

ALGUNOS CASOS HISTÓRICOS DE PRESAS DE ENROCADO

CHIVOR, SALVAJINA, MAZAR

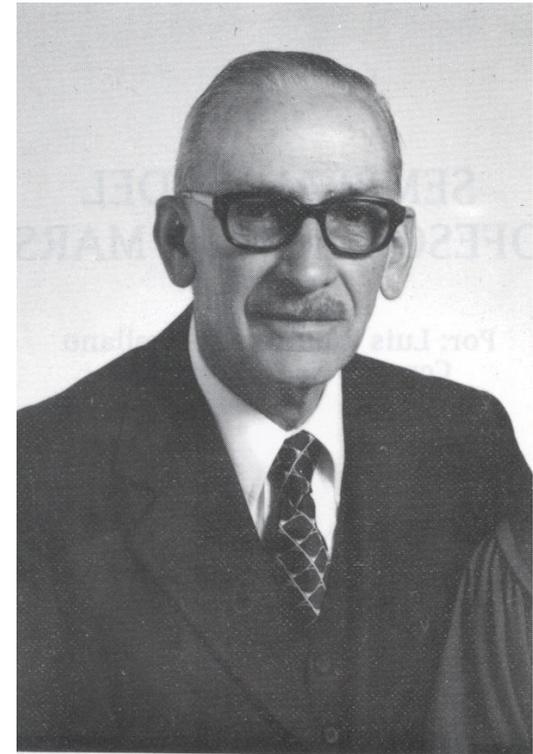
CARLOS AUGUSTO RAMIREZ OREJUELA
INGENIERO CIVIL. M en I

CAI, Buenos Aires Junio 3 de 2016

Evolución de los Sistemas de Auscultación en Presas

Los SdA en presas han evolucionado de la misma manera en que lo han hecho la geotecnia y la ingeniería de diseño de estas estructuras.

En los años cuarenta el diseño de las cortinas era empírico, predominaban las secciones “homogéneas” de alturas reducidas, no más de 50 m. No existía la instrumentación geotécnica y el comportamiento era evaluado mediante observaciones visuales de grietas, deformaciones y flujo de agua, a través del terraplén y de la cimentación. Se medían asentamientos en la corona mediante topografía (Marsal, ICOLD 1982). Las incertidumbres estaban centradas en el flujo de agua a través de la cortina y la estabilidad de los taludes.



Raúl J. Marsal
(1915-1990)

PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHIVOR

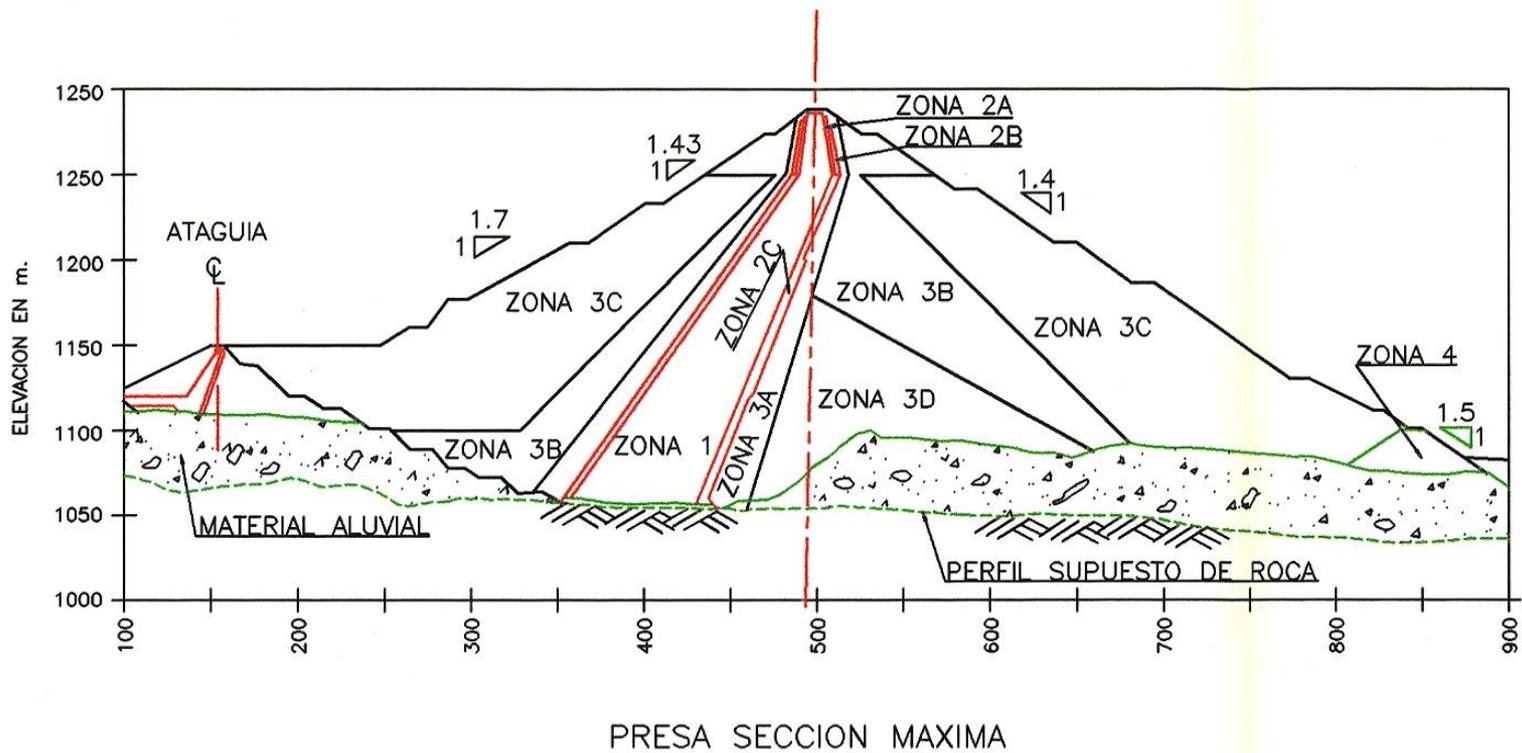
PRESA LA ESMERALDA- 1976-2013



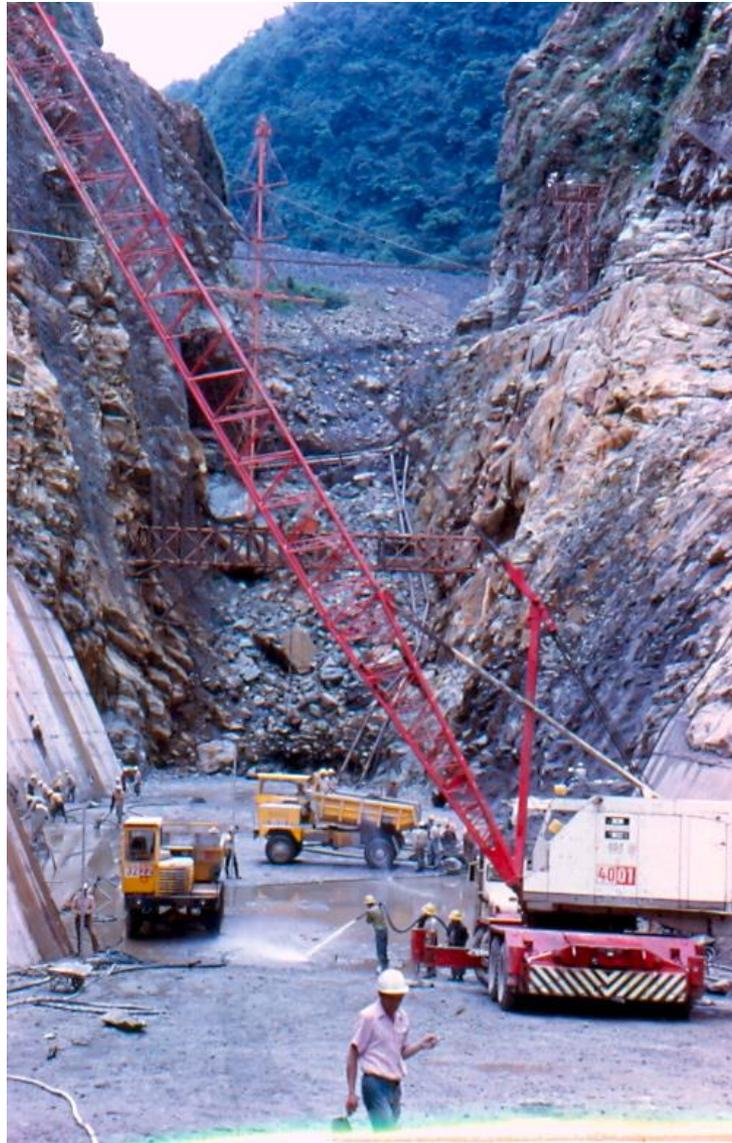
Presa La Esmeralda, Colombia – Sitio de Presa



Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



Presa La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



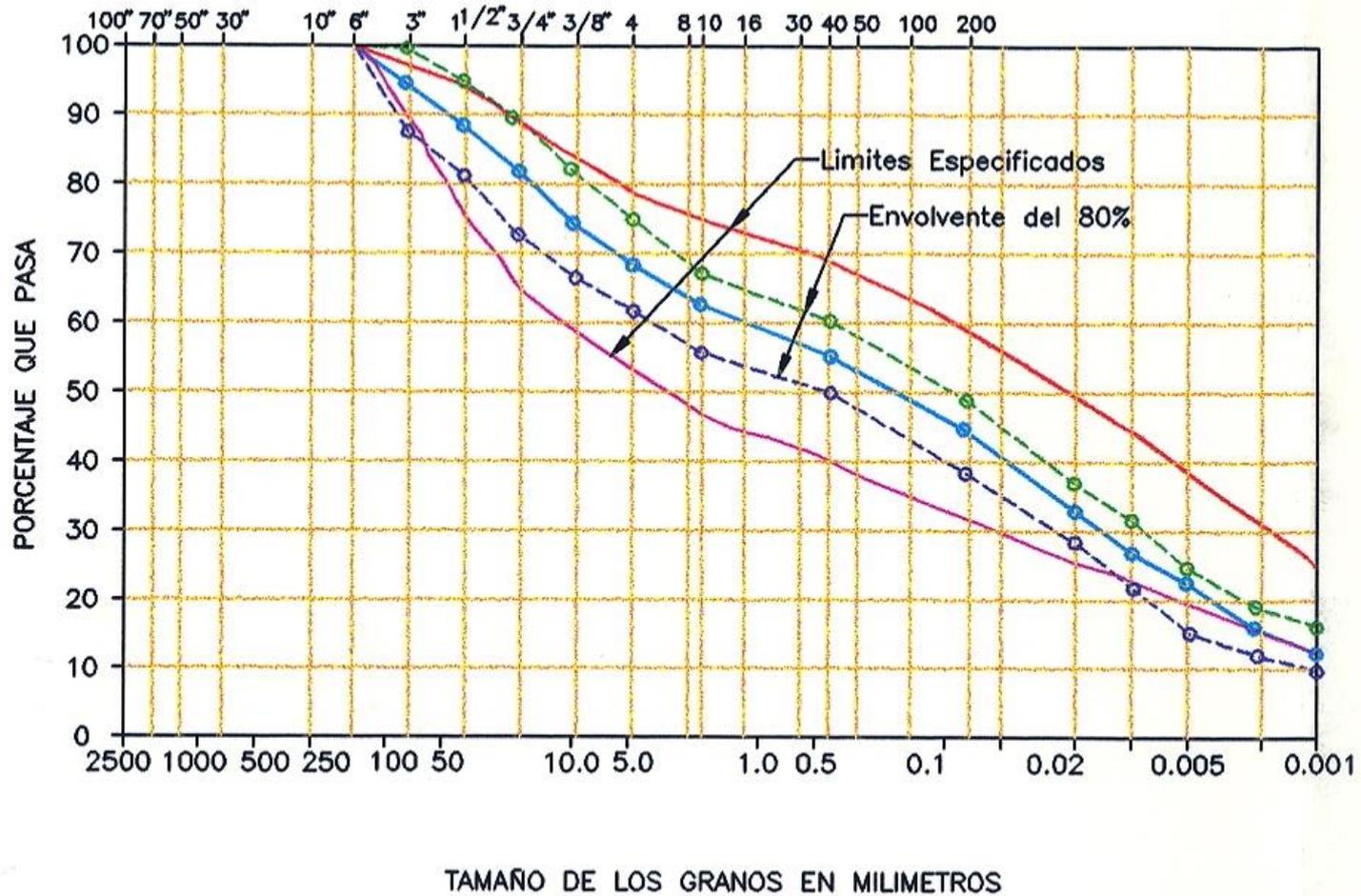
Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m

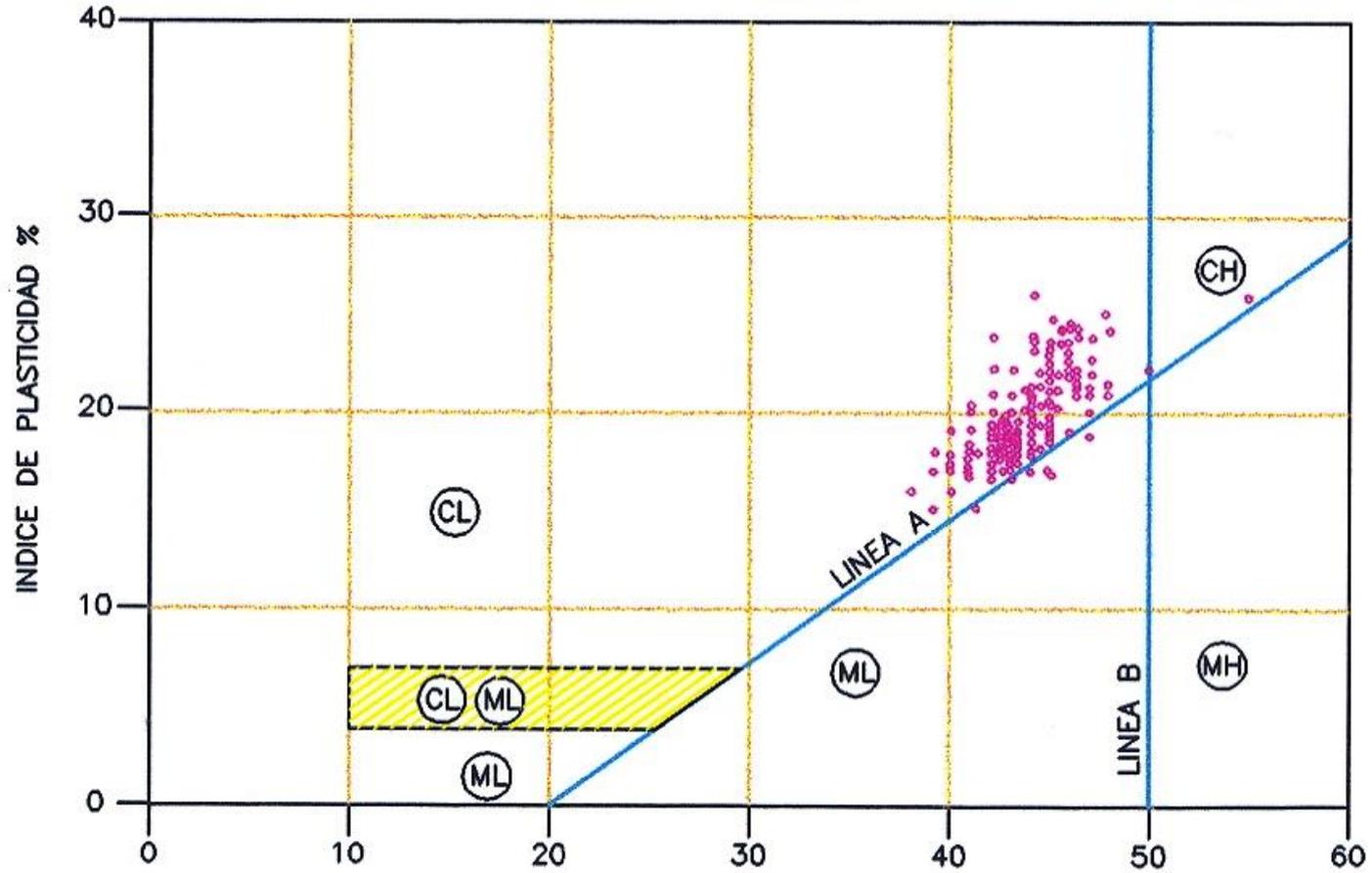


Presla La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m

PRESA LA ESMERALDA

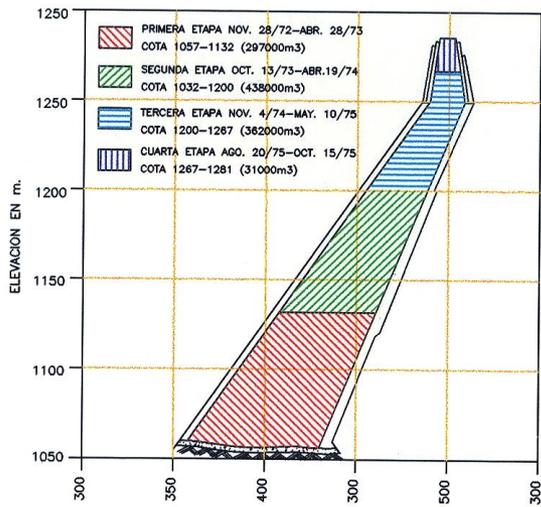
- **Enrocado con núcleo inclinado.** 11' m³ (1.1' núcleo).
- **237 m de altura.** Longitud de cresta 310 m.
- **Material impermeable:** Gravas arcillosas (15,2 cm tamaño máximo, $w_{op\ PM}: 13\%$ (prom.), $w_{colocación}: 21\%$ (prom.))
- **Enrocados:** Filitas, cuarcitas y argilitas (Rocas metamórficas)
- **Espaldones:** apoyados sobre 50 m de material aluvial.
- **Finalización de la construcción y 1er llenado:** 1976.



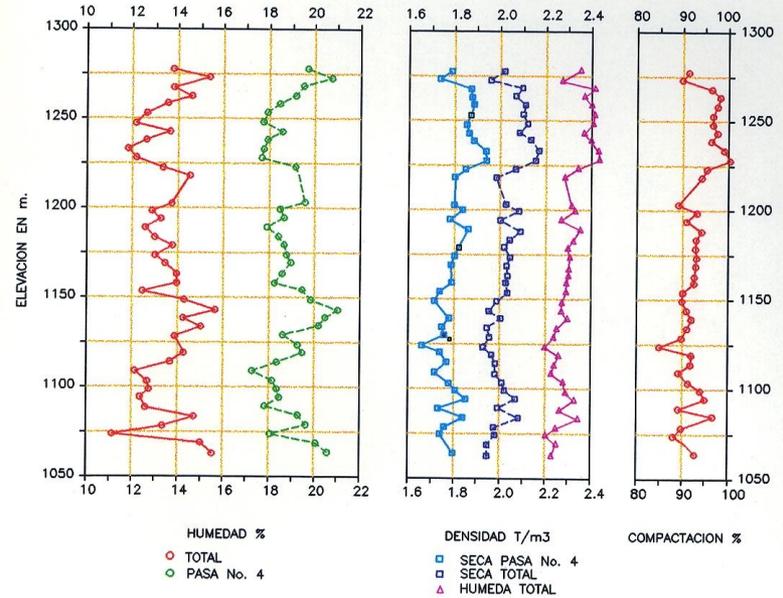


NUCLEO - CARTA DE PLASTICIDAD

Presa La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m

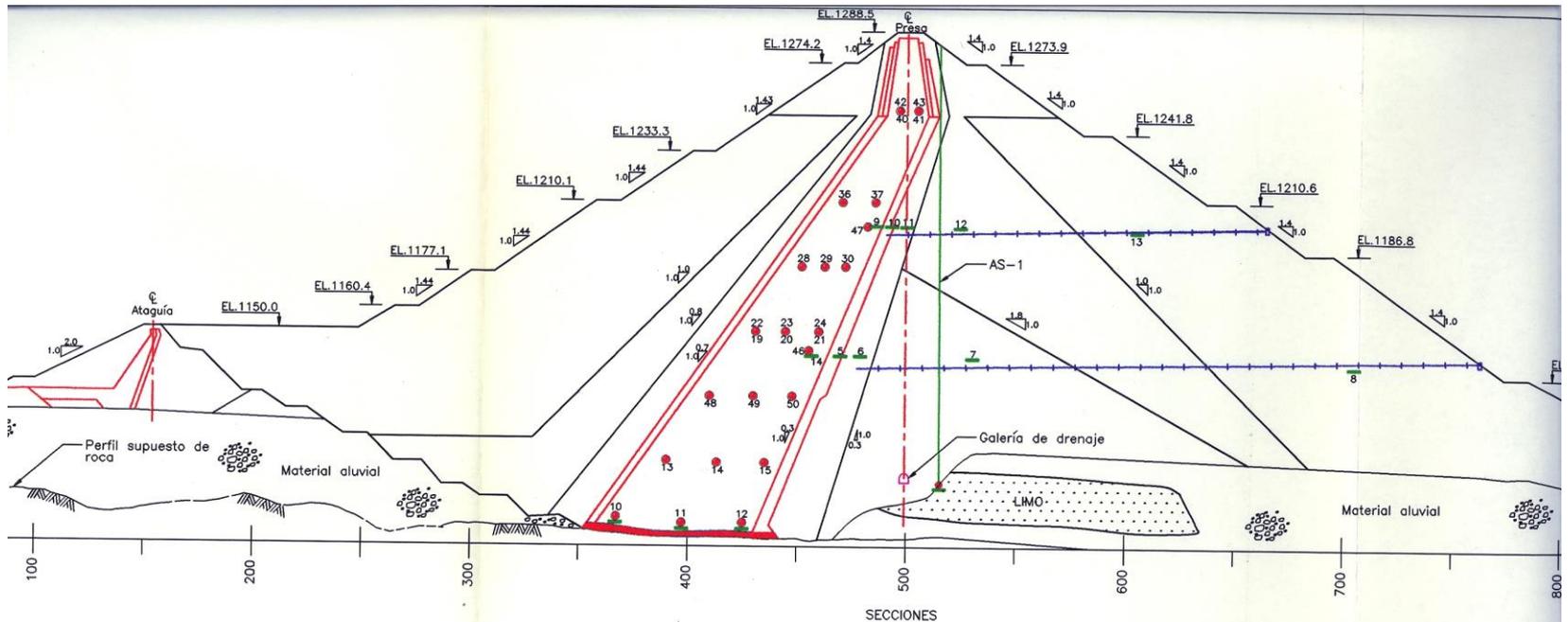


NUCLEO-ETAPAS DE CONSTRUCCION



VARIABLES DE COMPACTACION DEL NUCLEO

Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



SECCION MAXIMA

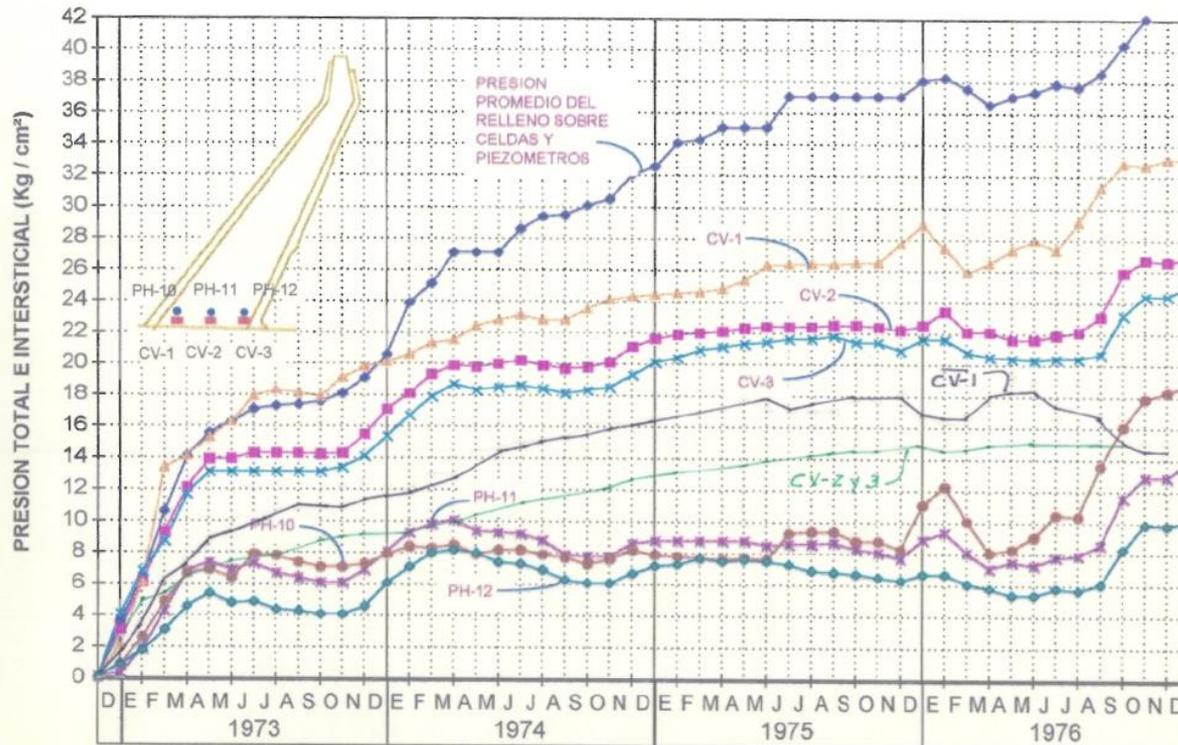
CONVENCIONES

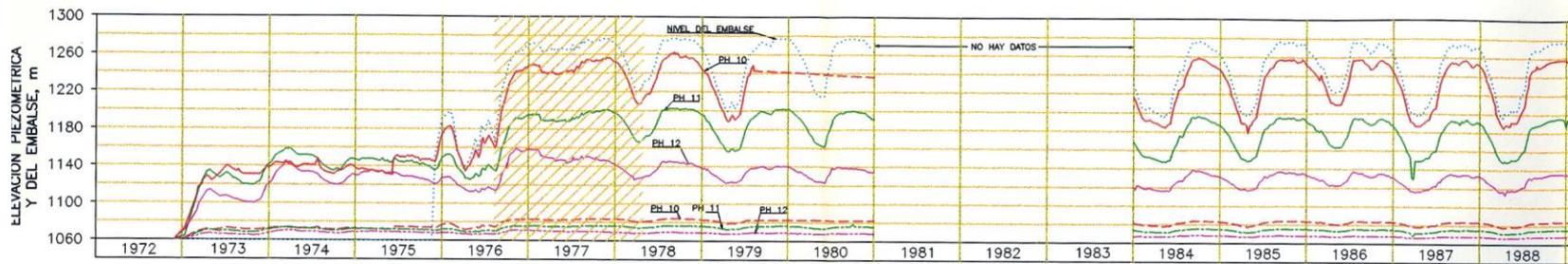
- PIEZOMETRO NEUMATICO
- CELDAS DE PRESION
- +—+—+— INDICADOR MOVIMIENTO HORIZONTAL (TIPO IDEL)

Presa La Esmeralda, Colombia – Instrumentación

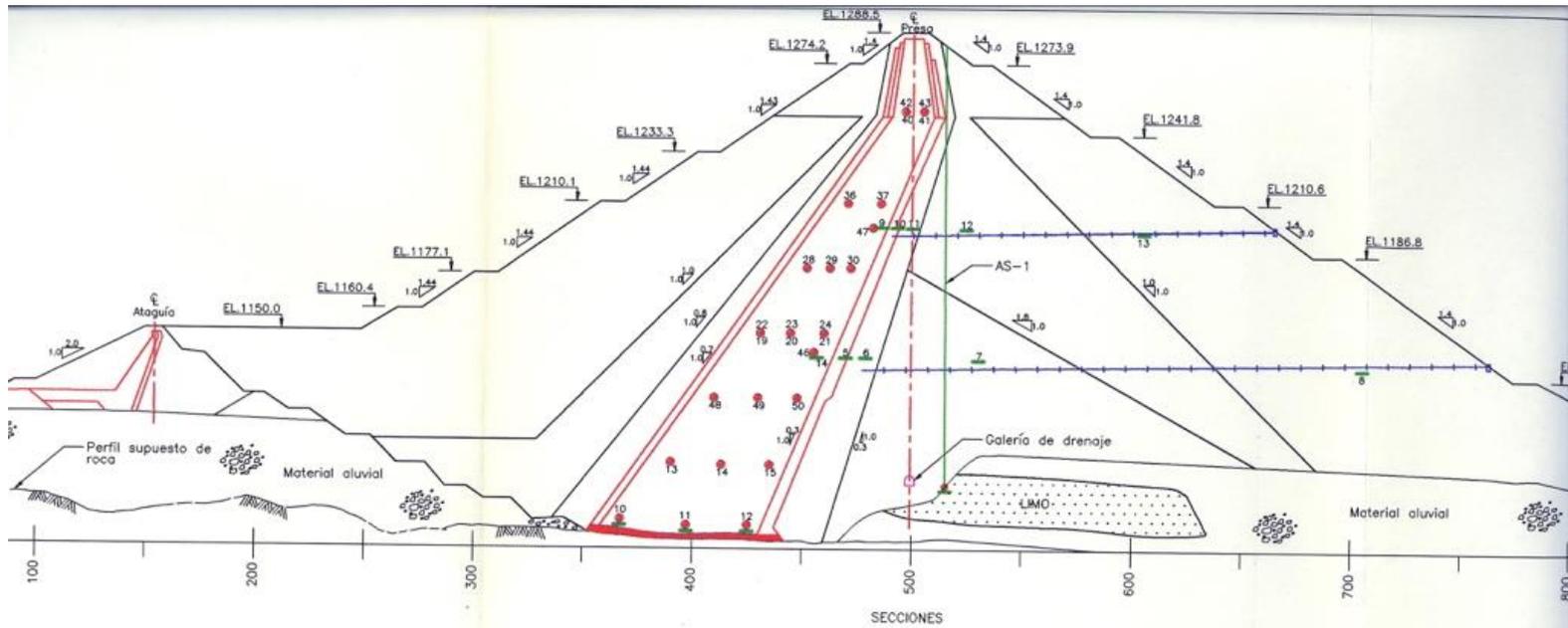
PRESA LA ESMERALDA

PRESIONES TOTALES Y PIEZOMETRICAS DURANTE CONSTRUCCION Y
PRIMEROS LLENADOS DEL EMBALSE
FIGURA A-1





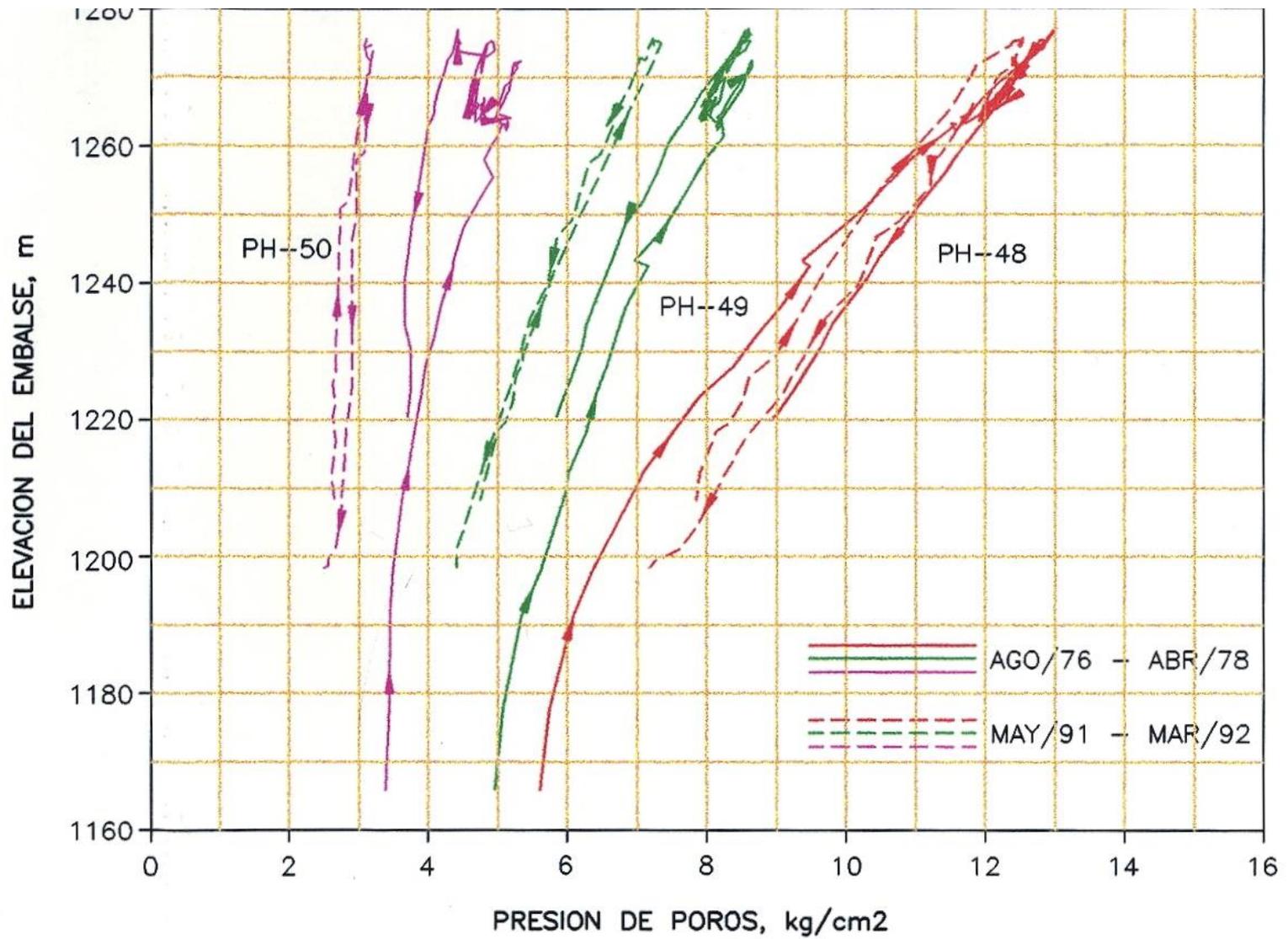
Presa La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



SECCION MAXIMA

CONVENCIONES

- PIEZOMETRO NEUMATICO
- CELDAS DE PRESION
- - - - - INDICADOR MOVIMIENTO HORIZONTAL (TIPO IDEL)



Presa La Esmeralda, Colombia – Instrumentación – Piezómetros Núcleo

Figura 20 - Presa La Esmeralda
 LINEAS EQUIPOTENCIALES "PRIMER" LLENADO
 NOVIEMBRE 27, 1977

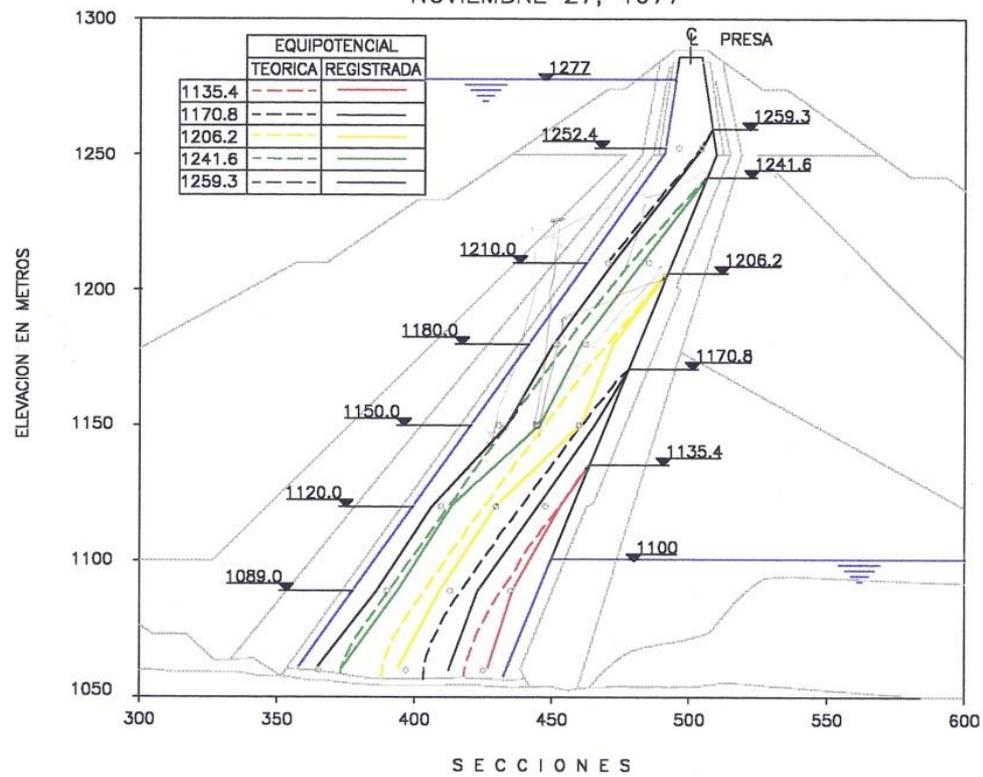
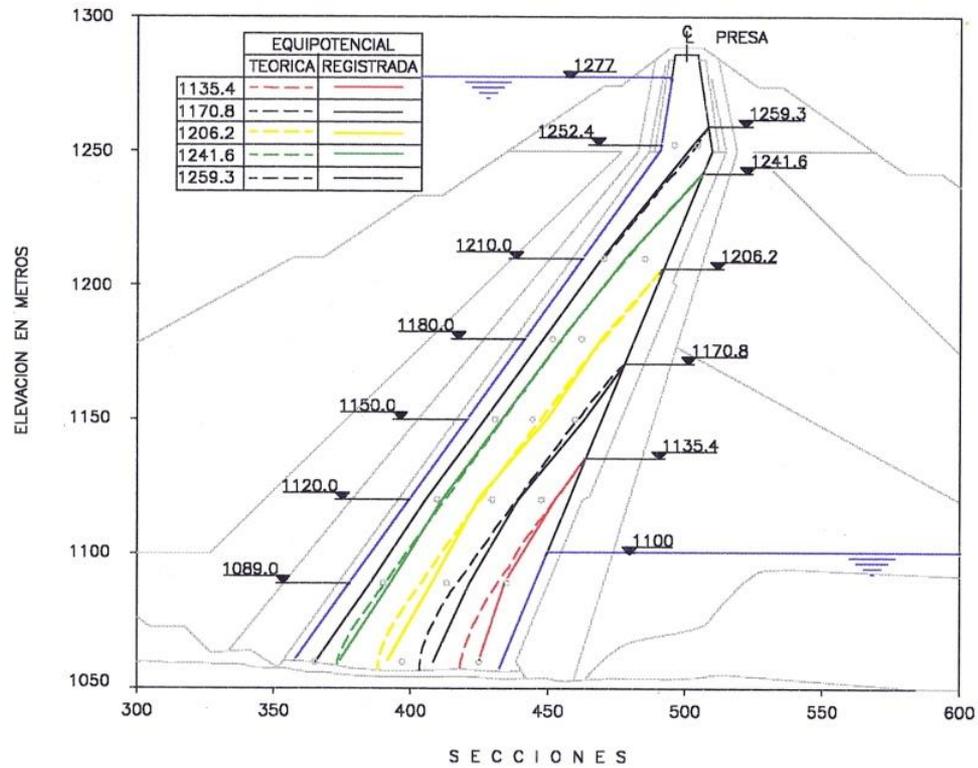
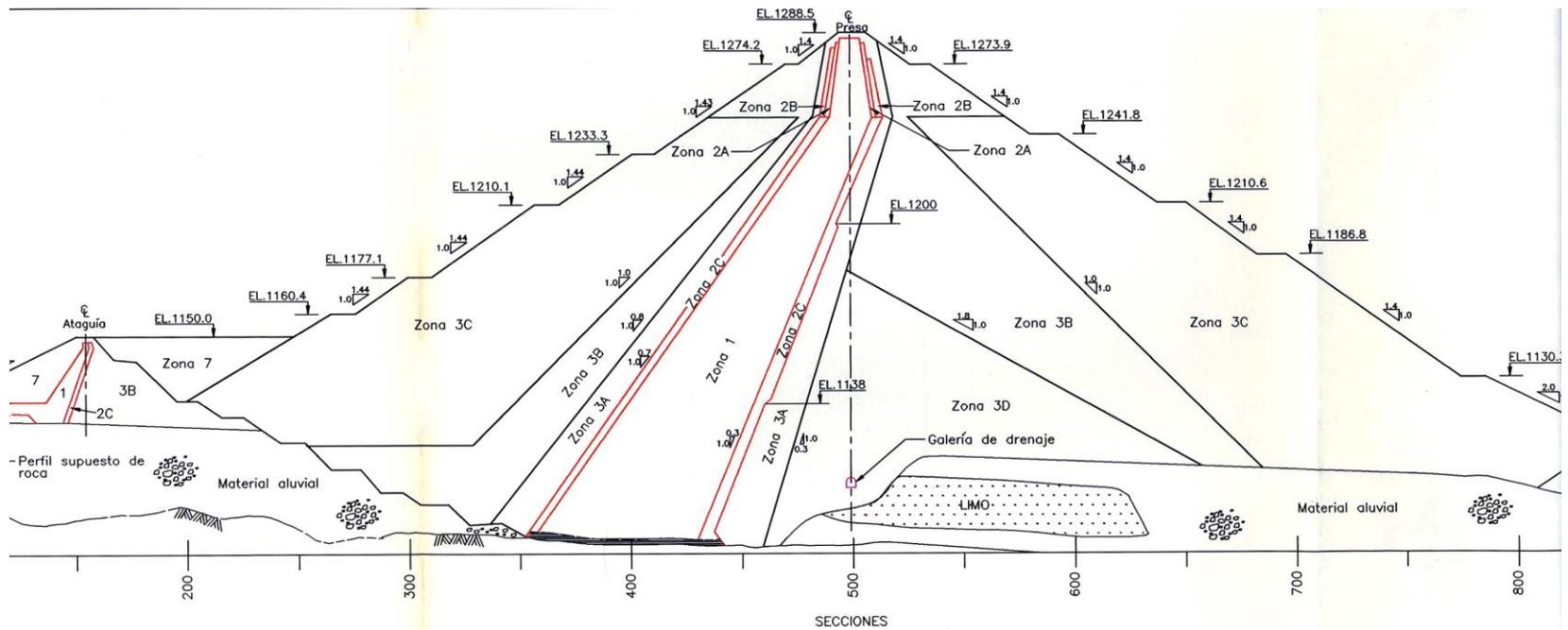


Figura 21 - Presa La Esmeralda

LINEAS EQUIPOTENCIALES - LLENADO OCTUBRE 11, 1994





SECCION MAXIMA

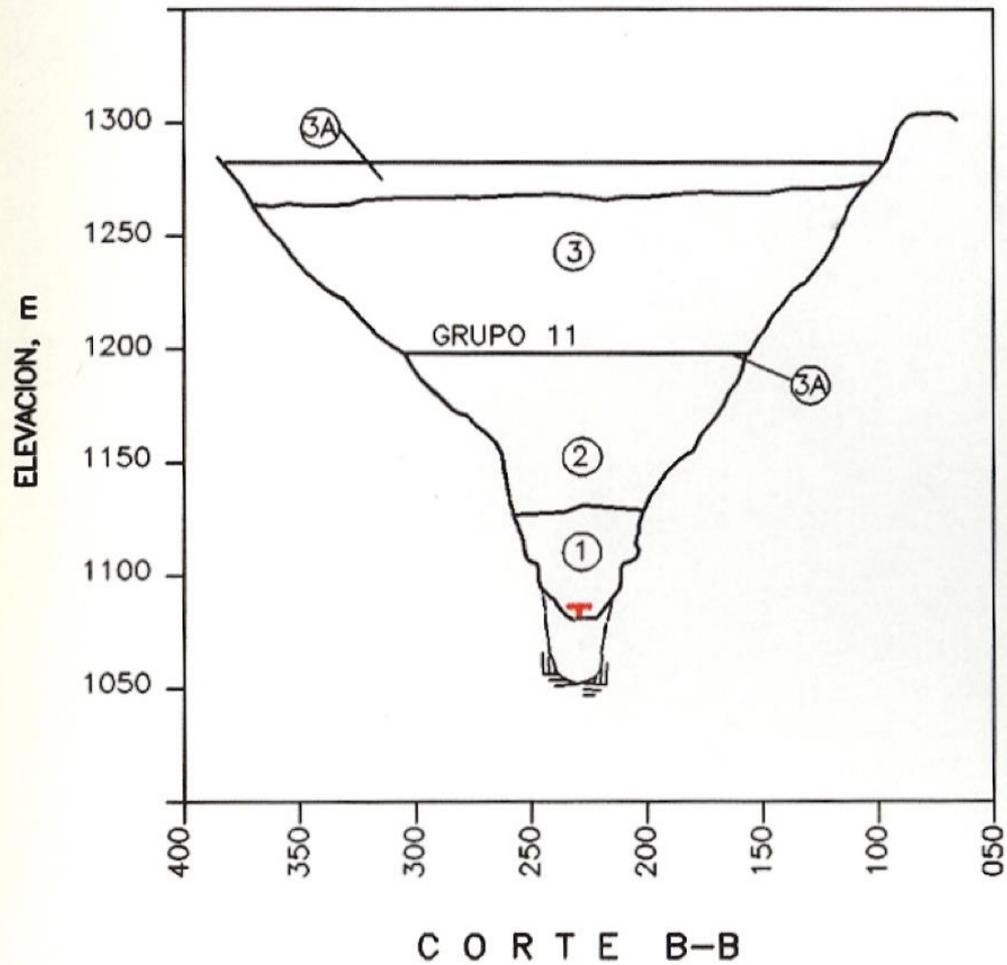
Presa La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



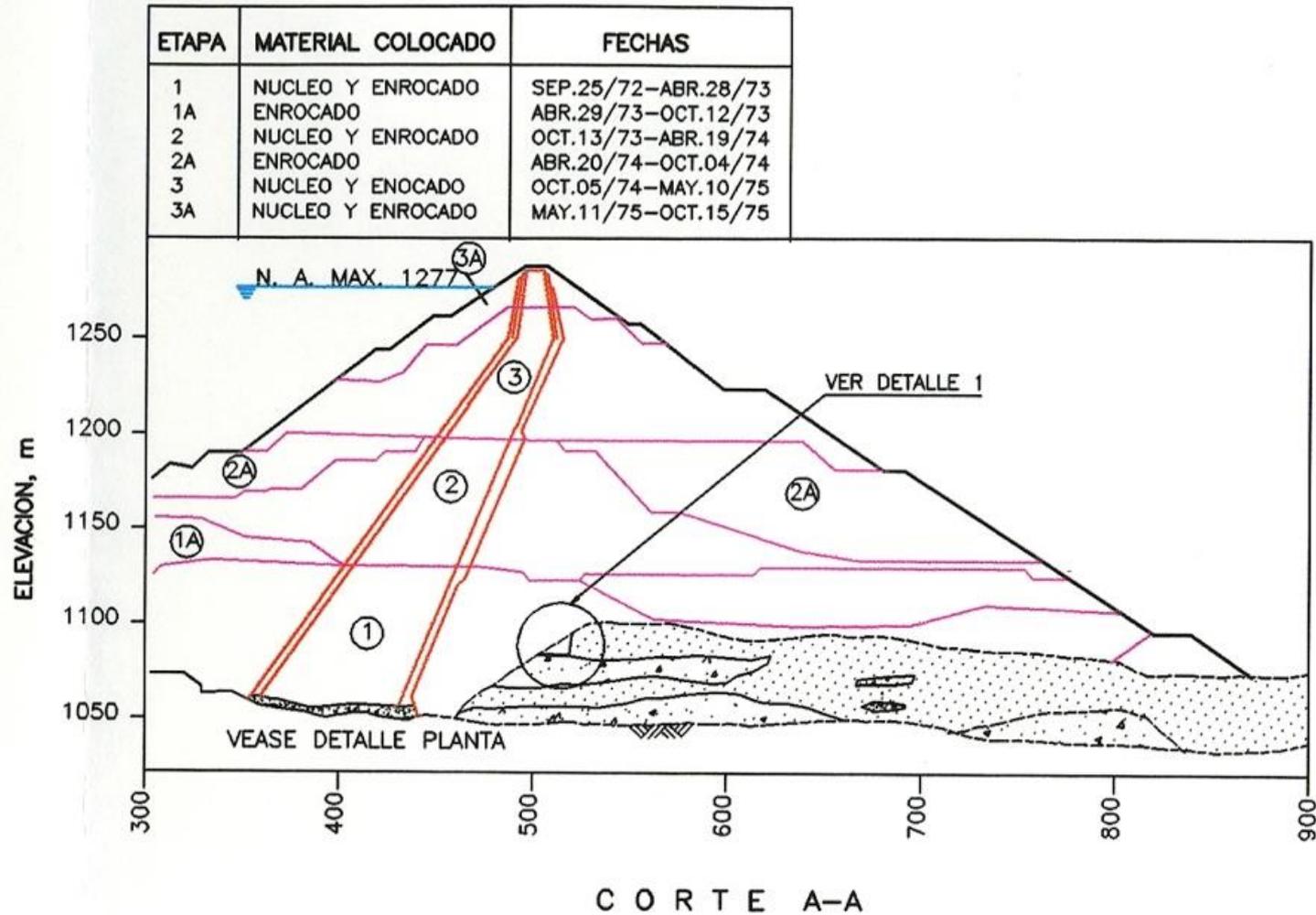
Presa La Esmeralda, Colombia – Limo en depósito aluvial



Presa La Esmeralda, Colombia – Limo en depósito aluvial

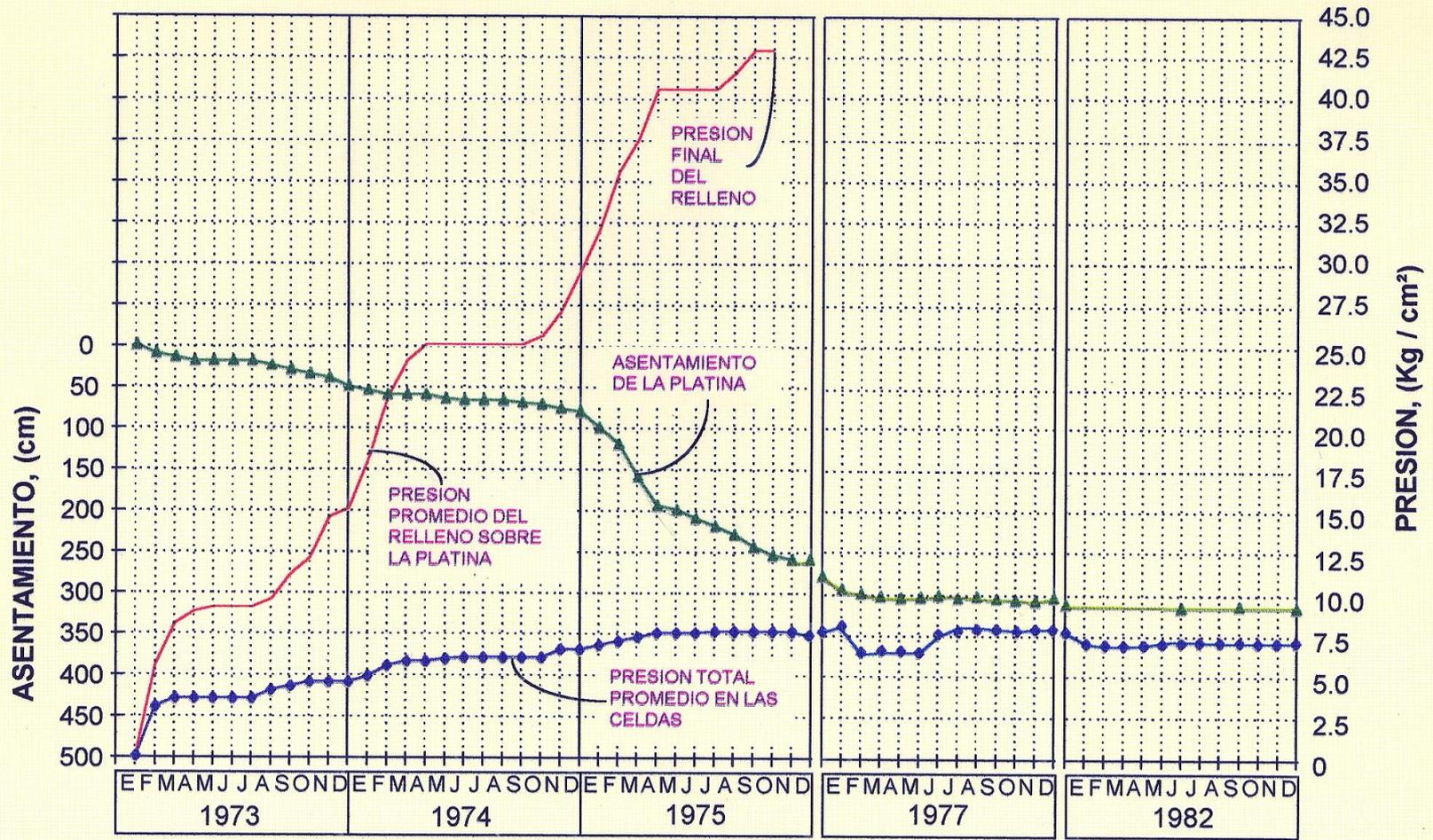


Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m

PRESA LA ESMERALDA - PRESIONES TOTALES PROMEDIO Y ASENTAMIENTOS EN EL LIMO DE LA FUNDACION

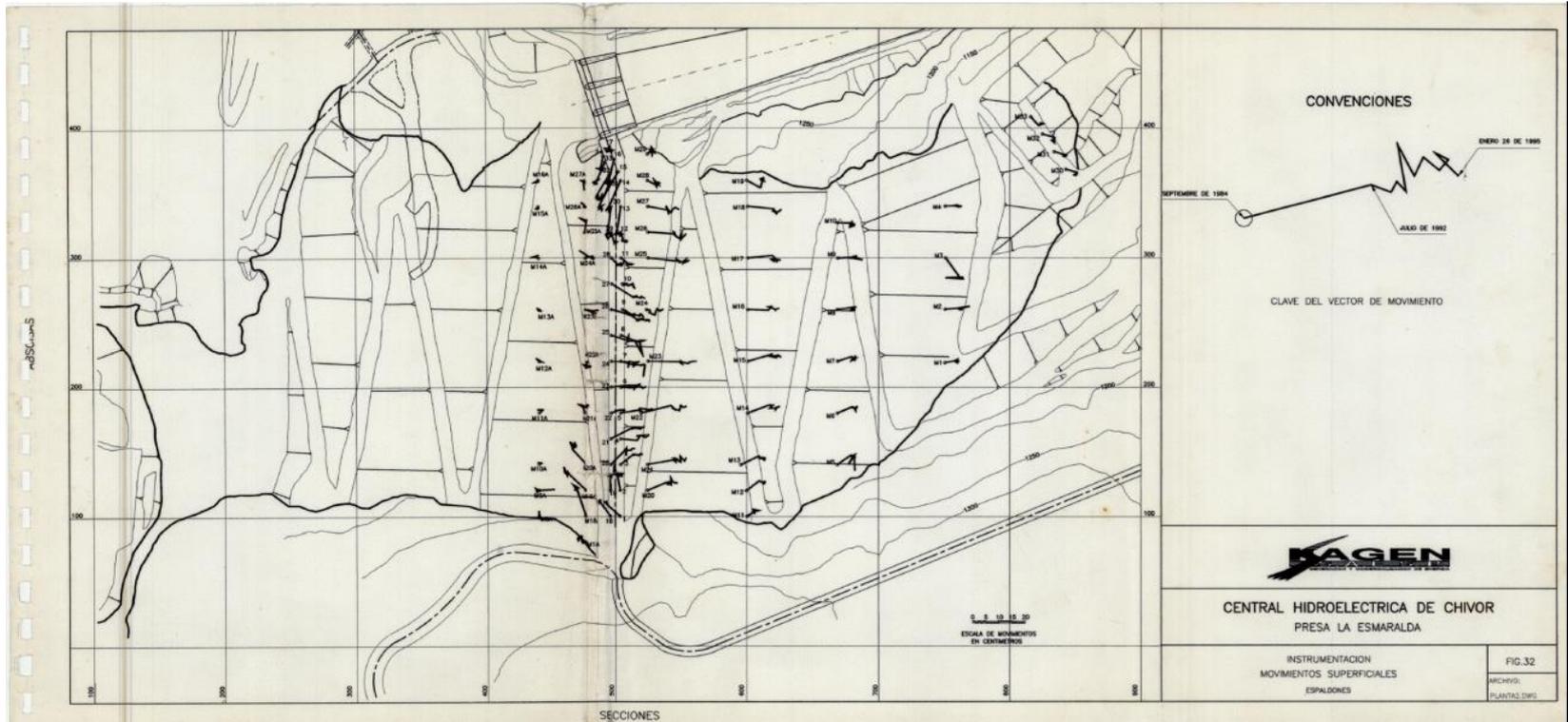


Presa La Esmeralda, Colombia – Comportamiento limo del depósito aluvial

	TEÓRICO	REAL
Módulo de Deformación (kg/cm²)	176	111
Arqueo (%)	50	82
Asentamiento (cm)	190	123

PRESA LA ESMERALDA

- **Enrocado con núcleo inclinado.** 11' m³ (1.1' núcleo).
- **237 m de altura.** Longitud de cresta 310 m.
- **Material impermeable:** Gravas arcillosas (15,2 cm tamaño máximo, $w_{op\ PM}: 13\%$ (prom.), $w_{colocación}: 21\%$ (prom.))
- **Enrocados:** Filitas, cuarcitas y argilitas (Rocas metamórficas)
- **Espaldones:** apoyados sobre 50 m de material aluvial.
- **Finalización de la construcción y 1er llenado:** 1976.

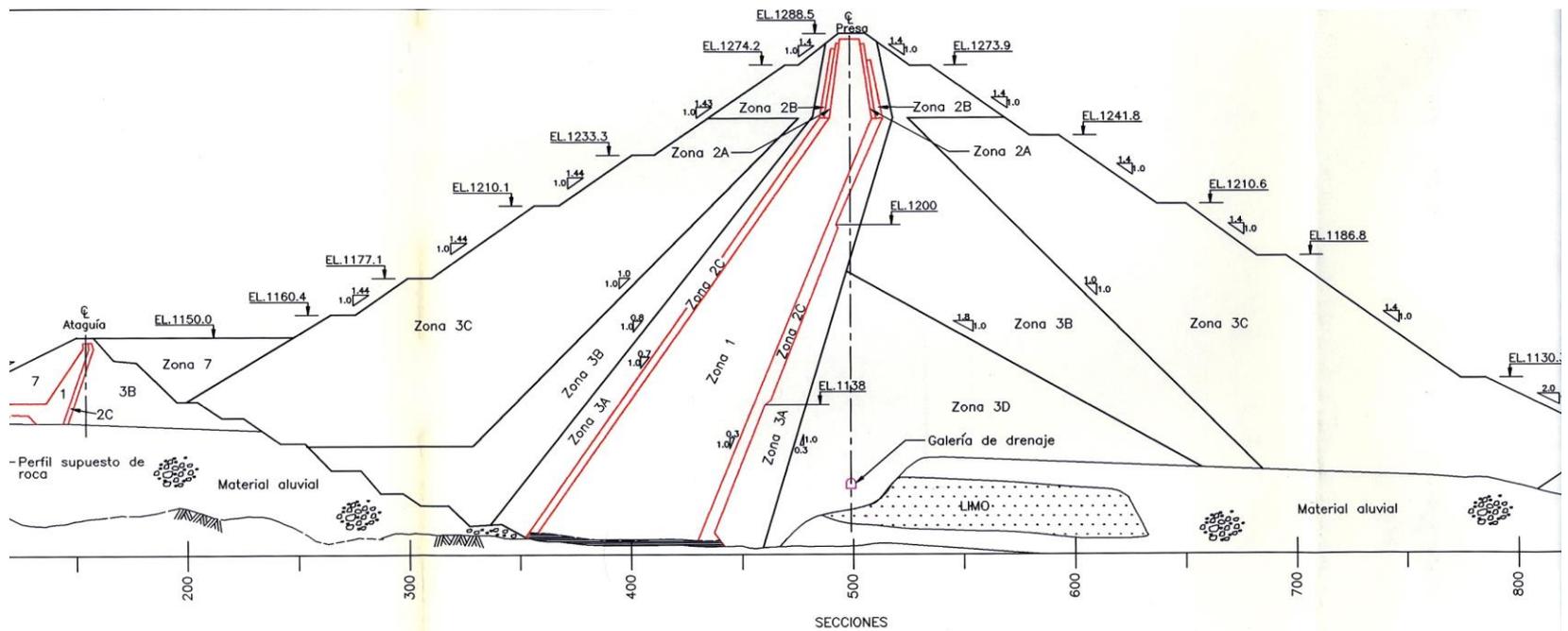


Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m

PRESA LA ESMERALDA - MOVIMIENTOS SUPERFICIALES (1975-2013)

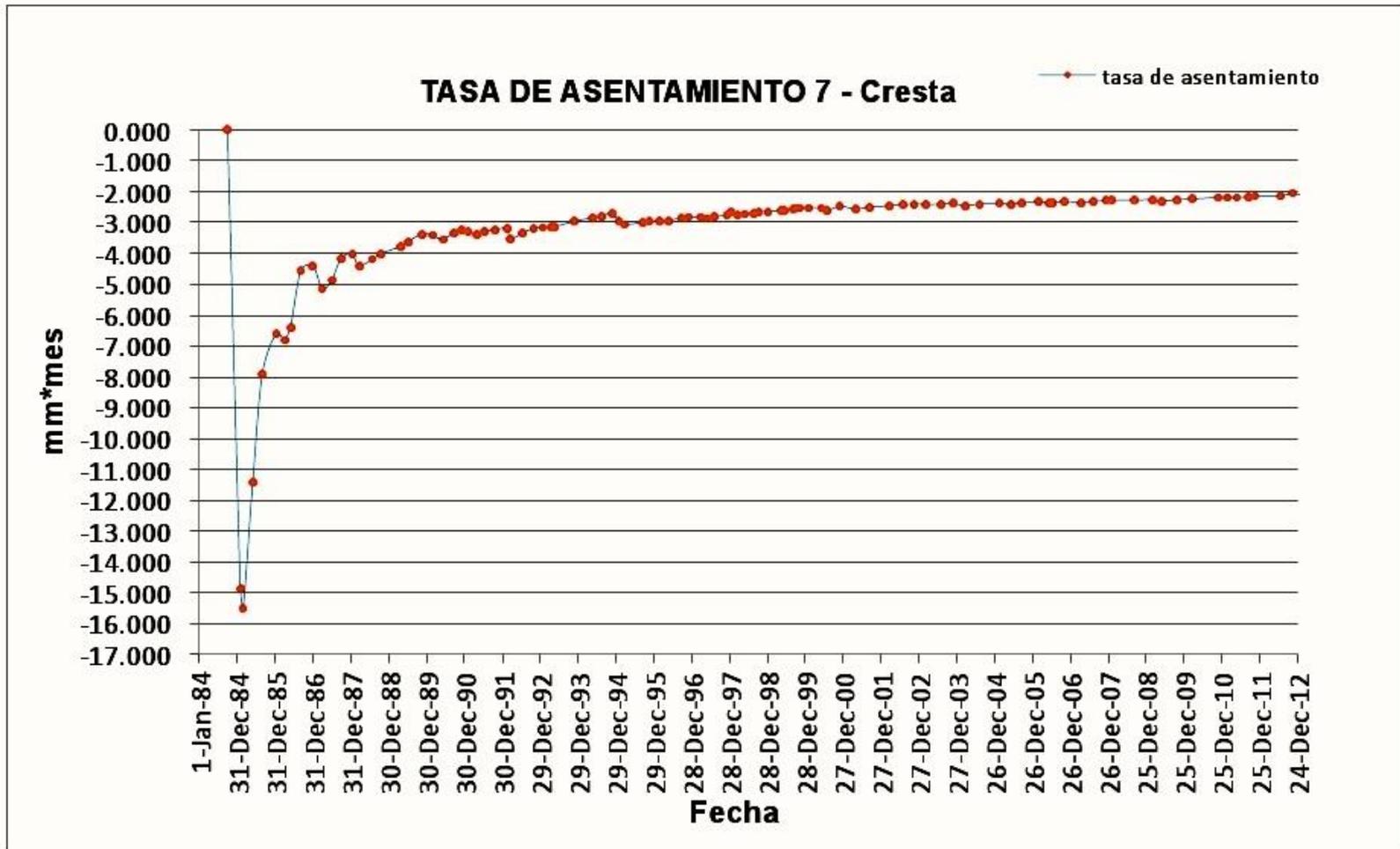
MOJÓN No.	LOCALIZACIÓN Sección Máxima		ASENTAMIENTO		MOV. HORIZONTAL		MOV. RESULTANTE			RELACION $\Delta S/H_{presa}$ %	PERIODO DE LECTURA
			ΔS m	Tasa mm/mes	ΔH m	Tasa mm/mes	ΔR m	Dirección	Inclinación con vertical		
23A	Espaldón A. Arriba	1273	0.84	2	0.163	0.36	0.856	A. Abajo	11°		1978-2013
7	Cresta	1287	2.64 ^(*)	2	0.192 ^(**)	0.5	0.74 ^(**)	A. Abajo	14.5°	0.86 ^(*)	(*): 1976-2013 (**): 1983-2013
23	Espaldón A. Abajo	1275	0.99	2.1	1	2.1	1.41	A. Abajo	45°		1976-2013
15	Espaldón A. Abajo	1235	1.48	2.9	1.1	2.2	1.86	A. Abajo	35°		1975-2013
7	Espaldón A. Abajo	1195	1.15	2.5	0.77	1.7	1.38	A. Abajo	34°		1975-2013
3	Espaldón A. Abajo	1147	0.3	0.7	0.53	1.2	0.61	A. Abajo	60°		1975-2013

Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m

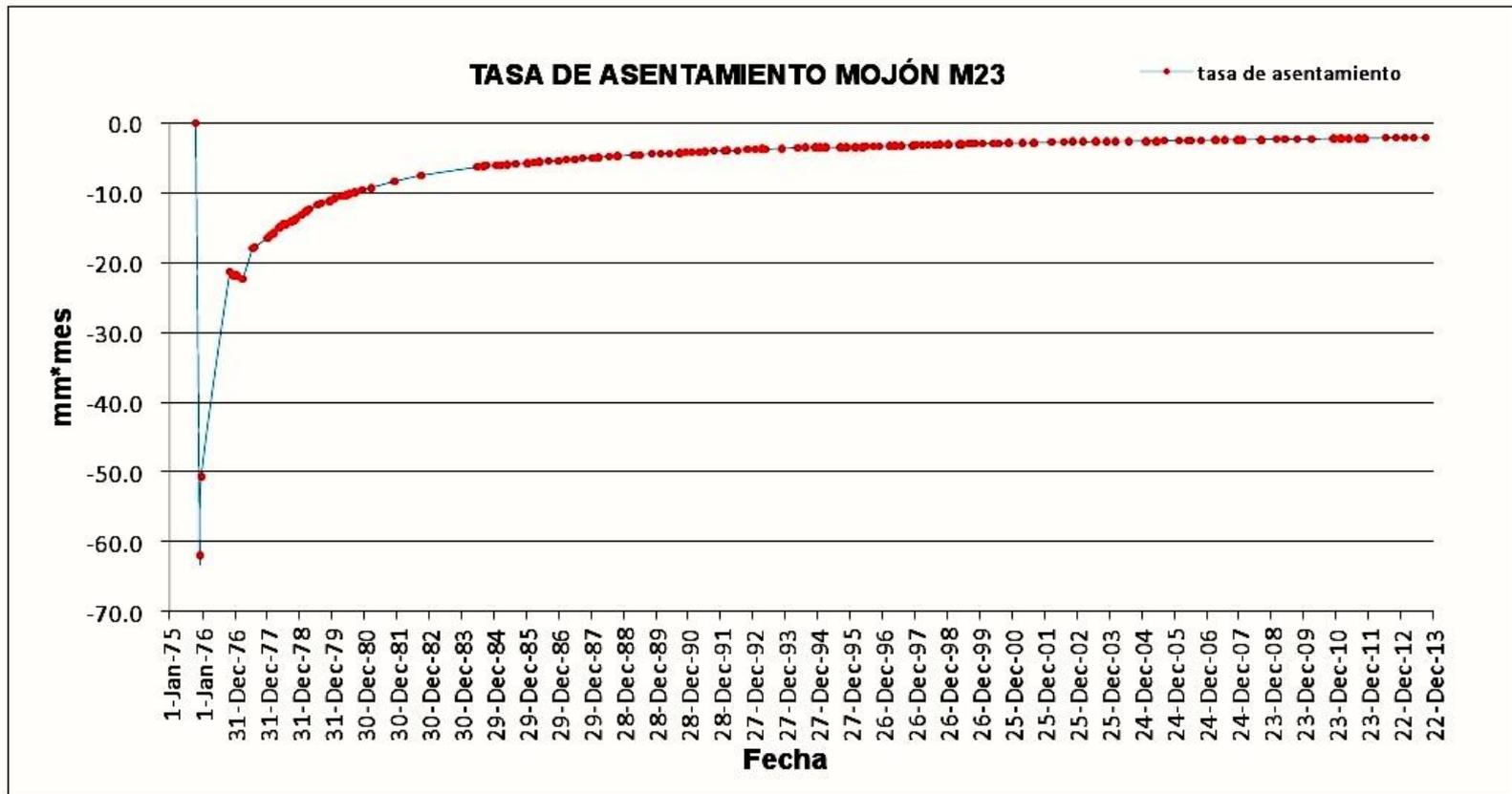


SECCION MAXIMA

Presa La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



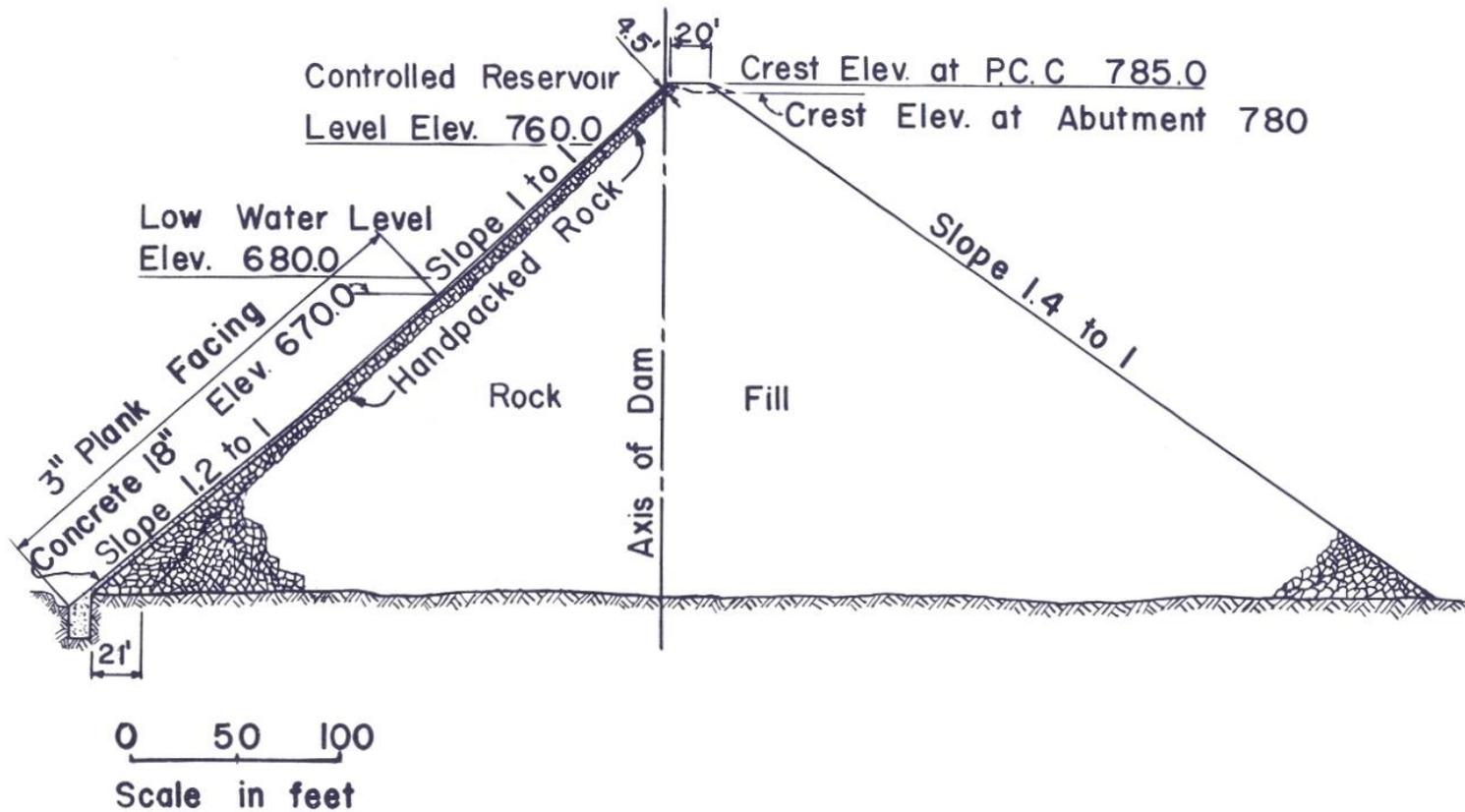
Presas La Esmeralda, Colombia – Enrocado con núcleo inclinado, Altura: 237 m



Presa Alto Anchicayá, Colombia - CFRD, Altura: 140 m - 1975

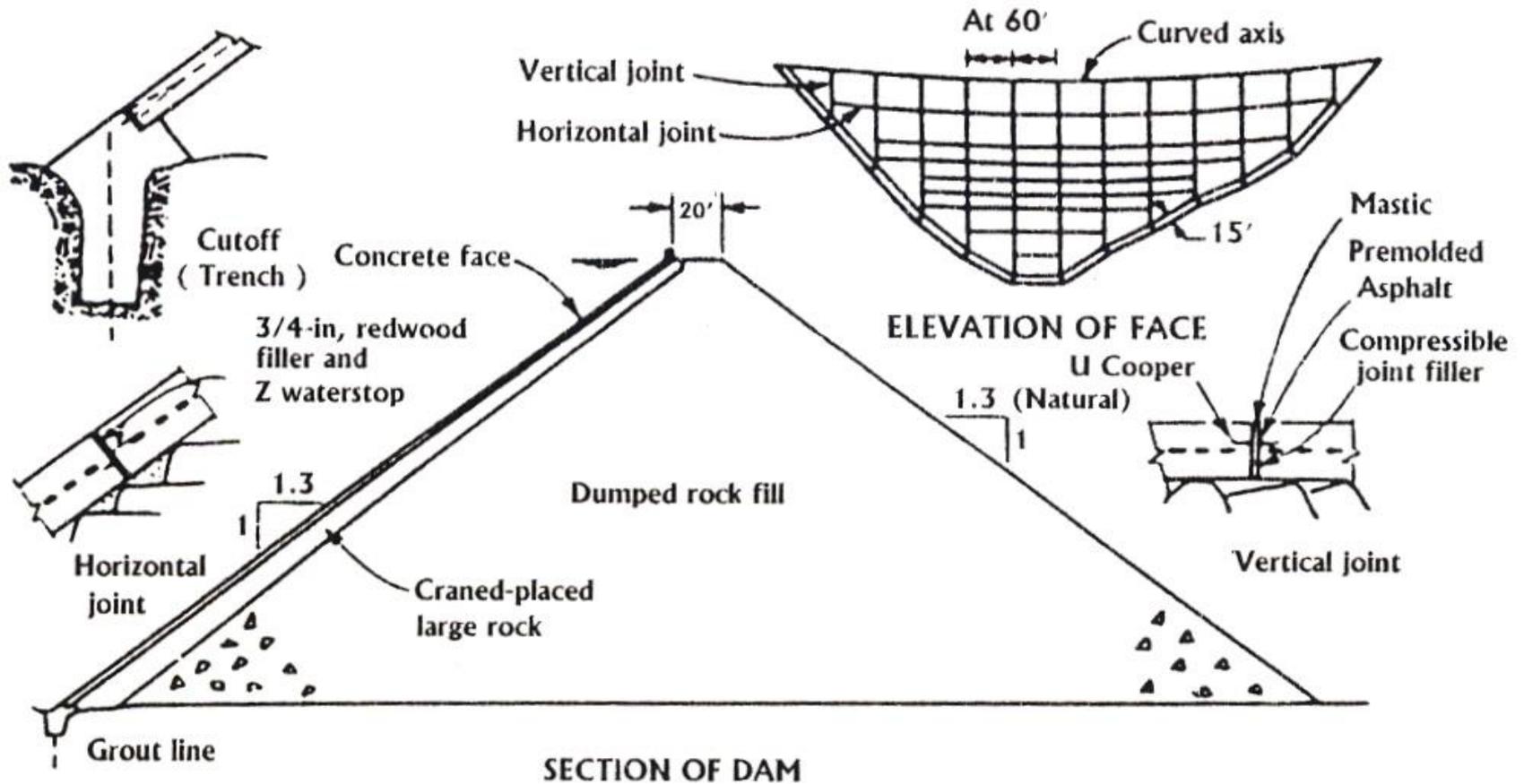
EVOLUCIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS CFRDs

ETAPA I

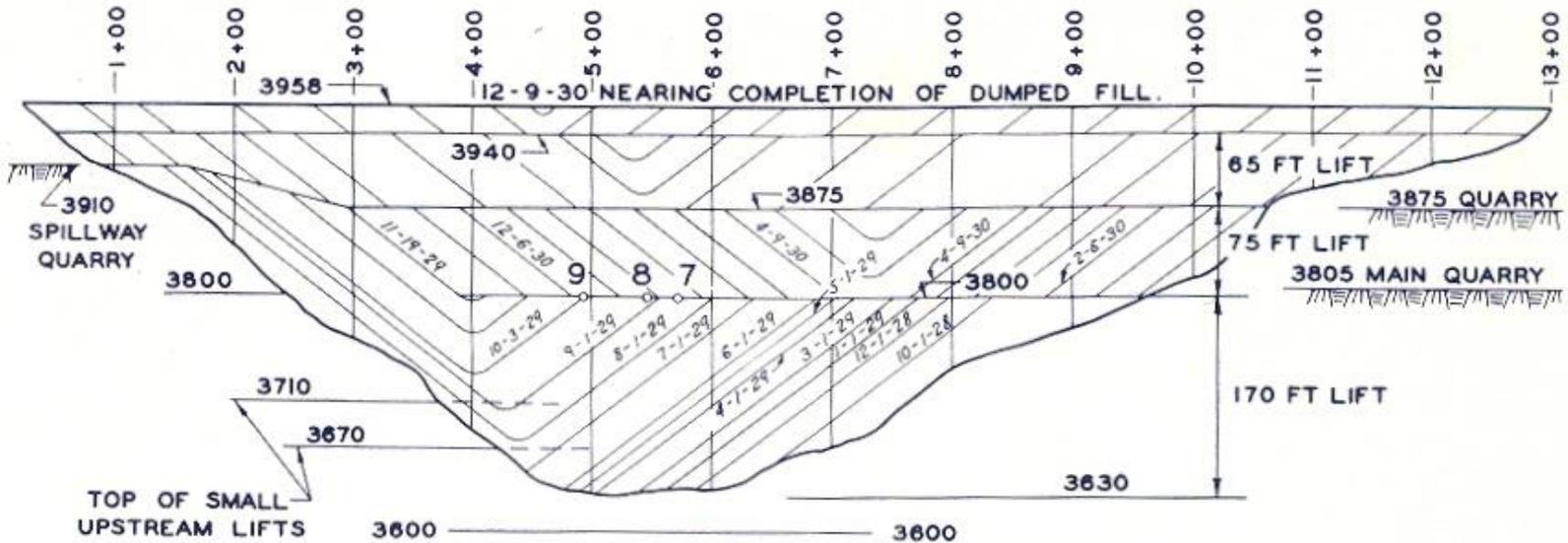


Dix River Dam – Maximum Section; 84 m Height; Year: 1923-25

(Schmidt, L. A., jr, "DIX RIVER DAM", Symposium on Rockfill Dams, 1960)



Typical Traditional Design of Concrete Face Rockfill Dam
 (Hacelas, J. E., "Evolution in Design and Construction of The CFRDs, July . 1998, México)



PROFILE ON AXIS (LOOKING DOWNSTREAM) - LIFTS AND CONSTRUCTION SEQUENCE

Salt Spring Dam; 100 m Height; Year: 1931

(Steele, I. C., and Cooke, J. B., "Salt Springs and Lower Bear River Concrete Face Dams", Symposium on Rockfill Dams, 1960)



Dumped Rockfill

(Steele, I. C., and Cooke, J. B., "Salt Springs and Lower Bear River Concrete Face Dams", Symposium on Rockfill Dams, 1960)

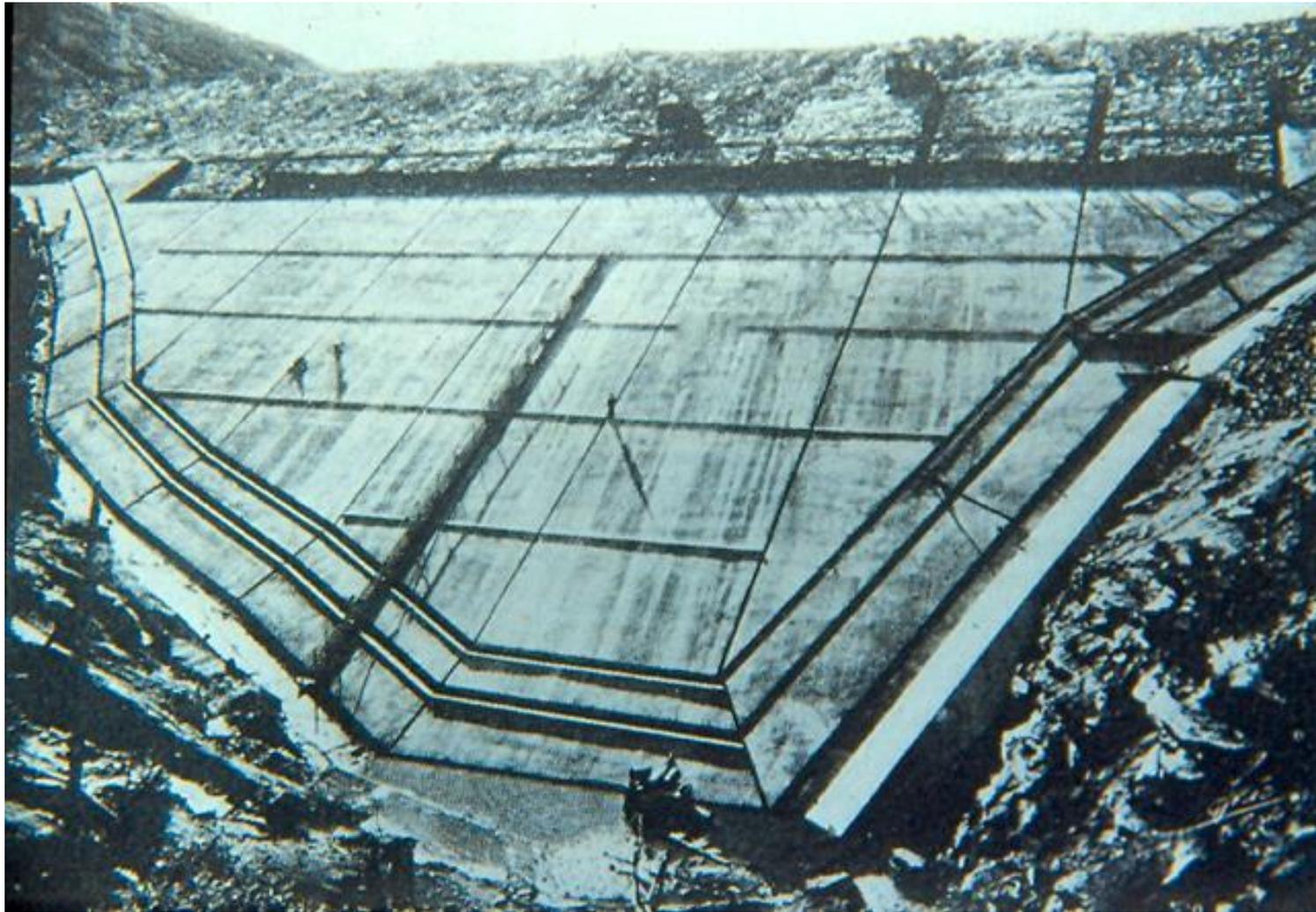


Dumped Rockfill

(Steele, I. C., and Cooke, J. B., "Salt Springs and Lower Bear River Concrete Face Dams", Symposium on Rockfill Dams, 1960)

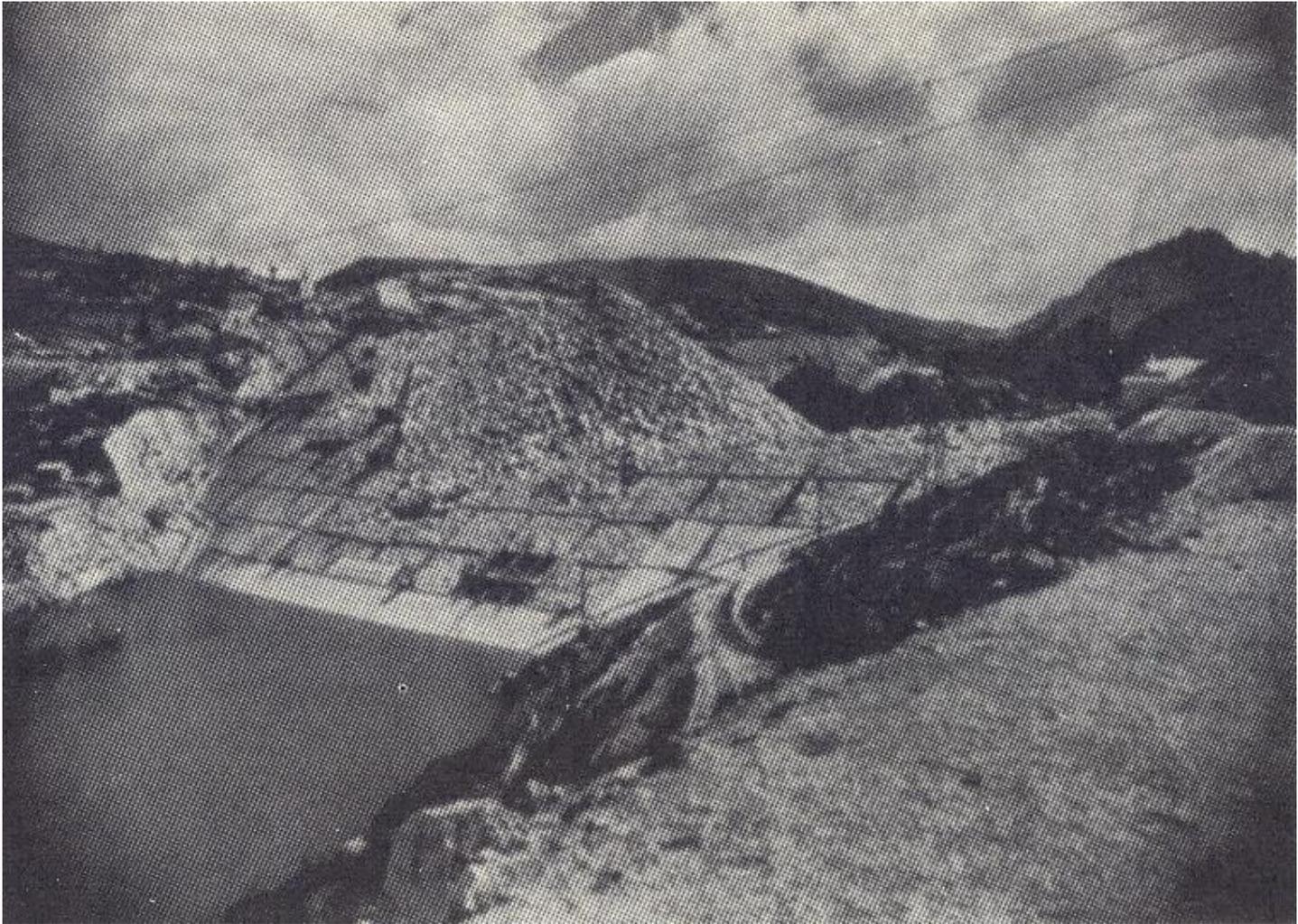


Derrik-Laid Masonry on Fill (Note H&V Joint Recesses)
(Schmidt, L. A., jr, "DIX RIVER DAM", Symposium on Rockfill Dams, 1960)



Paradela Dam Concrete Face; 110 m Height; Year: 1956-1958

(Gomes Fernandes, L. H., et al, "PARADELA CONCRETE FACE DAM", Symposium on Rockfill Dams, 1960)



Paradela Dam Concrete Face; 110 m Height; Year: 1956-1958

(Gomes Fernandes, L. H., et al, "PARADELA CONCRETE FACE DAM", Symposium on Rockfill Dams, 1960)

EVOLUCIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS CFRDs ETAPA I

- Antes de 1965 todas las presas con cara de concreto se construyeron con enrocados colocados a volteo.
- La estructura probó ser estable y segura.
- Se presentaron problemas de filtraciones inaceptables desde el punto de vista económico.
- Las filtraciones ocurrían principalmente debido a excesivos movimientos de la cara de concreto durante construcción y llenado del embalse.
- Los movimientos excesivos se atribuyeron a alta compresibilidad de los enrocados colocados a volteo y al sinnúmero de juntas horizontales y verticales provistas de rellenos compresibles

EVOLUCIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS CFRDs ETAPA I

- Se abandonó por una década la construcción de este tipo de presas.
- El reinicio de su aceptación como alternativa se produce principalmente debido al desarrollo de los compactadores vibratorios y a la adopción de colocar enrocados compactados.

EVOLUCIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS CFRDs

ETAPA II

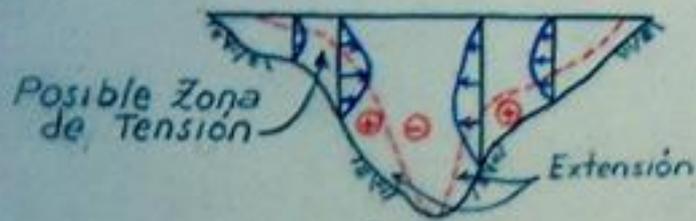


12 4 2007

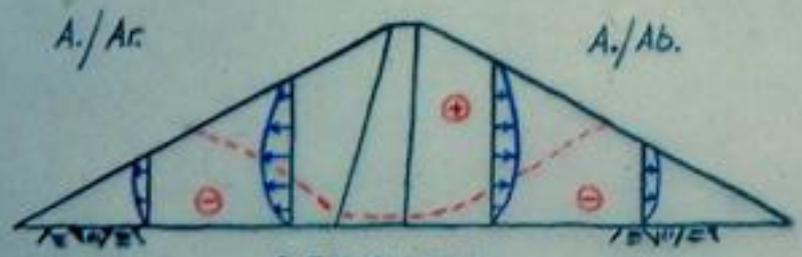


La Esmeralda Dam; 237 m Height; Year: 1971-1976

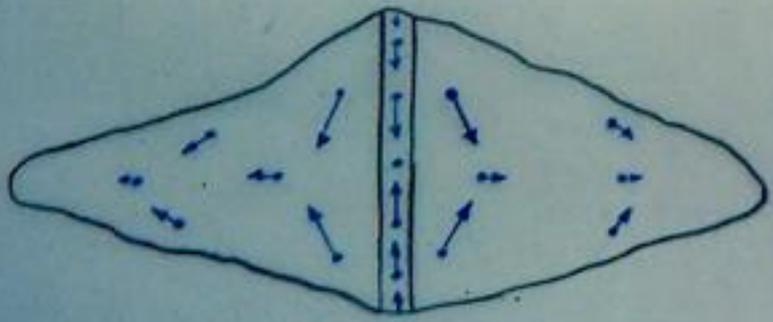
MOVIMIENTOS HORIZONTALES



PERFIL

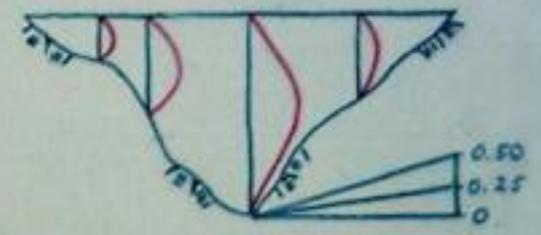


SECCION

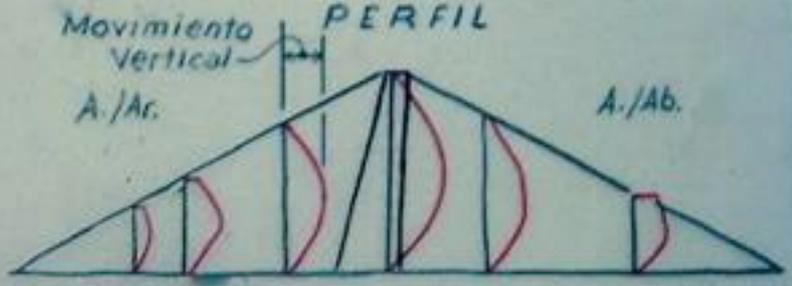


PLANTA

MOVIMIENTOS VERTICALES



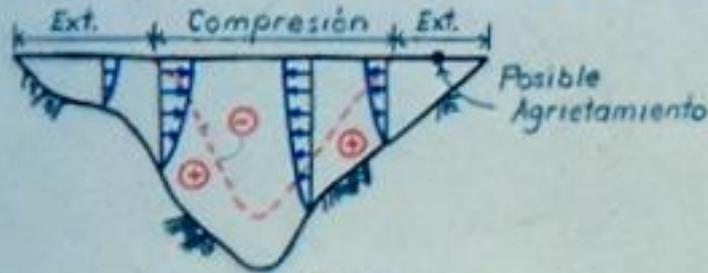
PERFIL



SECCION

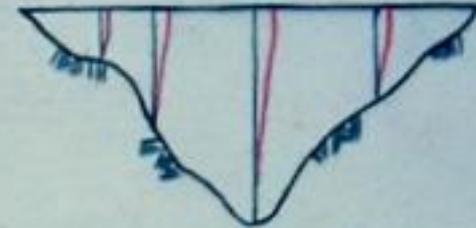
MOVIMIENTOS INTERNOS
VERTICALES Y HORIZONTALES
DURANTE CONSTRUCCION

MOVIMIENTOS HORIZONTALES

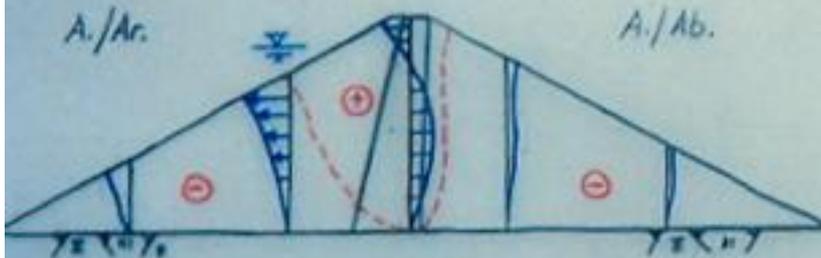


PERFIL

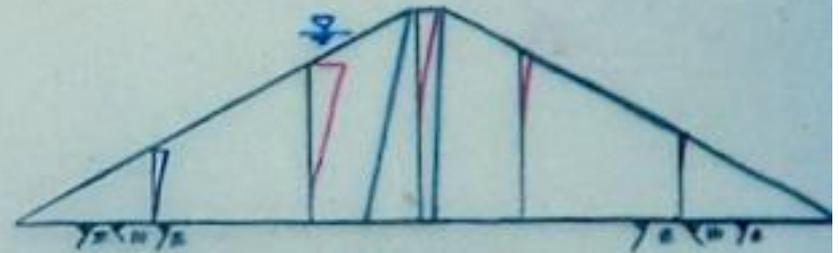
MOVIMIENTOS VERTICALES



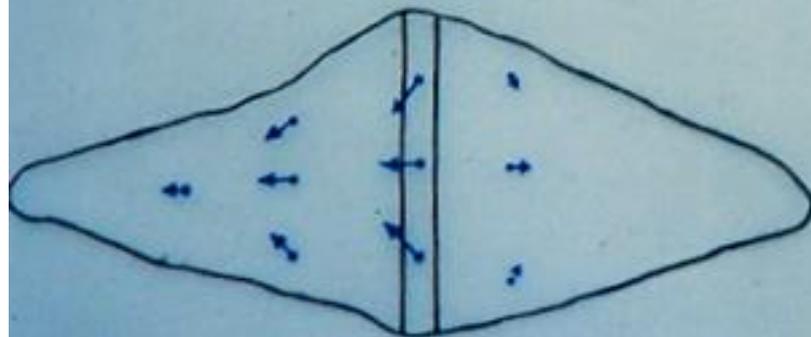
PERFIL



SECCION



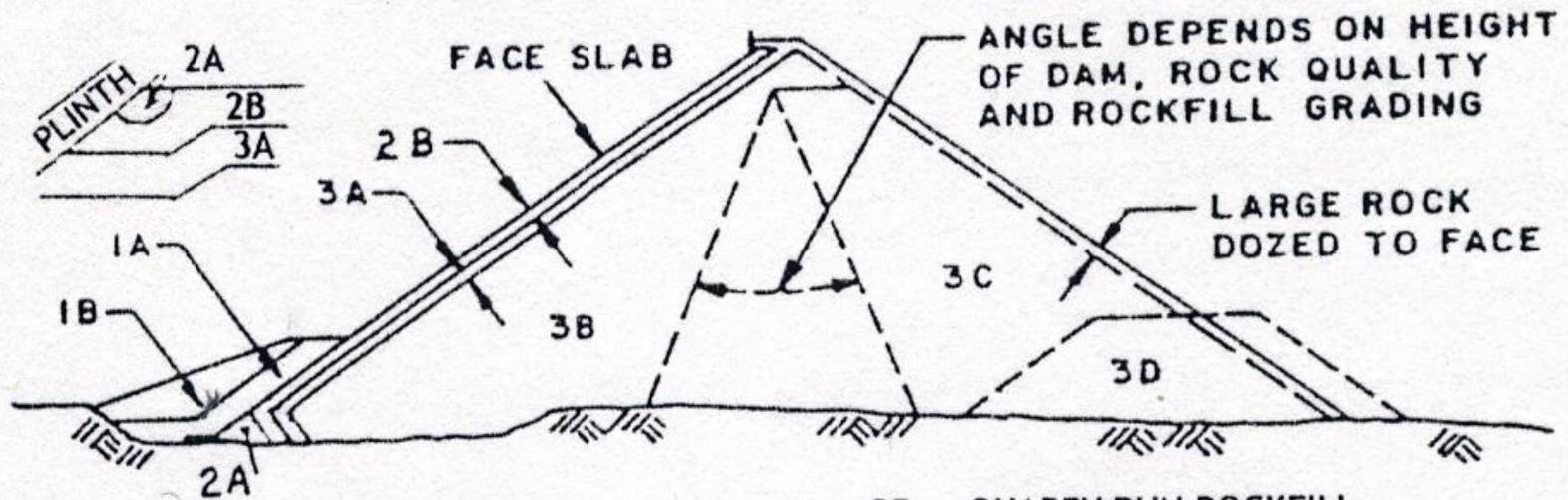
SECCION



PLANTA

MOVIMIENTOS INTERNOS

DURANTE PRIMER LLENADO
DEL
EMBALSE



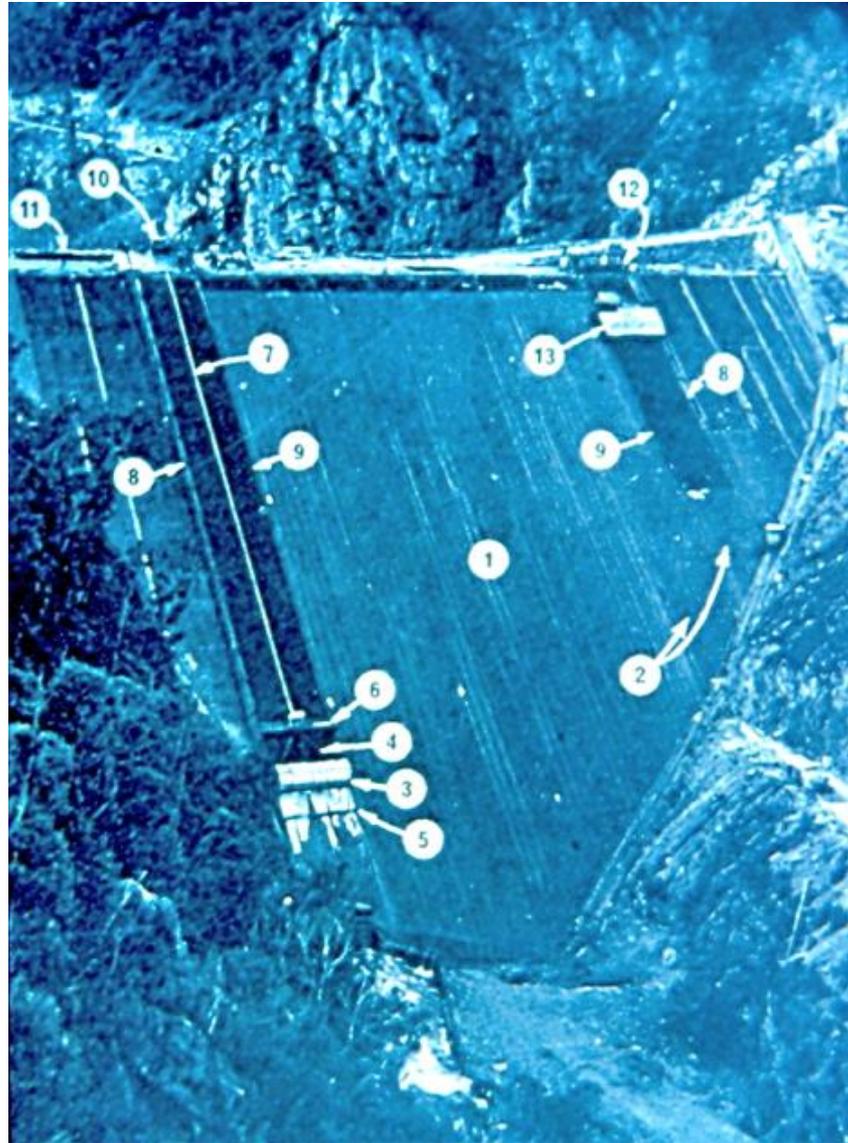
- 1A IMPERVIOUS SOIL
- 1B RANDOM -0.5 m LAYERS
- 2A PROCESSED FINE FILTER
- 2B SELECTED SMALL ROCK PLACED IN SAME LAYER THICKNESS AS ZONE 2

- 3B QUARRY RUN ROCKFILL, ABOUT 1m LAYERS
- 3C QUARRY RUN ROCKFILL, ABOUT 2.0m LAYERS
- 3D DUMPED ROCKFILL
- COMPACTION FOR ROCK ZONES
4 PASSES OF 10 TON VIBRATORY ROLLER

Diseño CFRDs Etapa 2 – Enrocados compactados



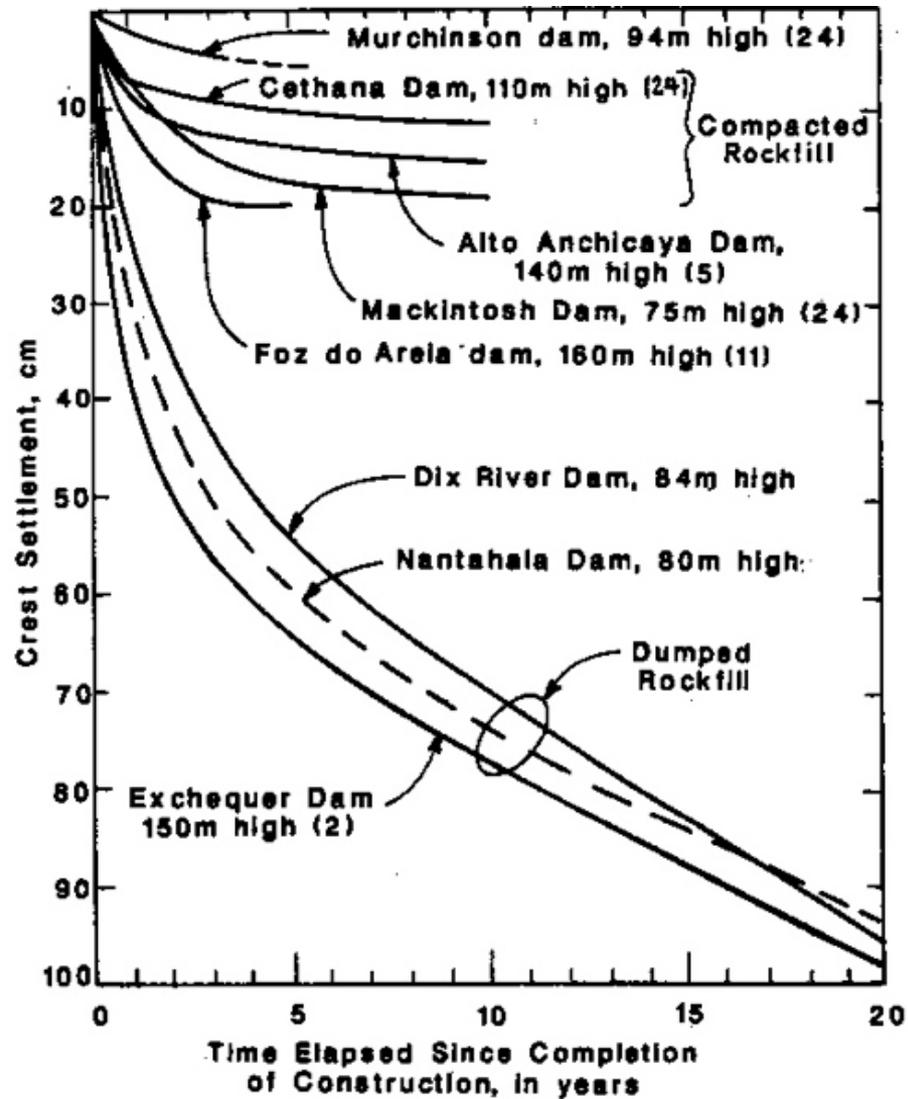
Presa Alto Anchicayá, Colombia - CFRD, Altura: 140 m - 1975



Presă Cethana, Australia - CFRD, Altura: 110 m - 1974



Presas Foz do Areia, Brasil - CFRD, Altura: 148 m - 1980



Presaja Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



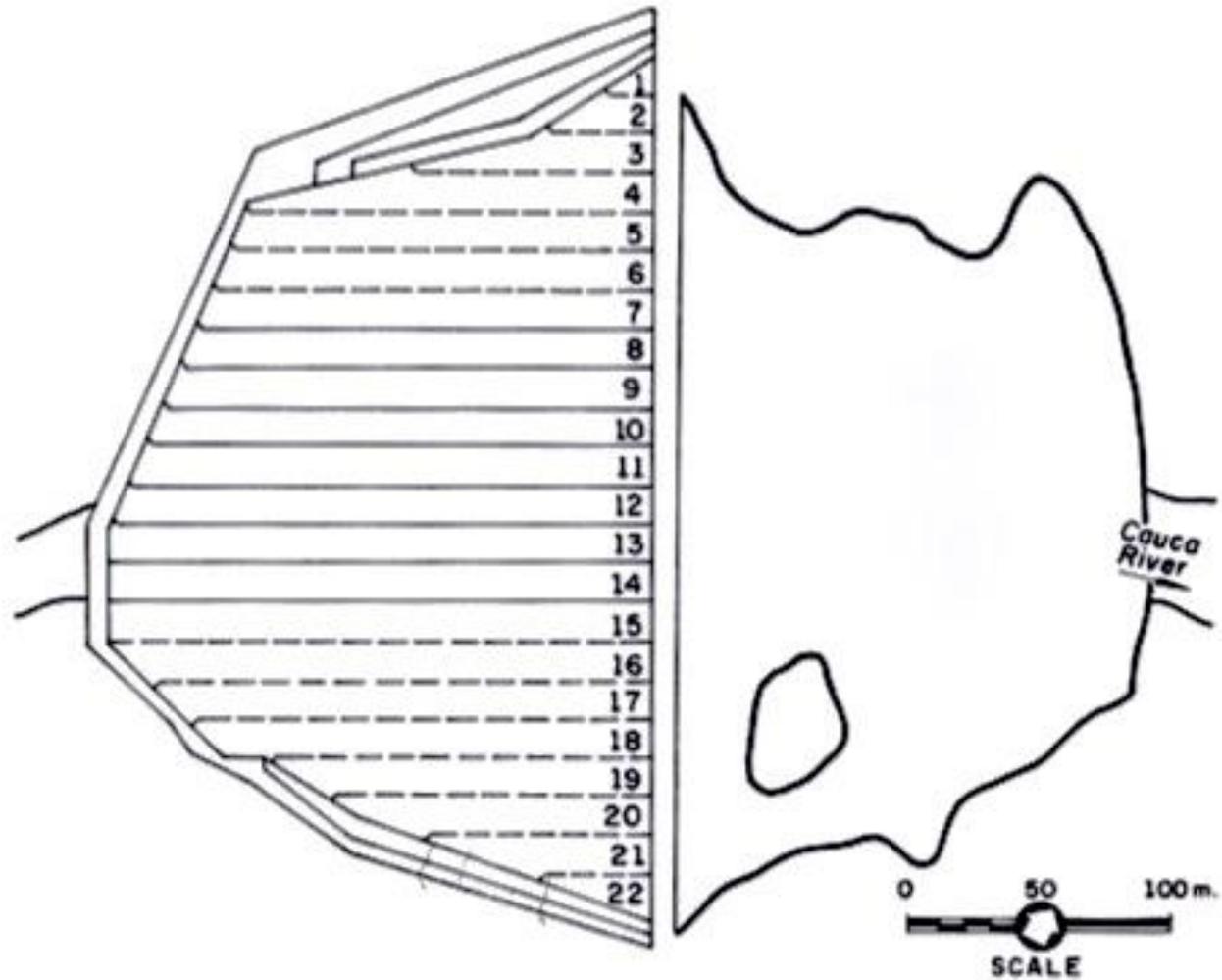
Presa Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



Presajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



Salvajina Dam; 148 m Height; Year; 1980-85



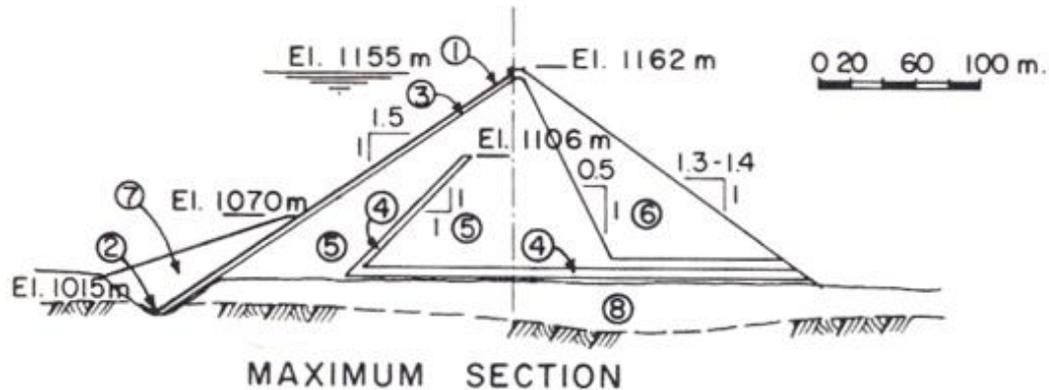
Presal Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



Presaj Salvajina – Junta Perimetral y de extensión – 1a y 2a Línea de defensa: Cu & PVC



Presa Salvajina – Junta Perimetral y de extensión – 3a Línea de defensa: Igás



ZONING		MAXIMUM SIZE in - (cm)	THICKNESS LAYER in - (cm)
①	Face slab	-	-
②	Toe slab	-	-
③	Zone 1 - Compacted semipervious	4 (10)	18 (45)
④	Zone 2A - Drain	16 (41)	24 (60)
⑤	Zone 2 - Compacted gravels	12 (30)	24 (60)
⑥	Zone 4 - Compacted rockfill	24 (60)	36 (90)
⑦	Zone 5 - Impervious	1-12 (25-30)	12 (30)
⑧	Alluvium	-	-

Presa Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



Presa Salvajina – Excavación del Aliviadero: Enrocado – Zona 4



Presa Salvajina – Enrocado – Zona 4



Presa Salvajina – Enrocado – Zona 4



Presa Salvajina – Gravas naturales – Zona 2



Presa Salvajina – Gravas Naturales : Zona 2



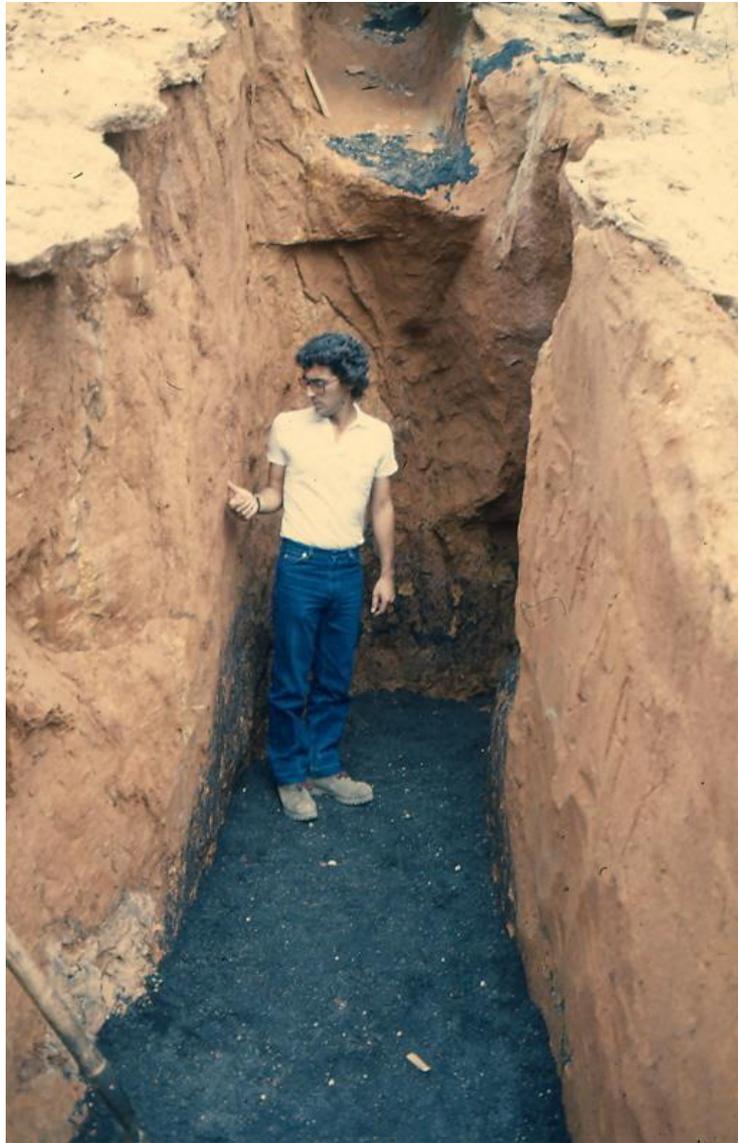
Presajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



Presa Salvajina – Fundación del Plinto : Suelo Residual



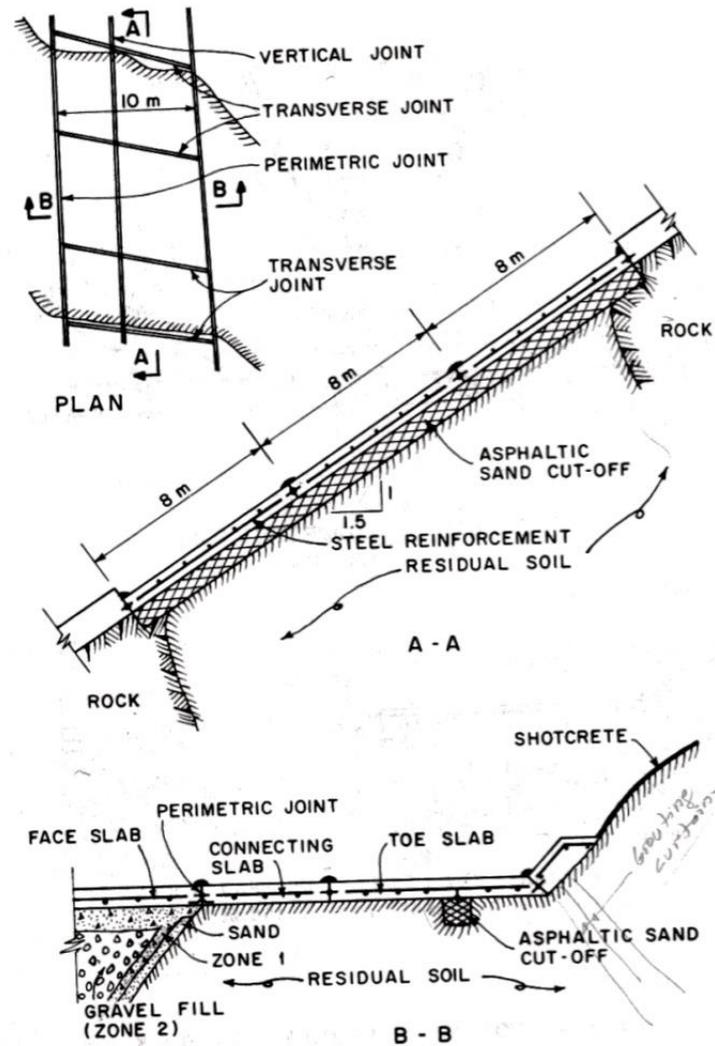
Presa Salvajina – Fundación del Plinto: Suelo Residual



Presaj Salvajina – Fundación del Plinto: Suelo Residual



Presa Salvajina – Protección del Suelo Residual



Presa Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



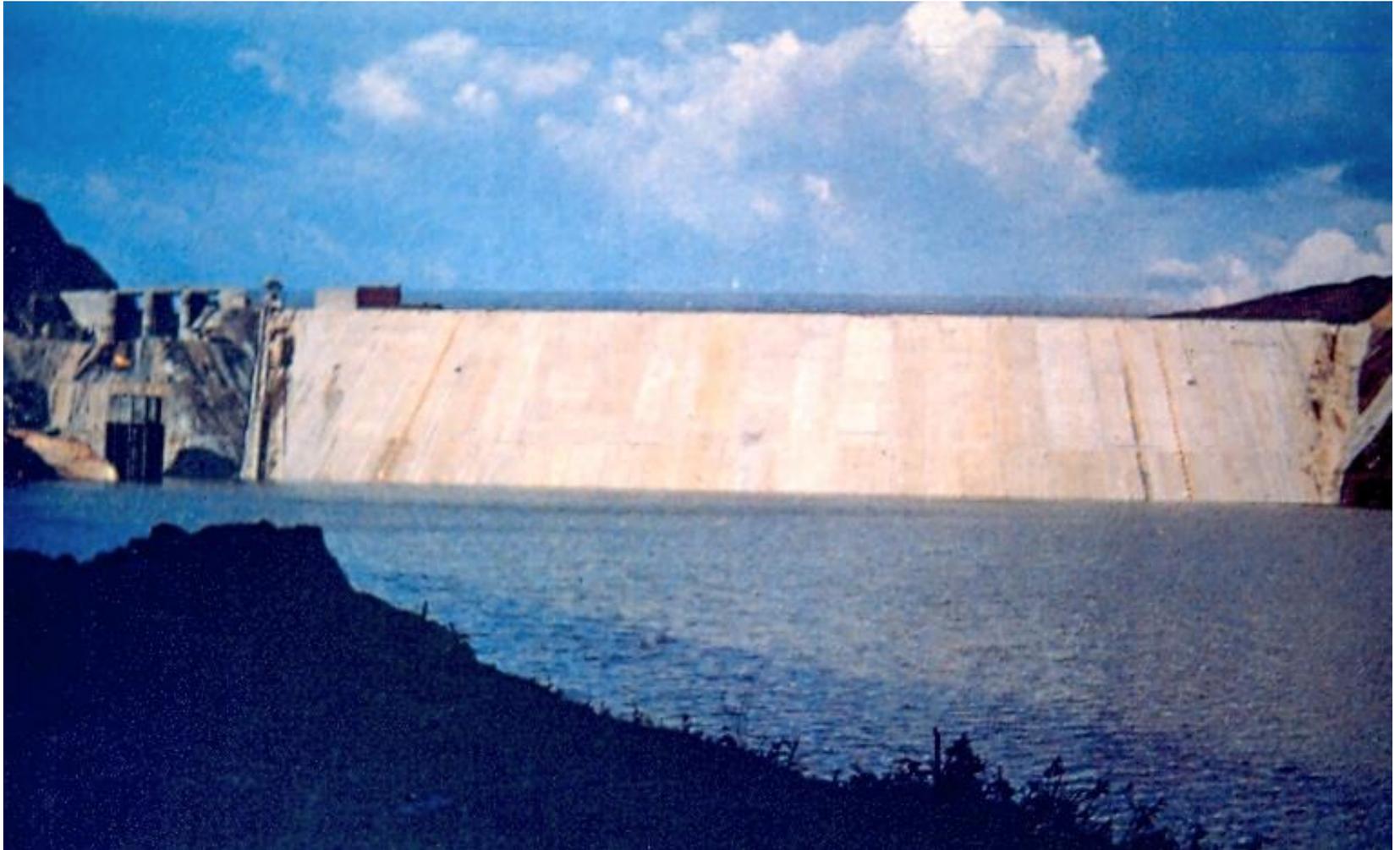
Presaja Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



Presajina Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



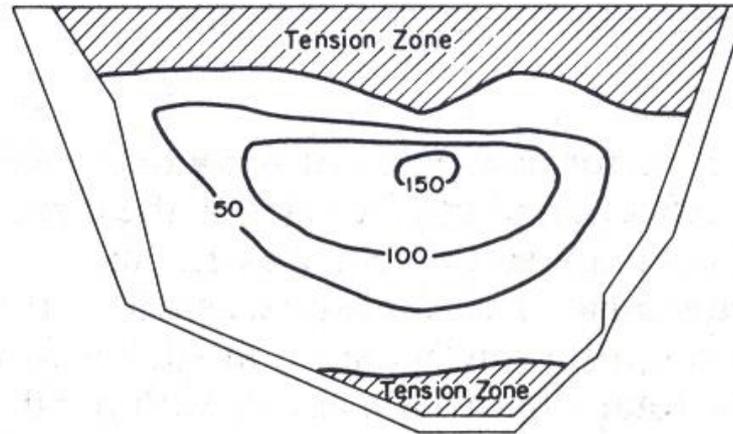
Presaj Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



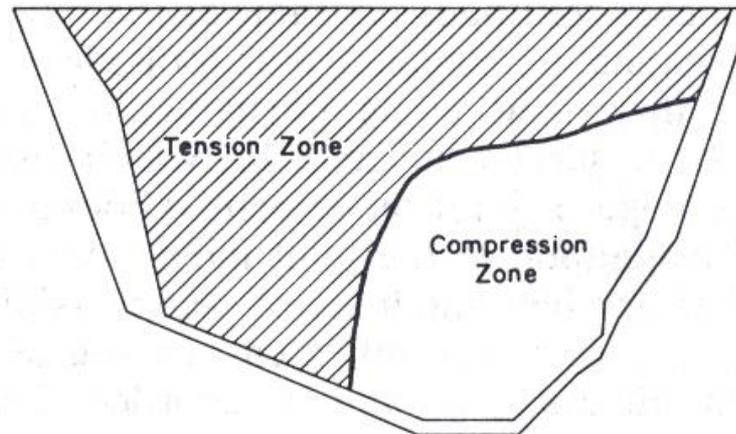
Presa Salvajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



Presajina, Colombia - CFRD, Altura: 148 m



a. STRAIN $\times 10^{-6}$ - DOWN - SLOPE DIRECTION, $\Delta \epsilon_y$



LEGEND :

-  Tension zone,
 $0 < \Delta \epsilon_x \leq 90 \mu$
-  Compression zone,
 $0 < \Delta \epsilon_x \leq 130 \mu$

b. STRAIN $\times 10^{-6}$ - HORIZONTAL DIRECTION, $\Delta \epsilon_x$

Presa Salvajina – Deformaciones Unitarias con carga del Embalse

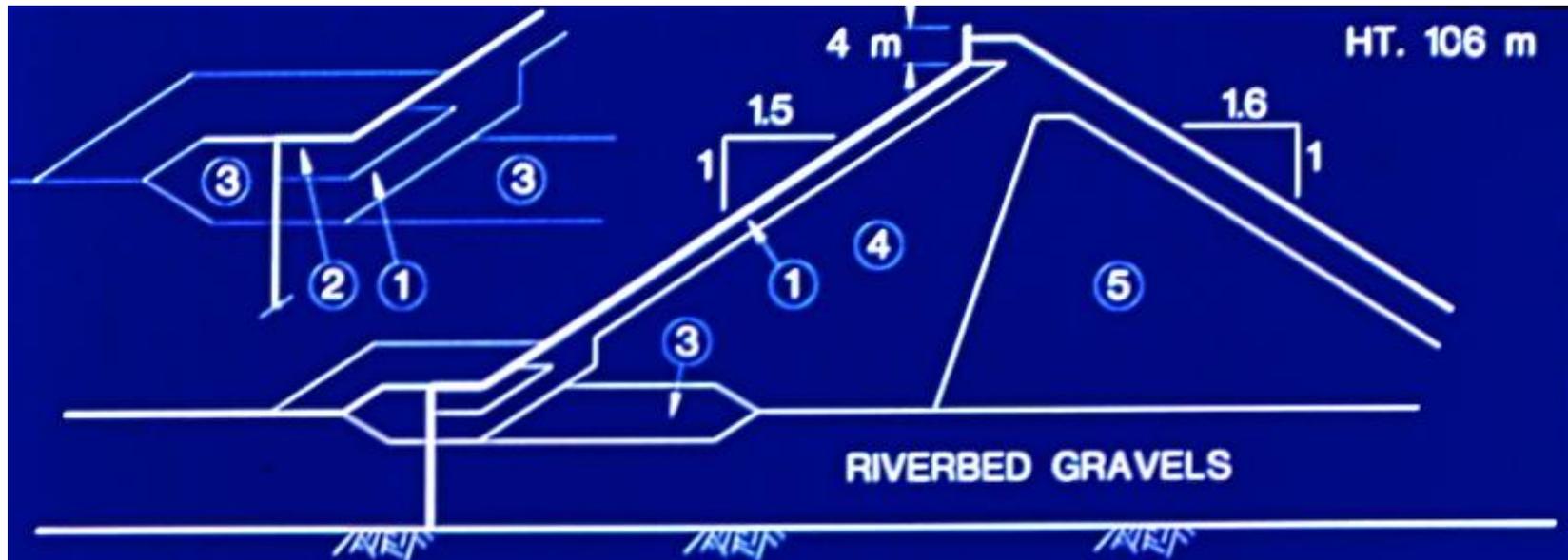
APORTES DE LA PRESA SALVAJINA

- Un interesante resultado del comportamiento de Salvajina, es que los módulos de deformación del enrocado son del orden del 14% del correspondiente a las gravas naturales para los mismos estados de esfuerzo.... Hasta el momento en que la interacción relleno-cara de concreto sea predecible, el autor recomienda precaución en el uso de enrocados en presas con alturas superiores a los actuales precedentes. (M. D. Fitzpatrick, et al, en el cierre de la discusión de Ramírez, C. A. y Hancelas, J. E., al artículo “Design of Concrete-Faced Rockfill Dams”, Detroit, 1985).

APORTES DE LA PRESA SALVAJINA

- El empleo satisfactorio de filtros protegiendo materiales de la fundación con erosión interna potencial (suelos residuales), da confianza en extender este tipo de presas a sitios con fundaciones de roca afectadas por meteorización intensa o con presencia de discontinuidades rellenas de materiales con potencial de erosión. (De J. Sherard en la Discusión al artículo “Design Features of Salvajina Dam” de Sierra, J. M., Ramírez C. A., y Hancelas, J. E, Detroit, 1985).

- El buen comportamiento de las medidas adoptadas para acoplar el plinto a condiciones difíciles de fundación (suelos residuales), consistentes en disminuir la rigidez del plinto mediante disminución del espesor, involucrar juntas de dilatación provistas con sellos y construir “cut-offs” con material asfáltico, sirvieron como precedentes para diseñar y construir CFRDs sobre aluviales densos, como fué reportado por Anguita P, et al, en el artículo “Two Chilean CFRDs Designed on Riverbed Alluviums, Beijing, 1993.



SANTA JUANA - 1994

ZONE	LAYER t, m
① GRAVEL < 6 - 12% MINUS NO. 200	0.4
② FILTER MINUS 4 cm	0.4
③ GRAVEL MINUS 7.5 cm	0.8
④ GRAVEL	0.8
⑤ GRAVEL AND ROCKFILL	1.2



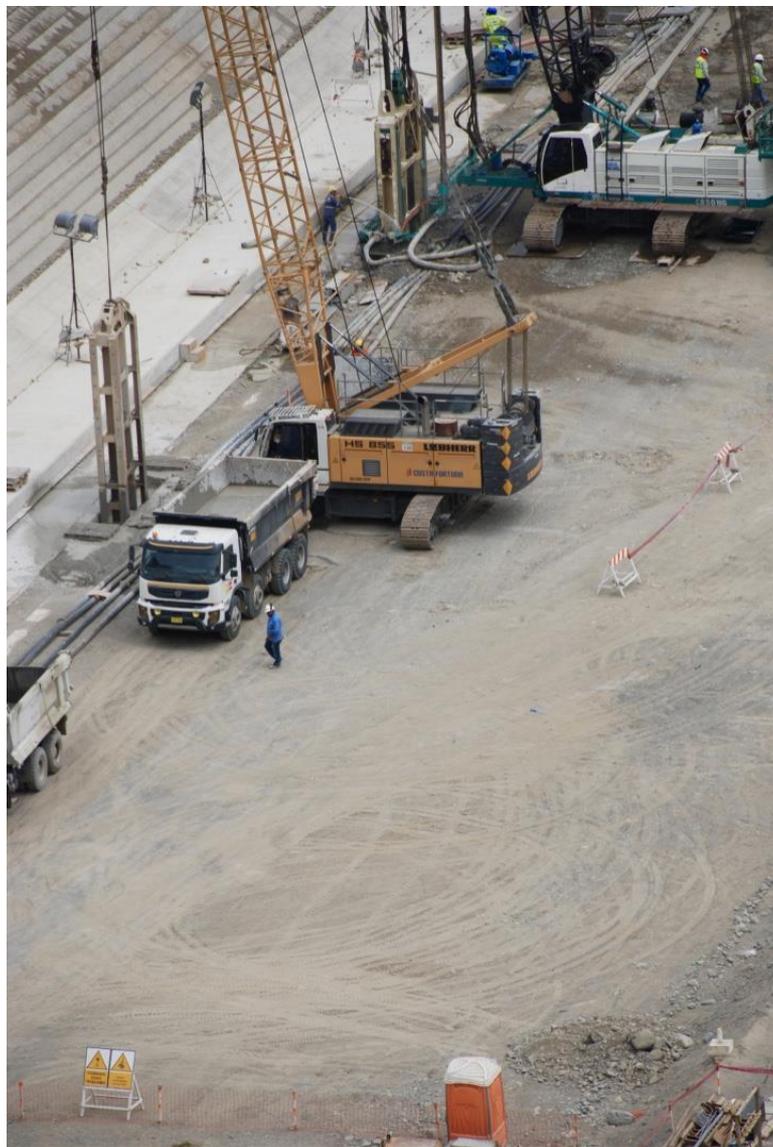
Presa Chavimochic, Perú – CFRD – Altura: 100 m – En Construcción



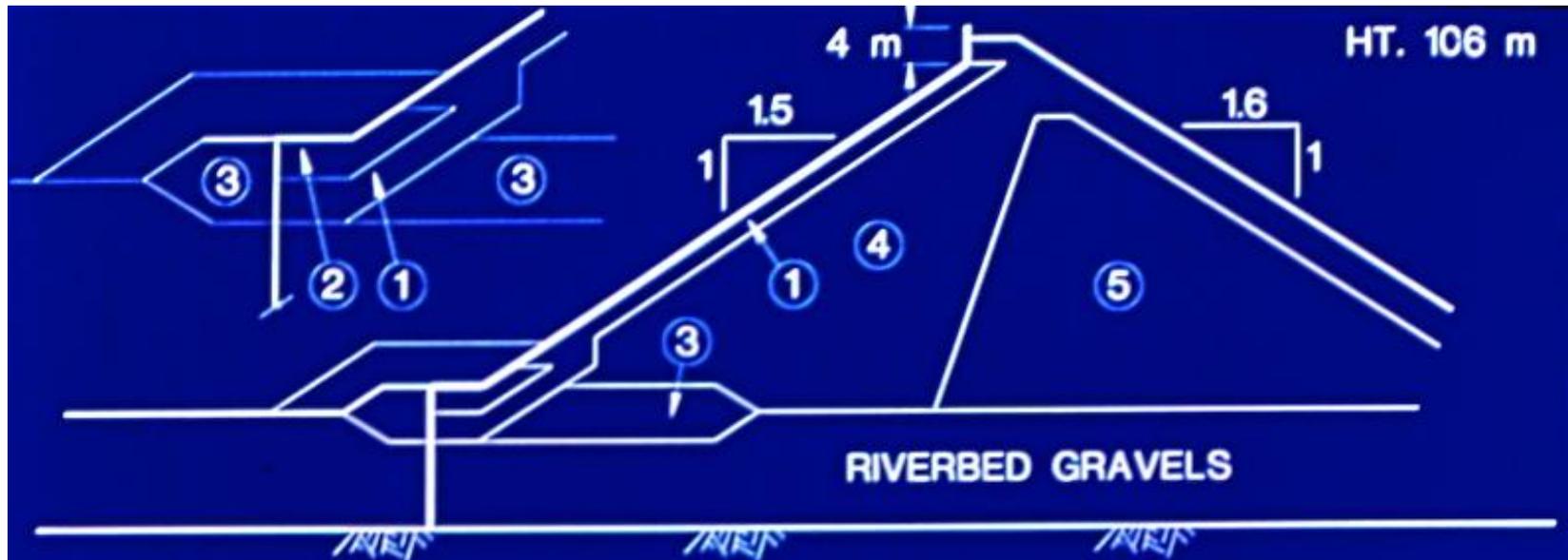
Presa Chavimochic, Perú – CFRD – Altura: 100 m – En Construcción



Presa Chavimochic, Perú – CFRD – Altura: 100 m – En Construcción



Presya Chavimochic, Perú – CFRD – Altura: 100 m – En Construcción



SANTA JUANA - 1994

ZONE	LAYER t, m
① GRAVEL < 6 - 12% MINUS NO. 200	0.4
② FILTER MINUS 4 cm	0.4
③ GRAVEL MINUS 7.5 cm	0.8
④ GRAVEL	0.8
⑤ GRAVEL AND ROCKFILL	1.2



Presas Aguamilpa , México – Altura: 187 m - 1987

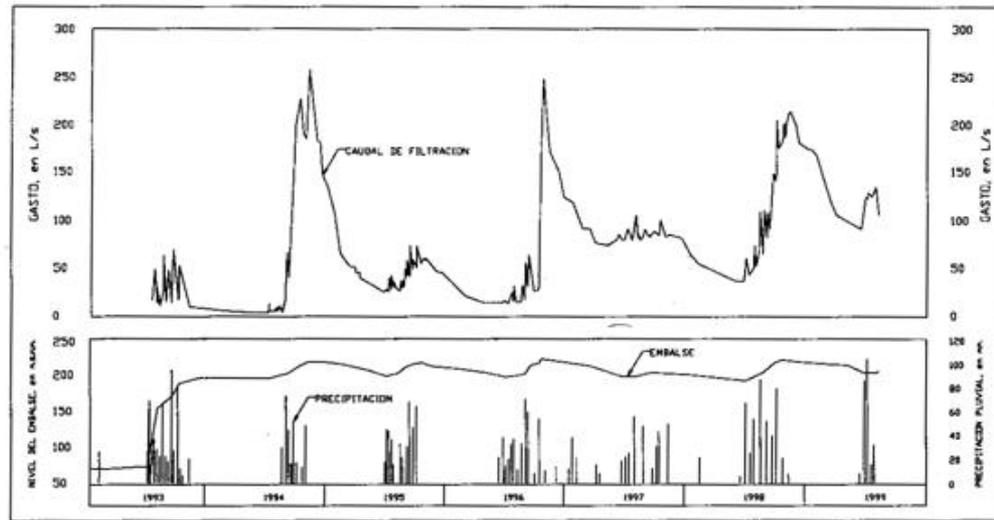


Figura 5. Gasto en la galería de drenaje al pie de la cortina.

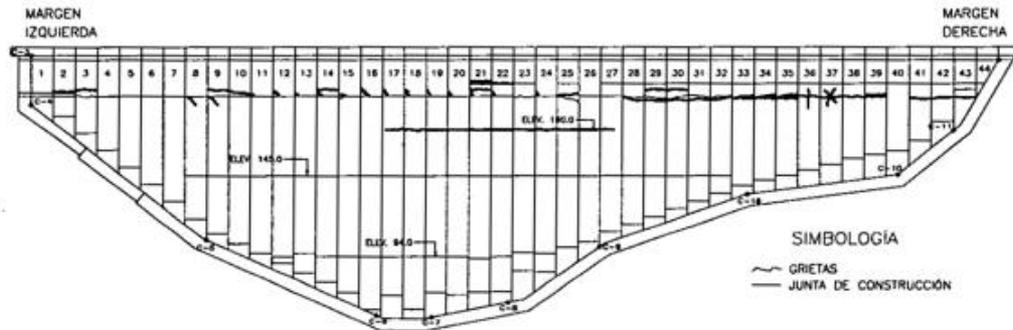


Figura 6. Localización de las grietas en la cara de concreto.

Presas Aguamilpa , México – Altura: 187 m - 1987



Presas Campos Novos , Brasil – Altura: 202 m



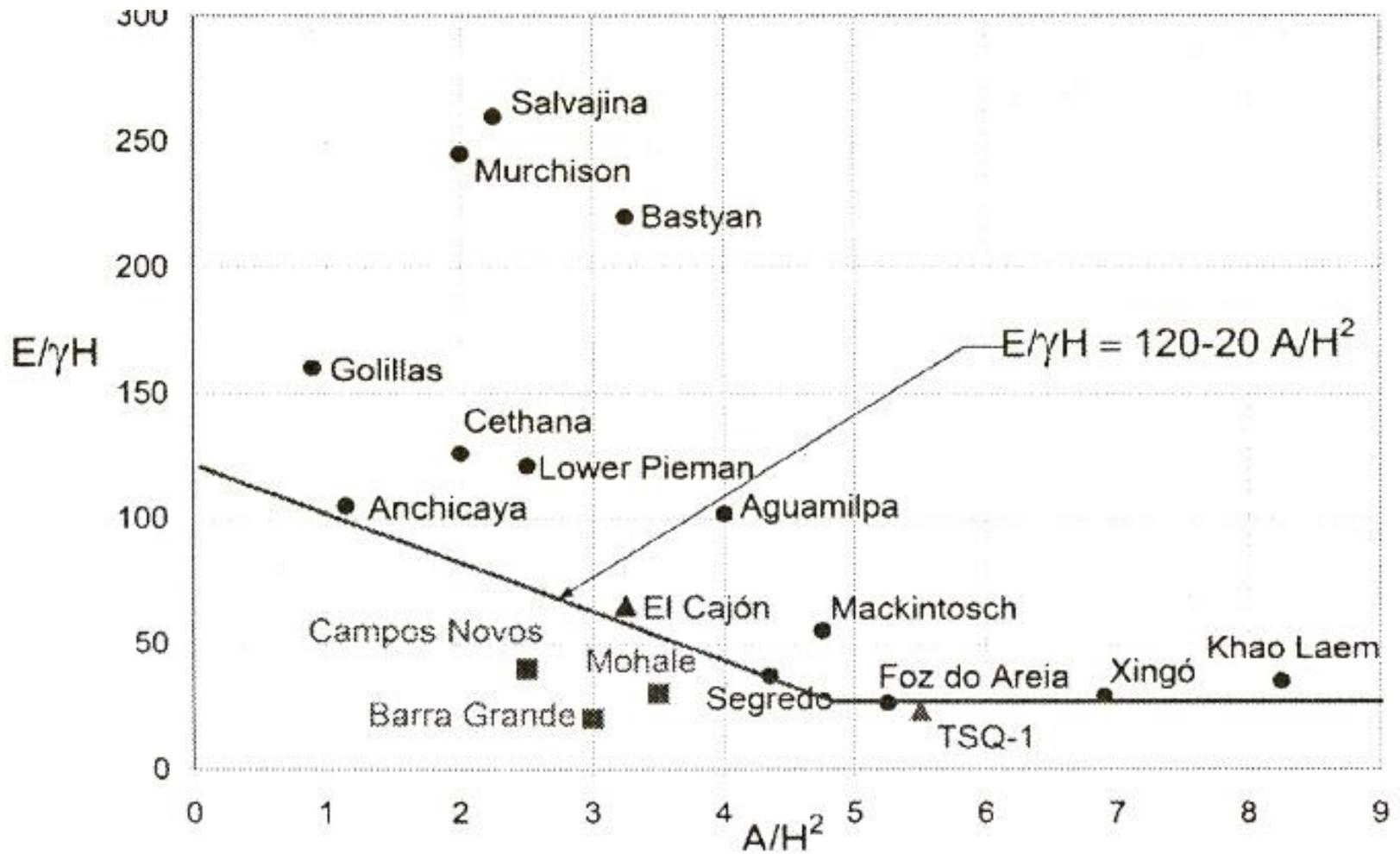
Presas Campos Novos , Brasil – Altura: 202 m



Presa Campos Novos , Brasil – Altura: 202 m

CARACTERÍSTICAS COMUNES EN CFRDs CON PROBLEMAS DE AGRIETAMIENTOS EN LA CARA POR COMPRESIÓN

- Presas altas
- Cañones estrechos
- Enrocados con bajos “módulos de deformación”
- Empleo de bordillos (comunes en las presas de RCC) como protección de la Zona de apoyo de la cara de concreto.

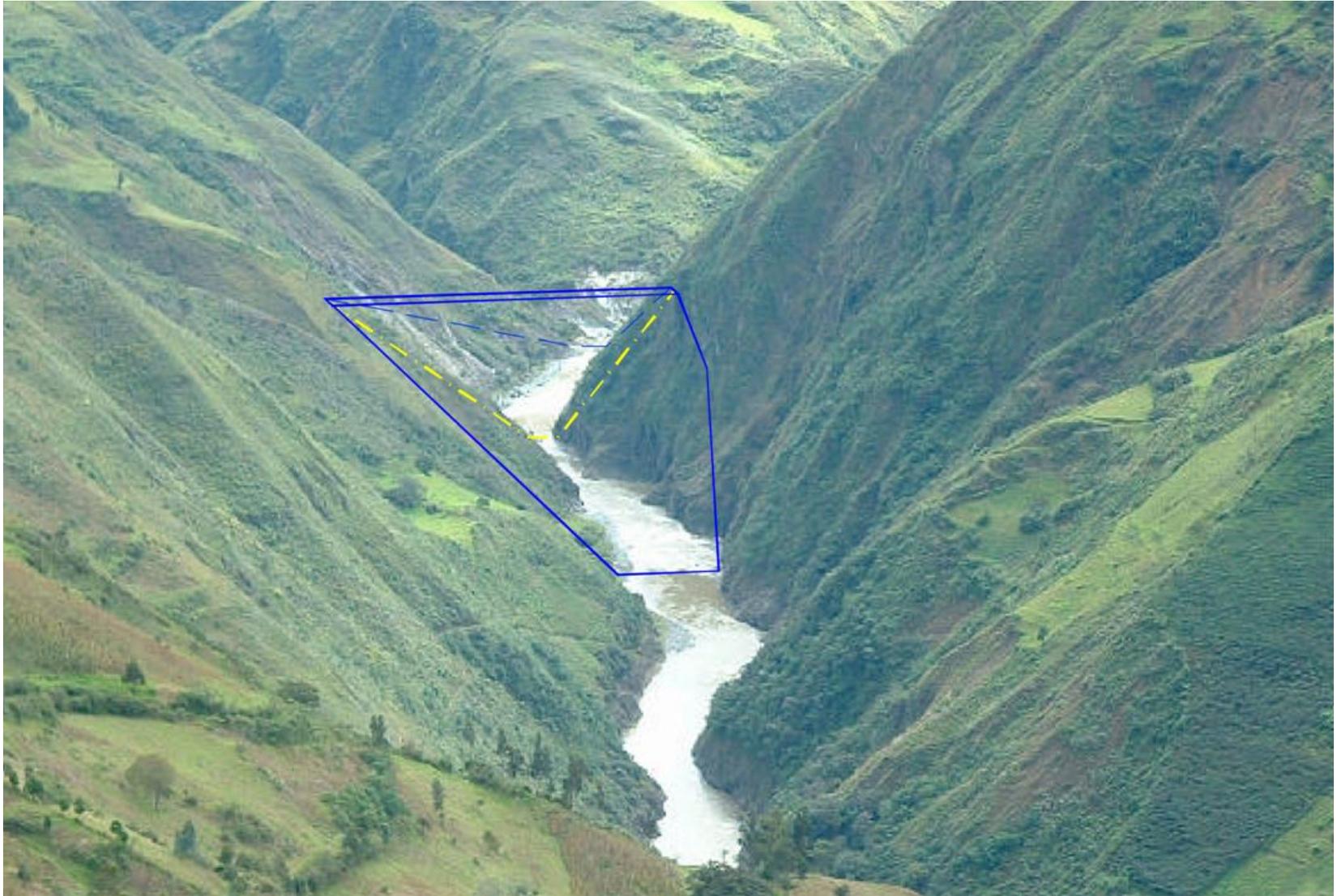


$E/\gamma H$ as a function of A/H^2

(Pinto, N. L. de S., "Very High CFRD Dams – Behavior and Design Features", Third Symposium on CFRD – Dams Honoring J. Barry Cooke, Florianópolis, 2007)

***EVOLUCIÓN DEL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE LAS CFRDs***

ETAPA III



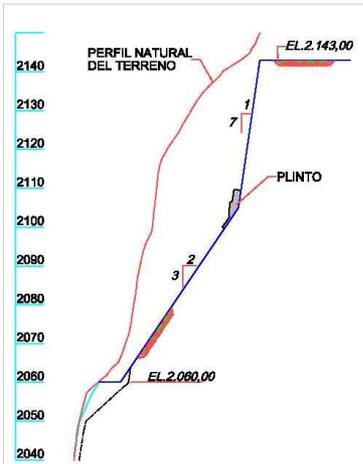
Presa Mazar, Ecuador – Altura: 166 m – Sitio de Presa



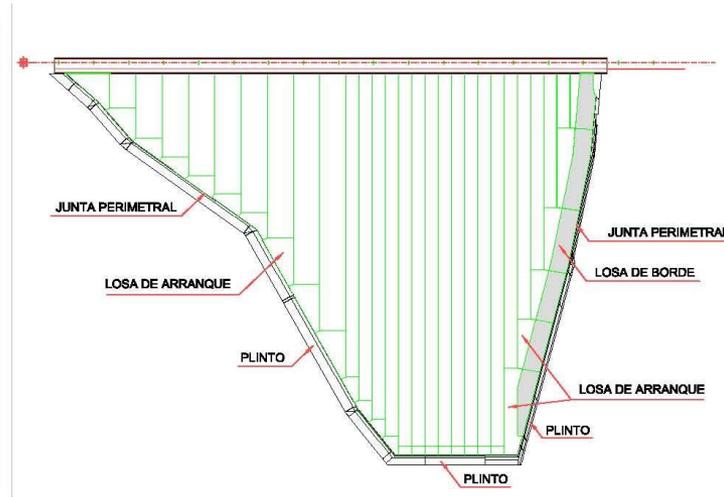
Presa Mazar, Ecuador – Altura: 166 m – 2005 a 2009

CRITERIOS DE DISEÑO DE MAZAR

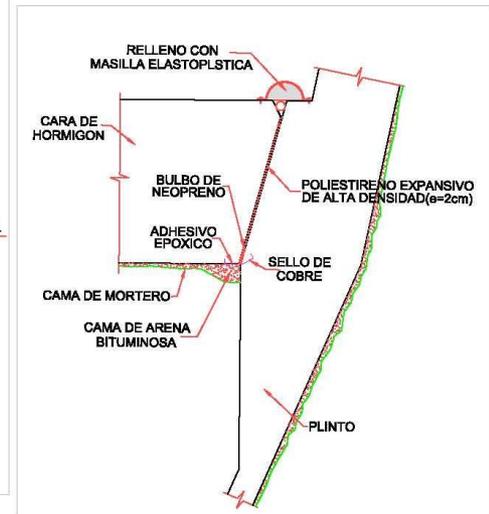
- Considerar el comportamiento de precedentes.
- Involucrar como herramienta de diseño modelos numéricos (Elementos Finitos) en 3D:
 - Se utilizó una metodología en que el comportamiento de los rellenos y la cara de concreto estaban desacoplados.
 - Después de varios análisis de sensibilidad, se adoptó para los diseños un modelo matemático calibrado para módulos de deformación de la Zona 3B de 90 Mpa y para la Zona 3C de 60 Mpa.



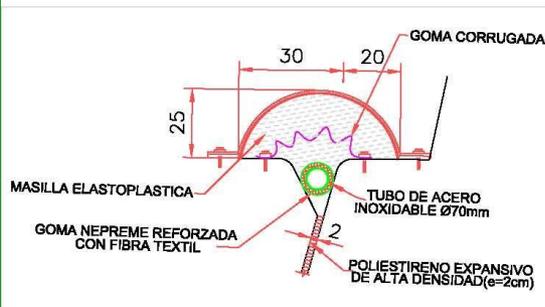
**EXCAVACION
PLINTO DERECHO**



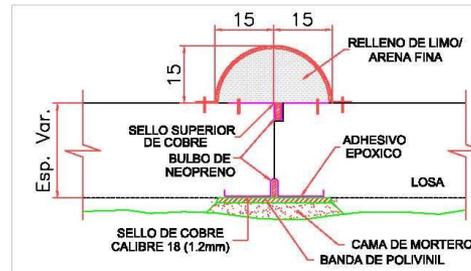
CARA DE HORMIGON - JUNTAS



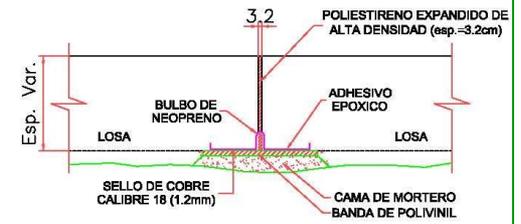
JUNTA DERECHA



**JUNTA PERIMETRAL
DERECHA**



JUNTA DE TENSION



JUNTA DE COMPRESION



Presas Mazar – Junta Perimetral : Sello de Cu y material autosellante



Presas Mazar – Junta Perimetral E. Fderecho: Sellos de caucho y material bituminoso

CONTROL DE CALIDAD Y AUSCULTACIÓN DE LOS ENROCADOS DE LA PRESA MAZAR

- Realización de Terraplenes de Prueba: Definir espesores de capa y energía de compactación.
- Realización, además de los ensayos de control de calidad comunes (densidades de campo, gradaciones, propiedades físicas) de ensayos de campo:
 - Ensayos de Placa
 - Ensayos de permeabilidad
- Instalar líneas de celdas de asentamiento (cajas Suecas) cada 18 m (lo común es cada 30 m).

OBJETIVO: Obtener datos tempranos de los “módulos de deformación” para realizar ajustes a los diseños con los análisis numéricos 3D, si es necesario.



Presa Mazar – Terraplén de Prueba



Presa Mazar – Terraplén de Prueba



Presas Mazar – Ensayo de Placa



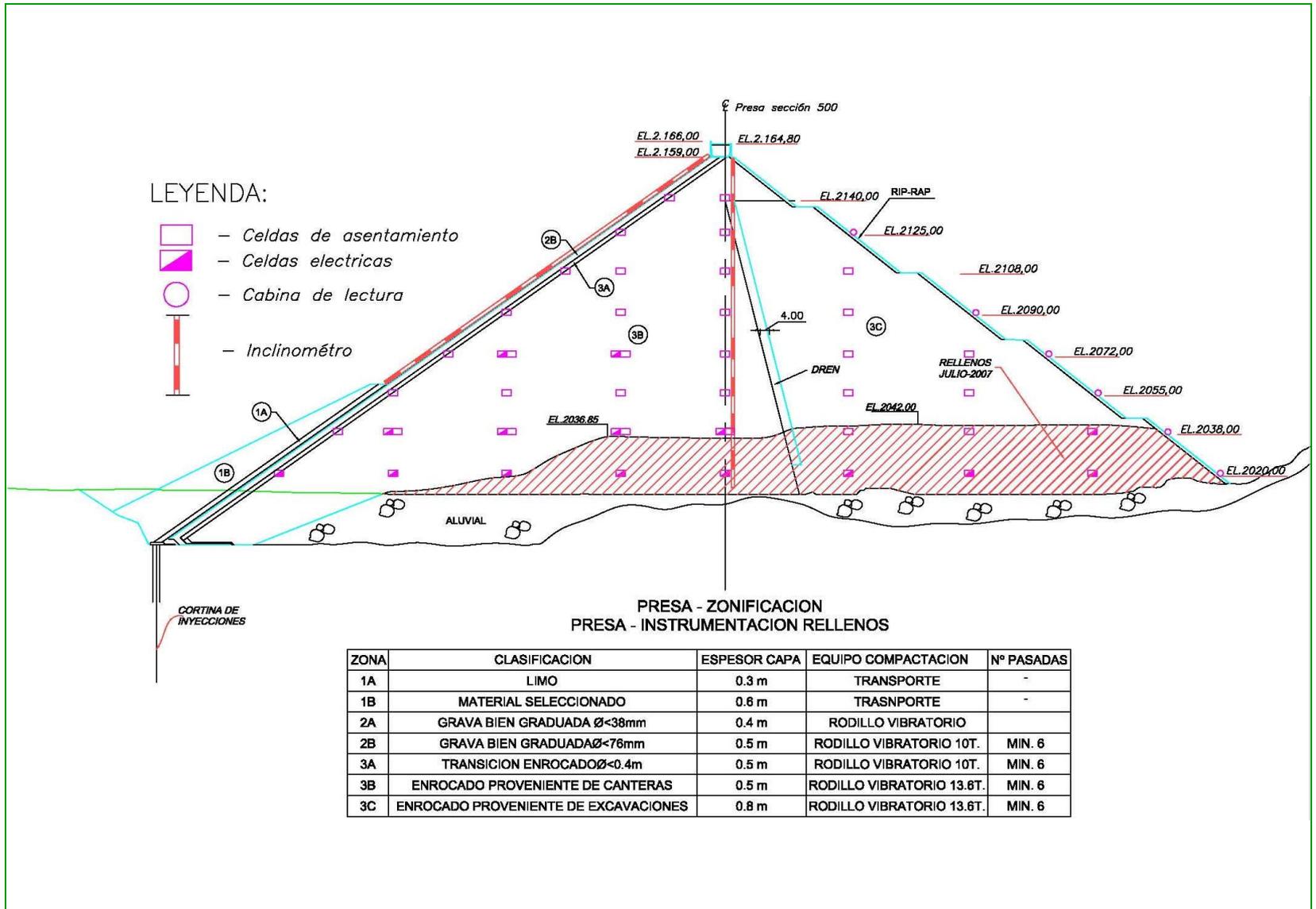
Presa Mazar – Ensayo de Placa



Presa Mazar – Colocación de Enrocados

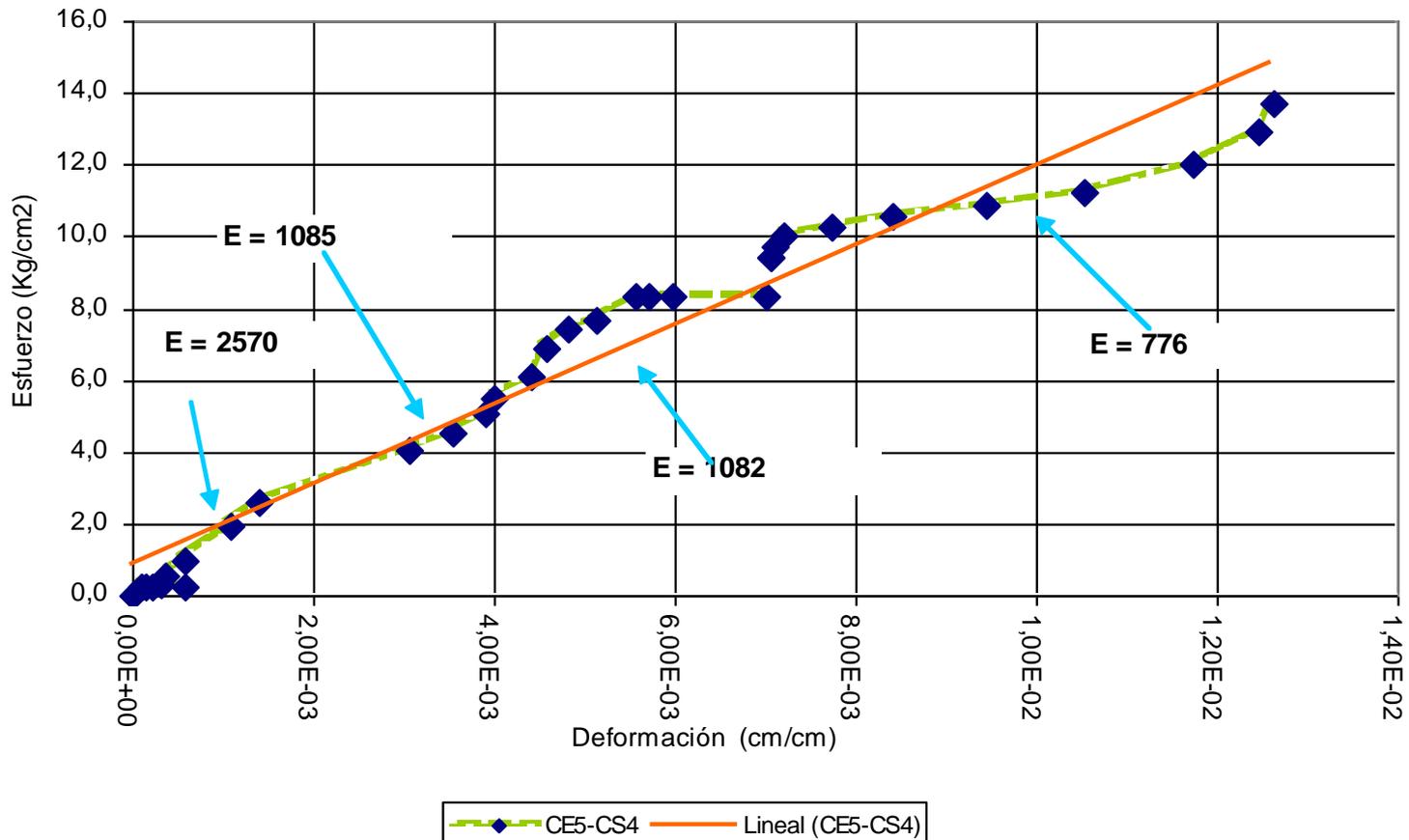


Presas Mazar – Explotación de Cantera de Enrocados



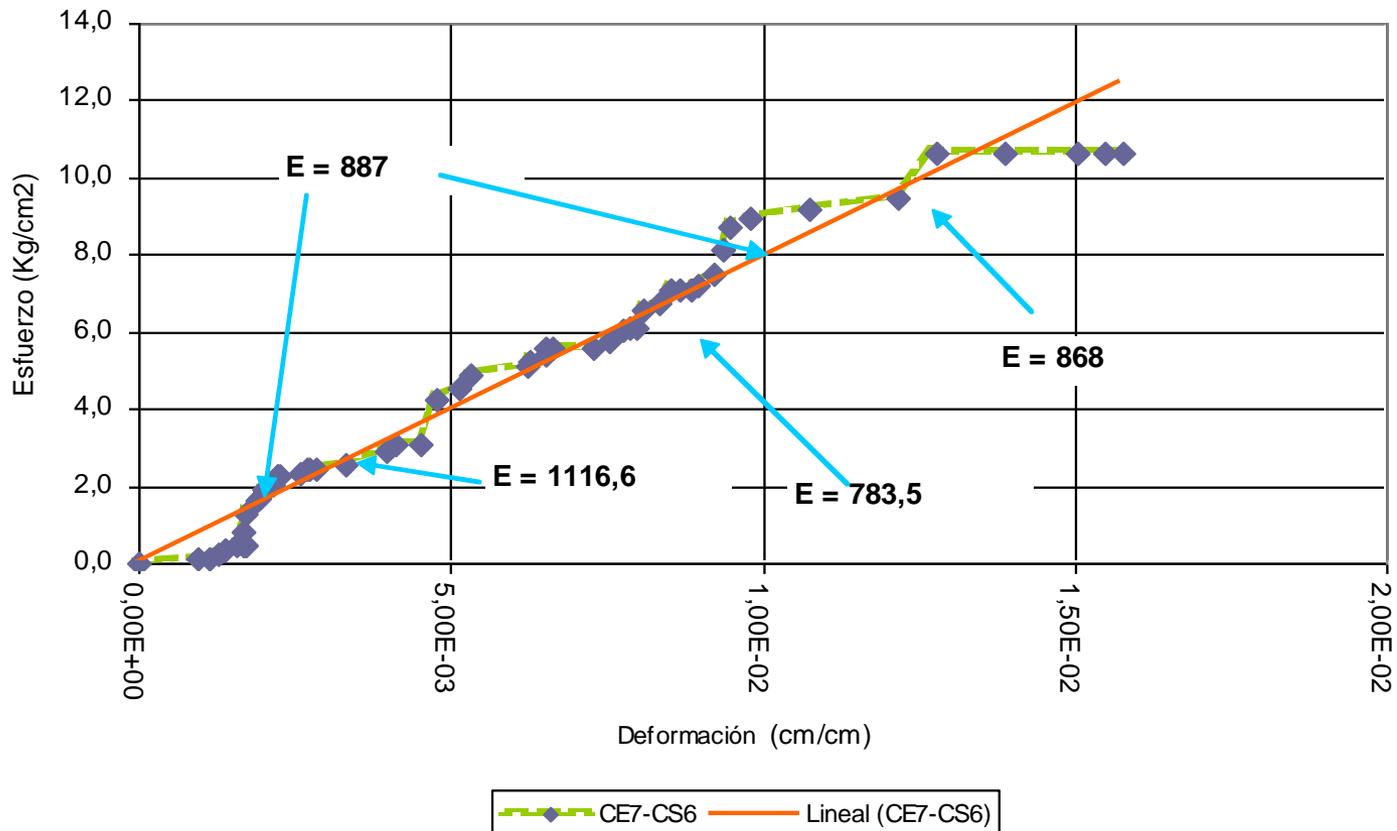
Presa Mazar – Sección Máxima - Instrumentación

Relación: Esfuerzo Vertical - Deformación Unitaria Vertical



Presa Mazar – Módulos de Deformación – Zona 3B

Relación: Esfuerzo Vertical - Deformación Unitaria Vertical



Presas Mazar – Módulos de Deformación – Zona 3C



Presa Mazar, Ecuador – Altura: 166 m – 2005 a 2009



Presa Mazar, Ecuador – Altura: 166 m – 2005 a 2009

PRESAS MODERNAS DE ENROCADO CON NÚCLEO



Presa La Esmeralda, Colombia - ECRD, Altura: 237 m

Presa Chicoasén (1980)





Presa Guavio, Colombia - ECRD, Altura: 243 m - 1989



Presa Ituango, Colombia - ECRD, Altura: 225 m – En Construcción

PRESAS RECIENTES DE ENROCADO CON CARA DE CONCRETO



Preso Sogamoso, Colombia - CFRD, Altura: 190 m



Presas Chaglla, Perú - CFRD, Altura: 200 m