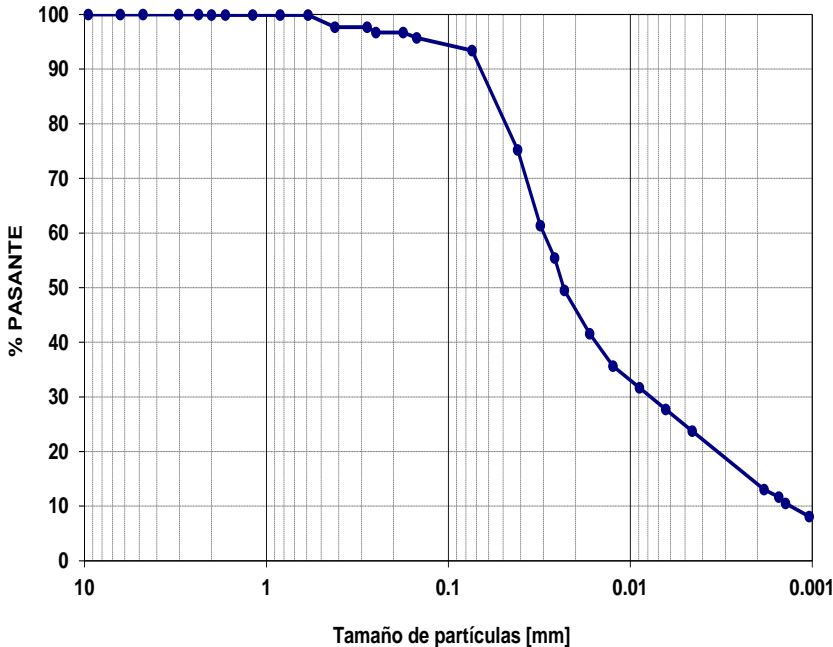


EROSION EN CARRETERAS



Circunvalación de la Ciudad de Córdoba Argentina, 2019

EROSION EN CARRETERAS



EROSION EN CARRETERAS

CONDICION INICIAL.

- Suelos Limo – arenosos.
- Con un D10 del orden de 0,001 mm.
- Bajo contenido de cohesivos



RESISTENCIA A LA EROSION SUPERFICIAL.

- Muy baja
- $\tau_{crit} < 1 \text{ n/m}^2$

ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO

- REDUCCIÓN DE LAS CUENCAS DE APORTE → POCA INFLUENCIA (CUENCAS MÍNIMAS)
- CONTROLAR LOS PUNTOS DE DESCARGA EN LOS TERRAPLENES.
- RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE ESCURRIMIENTO.
- MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL SUELO AFECTADO.

ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO CONTROLAR LOS PUNTOS DE DESCARGA EN LOS TERRAPLENES.



La Carolina, RN 8, Córdoba, Argentina.

ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO CONTROLAR LOS PUNTOS DE DESCARGA EN LOS TERRAPLENES.

- Protección de Banquina
- Bordillo Protector
- Canal de Descarga
- Empastado



ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO CONTROLAR LOS PUNTOS DE DESCARGA EN LOS TERRAPLENES.



ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE ESCURRIMIENTO.

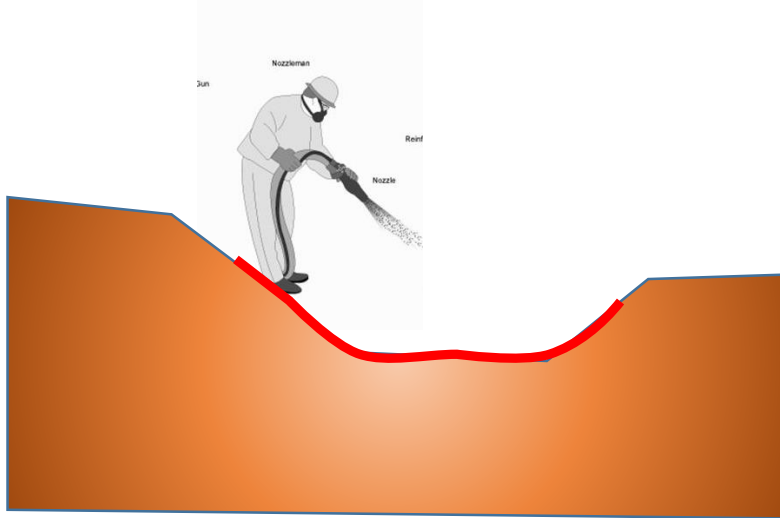


**RN 40, Mendoza,
Argentina**



ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE ESCURRIMIENTO.

Cobertura con shotcrete

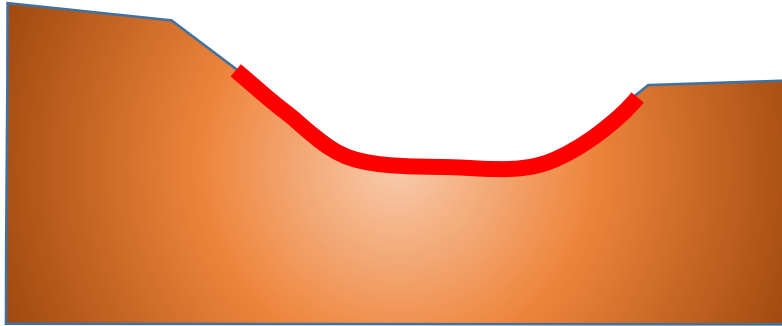


Circunvalación Córdoba,
Argentina



ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE ESCURRIMIENTO.

Cobertura con geosintéticos



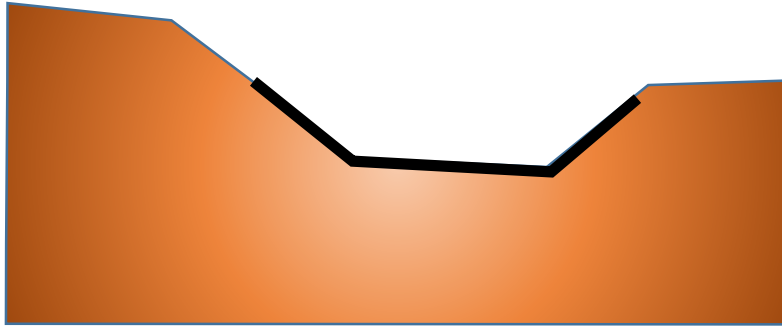
RN 38, Córdoba,
Argentina



ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE ESCURRIMIENTO.

Cobertura con placas rígidas

- Hormigón en masa
- Hormigón armado
- Prefabricados



RN 38, Córdoba,
Argentina



ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL SUELO AFECTADO.

OBJETIVO:

Inclusión de un componente que, junto con una recompactación mecánica permita una modificación del ordenamiento estructural y la inclusión de elementos de cementación.

INCLUSIONES:

- Cales
 - Tradicionales, modif plasticidad.
 - Aglutinantes por modificación iónica
- Cementos
 - Tradicionales, rigidización
 - Fragilización ?

ACCIONES DE MITIGACION DEL EFECTO MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL SUELO AFECTADO.

OBJETIVO:

Inclusión de un componente que, junto con una recompactación mecánica permita una modificación del ordenamiento estructural y la inclusión de elementos de cementación.

INCLUSIONES:

- **Estabilizadores de Polvo**

- Factibilidad de empleo de materiales locales
- Posibilidad de construcción con tecnología local
- Requerimiento de mantenimientos
- En Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe... programas de uso tramos de prueba

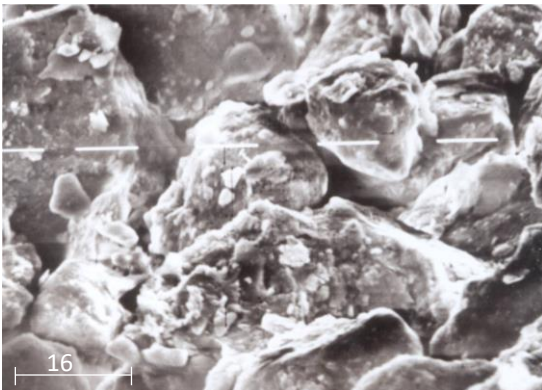
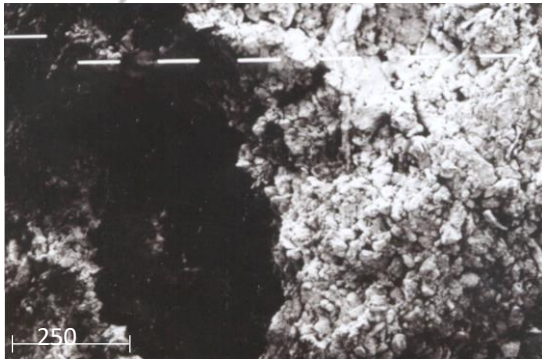
CASOS HISTORICOS SUFUSION Y ERODABILIDAD

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

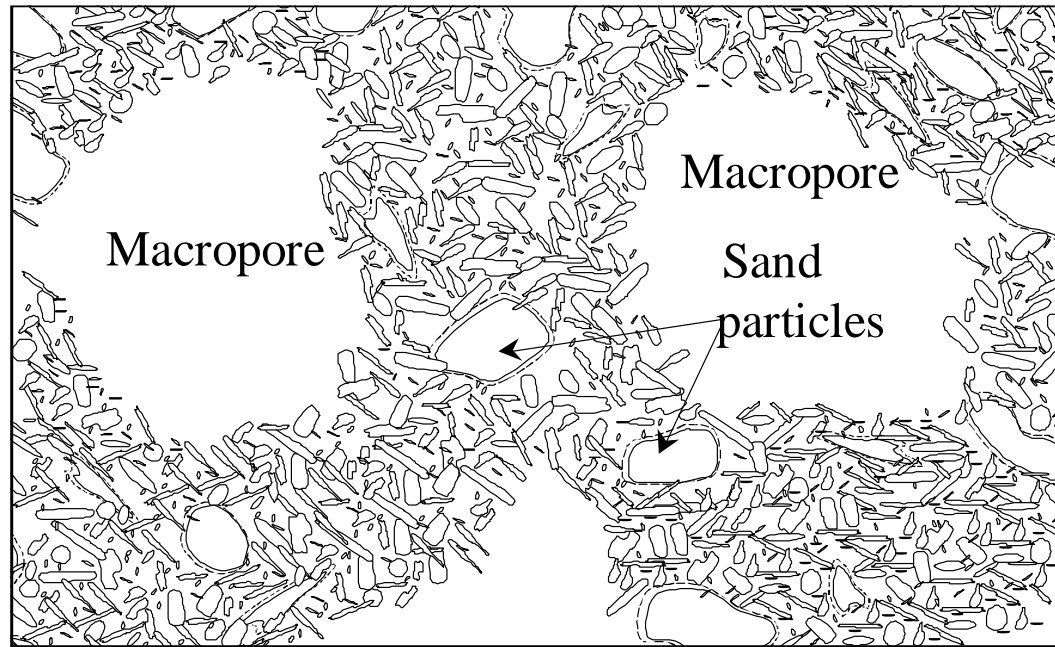
1. EROSIONES EN CARRETERAS
2. TERRAPLENES Y PEQUEÑAS PRESAS
3. ASIENTO CIMENTACIONES

MOTIVACIONES

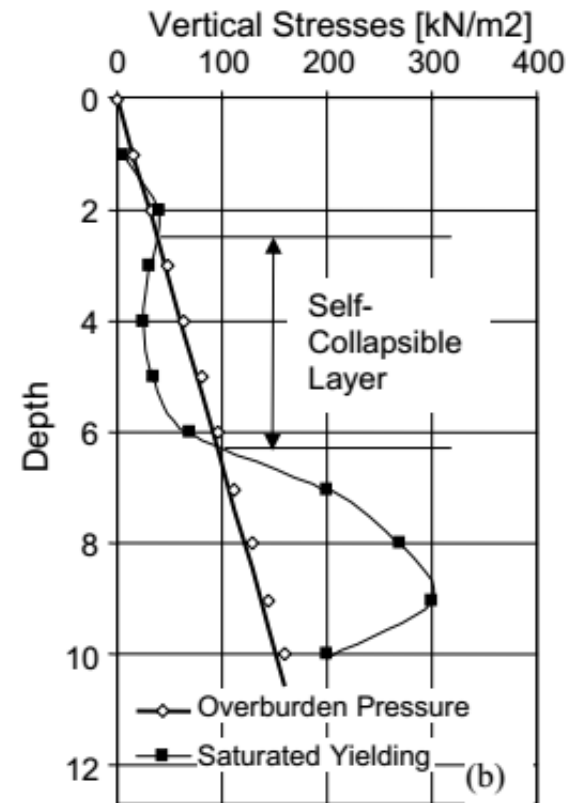
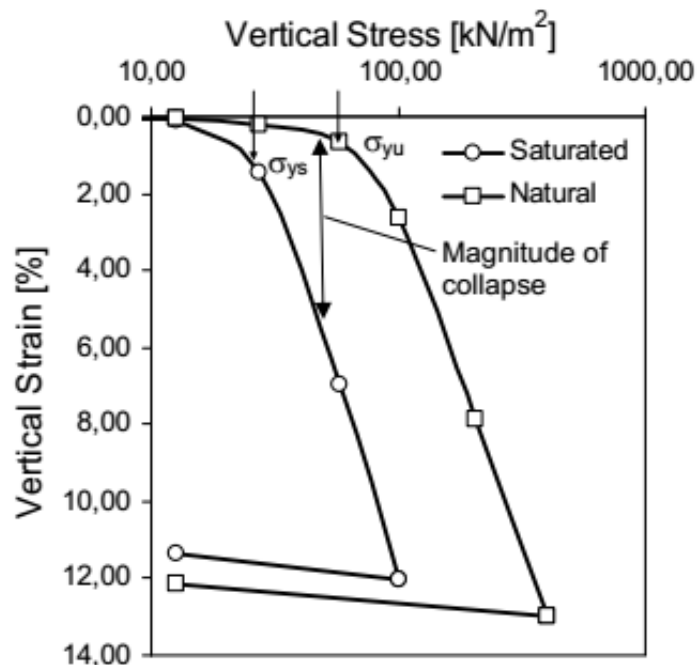
- Numerosos casos de presas construidas con limos y arcillas de origen eólico.
- Un caso muy discutido es el de Teton Dam, en Idaho, U.S.A. que falló en 1976 en el primer llenado, por erosión interna.
 - Materiales usados en el núcleo ?.
 - Smalley I.J. and Dijkstra T.A. [1991] postularon que los loess no deberían ser usados en núcleos de presas, ya que no tienen la mineralogía y propiedades requeridas para esa aplicación. Aún compactándolos, permanecen dilatantes y poseen un importante riesgo.
 - Perry E.B. [1991] indica que el carácter altamente erosivo de los loess es bien conocido. La prevención de la tubificación de un núcleo fracturado de loess requiere un apropiado material de filtros agua abajo.
- En Argentina se han empleado limos loésicos en varias presas. El ejemplo más importante es la de Río Hondo, construida a principios de 1960, cuando no se había planteado el problema de la dispersión.



CARACTERIZACION CIMIENTO

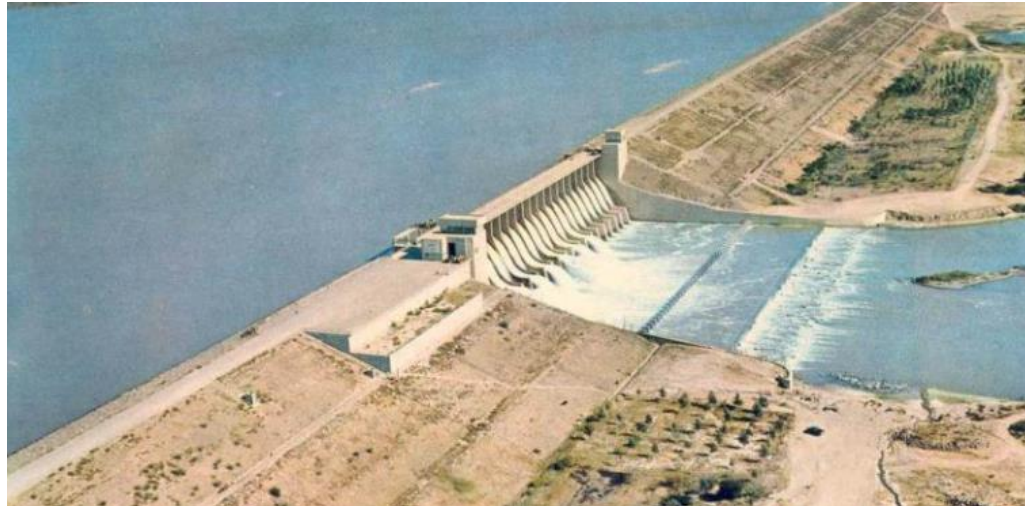


CARACTERIZACION CIMENTO



CASO HISTÓRICO - HIDROCOMPACTACION

La presa de tierra esta diseñada como una presa de materiales suelto zonificada de aproximadamente 220 m de ancho



- Espaldón aguas arriba está compuesto por arenas compactas cubierta por una capa de riprap
- Núcleo compuesto por limos
- Suelo de fundación limo arcilloso colapsable
- Drenes compuestos por arenas permeable

CASO HISTÓRICO - HIDROCOMPACTACION

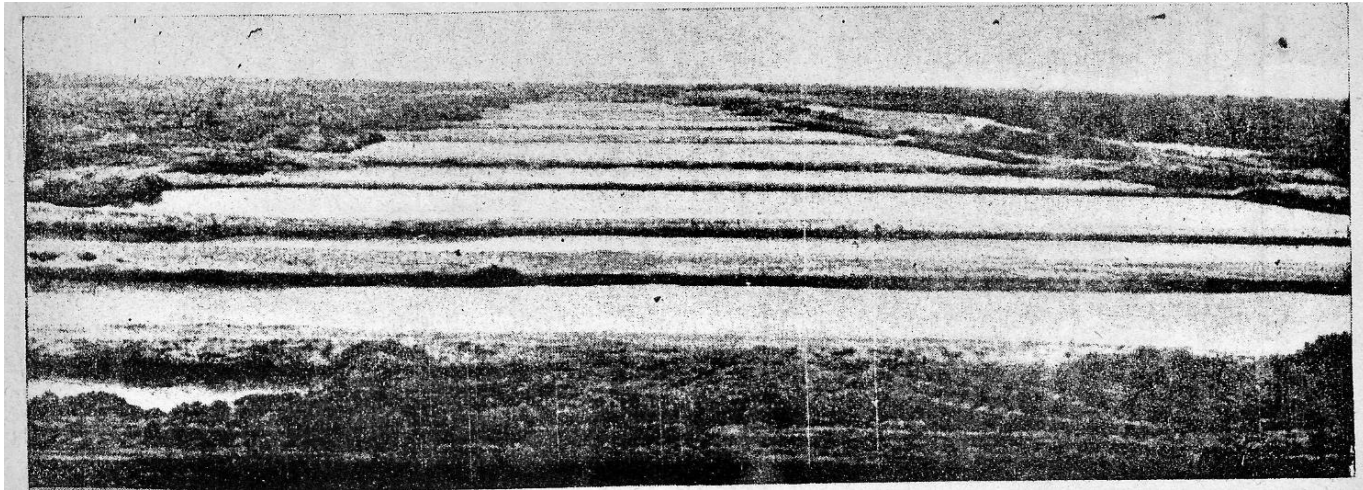
La presa de tierra esta diseñada como una presa de materiales suelto zonificada de aproximadamente 220 m de ancho



- Espaldón aguas arriba esta compuesto por arenas compactas cubierta por una capa de riprap
- Núcleo compuesto por limos
- Suelo de fundación limo arcilloso colapsable
- Drenes compuestos por arenas permeable

CASO HISTÓRICO - HIDROCOMPACTACION

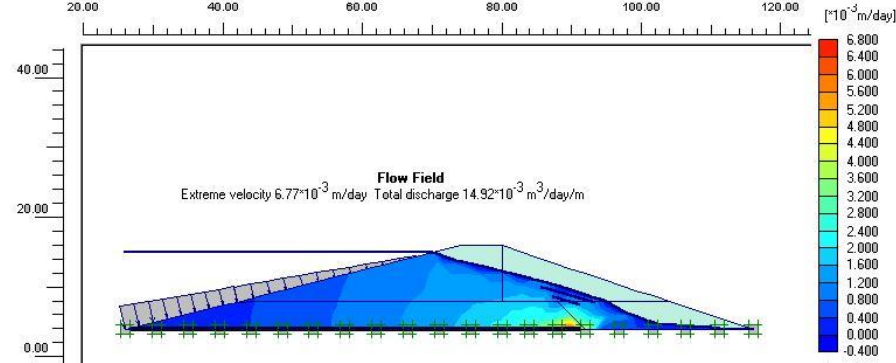
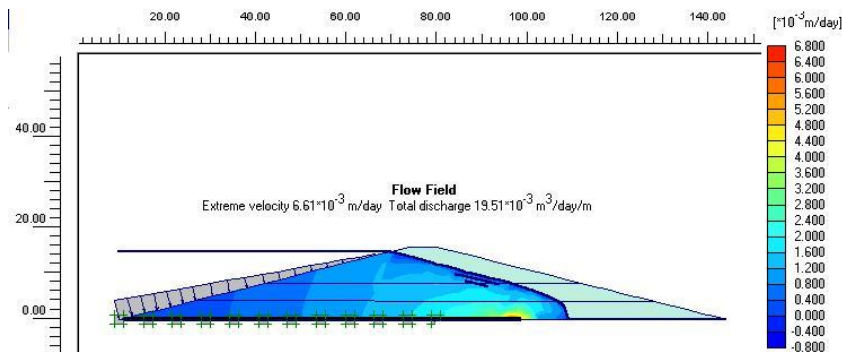
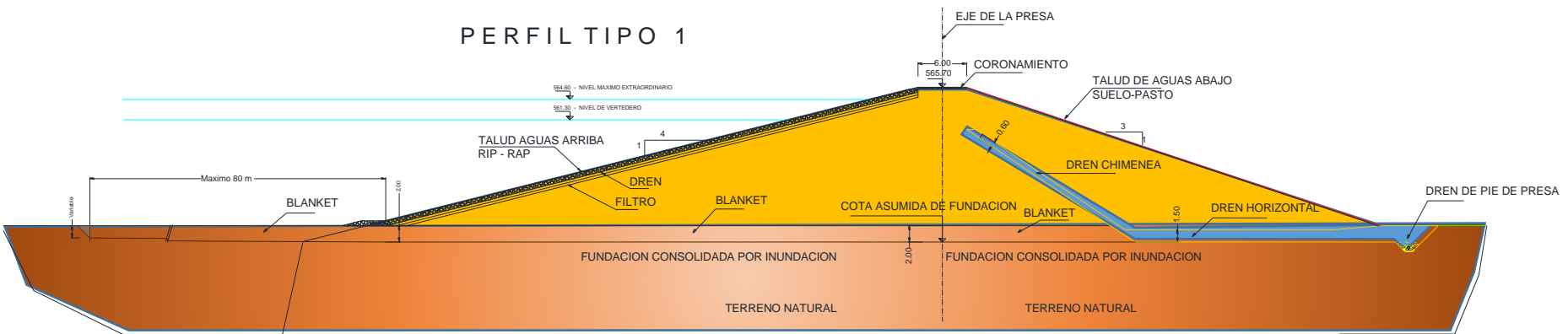
La presa de tierra esta diseñada como una presa de materiales suelto zonificada de aproximadamente 220 m de ancho



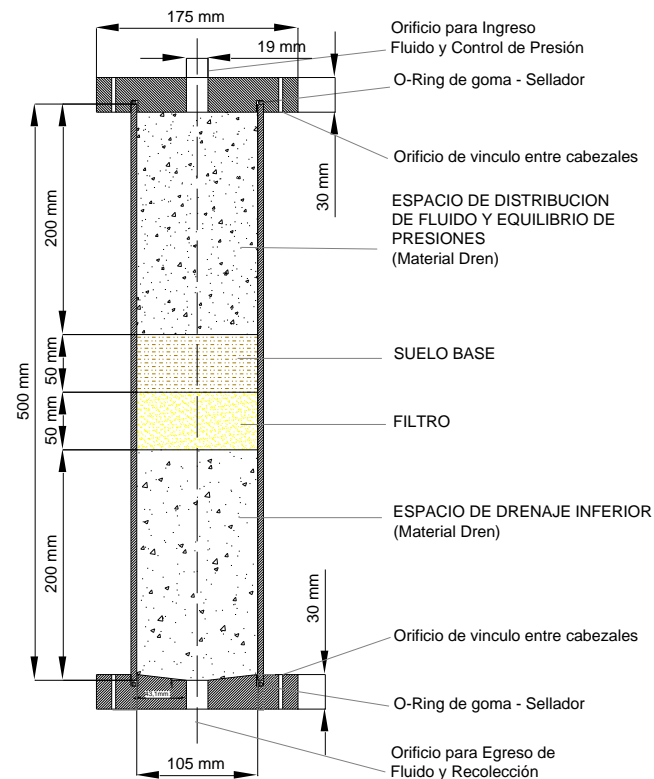
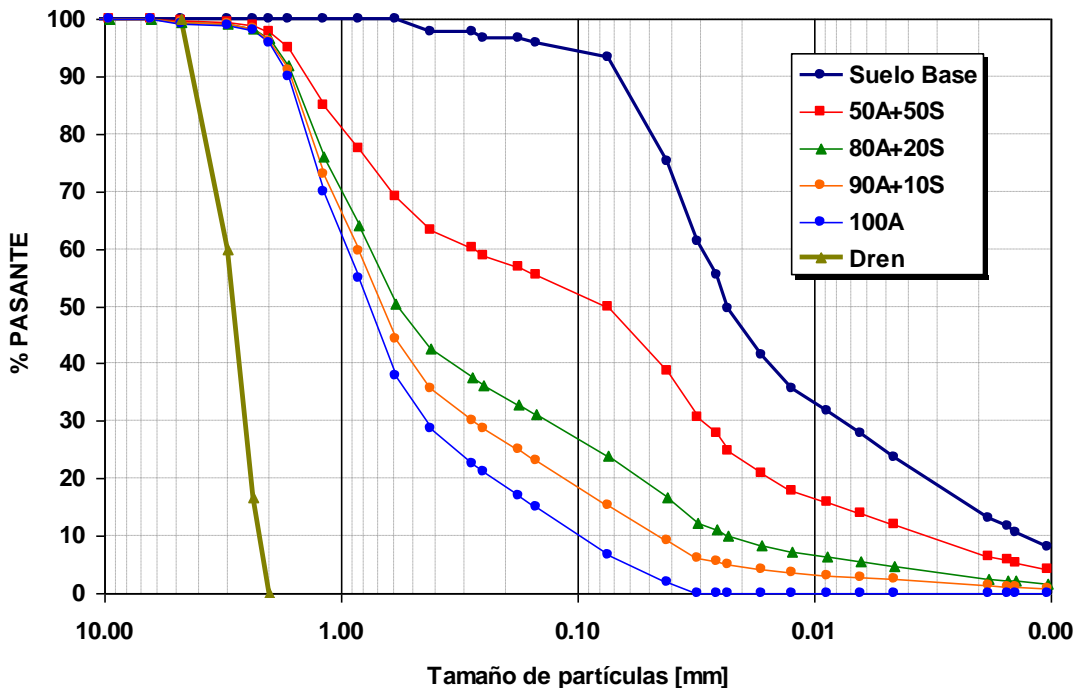
- Espaldón aguas arriba esta compuesto por arenas compactas cubierta por una capa de riprap
- Núcleo compuesto por limos
- Suelo de fundación limo arcilloso colapsable
- Drenes compuestos por arenas permeable

CASO HISTÓRICO – PRESAS DE LAMINACION

PERFIL TIPO 1



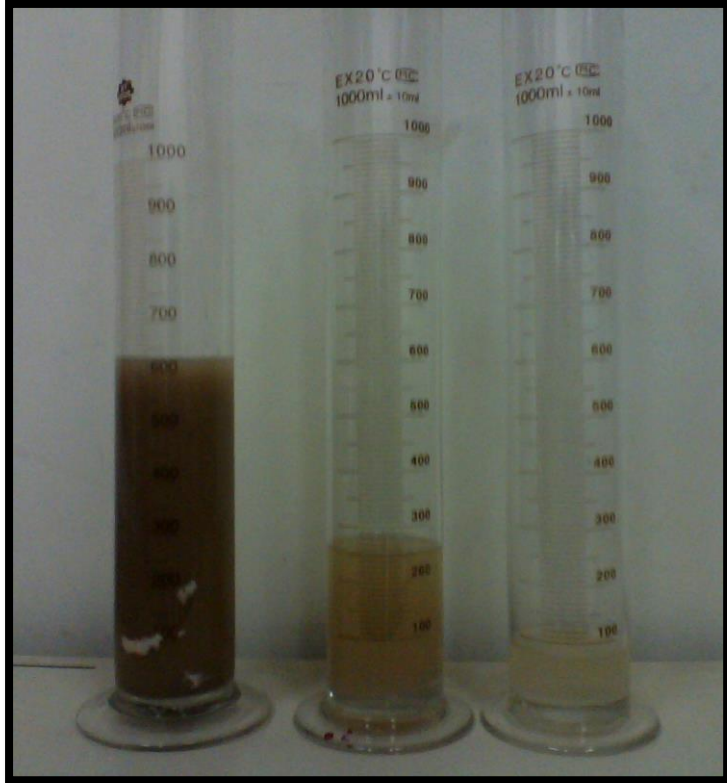
ADECUACION DE FILTROS



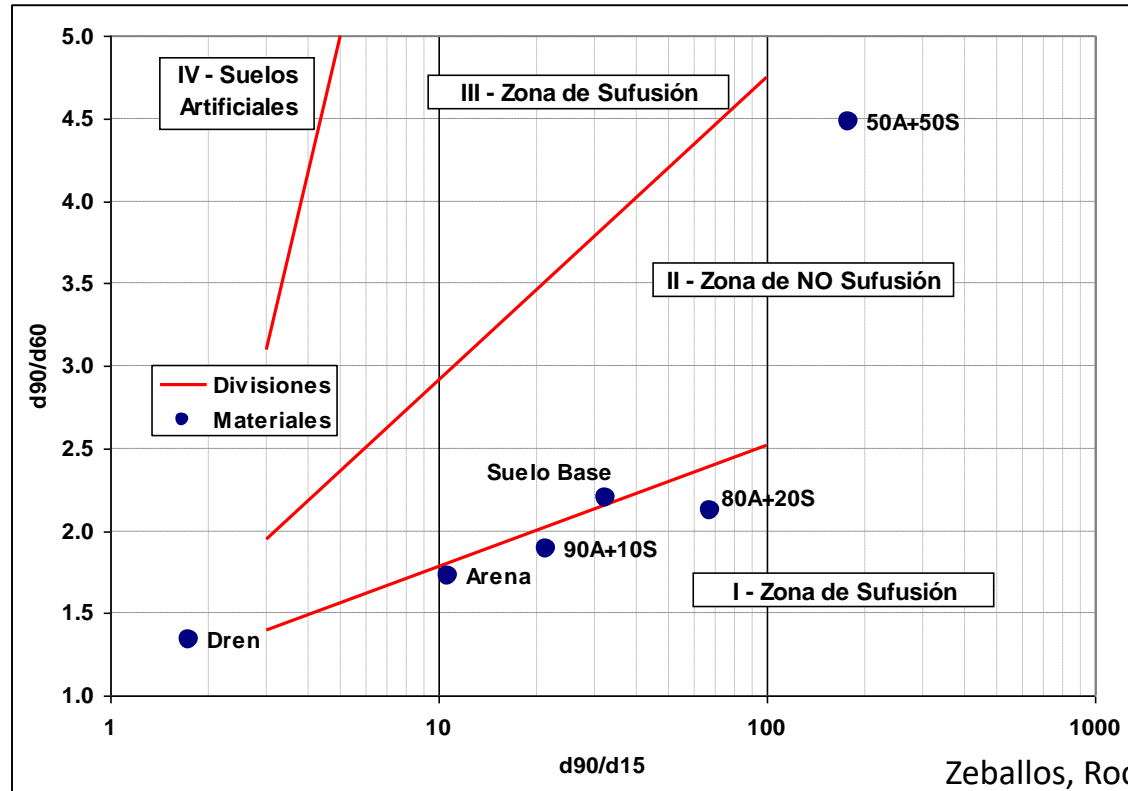
ADECUACION DE FILTROS



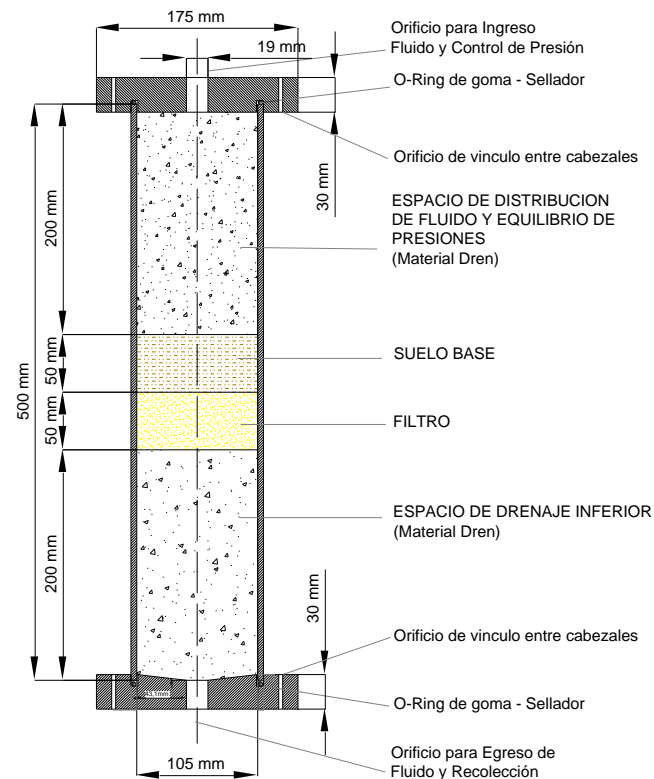
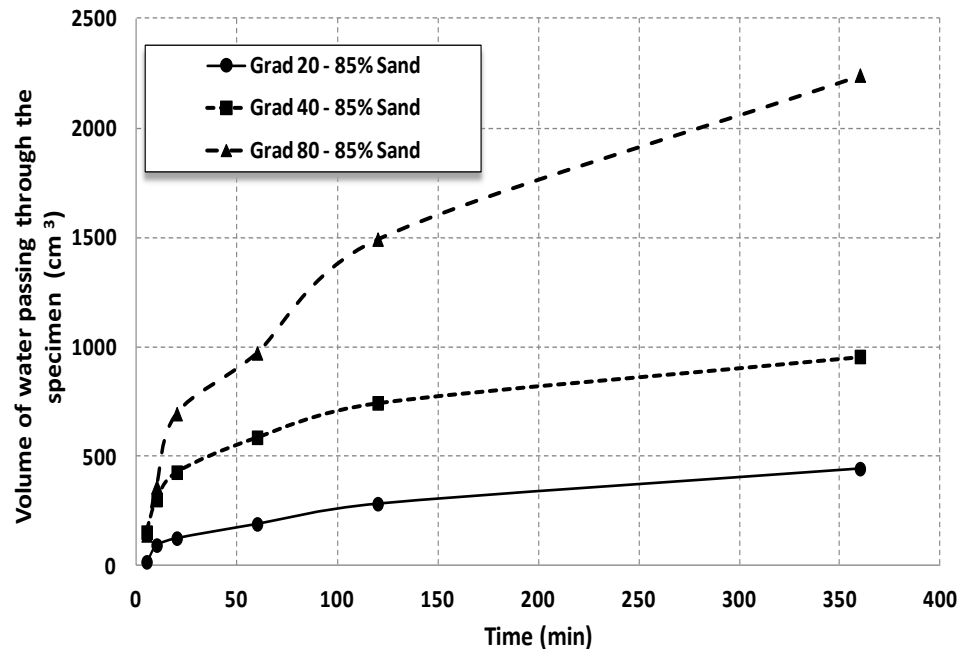
ADECUACION DE FILTROS



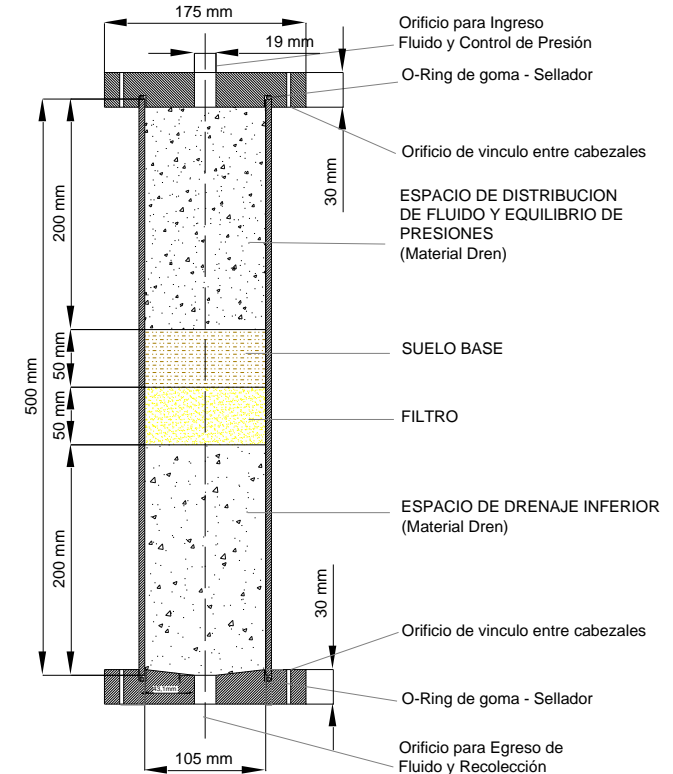
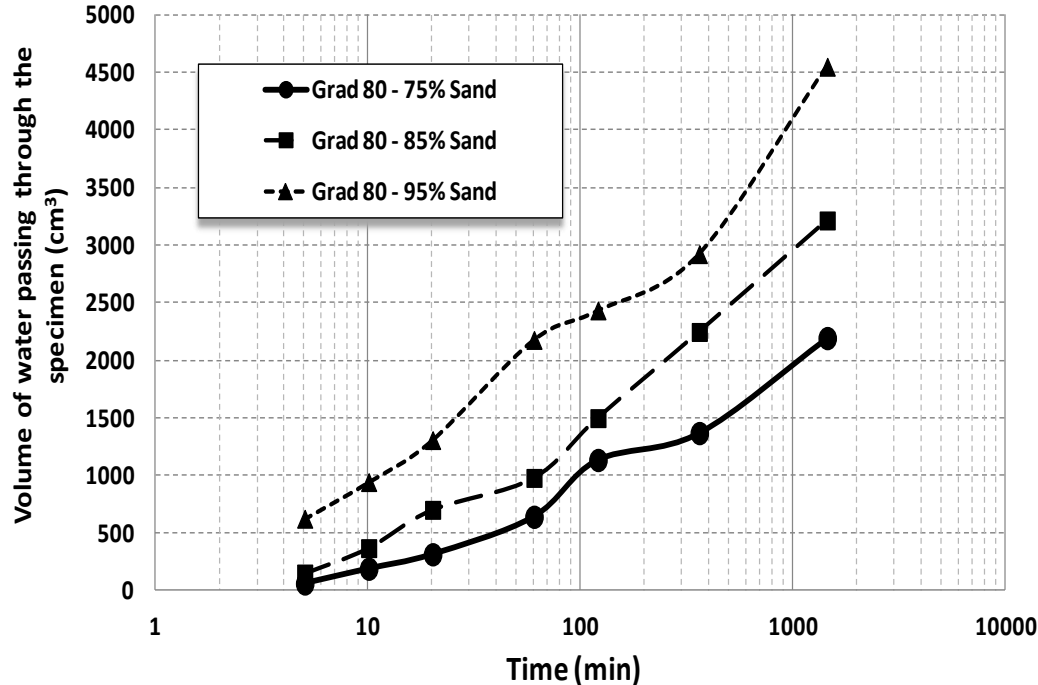
ADECUACION DE FILTROS



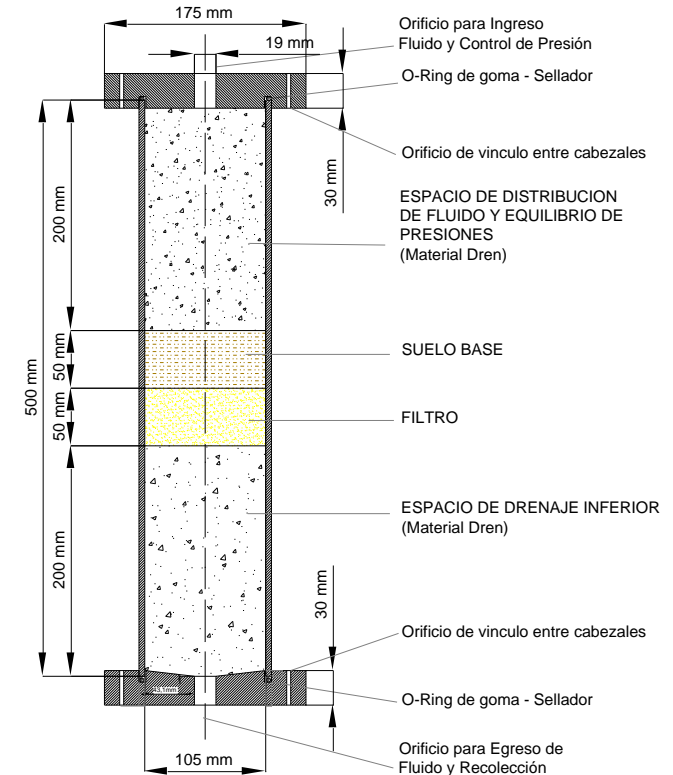
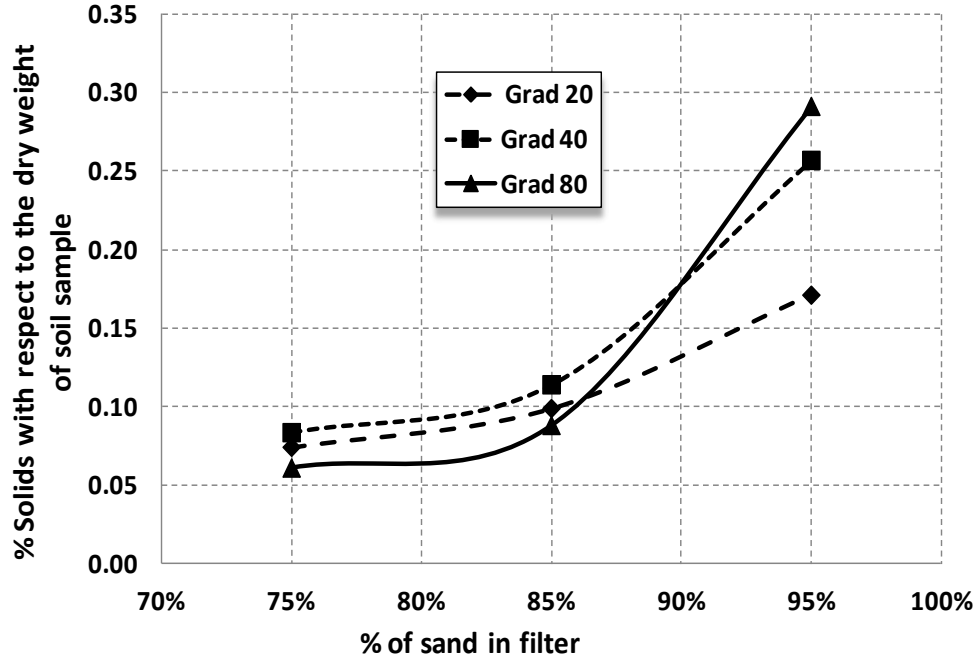
ADECUACION DE FILTROS



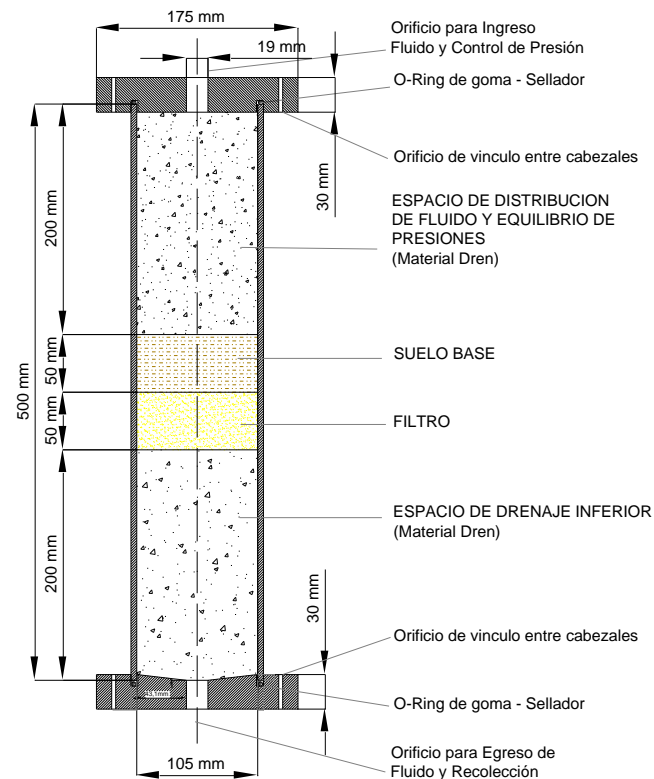
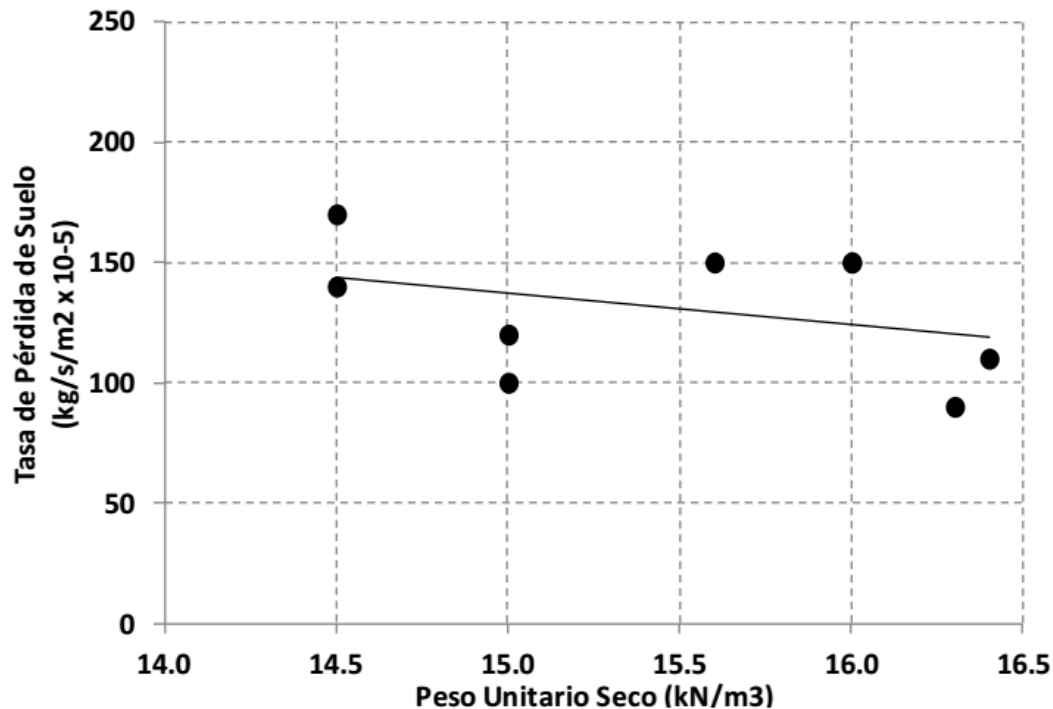
ADECUACION DE FILTROS



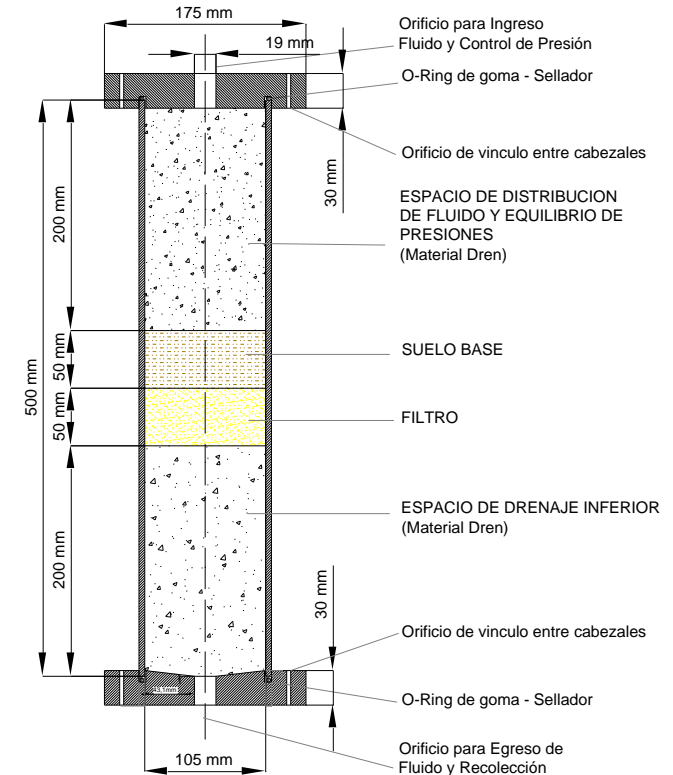
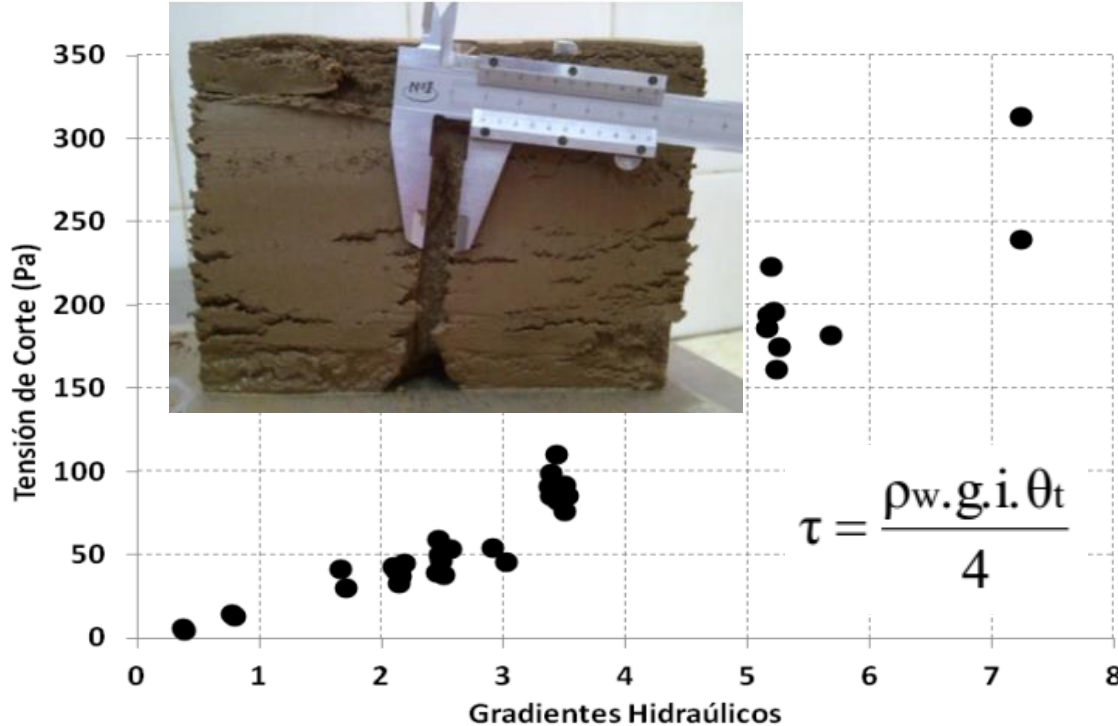
ADECUACION DE FILTROS



ADECUACION DE FILTROS



ADECUACION DE FILTROS



ADECUACION DE FILTROS

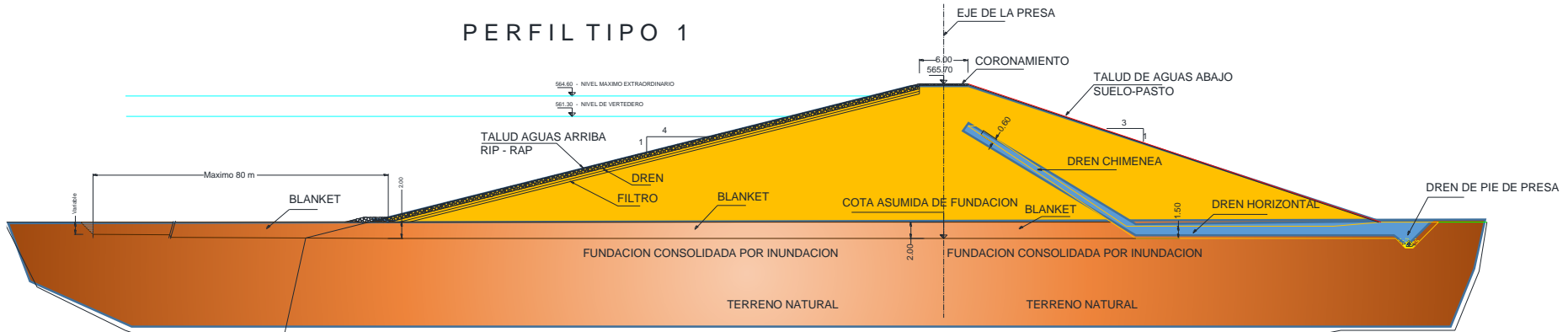
Energía de Compactación		100	90	100	90	90
Gradiente		40	40	40	40	80
Orificio		no	no	si	si	si
50% arena 50% suelo	%o pérdida	0.09	0.96	0.29	0.32	
	Comportamiento	Estable	Estable	Estable	Estable	
80% arena 20% suelo	%o pérdida				0.37	0.67
	Comportamiento				Estable	Estable
90% arena 10% suelo	%o pérdida					3.15
	Comportamiento					Inestable
100% arena	%o pérdida				0.54	0.17
	Comportamiento				Erosión de muestra	Erosión de muestra

ADECUACION DE FILTROS

- **Composición de filtros.** Recomendaciones de uso frecuente indican → materiales de filtro no deberían contener importantes fracciones de suelos finos (pasantes del tamiz 200), inferiores al 5%. Los han empleados fracciones superiores, experimentando resultados aceptables, siempre que la combinación sea con el propio suelo de base, y siempre que el pasante por el tamiz 200 no sea superior al 30%.
- **Fenómeno de erosión** está vinculado con la tensión de corte generada por el flujo. En las aplicaciones de tipo prácticas, fijado el nivel de erosión considerado admisible, se puede valorar si el mismo puede ser satisfecho por la carga hidráulica a aplicar sobre el suelo compactado. De no ser así, el mismo requerirá la aplicación de acción de control de la erosión, a través del empleo de los correspondientes filtros.

ACCIONES ALTERNATIVAS

PERFIL TIPO 1



- **ES SUFICIENTE CON ADECUAR EL FILTRO?**
- **Modificación de la composición con inclusión de cal, cemento o componentes cementantes**
- **Protección del talud de aguas arriba con geosintéticos**
- **Construcción de capas de suelos estabilizados.**

CASOS HISTORICOS SUFUSION Y ERODABILIDAD

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

1. EROSIONES EN CARRETERAS
2. TERRAPLENES Y PEQUEÑAS PRESAS
3. ASIENTO CIMENTACIONES

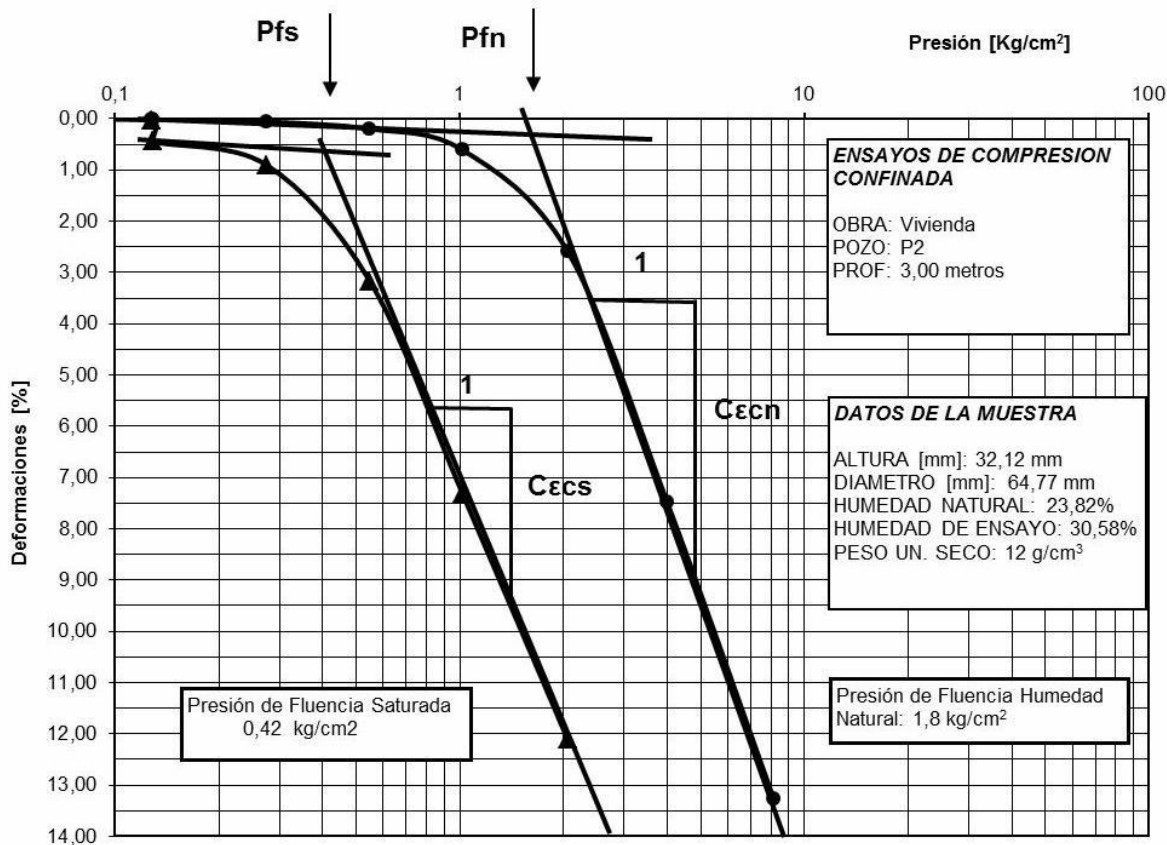
CASOS HISTORICOS COLAPSO



CARACTERIZACION

Compresibility of Loess

Oedometer Test



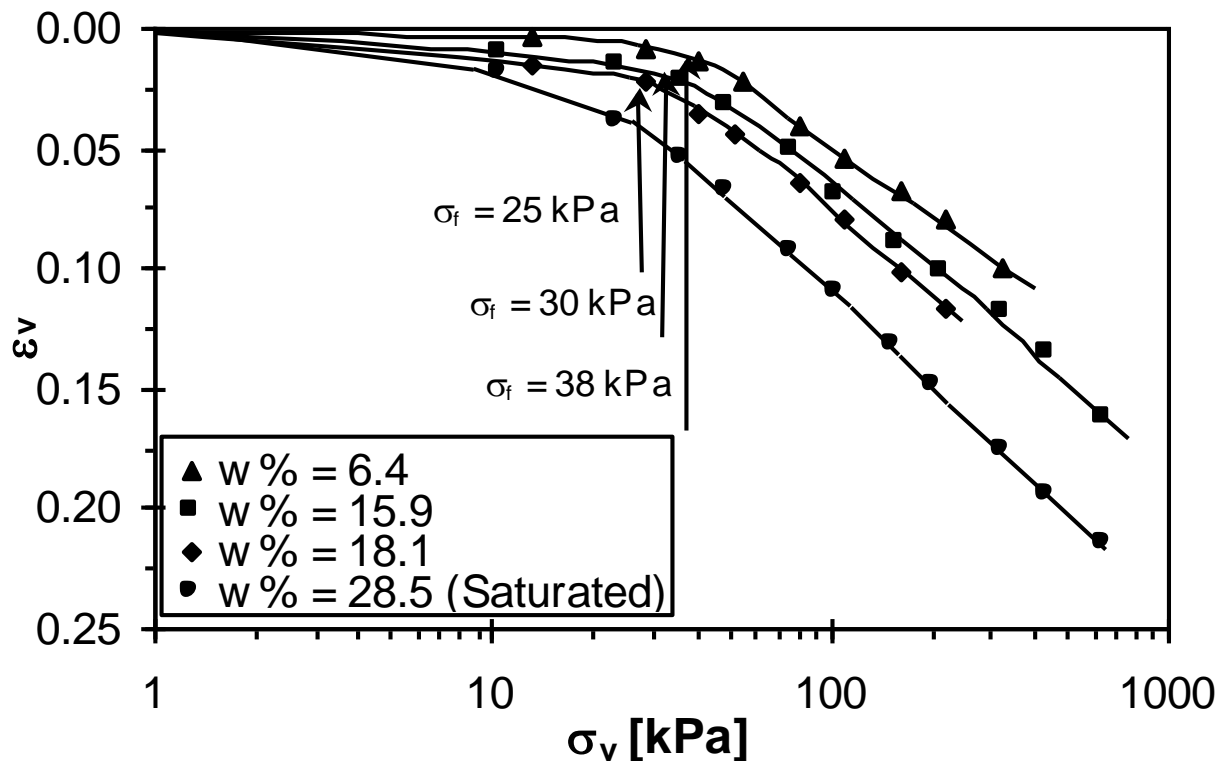
CARACTERIZACION

Compresibility of Loess

Oedometer Test

$$\delta_i = \alpha(w) \cdot (\sigma_{i,f} - \sigma_{i,o})^{\beta(w)}$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_i = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot H_i$$



CARACTERIZACION

Compresibility of Loess

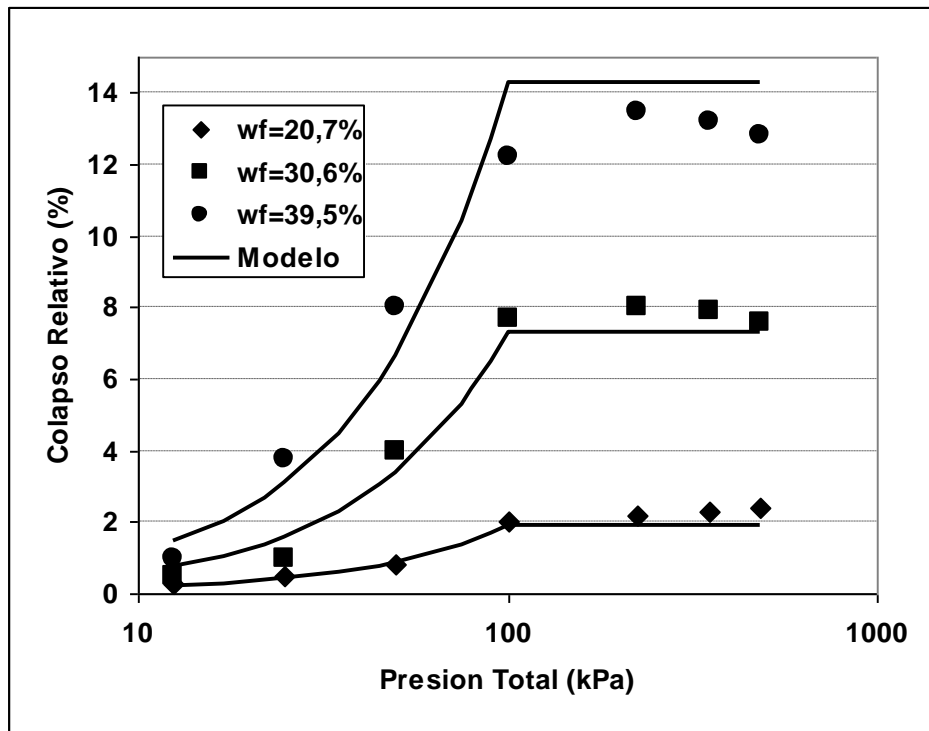
Oedometer Test

$$\delta_i = \alpha(w) \cdot (\sigma_{i,f} - \sigma_{i,o})^{\beta(w)}$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_i = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot H_i$$

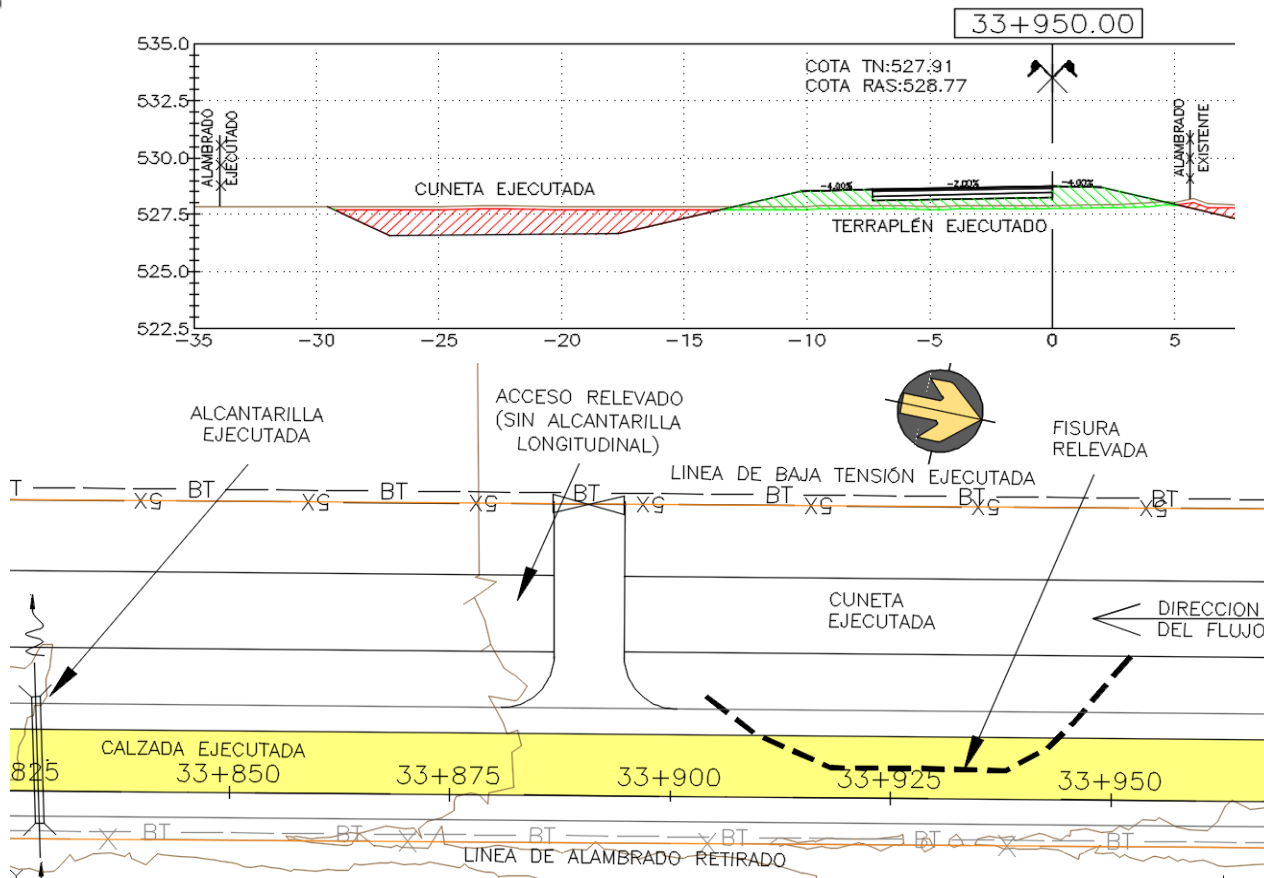
$$\alpha = 7,31 \times 10^{-5} \cdot \Delta w^2 + 2,10 \times 10^{-3} \cdot \Delta w$$

$$\beta = 1,10$$



CASOS HISTORICOS COLAPSO

Ruta Nacional 36 Córdoba Argentina



CASOS HISTORICOS COLAPSO



CASOS HISTORICOS TRABAJOS DE REPARACIÓN

- A. Verificación de la liberación de la cuneta en el sector.**
- B. Readecuación del ingreso al campo localizado en el sector.**
- C. Tratamiento de la zona de calzada afectada. Extracción de la carpeta de rodamiento y capas granulares (base y subbase).** En el sector dañado.
- D. Saneamiento del sector de subrasante que evidencia fisura.** Recompactación de la subrasante en 0,20 metros de espesor. Se incorporará al suelo un 2 % de cemento (suelo tratado con cemento).
- E. Reconstrucción de capas granulares y carpeta de rodamiento.**
- F. Protección de piso de cuneta longitudinal.** Reconformar el piso de la cuneta longitudinal, para lo cual se recomienda la incorporación de un contenido de cemento de 2%

CONTROL DE COMPORTAMIENTO

Acciones generales (Moll et al. 1988):

a. Mejoramiento del suelo

- Por reducción de porosidad (eg. Compactación hidráulica, compactación dinámica, densificación por inclusion de pilotes, etc.).
- Por rigidización del esqueleto sólido (eg. Adición de silicatos, jet grouting, etc.)

b. Minimización de la colapsabilidad del suelos, con control del humedecimiento del suelo:

- Colocación de una cobertura impermeable,
- Construction of aceras impermeables en el perímetro de construcciones, y un Sistema de drenaje.

c. Alternativas de construcción que reduzcan el impacto del colapso en las estructuras

- (eg. Muros o estructuras aisladas, etc.).



“Inestabilidad Interna en
Suelos Limo Arcillosos.
Fenómenos de Sufusión”



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**