



Universidad Nacional de Misiones

CÁTEDRA DE OBRAS HIDRÁULICAS (CI457)

Ing. José A. Serra

Obras Hidráulicas – Seguridad de Presas
Ing. José A. Serra

SEGURIDAD DE PRESAS INSTRUMENTACIÓN Y VIGILANCIA

Introducción:



Los **EMBALSES** constituyen una amenaza potencial a la vida y a la propiedad. La zona de inundación bajo riesgo en caso de una ruptura puede ser extensa y catastrófica si esta densamente poblada y de gran importancia económica.

FALLAS CATASTRÓFICAS DE GRANDES PRESAS MODERNAS

1) PRESA MALPASSET (FRANCIA 1959)

2) PRESA VAIONT (ITALIA 1963)

3) PRESA TETON (USA 1976)

4) PRESA MACCHU II (INDIA 1979)

Dichas fallas, en conjunto con numerosas fallas menores de presas antiguas o mas pequeñas, impulsaron la generación de estudios relacionados con la seguridad de presas y su vigilancia.

FALLAS CATASTRÓFICAS DE GRANDES PRESAS MODERNAS

<i>Presa (año del evento)</i>	<i>Tipo, altura (m) (año de finalización)</i>	<i>Evento</i>
Malpasset (1959)	Arco, 61 m (1954)	Falla de cimentación y fluencia del estribo; colapso total (421 muertos)
Embalse Vaiont (1963)	Arco, 262 m (1960)	Deslizamiento de roca ($200 \times 10^6 \text{ m}^3$) dentro del embalse; onda de salpicadura 110 m sobre el nivel de la cresta; presa intacta (2000 muertos).
Teton (1976)	De relleno, 93 m (en construcción)	Erosión interna debido al diseño pobre de la zanja del rastrillo; destrucción total (11 muertos, daños US \$500 $\times 10^6$).
Macchu II (1979)	De relleno y gravedad 26 m (1972)	Inundación catastrófica; mal funcionamiento de las compuertas; rebosamiento y lavado del relleno (una estimación de 2000 muertos).

FALLAS CATASTRÓFICAS DE GRANDES PRESAS MODERNAS

1) PRESA MALPASSET (FRANCIA 1959)

2) PRESA VAIONT (ITALIA 1963)

DOS SITUACIONES MUY DIFERENTES CON DOS PUNTOS EN COMÚN:

- AMBAS ESTÁN PROYECTADAS POR LOS INGENIEROS MÁS PRESTIGIOSOS Y COMPETENTES DE SUS RESPECTIVOS PAISES.
- EN NINGUNO DE LOS CASOS FALLA LA ESTRUCTURA EN SÍ.

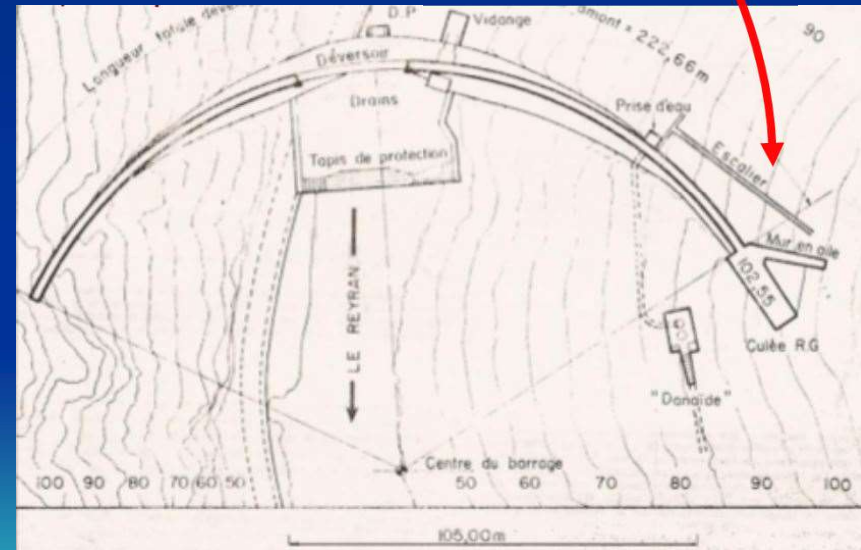
PRESA MALPASSET (1959)

1959, falla la cimentación de la presa bóveda de **Malpasset**, en Francia, **(421 muertos)**.

Río Reyran – $H = 60\text{m}$

$L = 190,50$ / Espesor = $(6,78 - 1,5\text{m})$

Capacidad = 50Hm^3



La presa se calculó como un emparrillado de cinco arcos horizontales y 11 ménsulas verticales.

PRESA MALPASSET (1959)

AÑO	DETALLE DE ACONTECIMIENTOS
1946	Estudio geológico incompleto por falta de fondos. Cimentación: gneis, roca metamórfica impermeable.
1952	Comienza la construcción.
1954	Final de la construcción.
1959	
Octubre	Se oyen ruidos de fracturas que no se identifican.
Noviembre	500mm de lluvia en 2 semanas / 130mm en las 24hs anteriores al colapso
02/12 18:00hs	Filtraciones en margen derecha. Nivel de agua 28cm sobre el labio del vertedero. El encargado pide abrir el mismo, se rechaza la petición por temor a daños en obras de la autopista A8.
02/12 21:13hs	Se abren los desagües a 40m ³ /s, caudal insuficiente.
02/12 21:33hs	Se rompe la presa. Ola inicial de 40m de altura y 72km/h de velocidad. Se destruyen los pueblos de Malpasset y Bozon. Llega a Fréjus con una altura de 4m y sigue su camino hacia el mar.

PRESA MALPASSET (1959)



ESTRUCTURA	ESTUDIOS DE LA COMISIÓN
PRESA	<p>El proyecto fue sometido a riguroso examen tras la rotura, se comprobó que la presa había sido construida con buen hormigón, los ensayos demostraron que el hormigón tenía resistencia de compresión entre 330-530kg/cm² y E=210.000 a 300.000kg/cm², se calcularon tracciones y compresiones máximas y mínimas en el hormigón, por el empuje hidrostático con las diferentes combinaciones obtenidas del hormigón y la roca y se llegaron a tracciones y compresiones máximas de +10kg/cm² y -60kg/cm² respectivamente, en conclusión, la comisión investigadora dio por válidas las cifras y se aceptó que la estructura estaba correctamente proyectada, el Ing. A. Coyne quedaba limpio de culpa.</p>
ESTRIBO IZQUIERDO	<p>La investigación se centró en el contacto del estribo izquierdo-roca, que había desaparecido por completo, salvo un arranque en coronación, la comisión encontró que había una tensión cortante de 9kg/cm² y una compresión de 6kg/cm², esto implicaba un ángulo de fricción elevado que se calculó en 55°, en ausencia de cohesión, además se estimaba una cohesión del contacto hormigón-roca de 36kg/cm², la comisión no parecía pues que el estribo hubiera sido la causa del accidente.</p>

ESTRUCTURA

ESTUDIOS DE LA COMISIÓN

GEOLOGÍA DE CIMENTACIÓN

El estudio se encaminó entonces hacia la tercera posible causa, que era la cimentación, supieron entonces, que:

Los trabajos de hidrología y geología habían sido insuficientes por falta de fondos.

Se habían limitado a cotas superficiales.

Se admitía que la cimentación era impermeable.

Se asumía la elasticidad de la roca.

La única acción realizada durante la ejecución de la presa había sido su tratamiento para la cohesión y asegurar el contacto del hormigón-roca.

Los valores de los módulos de deformación eran mas bajos de los previstos en esa roca, del orden de 3.200 a 18.000 kg/cm² (aunque esto no afectaba a la estabilidad del conjunto).

La roca sobre la que se asentaba era un gneiss del carbonífero que estaba muy fisurado.

La rotura se asemejaba a una cuña.

Aguas abajo de la presa encontraron una falla.

ESTRUCTURA

ESTUDIOS DE LA COMISIÓN

GEOLOGÍA DE CIMENTACIÓN

La presa, al entrar en carga, repartía los esfuerzos de la estructura entre los estribos y el contacto de presa-cimiento, pero había un problema sobre el estribo izquierdo, su elevado ángulo de buzamiento de 55° (ángulo de inclinación sobre el plano geológico) y la impermeabilidad del macizo.

Conforme el nivel de agua aumentaba, mientras en el estribo derecho las tensiones y la red de filtración eran las esperables, **en el estribo izquierdo se creaba una zona impermeable.**

Esto originó una concentración de presiones sobre el gneiss que trastocaba la red de filtración y hacía que toda la presión hidrostática actuase sobre el plano aguas arriba de la presa que era impermeable.

A esto se le añadió la desfavorable estratificación del macizo inclinado a 55° .

Se originó una zona diédrica en forma de trapezoide entre este paramento y la falla aguas abajo y se crea una nueva red bajo la presa.

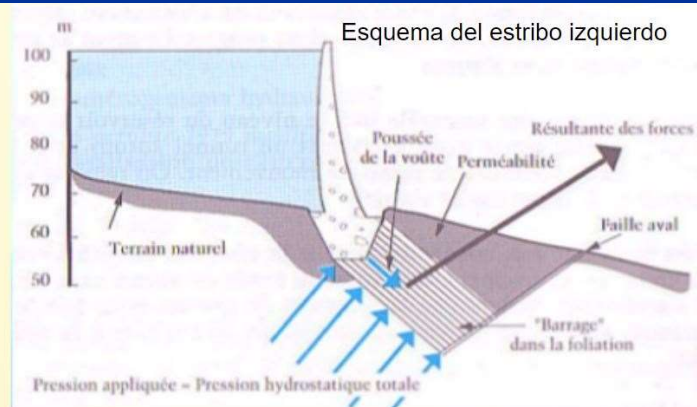
ESTRUCTURA

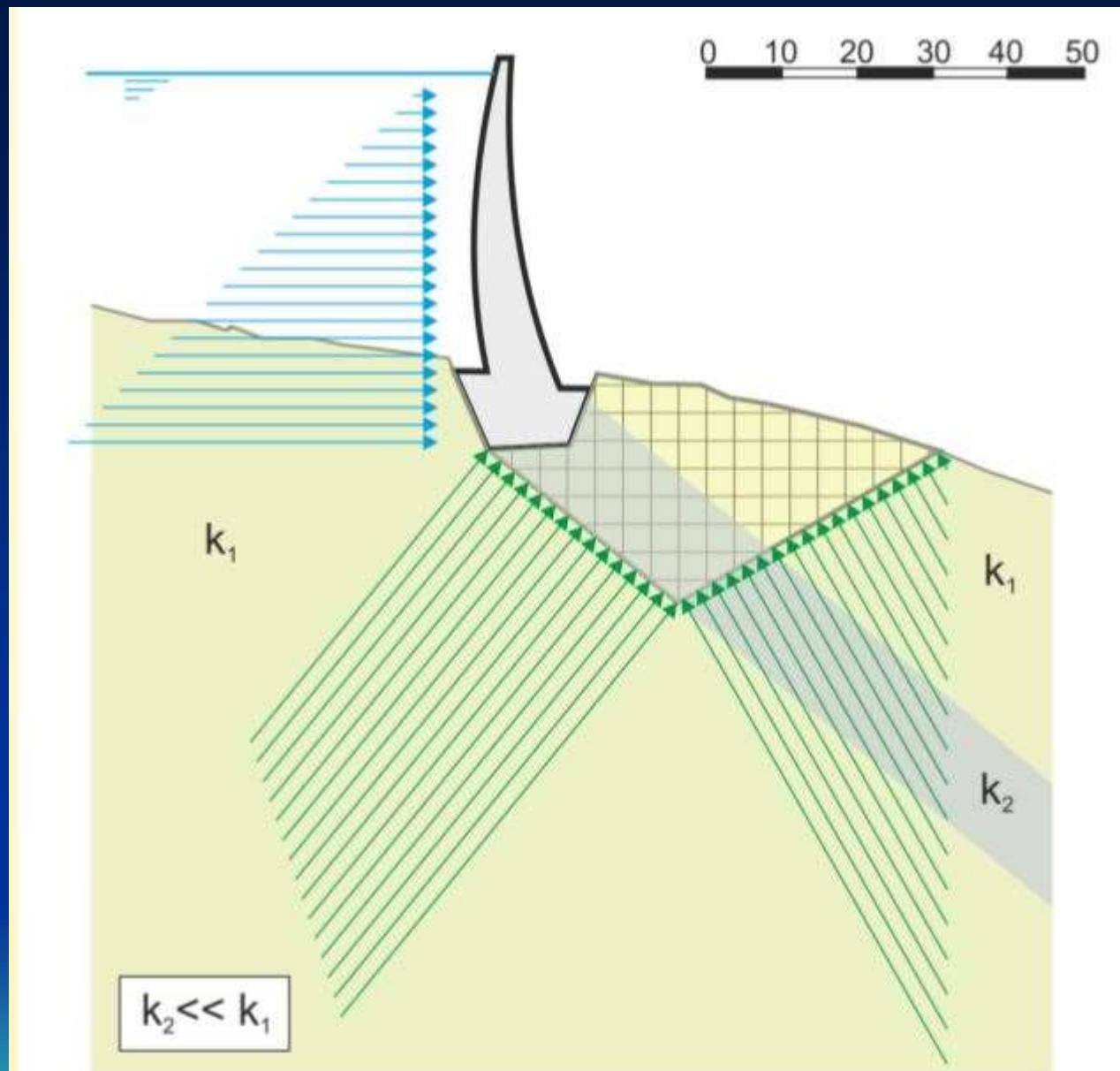
ESTUDIOS DE LA COMISIÓN

GEOLOGÍA DE CIMENTACIÓN

Cuando la presión hidrostática alcanzó el máximo permitido por este sistema inestable, ayudado por la falla cuya orientación también era desfavorable, se deslizó, de manera brusca, la presa perdió de repente todo el soporte izquierdo de manera inmediata y esto condujo a una rotura violenta y total de la estructura.

En cuanto a las grietas, la comisión determinó, que respondían a un efecto de tracción sobre el estribo derecho, plenamente asentado, conforme el izquierdo perdía contacto con la roca y la bóveda tendía a ajustarse a las nuevas condiciones así que por lo que por un lado había una compresión, por el otro había una tracción.





<https://www.meneame.net/m/cultura/desastre-siglo-francia-rotura-presa-malpasset>

PRESA VAJONT (1963)

1963, falla por deslizamiento en el embalse, en Italia, **(2000 muertos)**.
Río Vajont –
H = 264,60m
L = 190,50 / Espesor = (27,0 – 3,4m)
Capacidad = 168,7Hm³



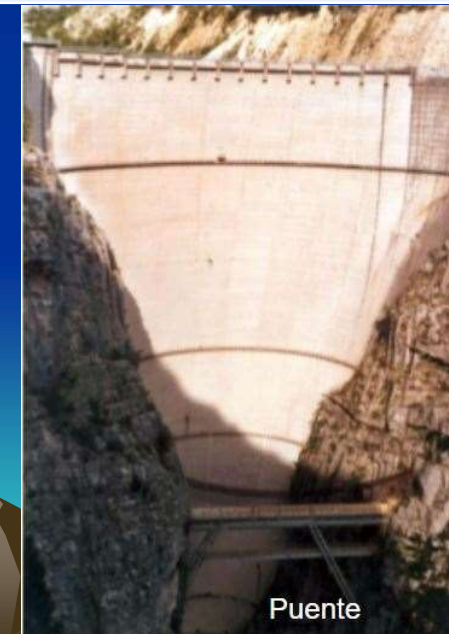
MONTE TOC (LADERAS)

PRESA VAJONT (1963)

AÑO	DETALLE DE ACONTECIMIENTOS
1960 – Febrero	Se inicia el primer llenado.
1960 – Marzo	Primer Aviso: deslizamiento en el embalse.
1960 – Septiembre	Terminación de la presa.
1960 – Octubre	Segundo Aviso: Movimientos en el Monte Toc 3-4cm/día.
1960 – Noviembre	Tercer Aviso: GRAN DESLIZAMIENTO Monte Toc 700.000m ³ en 10min. Cota 650, se para el llenado.
1961 – Feb. a Oct.	Se construye un túnel en margen derecha de 2km de longitud y D5m para vaciado rápido. Embalse a cotas 585-600.
1961 – Octubre	Comienza el segundo llenado. Movimiento de la ladera de 1,2cm/día.
1962 – Noviembre	Finaliza el segundo llenado. Mov. Máximo 30cm, no se han apreciado deslizamientos. Se inaugura la presa.
1963 – Abril	Comienza el tercer llenado.

PRESA VAJONT (1963)

AÑO	DETALLE DE ACONTECIMIENTOS
1963 – Septiembre	Se paraliza el llenado a la cota 710, antes de alcanzar la prevista de 715 por los movimientos en la ladera. (1 a 3,5cm/día).
1963 – 9 de Oct. (22:39hs)	Cota 700,40. Velocidad de la ladera por la mañana 20cm/día. GRAN DESLIZAMIENTO de $270 \times 10^6 \text{ m}^3$ que origina una ola que se eleva hasta cota 935 (235m por encima de la cota del embalse) y pasa 100m por encima de la cota de coronación. El pueblo de Casso (a cota 928m) frente a la zona deslizada y 200m por encima del nivel del embalse fue anegado por 15m de agua. El pueblo de Longarone fue arrasado.





Longarone antes y después de la desgracia.



Le foto della frana del Vajont
© R flash 2004
Foto: Edoardo Semenzia

Catástrofe de Vajont-Longarone.





<https://www.youtube.com/watch?v=goR6XaXt26w>

Le foto della frana del Vajont
© A. Baski 2004
Foto: Edoardo Semenza

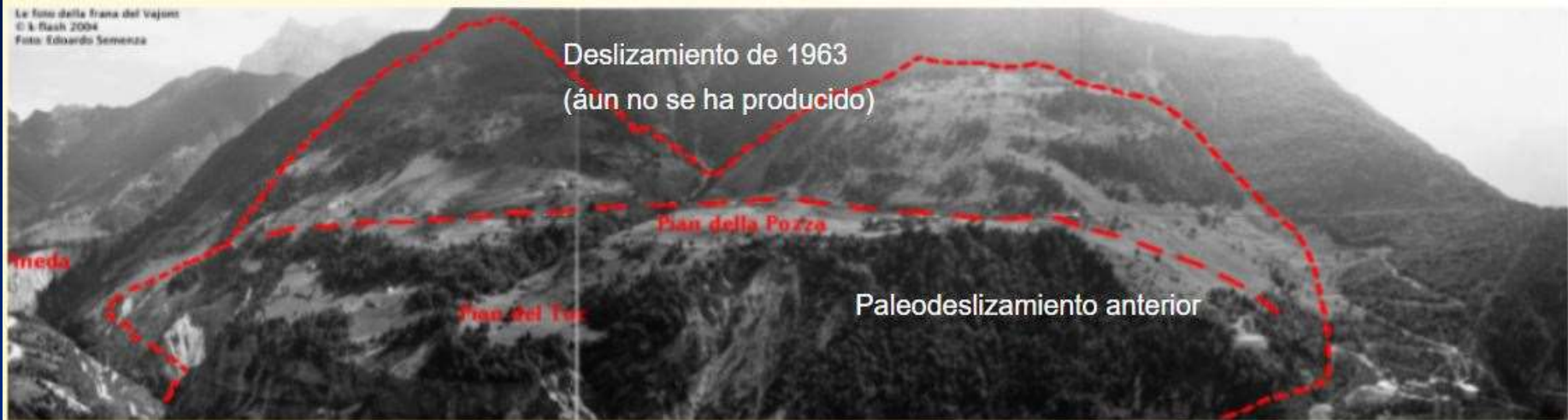
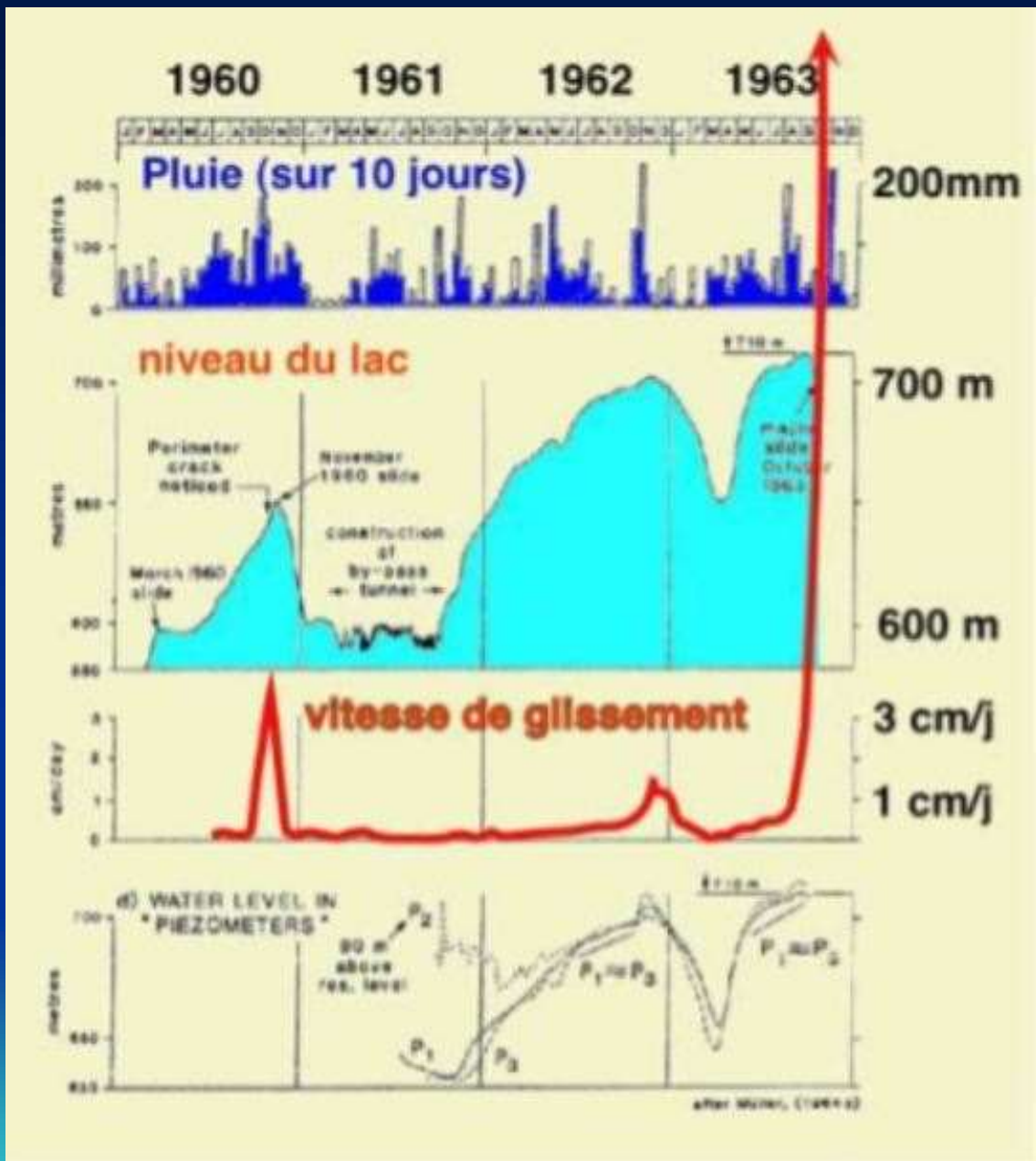


Foto Eduardo Semenza, geólogo jr. Hijo de Carlo Semenza

Octubre 1963





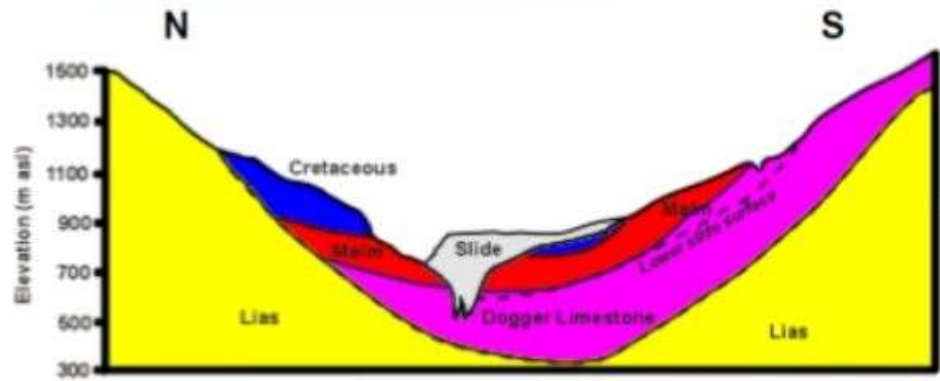
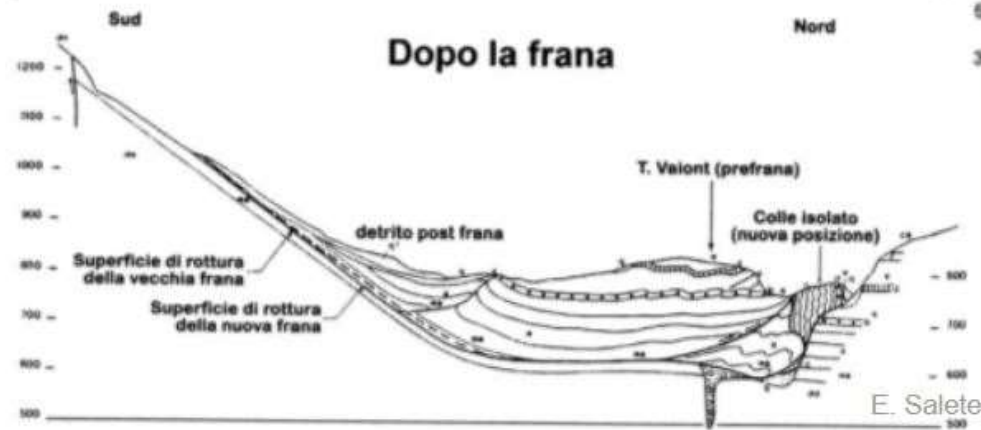
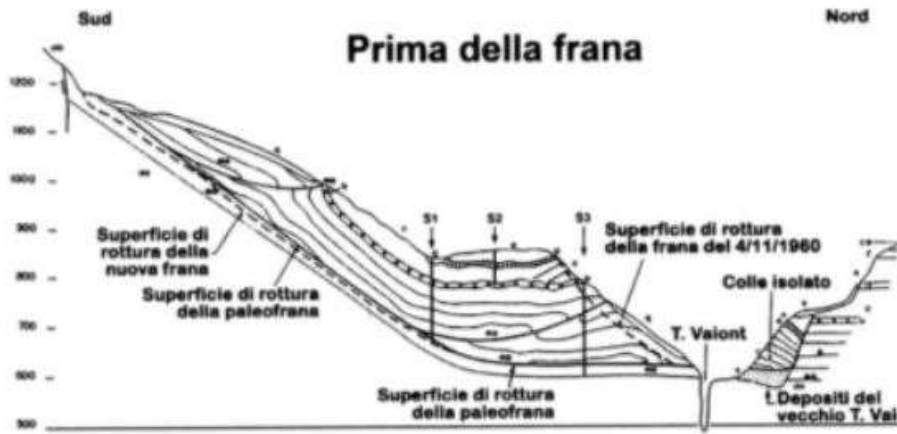
Aguas abajo: valle del Piave
 Ayto. de Longarone (Longarone, Villanova, Pirago y Faè), 1458 muertos.
 Ayto de Castellvazzo, 111 muertos

Aguas arriba:
 Ayto. de Erto-Casso (Estos-Casso, Frasègn, Le Spesse, Cristo, Ceva, Pineda, Marzana, S. Martino y Prada), 158 muertos.

Trabajadores de la presa:
 62 muertos.

Otros:
 183 muertos





Corte geológico N-S
David Petley (1991)

Eduardo Semenza y
Danielle Rossi (1965)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

Definición de “Falla”

Para caracterizar un incidente en una presa como una falla, el ICOLD ha adoptado la siguiente definición.

Una falla es un incidente catastrófico caracterizado por:

- una liberación incontrolada de agua embalsada;
- y/o por una pérdida total de la integridad de la estructura de la presa, su fundación o estribos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

Failure cases year	Before 1993	1993 - 2018	Total
LFDI, DDAR, B99 (*)	202	0	202
Other institutional sources	7	34	41
New cases from survey	58	21	79
Total	267	55	322

(*) LFDI: Lessons from Dams Incidents – DDAR: Deterioration of dams and reservoirs - B99: Bulletin 99

Table 1-1 : Failure cases number synthesis

ANTES DE 1993 → $267 / 322 = 83\%$

DESPUES DE 1993 HASTA 2018 → $55 / 322 = 17\%$

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

2. Failed dams <-> Geographical repartition

To assess the representativeness of the failures' data, the repartition of failed dams by continent has been analysed by comparison with existing large dams as reported in the WRD. The following table gives the main values:

	Existing dams	Failed dams	ratio
ASIA	35176	67	0,19%
NORTH AMERICA	11118	130	1,17%
EUROPE	7713	61	0,79%
AFRICA	2330	30	1,29%
SOUTH AMERICA	1887	22	1,17%
AUSTRAL-ASIA	824	12	1,46%
CENTRAL AMERICA	23	0	0,00%
TOTAL	59071	322	0,55%

Table 2-1: Ratio of failed versus existing dams by continent

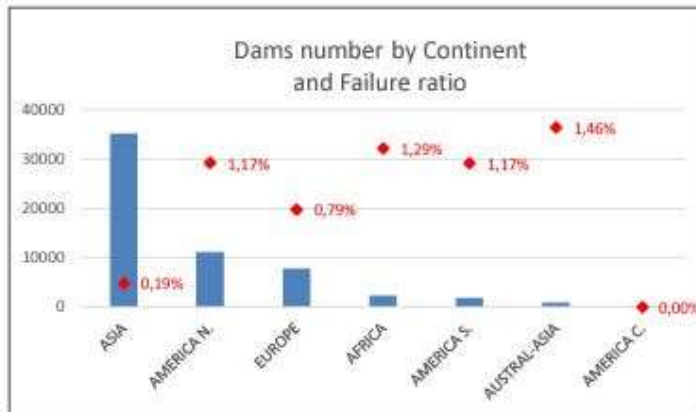


Figure 2-1: Number of large dams by continent and failure ratio

SUDAMERICA:

1.887
PRESAS

22
FALLAS

1,17
% FALLAS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

The Table 2-1 is then modified as follow:

	Existing dams	Failed dams	Ratio
ASIA	11335	56	0,49%
NORTH AMERICA	11118	130	1,17%
EUROPE	7713	61	0,79%
AFRICA	2330	30	1,29%
SOUTH AMERICA	1887	22	1,17%
AUSTRAL-ASIA	824	12	1,46%
CENTRAL AMERICA	23	0	0,00%
TOTAL	35230	311	0,88%

Table 2-2: Modified ratio of failures versus existing dams by continent

Para asegurar la solidez del análisis estadístico realizado en este boletín, se han excluido algunos datos de Asia en el análisis siguiente, tanto para presas existentes como para presas fallidas. Por lo tanto, el número total de presas existentes y fallidas considerado en el boletín es de 35,230 y 311 respectivamente, y no de 59,071 y 322 como se indica en la Tabla 2-1 anterior.

MUNDO:

35.230 PRESAS
311 FALLAS
0,88% FALLAS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

3. Failures <-> Time

Registered dam failures during 25-year time periods are shown below. The tendency is clearly a decrease in failure ratio with time. The table and the figure below summarize these data, compared to the cumulative number of existing dams to obtain the evolution of failure rate:

Time period	≤1900	1901-1925	1926-1950	1951-1975	1976-2000	>2000
Cumulative number of existing dams	1588	3808	7375	19724	30829	33470
Failed dams	35	54	41	77	63	40
ratio	2.20%	1.42%	0.56%	0.39%	0.20%	0.12%

Table 3-1 : Dam failures by time periods and ratio with existing dams

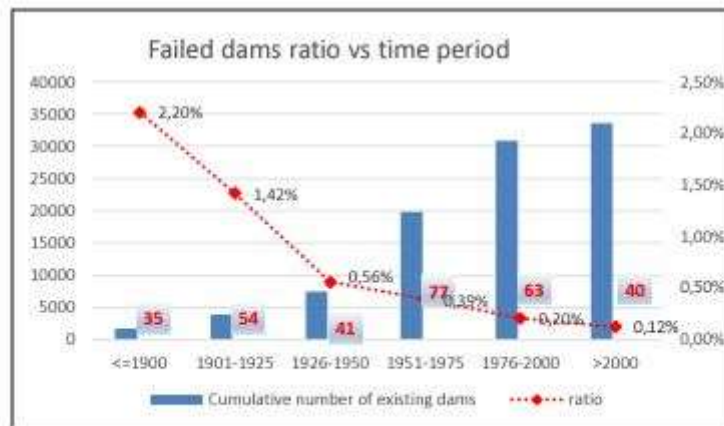
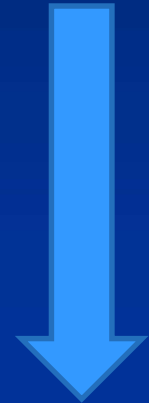


Figure 3-1 : Dam failures by time periods and ratio with existing dams

La tendencia es claramente una disminución en la proporción de fallas con el tiempo.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

4. Failures <-> Year of construction.

One of the most interesting lessons learnt from failure of dams is to check that continuous progresses are made along time: lessons from failures have been considered in dam design and operation of existing dams. The table below summarizes these data, comparing the number of dams built during a period of time to the number of these dams that have failed to date.

Year of construction	≤1900	1901-1925	1926-1950	1951-1975	1976-2000	>2000
number of dams built	1588	2220	3567	12349	11105	2641
Failed dams	67	73	41	73	32	10
ratio	4.22%	3.29%	1.15%	0.59%	0.29%	0.38%

Table 4-1 : Failures of dams versus their year of construction

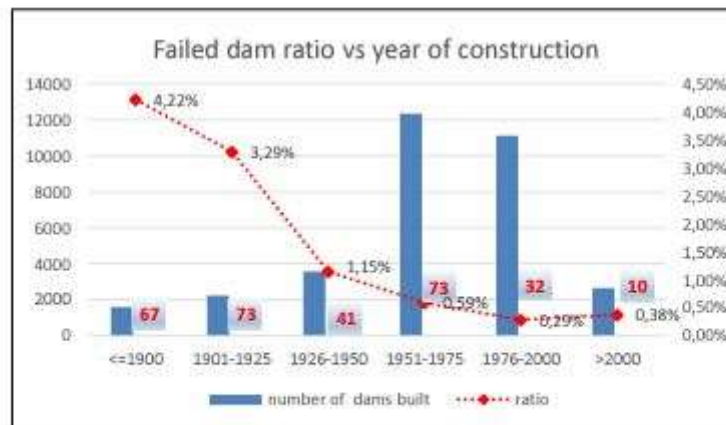


Figure 4-1: Failures of dams versus their year of construction

Compara el número de presas construidas durante un período de tiempo con el número de estas presas que han fallado hasta la fecha.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

5. Failures <-> Dam age

The time span between the year of construction and the failure year (i.e. the dam age at failure) is an important factor. An analysis has been made comparing the dams which have failed before 5 years of operation (i.e. during construction, first impounding or during the first 5 years of operation) to the total number of failed dams during the same time period. This is reported in the following table:

Year of construction	<=1900	1901-1925	1926-1950	1951-1975	1976-2000	>2000
Ratio of failures during first 5 years of operation vs total	30%	51%	46%	59%	59%	100%

Table 5-1 : Ratio of failures occurring during the first 5 years versus total number of failures

Se analiza el intervalo de tiempo entre el año de construcción y el año de la falla (es decir, la edad de la presa al momento de la falla) es un factor importante. Se ha realizado un análisis comparando las **presas que han fallado antes de los 5 años de operación** (es decir, durante la construcción, el primer embalsado o durante los primeros 5 años de operación) con el número total de presas fallidas durante el mismo período de tiempo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

6. Failures <-> Dam height

This analysis is easier when considering height range instead of absolute height values. The table below gives the height range definition and the number of existing and failed dams:

Height range	Existing dams	Failed dams	Ratio
< 15 m	6984	45	0.64%
15 - 30 m	18831	188	1.00%
30 - 50 m	5570	52	0.93%
50 -75 m	2218	22	0.99%
75 - 100 m	866	3	0.35%
> 100 m	761	1(*)	0.13%
Total	35230	311	0.88%

* Vajont Table 6-1 : Failures versus dams' height

El valor para presas inferiores a 15 m es significativamente más bajo. Una posible explicación podría ser que las fallas de estas presas más pequeñas no se reportan tan bien como las de las presas más altas. Las lecciones más interesantes de esta figura se refieren a las presas de más de 75 m: con una proporción del 0,35% (solo se han reportado 3 fallas: Hwachon, Fort Peck y Teton), **parece indicar que las presas altas son menos propensas a fallar, probablemente porque han sido bien diseñadas, construidas y operadas.** **Para las presas de más de 100 m, solo se incluye una presa en las estadísticas. Pero este caso es la presa Vajont, que no falló ni perdió su integridad estructural.**

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

7. Failures <-> Dam type

Analysing the influence of the dam type on the failure ratio is simple if only one dam type is specified. For composite dams the choice has been to keep only the first type indicated in the WRD and in the dam failure database; it means for example that a PG/TE (Gravity/Earthfill) dam will be considered as a gravity dam.

Dam type	Existing dams	failed	ratio
VA - Arch	890	6	0.67%
CB - Buttress	340	8	2.35%
MV - Multi Arch	105	4	3.81%
PG - Gravity	5571	46	0.83%
ER - Rockfill	2378	33	1.39%
TE - Earthfill	21977	209	0.95%
BM - Barrage	224	0	0.00%
XX - Unknown	715	5	0.70%

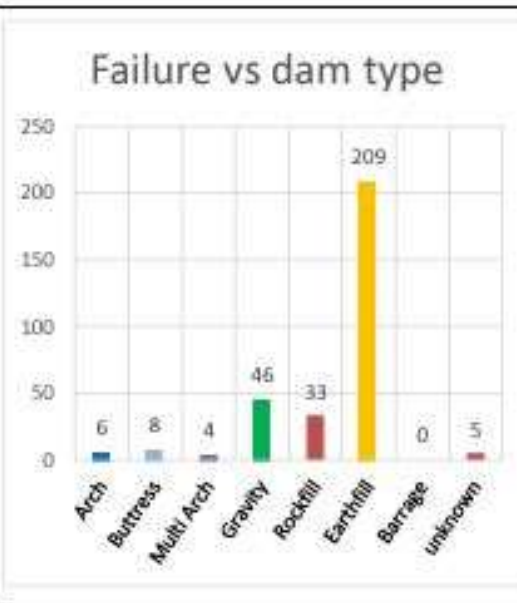


Table 7-1 : Failure versus dam type

Fallas dentro del total:

TE (Relleno Terreo)
 $209 / 311 = 67\%$

Fallas por tipo de presa:

MV (Multi-Arco)

CB (Contrafuerte)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

Estas estadísticas indican que las presas con un volumen de embalse entre 10 y 100 hm³ tienen una tasa de fallas más alta que las más pequeñas o más grandes.

Pero esto puede indicar probablemente una falta de reportes sobre fallas en presas con embalses más pequeños.

8. Failures <-> Reservoir volume

The number of failed dams according to their reservoir volume ranges is shown in the Figure 8-1 below.



Figure 8-1 : Failures versus reservoir volume

The Table 8-1 and the Figure 8-2 give the number of failures by reservoir volume range and the failure ratio versus the number of existing reservoirs of the same volume range :

Reservoir volume range (hm ³)	Existing dams	Failures	Ratio
0-1	9474	52	0,55%
1-5	9980	50	0,50%
5-10	3527	26	0,74%
10-25	3340	42	1,26%
25-50	1836	32	1,74%
50-100	1518	22	1,45%
100-500	2291	19	0,83%
500-1000	551	3	0,54%
>1000	1143	10	0,87%

Table 8-1 : Failures versus reservoir volume

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

9. Failure context

Several contexts of failure have been considered in the data base: normal condition, flood (unusual or extreme), earthquake (unusual or extreme), other natural hazards (unusual or extreme) and hostile human actions. The table below gives the number of contexts of these different categories.

Normal operation condition	Flood (*)	Unusual Flood	Extreme Flood	Unusual Earth-quake	Extreme Earth-quake	Other unusual natural event	Other extreme natural event	Hostile Human action	Un-known
110	40	59	33	4	3	2	2	6	52

* Flood magnitude not specified

Table 9-1 : Failure contexts repartition

Se han considerado varios contextos de falla en la base de datos: condiciones normales, inundaciones (inusuales o extremas), terremotos (inusuales o extremos), otros peligros naturales (inusuales o extremos) y acciones humanas hostiles.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

Es obvio que los **dos contextos más importantes** son la **operación normal (110 casos de fallas)** y la **condición de inundación (132 casos de fallas)**, cuyas cifras son similares y **representan más del 90 % del total de los contextos de falla conocidos. Sin embargo, el contexto de inundación es el más importante.**

Es interesante notar que el número de fallas durante inundaciones "inusuales" (es decir, por debajo de la inundación de diseño) es más significativo que durante inundaciones "extremas" (es decir, por encima de la inundación de diseño). Esta última afirmación no es sorprendente, ya que las inundaciones inusuales ocurren con mucha más frecuencia que las inundaciones extremas. Además, la inundación de diseño del año de construcción original puede en muchos casos estar subestimada, por lo que las presas y vertederos están en realidad por debajo del estándar actual. Además, algunas presas han experimentado fallos en los vertederos, lo que también causa daños y posibles fallas durante "inundaciones moderadas".

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

10. Failure modes

The failure modes according to the types of dams are presented in the Figure 10-1 with a focus on gravity dams in Figure 10-12. A more detailed analysis of the failure modes is done in sections 10.1 and 10.2, for embankment dams and rigid dams.

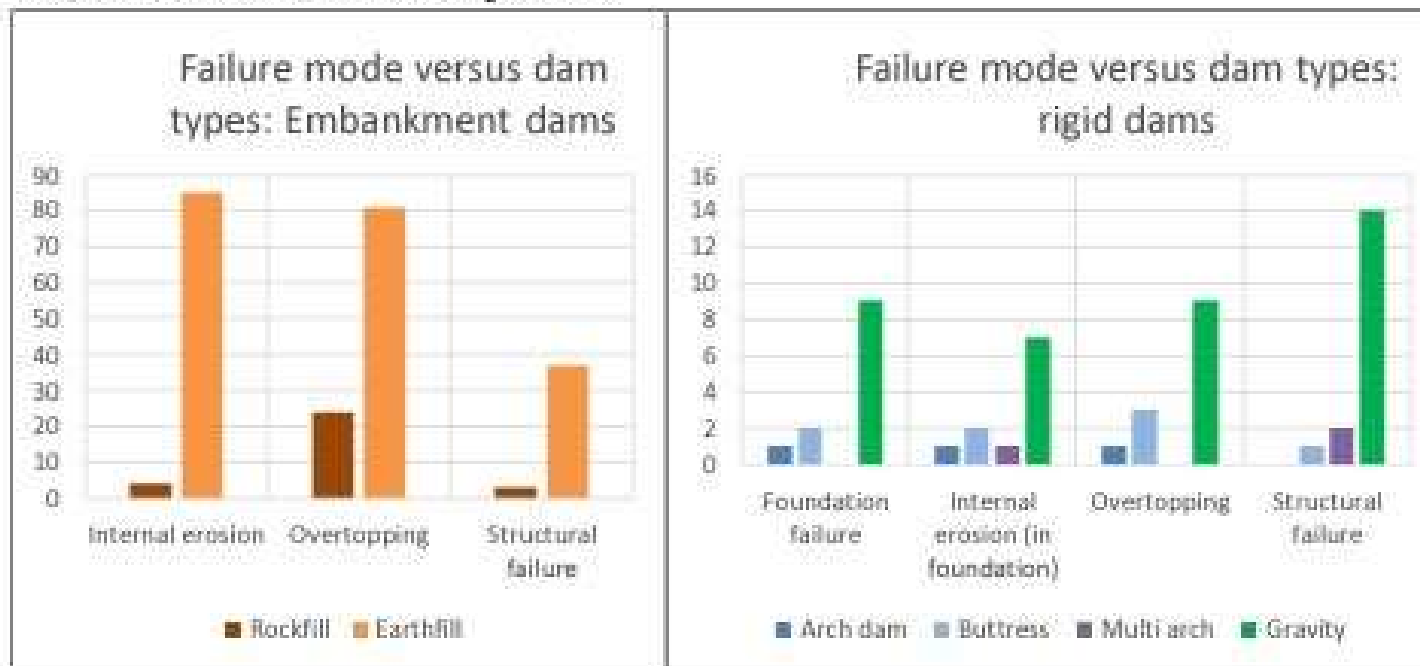


Figure 10-1: Number of failures according to the dam type and the failure mode

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN PRESAS

Para las presas de arco, contrafuerte y arco múltiple, la causa principal es el **diseño** (100% para las presas de arco), siendo menos frecuente la construcción.

La principal causa de falla para las presas de gravedad, enrocado y terraplén son siempre las insuficiencias en el **diseño**, pero la **operación** y el **mantenimiento** representan entre el 19 % y el 34 %, según los tipos.

11. Failure causes

Two categories of causes are available in the data base: organizational causes and technical causes.

11.1. Organizational causes

Organizational causes have been grouped in several main categories:

- Design: 162 cases
- Construction: 18 cases
- Operation: 27
- Maintenance: 10
- Not indicated: 105

About design and construction insufficiency it should be noted that the design and construction methods can be acceptable at the time of construction, which later proves to be insufficient due to new knowledge from research and experiences. Construction insufficiencies can be a "hidden cause" which may be very difficult to reveal after a failure. Thus, construction insufficiencies may be the cause even though it has not been reported.

In Figure 11-1 below these causes have been detailed by dam types:

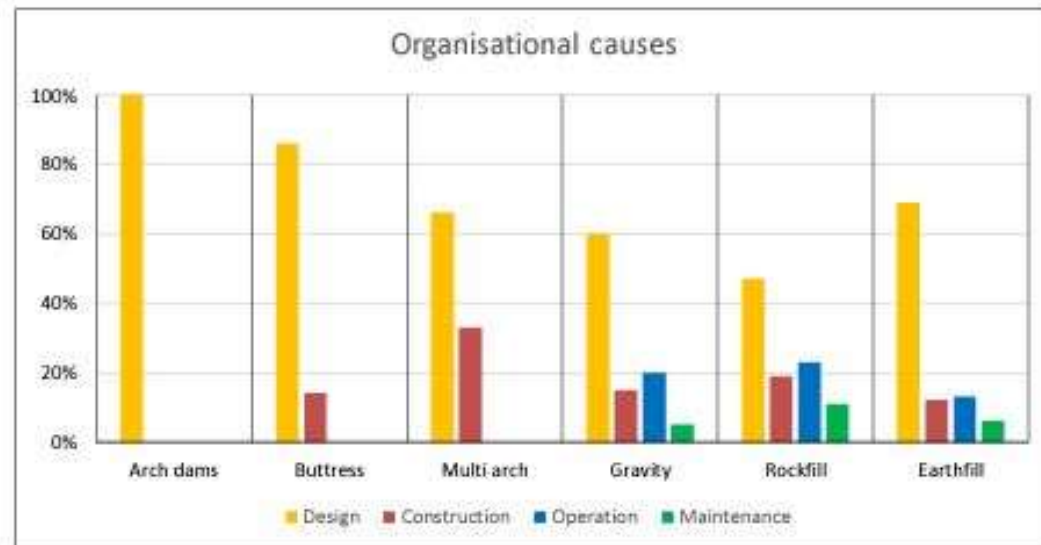


Figure 11-1 : Organizational causes versus dam types

CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ICOLD

- Existen importantes diferencias en la precisión y fiabilidad de los informes sobre fallas entre los países miembros de ICOLD, lo que hace necesario descartar algunos datos para no distorsionar los resultados del análisis estadístico.
- La **proporción del número de fallas** dividido por el total de presas grandes existentes ha disminuido continuamente, pasando de **1.42% durante los años 1900-1925 a 0.12% desde el año 2000**. Sin embargo, la proporción de fallas de presas construidas durante un período específico ofrece una perspectiva menos positiva. Esta proporción fue de 0.29% para los años 1975-1999 y es de 0.38% desde el año 2000.
- **Los primeros diez años de vida de una presa siguen siendo el período en el que ocurre el 50% de las fallas. Para las presas de arco y contrafuerte, esta proporción es del 100%.**

CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ICOLD

- Para las presas con alturas entre 15 y 75 m, la proporción de fallas en comparación con las presas existentes de la misma altura es bastante constante. **Para las presas más altas, disminuye significativamente. Hasta la fecha, ninguna presa de más de 100 m ha fallado.**
- **Las fallas en las presas ocurren durante la operación normal o durante eventos de inundación, siendo estos dos contextos responsables del 90% de las fallas,** con el contexto de inundación siendo ligeramente más importante. **Desde el año 2000, el 70% de las fallas han ocurrido durante eventos de inundación.**
- Los tres modos de falla para **presas de terraplén** son desbordamiento (40%), erosión interna (39%) y falla estructural (21%).
- Para las **presas rígidas**, la falla en los cimientos y la erosión interna en los cimientos son los modos dominantes. La falla estructural ocurre principalmente en presas de gravedad hechas de mampostería.

CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ICOLD

- El **diseño o la construcción inadecuados** son, con diferencia, las principales causas identificadas para **presas de hormigón de tipo arco, contrafuerte y arco múltiple**. Para los otros tipos de presas (gravedad, terraplén), la **operación inadecuada durante inundaciones** parece desempeñar un papel en aproximadamente el 20% de las fallas.
- Las **deficiencias en los cimientos** son la causa dominante en **presas de arco y contrafuerte**. Para las **presas de gravedad** de mampostería, las **deficiencias estructurales del cuerpo de la presa** son una causa técnica importante. Para **otras presas de gravedad**, las deficiencias estructurales son tan importantes como las **deficiencias en los cimientos**, mientras que la **capacidad inadecuada del vertedero** es también una de las causas. Para las **presas de tierra**, las dos causas dominantes son los **problemas geotécnicos** (66% de las causas) y la **capacidad inadecuada del vertedero** (28%). Para las **presas de enrocado**, estas mismas dos causas dominantes están distribuidas de manera diferente: las **deficiencias geotécnicas** representan solo el 32%, mientras que la **capacidad inadecuada del vertedero** representa el 64%.

INTRODUCCIÓN A LA SEGURIDAD DE PRESAS

Las fallas catastróficas de una presa están precedidas por un período de incremento progresivo de mala operación estructural dentro de la presa y/o su cimentación.

LOS PROGRAMAS DE VIGILANCIA DE PRESAS E INSTRUMENTACIÓN SE ADELANTAN PARA DETECTAR Y SI ES POSIBLE IDENTIFICAR SÍNTOMAS DEL MAL COMPORTAMIENTO EN LAS ETAPAS MAS PRONTAS POSIBLES.

Los instrumentos colocados de forma estratégica sobre una presa no son garantía contra fallas. Su función es revelar anomalías en el comportamiento y proporcionar advertencias prontas sobre serios peligros.

INTRODUCCIÓN A LA SEGURIDAD DE PRESAS

El **número de instrumentos instalados**, tiene menos importancia que la selección del equipo apropiado, su instalación correcta en sitios críticos y la interpretación inteligente de la información resultante dentro de un programa de vigilancia global.

La efectividad del programa de vigilancia esta determinada por muchos factores, tales como:

- Marco de referencia legal y administrativo;
- Procedimientos y responsabilidades.

OBJETIVOS

- Identificar los parámetros de mayor importancia en la integridad de presas;
- Conocer los instrumentos y las técnicas de vigilancia empleadas, basadas en las recomendaciones y guías del ICOLD.

INSTRUMENTOS - APLICACIÓN

Proporcionar instrumentos de monitoreo es una práctica aceptada en la mayoría de las presas nuevas de cualquier magnitud.

También un nivel básico de instrumentación se instala para monitorear presas existentes.

EL ALCANCE Y GRADO DE SOFISTICACIÓN INDIVIDUAL DEL CONJUNTO DE INSTRUMENTOS VARIA DE MANERA CONSIDERABLE.

EL CUIDADO A LA ESPECIFICACIÓN, DISEÑO Y CORRECTA INSTALACIÓN DE TODOS, HASTA EL INSTRUMENTO MAS SENCILLO, ES CRÍTICO PARA OBTENER UN DESEMPEÑO SATISFACTORIO.

INSTRUMENTOS - APLICACIÓN

Es conveniente que la responsabilidad de la planeación y comisión de las instalaciones de monitoreo RECAIGA EN UNA PERSONA CON EXPERIENCIA Y DE UN NIVEL RELATIVAMENTE ALTO DENTRO DE LA AUTORIDAD RESPONSABLE.

Los instrumentos se pueden clasificar de acuerdo con la función principal de la instalación:

1. CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN:

Verificación de los parámetros críticos de diseño con retroalimentación inmediata al diseño y a la construcción.

2. DESEMPEÑO DESPUES DE LA CONSTRUCCIÓN:

Validación del diseño, determinación del patrón de comportamiento inicial o de referencia.

INSTRUMENTOS - APLICACIÓN

3. **FUNCIONAMIENTO Y VIGILANCIA DEL SERVICIO:**

Confirmación de la idoneidad estructural; detección de cambios regresivos en el patrón de comportamiento establecido; investigación de problemas identificados o que se sospechan.

4. **INVESTIGACIÓN / DESARROLLO:**

Investigación académica; prueba y desarrollo de los equipos.

- Entre estos puntos de clasificación funcionales, algunas tareas se solapan.

LA DETECCIÓN O EL ANÁLISIS DEL CAMBIO EN UN CICLO O PATRÓN DE COMPORTAMIENTO PREVIAMENTE ESTABLECIDO COMO “NORMAL” ES LA JUSTIFICACIÓN ESENCIAL PARA TODO EL CONJUNTO DE INSTRUMENTOS INSTALADOS PARA VIGILANCIA.

PARÁMETROS EN EL MONITOREO

Los **PARÁMETROS** mas importantes en el monitoreo del comportamiento de las presas son los siguientes:

1. INFILTRACIÓN Y FUGAS

- Cantidad
- Naturaleza
- Localización
- Fuente

2. SEDIMENTACIÓN Y PÉRDIDAS DEL BORDE LIBRE EN PRESAS DE RELLENO

- Magnitud
- Tasa

PARÁMETROS EN EL MONITOREO

3.DEFORMACIÓN EXTERNA E INTERNA

- Magnitud
- Tasa
- Localización

4.PRESIÓN DE AGUAS EN LOS POROS Y EMPUJE

- Magnitud
- Variación

5.ESFUERZOS INTERNOS O PRESIÓN

- Magnitud

PARÁMETROS EN EL MONITOREO

Independientemente del tipo de presa, ciertos parámetros importantes son de interés primario, Ej:

- Infiltración;
- Deformación Externa o deflexiones.

Otros son importantes solo para ciertos tipos de presas, Ej:

- Presión de agua en los poros en rellenos térreos.

NO SE PUEDE ENFATIZAR LA SUPREMA IMPORTANCIA DEL FLUJO DE INFILTRACIÓN COMO PARÁMETRO!!!

PARÁMETROS EN EL MONITOREO

El monitoreo regular debe ser una práctica estándar.

Problemas serios invariablemente están precedidos por un CAMBIO DETECTABLE DEL RÉGIMEN DE INFILTRACIÓN A TRAVÉS O BAJO LA PRESA.

La observación directa de la cantidad y turbiedad de la infiltración es simple, mediante sistemas de drenaje internos que conducen a vertederos de cresta delgada en V calibrados.

Lo ideal es que estos vertederos se coloquen en tramos específicos de la presa que permitan identificar la localización aproximada de cualquier cambio en el régimen de flujo.

DISEÑO DE INSTRUMENTOS

Se requiere que los instrumentos funcionen para todas las condiciones ambientales, aun severas y durante posiblemente varias décadas. Por ellos es deseable que los mismos sean:

1. **Tan simples en su concepto como en su funcionamiento;**
2. **Sólidos y confiables;**
3. **Durables en condiciones ambientales y de operación adversas;**
4. **De costos aceptables “para toda la vida”.**

Un principio sensato es usar unidades sofisticadas y vulnerables, por encima del terreno donde sea posible, pero que sean móviles. Por ej: unidades transductores portables compactas para monitorear presiones del agua en los poros a partir de piezómetros. Esto evita la realización de costosas casetas de medición para alojar equipo físico fijo.

DISEÑO DE INSTRUMENTOS

Los desarrollos de instrumentación actuales, tienden a centrarse en provisiones para la toma de información AUTOMÁTICA O SEMIAUTOMÁTICA, con facilidades de ALMACENAMIENTO y/o TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA de la información a una unidad central. Eso trae aparejado:

- ALTOS COSTOS
- RIESGO DE MAL FUNCIONAMIENTO
- FALLA DE COMPONENTES

Es por ello que tal sofisticación es justificable en ciertas circunstancias.

PARA LA MAYORÍA DE LAS PRESAS, LA INSTRUMENTACIÓN A UN NIVEL RELATIVAMENTE POCO SOFISTICADO Y BÁSICO RESULTA ADECUADO PARA EL MONITOREO Y VIGILANCIA DE RUTINA.

INSTRUMENTOS: TIPOS Y OPERACIÓN

En función a los parámetros a medir, los instrumentos mas comunes son:

1. Colimación, sedimentación y deformación externa

Técnicas topográficas precisas con **equipos de medida de distancia ópticos, electrónicos o láseres** se emplean para determinar:

-Movimiento relativo vertical y horizontal de estaciones superficiales aseguradas;

-Colimación y nivelación para verificar la **alineación de la cresta en presas de concreto** (se puede complementar con datos de inclinación, con la instalación de **péndulos** en pozos internos y de **péndulos flotantes invertidos** anclados a profundidad dentro de perforaciones en la roca de cimentación).

-En el caso de **presas de relleno**, la sedimentación longitudinal de la presa es muy importante, la información de la deformación del relleno puede obtenerse con el uso de **INCLINÓMETROS** de perforación sensibles para determinar los movimientos horizontales internos.

INSTRUMENTOS: TIPOS Y OPERACIÓN

2. Presión de agua en los poros

Los piezómetros hidráulicos son de dos tipos: el simple de Casagrande de “circuito abierto” o de “circuito cerrado” tipo Bishop.

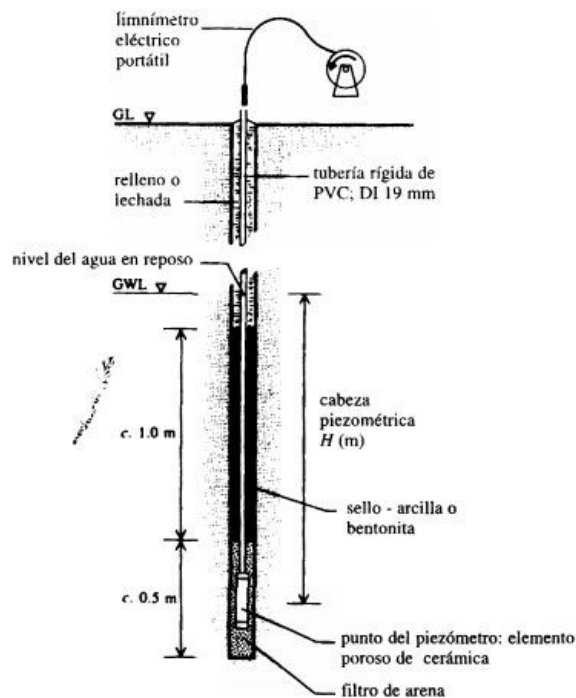


Figura 7.1 Piezómetro de tipo de tubo vertical de Casagrande utilizado en perforaciones.

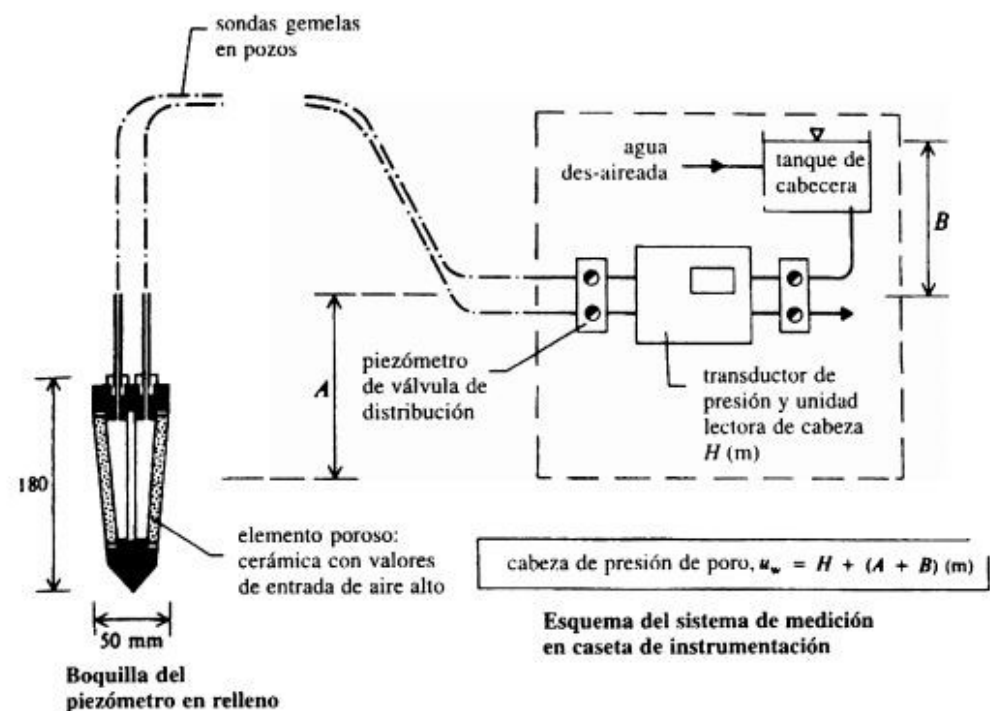


Figura 7.2 Piezómetro hidráulico de tipo Bishop de tubería gemela.

INSTRUMENTOS: TIPOS Y OPERACIÓN

El de Casagrande permite registrar el NF respecto a la superficie de la tierra.

Se puede instalar con facilidad en perforaciones en presas existentes y es apropiado en particular donde la NF es sensiblemente estática.

ES ADAPTABLE, SIMPLE DE OPERAR Y MUY CONFIABLE.

El tipo Bishop, ofrece una respuesta más rápida al cambio de presión del agua en los poros.

Es apropiado para suelos con permeabilidades mas bajas y en suelos no saturados, permite determinar presión de agua en los poros tanto negativa como positiva en rellenos térreos compactados.

EFFECTIVO, DURABLE Y CONFIABLE, se ha instalado extensamente en presas de rrelleno durante su construcción.

Existen otros tipos de piezómetros como los **NEUMÁTICOS**.

INSTRUMENTOS: TIPOS Y OPERACIÓN

3. Sedimentación interna y deformación

Durante la construcción del relleno pueden instalarse **extensómetros de tubos verticales** con estaciones de medición magnéticas de placas anulares externas, localizadas a intervalos verticales de cerca de 3m.

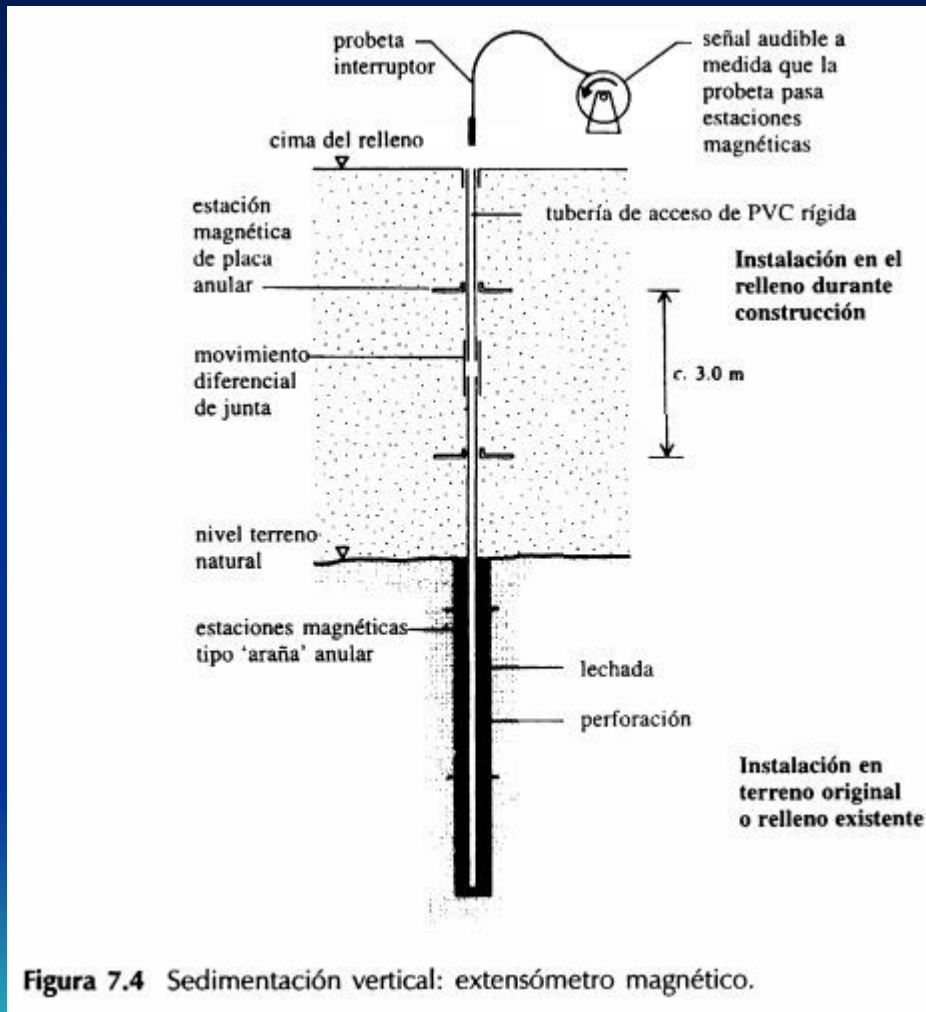
Permite determinar incrementos de sedimentación interna de más o menos 2mm.

Puede utilizarse en relleno existentes y cimentaciones dentro de perforaciones.

Las componentes horizontales de la deformación interna pueden determinarse mediante un **inclinómetro de perforación** o con una **adaptación del extensómetro vertical**, en este caso los tubos se instalan en zanjas dentro del espaldón de relleno.

Estos instrumentos se colocan en la longitud fija de la roca para monitorear la respuesta de los estribos en presas de arco. También en cimentaciones de presas de gravedad, si el parámetro fuese importante.

INSTRUMENTOS: TIPOS Y OPERACIÓN



INSTRUMENTOS: TIPOS Y OPERACIÓN

4. Esfuerzos internos

La determinación directa y confiable del estado de esfuerzos en un continuo como ser una roca, hormigón o suelo presenta serias dificultades.

La teoría dictamina utilizar elementos como “**sensores**”.

Es necesario ser cautos con la interpretación de presiones o esfuerzos registrados en campo.

En **hormigón y roca**, los aparatos disponibles constan de un disco metálico lleno de aceite acoplado a un transductor de presión que responde a la presión del fluido como una función del esfuerzo externo en la cara del disco.

INSTRUMENTOS: TIPOS Y OPERACIÓN

En **rellenos** se utilizan aparatos similares, aunque como alternativa se emplea la celda de presiones de tierra en un disco hueco, que incorpora deformímetros eléctricos montados sobre las caras internas de la celda.

La DETERMINACIÓN INDIRECTA DE ESFUERZOS a partir de deformaciones medidas, es compleja ya que la respuesta del esfuerzo y la deformación depende del tiempo y no es lineal.

Por ello la incertidumbre asociada con la determinación de los esfuerzos disminuye mucho la CONFIABILIDAD de la información obtenida.

Tabla 7.2 Parámetros principales de monitoreo y su relación con defectos posibles

<i>Parámetros</i>	<i>Instrumentos</i>	<i>Medida</i>	<i>Defecto ilustrativo</i>	<i>Tipo de presa</i>
Infiltración	Drenes-subdrenes a vertederos de cresta delgada V (idealmente varios, 'aislando' secciones de la presa-cimentación)	Cantidad del caudal de infiltración y naturaleza del agua de infiltración, por ejemplo clara o turbia	Podría indicar el inicio de agrietamiento y/o erosión interna	E - C*
Colimación	Topografía precisa (óptica o electrónica)	Alineación	Movimiento	E - C
Presión de agua en los poros	Piezómetros	Presión interna del agua en el relleno térreo.	Fugas en el núcleo o inestabilidad incipiente	E
Empuje	Piezómetros	Presión interna del agua en el concreto o en la roca de cimentación.	Inestabilidad, deslizamiento	C
Sedimentación	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 5px;">{</div> <div style="margin-right: 5px;">Topografía precisa (superficial)</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 5px;">}</div> <div>Medidores de sedimentación (internos)</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 5px;">{</div> <div>Sedimentación de la cresta</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 5px;">}</div> <div>Sedimentación interna o relativa</div> </div>	Inclinación (C) o pérdida del borde libre (E), por ejemplo hundimiento del núcleo o deformación de la cimentación	E - C
Deformación externa	Topografía precisa (superficial) Fotogrametría (E), péndulos o medidores de juntas (C)	Deflexión de la superficie	Movimiento local, inestabilidad	E - C
Deformación interna o deformación: <div style="display: flex; align-items: center; margin-left: 20px;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">}</div> <div style="margin-right: 5px;">Vertical</div> <div style="margin-right: 5px;">Horizontal</div> </div>	Inclinómetros, Deformímetros o ductos	Movimientos relativos internos	Inestabilidad incipiente	E
Esfuerzo o presión	Celdas de presión	Esfuerzo total	Fraccionamiento hidráulico y erosión interna	E

*E = presas de relleno, C = presas de concreto

PLANIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

SECUENCIA DE DECISIONES:

1. Definición de los propósitos y objetivos;
2. Definición de las observaciones apropiadas para la presa considerada;
3. DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS Y CANTIDAD DE PUNTOS DE MEDICION PARA TOMAR LAS OBSERVACIONES DESEADAS;
4. Consideración del período de tiempo que se va a abarcar, es decir, monitoreo de corto o largo plazo;
5. Consideración de modos de operación óptimos del sensor con respecto a la rapidez de respuesta deseada, precisión requerida, etc;
6. Selección del hardware apropiado para las tareas definidas en los puntos anteriores.

PLANIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

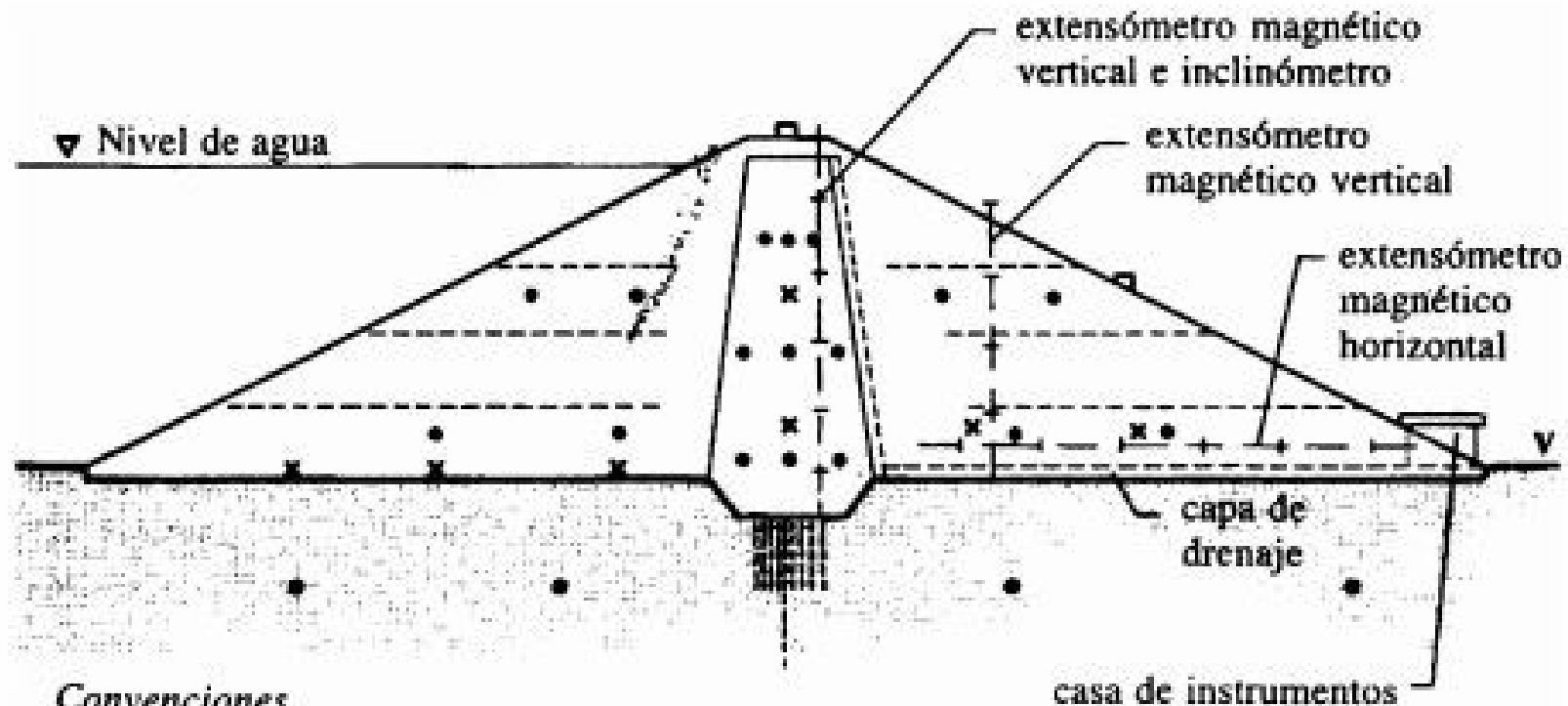
El punto 3 es de IMPORTANCIA PARTICULAR.....

“DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS Y CANTIDAD DE PUNTOS DE MEDICION PARA TOMAR LAS OBSERVACIONES DESEADAS”

Los instrumentos deben abarcar todos los aspectos críticos conocidos de la presa, **pero también deben colocarse en sitios donde se prevea un comportamiento “normal”**.

Es una buena práctica hacer un bosquejo inicial y luego depurar el mismo hasta determinar un plan adecuado y balanceado. Detallar:

- Procedimientos para la puesta en uso;
- Prueba de los instrumentos;
- Determinación de valores de referencia;
- Entrenamiento del especial del personal de monitoreo;
- Procedimientos para el manejo de la información resultante.



Convenciones

- estación de medición
- piezómetro hidráulico
- ✕ celda hidráulica de sedimentación puntual
- ▼ vertedero de cresta delgada en V en los puntos de salida de la capa de drenaje

Figura 7.6 Esquema representativo de la instrumentación: sección mayor de una presa nueva de relleno.

MANEJO DE LA INFORMACIÓN

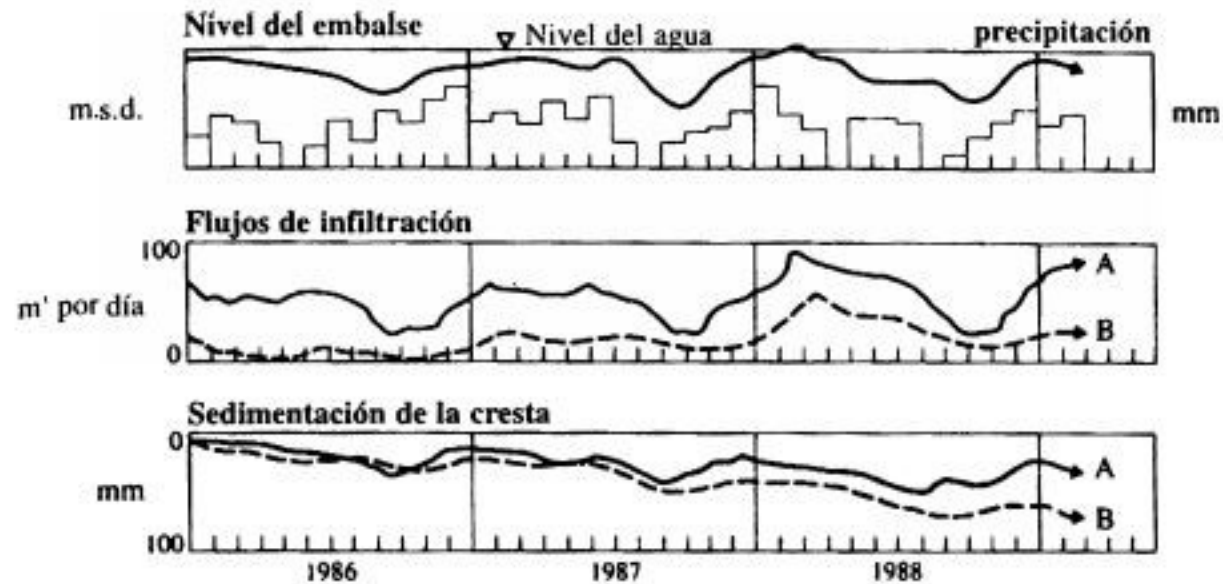
Los procedimientos de operación y manejo de datos deben definirse con cuidado y las responsabilidades individuales del personal deben estar identificadas con claridad.

Dentro del plan de operaciones, la frecuencia del monitoreo debe determinarse sobre bases racionales, reflejando los objetivos y parámetros necesarios. En cualquier caso, esa frecuencia estará sujeta a enmiendas de acuerdo a la información obtenida.

“El exceso de información puede agobiar y la falta de información traerá más preguntas que soluciones”.

Se deben establecer rutinas para el procesamiento ágil de la información de campo, cuidando la forma de presentación, los diagramas y las hojas sobrepuestas son en general el método más satisfactorio.

PARÁMETROS CONTRA NIVELES DE AGUA RETENIDA Y PRECIPITACIÓN.



A y B se refieren a sitios diferentes: se representa con gráficas también la precipitación.

Figura 7.7 Gráficas de monitoreo representativas: presas de relleno.

Tabla 7.3 Frecuencias de monitoreo representativas

<i>Parámetros</i>	<i>Frecuencia</i>
Nivel del agua	Diaria cuando sea posible
Infiltración	Diaria o semanal
Piezómetros	Una o dos veces por semana (en construcción) hasta tres a seis meses (rutina)
Sedimentación – deformación	Diaria (si se sospecha un deslizamiento serio) hasta tres a seis meses (rutina)

VIGILANCIA

Las presas de todos los tipos requieren VIGILANCIA REGULAR para mantenerlas en un estado seguro y operacionalmente eficiente.

Como todas las estructuras están sometidas al DETERIORO A LARGO PLAZO, PERO PROGRESIVO.

PRESAS ACTUALES

Debe considerarse la posibilidad de un deterioro interno oculto y serio.

PRESAS ANTIGUAS

Fueron diseñadas y construidas con estándares que ya no pueden considerarse adecuados.

EL OBJETIVO DEL PLAN DE VIGILANCIA ES MINIMIZAR LA POSIBILIDAD DE UNA FALLA CATASTRÓFICA DE LA PRESA. DETECTANDO A TIEMPO LAS INSUFICIENCIAS DE DISEÑO O CAMBIOS REGRESIVOS EN SU COMPORTAMIENTO. Y EL OBJETIVO ADICIONAL ES AYUDAR AL MANTENIMIENTO RUTINARIO O POSIBILITAR TRABAJOS PARA REMEDIAR MALES MAYORES.

VIGILANCIA

La vigilancia abarca la observación y registro regular y frecuente de todos los aspectos del desempeño del servicio de una presa y su embalse.

Menos frecuentes pero mas rigurosas son las INSPECCIONES REGLAMENTARIAS, llevadas a cabo por Ingenieros Especialistas, como parte del programa de Vigilancia Integral.

PRESA GRANDE.....ideal es la observación externa diaria!! (muchas veces por problemas de acceso o de falta de personal en la realidad esto se hace semanalmente o mensualmente).

Una inspección de rutina debe cubrir todas las partes de fácil acceso de la presa y sus componentes asociados (vertederos, compuertas, válvulas, etc).

La inspección visual debe extenderse hacia aguas abajo y aguas arriba de la presa, principalmente donde se haya determinado que se requiere información.

Una inspección adicional se requiere en sitios particulares donde se hayan identificado algún posible deterioro, filtraciones, etc.

LEGISLACIÓN SOBRE SEGURIDAD DE PRESAS

LA LEGISLACIÓN para tratar la construcción y la operación segura de las presas a largo plazo ha cobrado mayor importancia a medida que el número y tamaño de las presas en riesgo se ha incrementado permanentemente.

DADOS LOS DESASTRES
DE PRESAS VISTOS



LEGISLACIONES NACIONALES REVISADAS

[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/02 - rodolfo dalmati -
proyecto ley de seguridad de presas.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/02-_rodolfo_dalmati_-_proyecto_ley_de_seguridad_de_presas.pdf)

Las legislaciones varían a nivel mundial, el enfoque frances es que el Estado se involucra al mínimo y la mayoría de las responsabilidades se trasladan a agencias o autoridades designadas. El enfoque británico en cambio se basa en traspasar las responsabilidades a ingenieros individuales designados.

LEGISLACIÓN SOBRE SEGURIDAD DE PRESAS

FRANCIA → AÑO 1898 – Disposiciones Detalladas

SUIZA → AÑO 1934 – Departamento Federal

UNESCO → AÑO 1967 – Recomendaciones Internacionales

REINO UNIDO → AÑO 1975 – Ley de Embalses

USA →

Presas Federales → Cuerpo de Ingenieros

Presas NO Federales → Legislación de los Estados

(En 1983 después de una revisión nacional identificaron 8.818 presas de 68.000 que presentaban peligro, de ellas el 33% se clasificó como técnicamente inadecuadas y el 2% como inseguras DE EMERGENCIA!!!)

GRACIAS!!!!

Cátedra de Obras Hidráulicas (CI457)

BIBLIOGRAFÍA

[1] ICOLD Incident Database Bulletin 99 Update – Statistical Analysis Of Dam Failures – Icold-Cods Final Draft December 2019.

[2] ORSEP Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica – Autor Ing. Rodolfo E. Dalmati – Proyecto de Ley de Seguridad de Presas y Embalses. Argentina.

Video Informativo Malpasset y Vajont.