

ESTUDIO DEL TERRENO Y DE LOS MATERIALES

José Estaire
Áurea Perucho
José M. Martínez

Laboratorio de Geotecnia - CEDEX

Madrid, Mayo de 2009

INDICE DEL MANUAL

1. Objetivos y alcance
2. Normativa de referencia
3. Estudios previos del terreno y de los materiales
4. Estudios de carácter hidráulico
5. Criterios generales de diseño
6. Tipología del dique de cierre
7. Análisis de estabilidad
8. Sistemas de impermeabilización
9. Recomendaciones constructivas generales
10. Control de seguridad durante la explotación
11. Criterios generales de mantenimiento
12. Bibliografía

INTRODUCCIÓN

- **Ámbito de aplicación:** balsas de hasta 15 m de altura
- **Actualmente se realiza poco o nulo reconocimiento geotécnico a nivel de proyecto**
- **Objetivo:** Aumentar el nivel de reconocimiento

OBJETIVO

- Conocer adecuadamente las características del cimiento del dique de cierre y del vaso
- Conocer la potencial utilización de los materiales de las “zonas de préstamo” para ejecutar el dique de cierre de la balsa

Zona de préstamo

- Zona de la que se extraerán los materiales para la ejecución del dique de cierre.
- Generalmente, los materiales proceden de:
 - Excavaciones de la zona de implantación del dique de cierre
 - Regularizaciones del vaso

RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

1. Recopilación de información existente
2. Campaña de campo
 - Zona de implantación del dique de cierre
 - Vaso de la balsa
 - Zonas de préstamo
3. Ensayos de laboratorio
 - Terreno de cimentación del dique de cierre
 - Materiales para ejecución de dique

1- Recopilación de información

- Recopilación de información existente
 - Mapas geológicos del IGME
 - Experiencias previas en la zona
 - Inventario de taludes
 - Fotografías aéreas
- Reconocimiento visual
 - Elementos antrópicos (edificaciones, tuberías)
 - Vegetación (arbustos – árboles)
 - Anomalías topográficas
 - Presencia de escombreras, vertederos, rellenos

2- Campaña de campo

a.- Zona de implantación del dique de cierre

- Calicatas
- Ensayos de penetración dinámica
- Sondeos mecánicos con extracción de testigo
- (Ensayos geofísicos: sísmica de refracción)

2- Campaña de campo

a.- Zona de implantación del dique de cierre

- Calicatas

- 3-4 m de profundidad
- Cada 50 m de desarrollo del eje de la zona de implantación del dique de cierre
- Mínimo: 2 calicatas
- Toma de muestras en bolsa
- Ensayos de permeabilidad

2- Campaña de campo

a.- Zona de implantación del dique de cierre

- Ensayos de penetración dinámica
 - Hasta Rechazo
 - Cada 100 m de desarrollo del eje de la zona de implantación del dique de cierre
 - Mínimo: 1 ensayo

2- Campaña de campo

a.- Zona de implantación del dique de cierre

- Sondeos mecánicos con extracción de testigo
 - 1 sondeo / 200 m de desarrollo longitudinal
 - Altura de dique > 10 m
 - Volumen de embalse > 250.000 m³
 - Longitud de coronación > 100 m
 - Información previa escasa
 - Profundidad
 - Suficiente para conocer todos los estratos
 - Estimación: 3-3,5 veces la altura del dique
 - Mínimo: 10 m

2- Campaña de campo

a.- Zona de implantación del dique de cierre

- Sondeos mecánicos con extracción de testigo
 - Actuaciones en el interior de sondeos
 - Toma de muestras: 3-4 m
 - Ensayos SPT
 - Ensayos de permeabilidad

2- Campaña de campo

a.- Zona de implantación del dique de cierre

- Ensayos geofísicos: sísmica de refracción
 - Actuación complementaria
 - 1 perfil longitudinal
 - 3 perfiles transversales
 - Distancia entre ellos: 100 m
 - Longitud: 50 m

2- Campaña de campo

b.- Vaso de la balsa

- Calicatas
 - 3-4 m de profundidad
 - Cada 10.000 m² de superficie de vaso o cambio de terreno
 - Mínimo: 3 calicatas
- Ensayos geofísicos: opcionales
- Posición pésima de nivel freático
 - Zonas de excavación de altura > 5 m
 - Zonas a impermeabilizar con lámina
 - Posibilidad de sondeo con tubería piezométrica

2 - Campaña de campo

c.- Zonas de préstamo

- Calicatas
 - 3-4 m de profundidad
 - Mínimo: 3 calicatas
 - Toma de muestra en bolsa

Zona de préstamo

- Zona de la que se extraerán los materiales para la ejecución del dique de cierre.
- Generalmente, los materiales proceden de:
 - Excavaciones de la zona de implantación del dique de cierre
 - Regularizaciones del vaso

3- ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1 - Terreno de cimentación del dique de cierre

- Muestras procedentes de CALICATAS
 - Identificación geotécnica (Granul. – Plasticidad)
 - Ensayos químicos (Carb. – Sulf. – MO)
- Muestras procedentes de SONDEOS
 - Identificación geotécnica (Granul. – Plasticidad)
 - Ensayos químicos (Carb. – Sulf. – MO)
 - Resistencia a compresión simple
 - Resistencia al corte
 - Deformabilidad

- No se indica número mínimo de ensayos
- No se indica tipo de ensayos de resistencia ni deformabilidad

3- ENSAYOS DE LABORATORIO

3.2 - Materiales para ejecución del dique

- Consideraciones iniciales

- Requisitos: estabilidad, integridad, impermeabilidad
- Marco de referencia: PG-3
 - Seleccionados, adecuados, tolerables,
“Materiales con propiedades geotécnicas deficientes”
- Materiales deben cumplir exigencias mínimas
- Determinación de parámetros mediante ensayos de laboratorio
- Prohibición de materiales procedentes de escombreras y vertederos

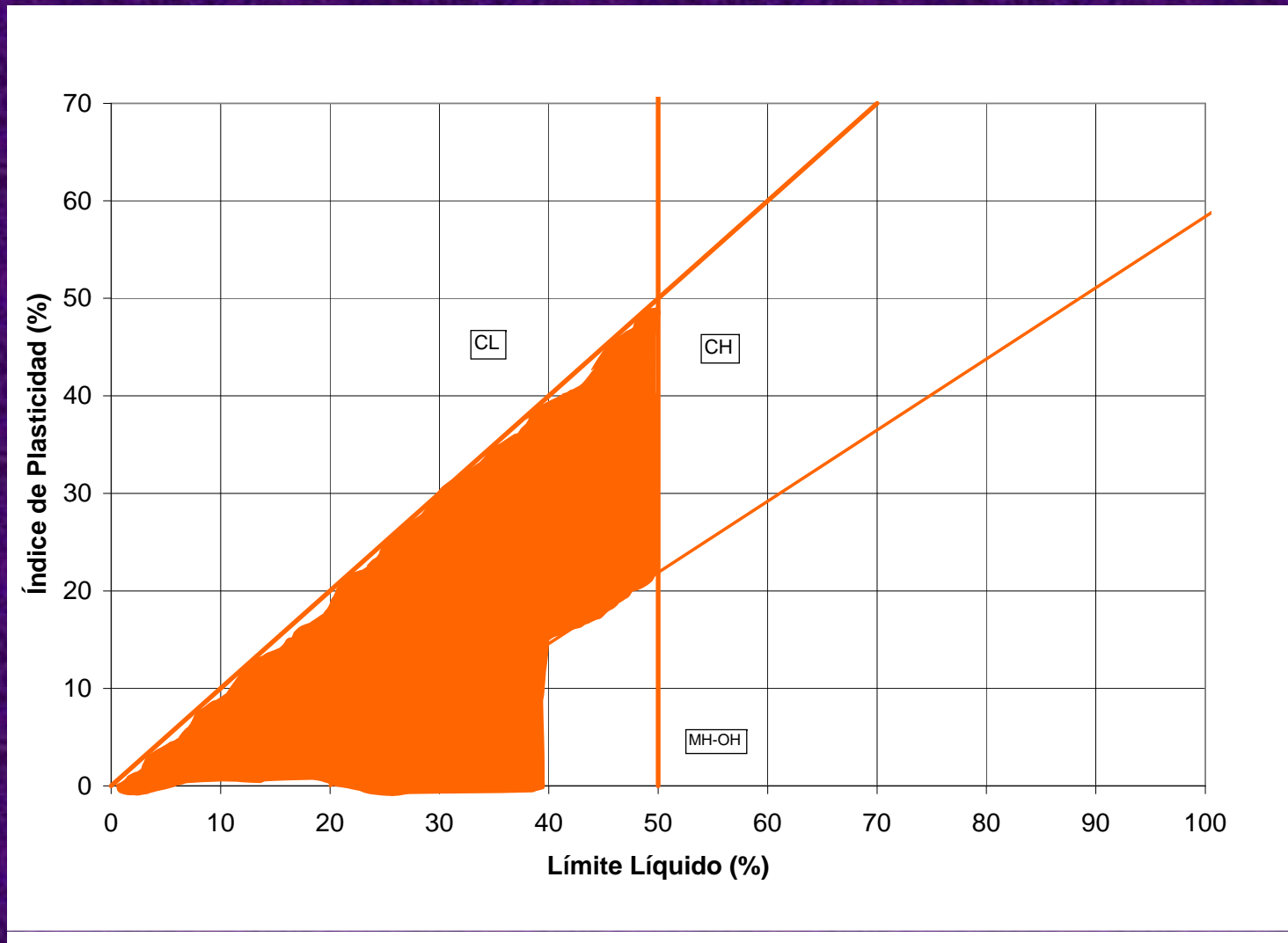
3- ENSAYOS DE LABORATORIO

3.2 - Materiales para ejecución del dique

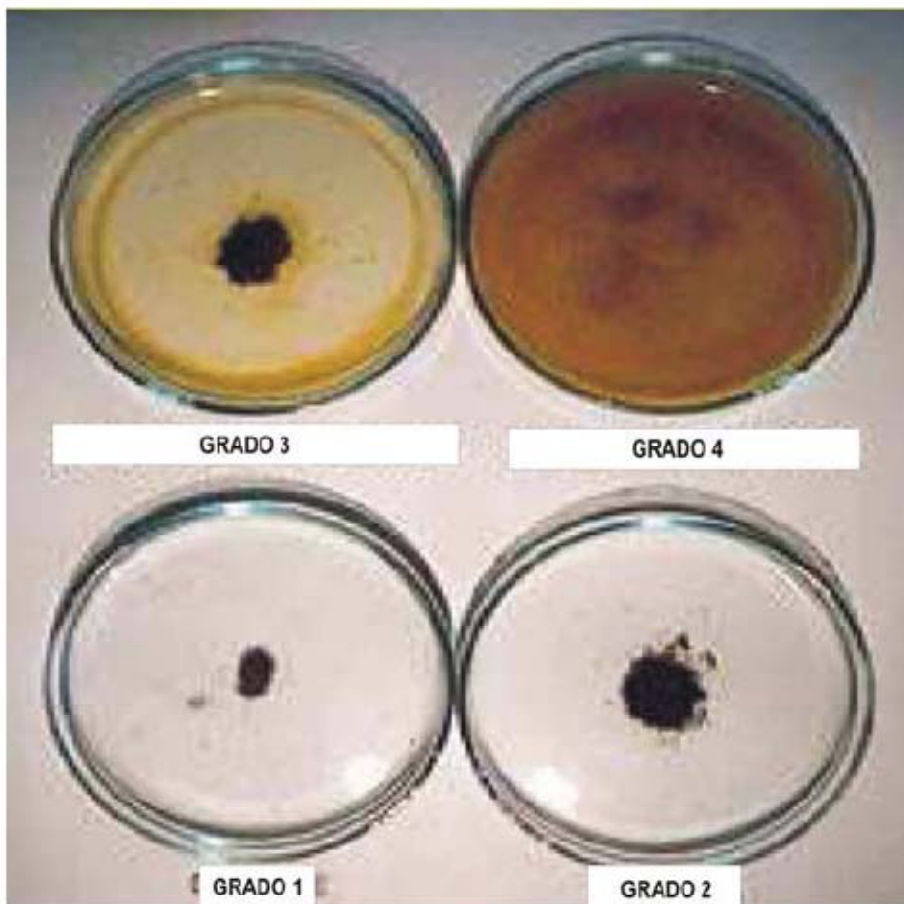
- Exigencias mínimas

- Granulometría: $D_{60}/D_{10} > 2$
- Límites de plasticidad: (gráfica adjunta)
- Contenido en materia orgánica: Inferior a 1% (2%)
- Contenido en yeso: Inferior a 2% (5%)
- Contenido en sales solubles (distintas de yeso): Inferior a 1%
- Asiento en ensayo de colapso: Inferior a 1%
- Hinchamiento en célula edométrica: Inferior a 1% (3%)
- Dispersabilidad: Grado 1 del ensayo “Crumb Test”

Límites de plasticidad. Exigencias mínimas



Ensayo “Crumb Test”



<i>Grados</i>	<i>Tipo de reacción</i>	<i>Tipo de suelo</i>
Grado 1	Ninguna reacción	No dispersivo
Grado 2	Reacción ligera	Intermedio
Grado 3	Reacción moderada	Dispersivo
Grado 4	Reacción fuerte	Altamente dispersivo

3- ENSAYOS DE LABORATORIO

3.2 - Materiales para ejecución del dique

- Ensayos de laboratorio

- Granulometría
- Límites de plasticidad
- Contenido en carbonatos y materia orgánica
- Contenido en yeso
- Contenido en sales solubles
- Asiento en ensayo de colapso
- Hinchamiento en célula edométrica
- Dispersabilidad: ensayo “Crumb Test”

- Ensayo Próctor

- Humedad natural



Condiciones de puesta en obra

- Resistencia al corte

- Permeabilidad



Valores se pueden determinar de correlaciones o tablas (Anejos)

3- ENSAYOS DE LABORATORIO

Materiales con propiedades geotécnicas deficientes

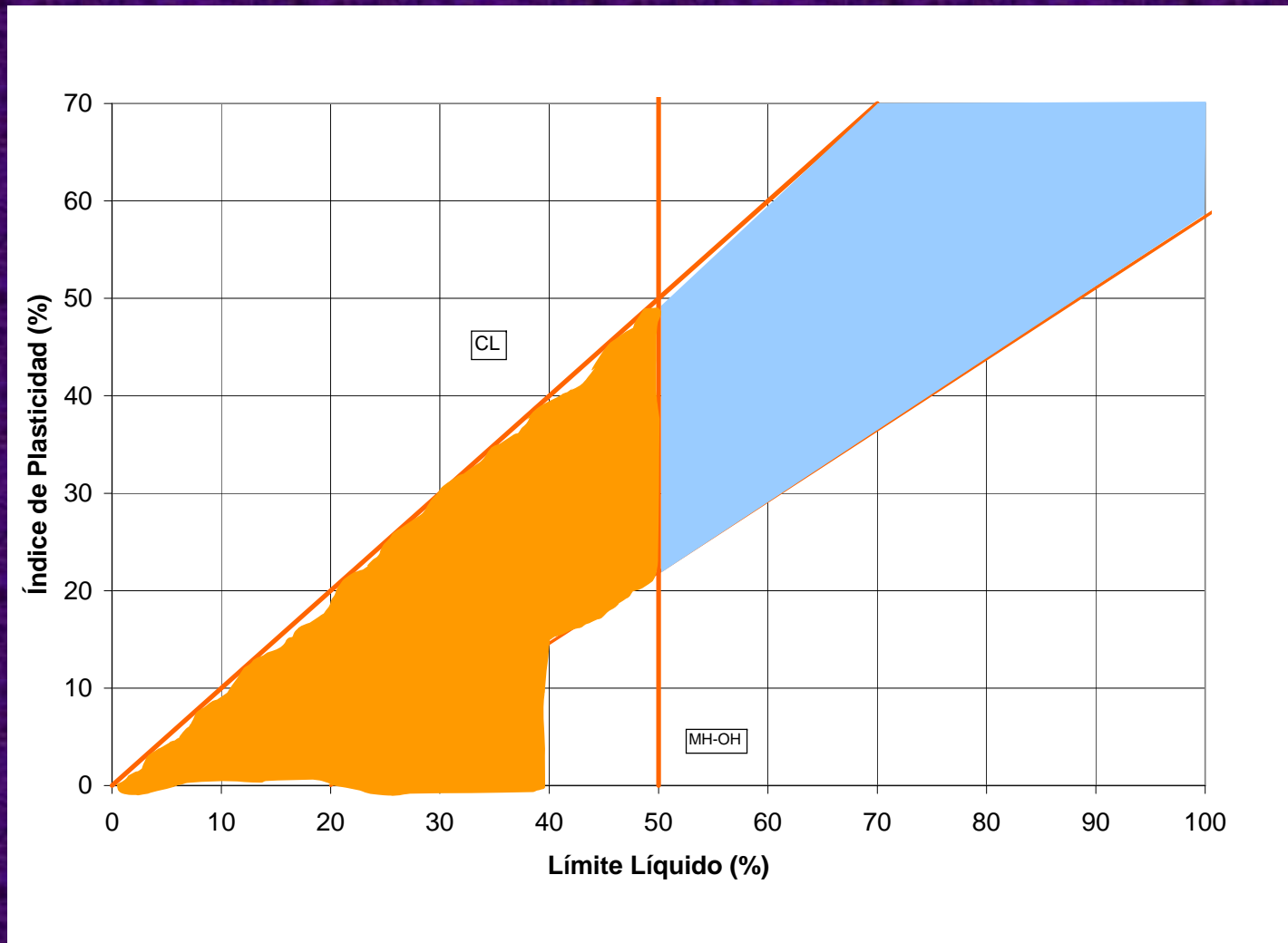
- Suelos que no cumplen las exigencias mínimas

- Cumplen las siguientes condiciones
 - Contenido en materia orgánica: inferior a 5%
 - Hinchamiento libre en célula edométrica: inferior a 5%
 - Límites de plasticidad: (gráfica adjunta)
 - Dispersabilidad: Grados 2-3 del Crumb Test

- Requiere ESTUDIO ESPECIAL:

- Deformabilidad => ensayo edométrico
- Expansividad => ensayo de hinchamiento libre
- Colapso (asiento por humectación) => ensayo de colapso
- Dispersabilidad => ensayo Pin-hole
- Alterabilidad => ensayo sequedad-humedad-desmoronamiento
- Solubilidad => contenido en sales solubles

Límites de plasticidad: condiciones adicionales



RESUMEN

1. Reconocimiento geotécnico de campo

- Diferentes zonas
- Valores mínimos

2. Ensayos de laboratorio

- Terreno de cimentación del dique de cierre
- Materiales para ejecución de dique
 - Exigencias mínimas
 - Materiales deficientes

ESTUDIO DEL TERRENO Y DE LOS MATERIALES

José Estaire
Áurea Perucho
José M. Martínez

Laboratorio de Geotecnia - CEDEX

Madrid, Mayo de 2009



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS