

El reto de la seguridad hidrológica



Miguel Ángel Toledo

Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Grupo SERPA -Investigación en Seguridad de Presas



Planteamiento actual

Resguardos fijos

Hipótesis conservadoras



Enfoque determinista

Soluciones tradicionales

Queridos Reyes Magos

Me gustaría muchísimo que mis pases
fueran muy muy seguros.

Para ello os pido que siempre cumplan con
los resguardos establecidos por nuestros abuelitos,
y que las que no cumplen se arreglen como
se ha hecho siempre, aplicando las soluciones
de toda la vida.

Me he portado muy bien y creo que me lo
merezco.

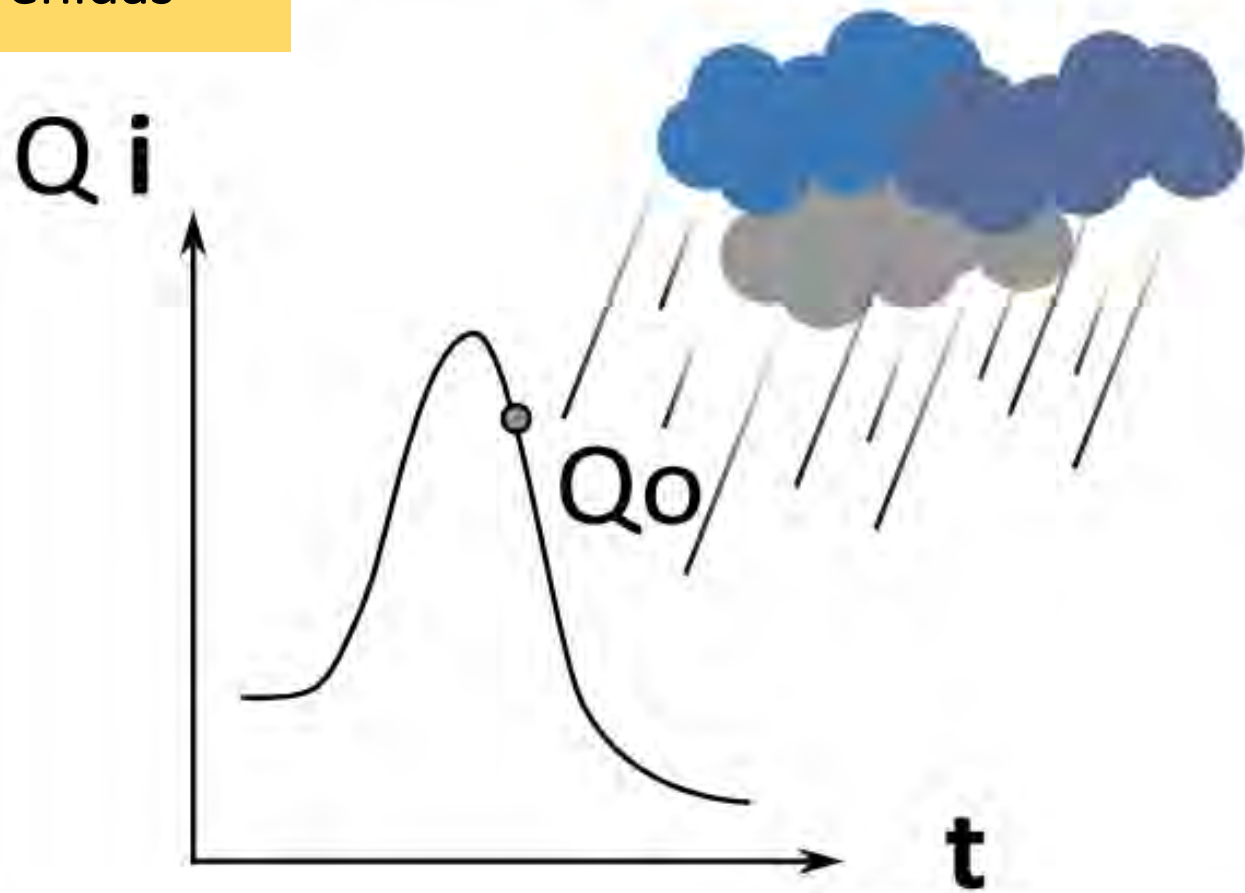




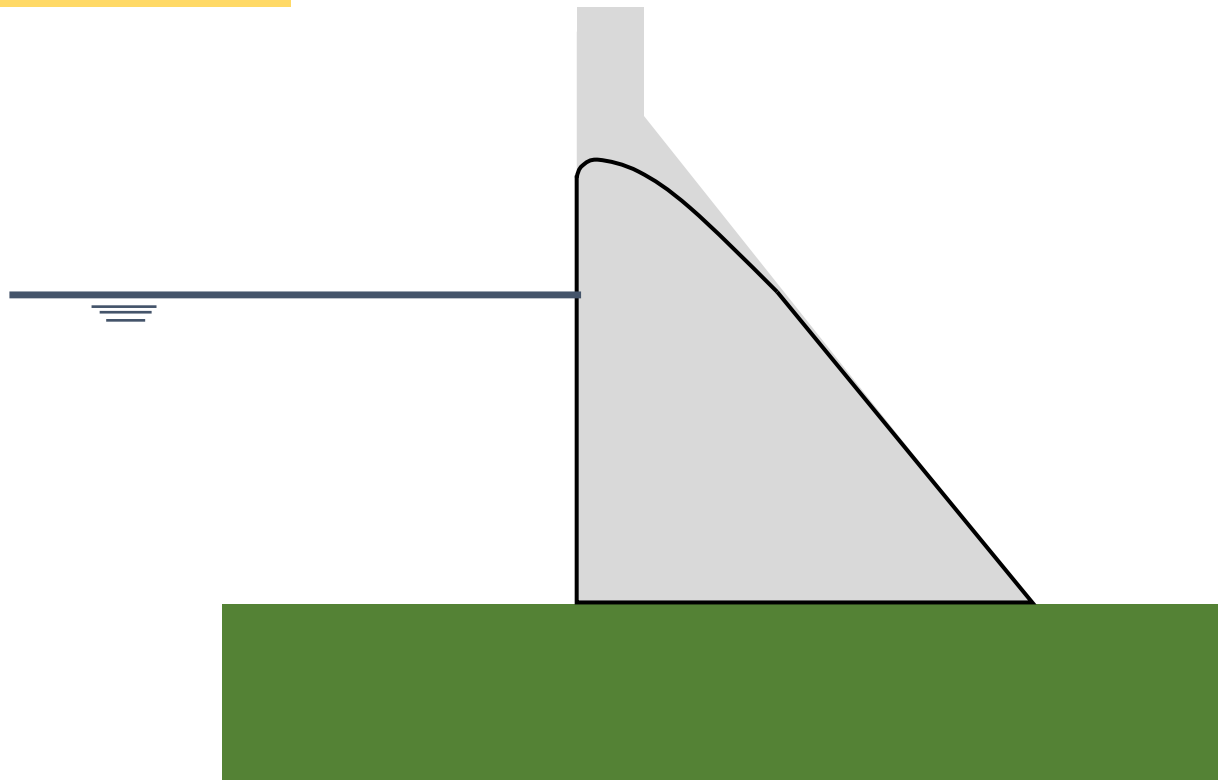


Las causas

Las avenidas



El nivel del embalse



Es indispensable
conocer la
probabilidad real de
sobrevivir

...para tomar una decisión fundamentada



Enfoque determinista



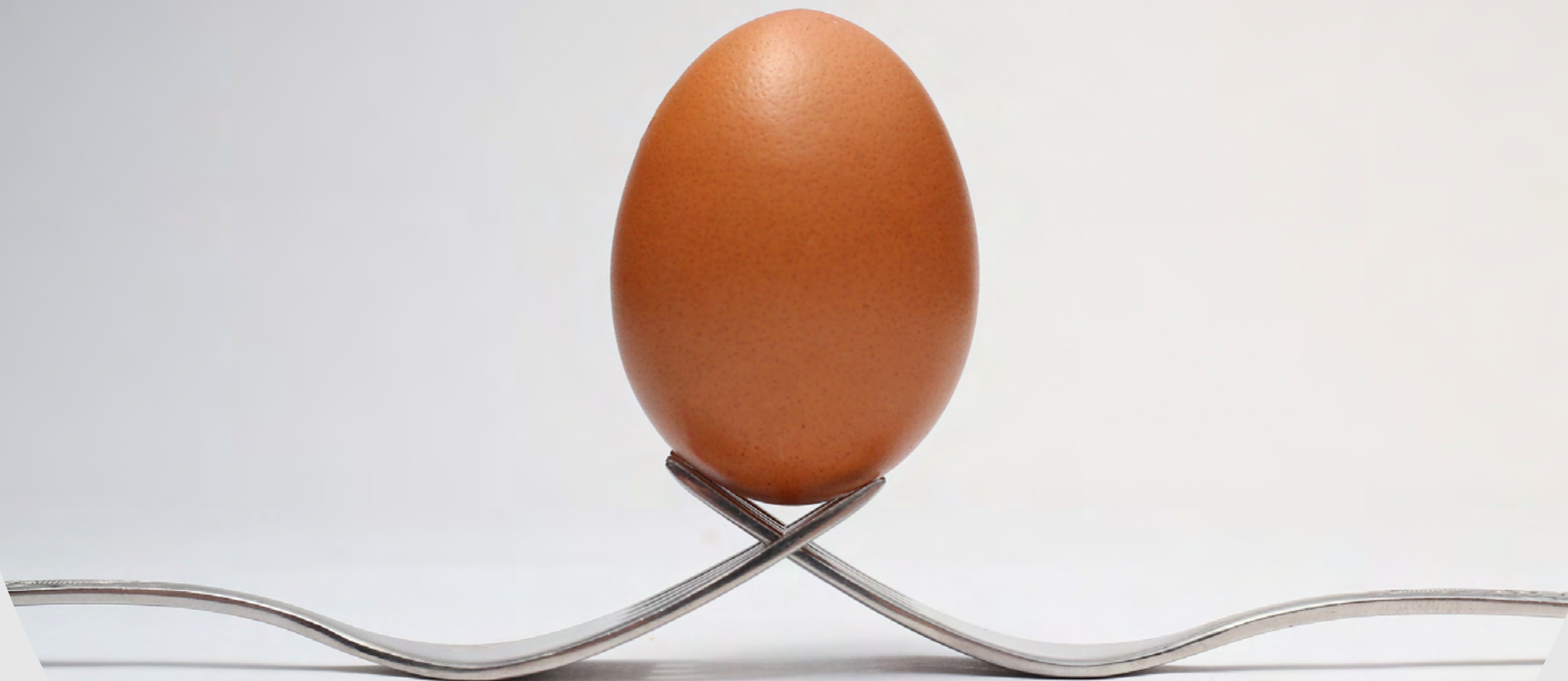
Hipótesis conservadoras





Las consecuencias

¿Se rompe?



¿Cuánto tarda?



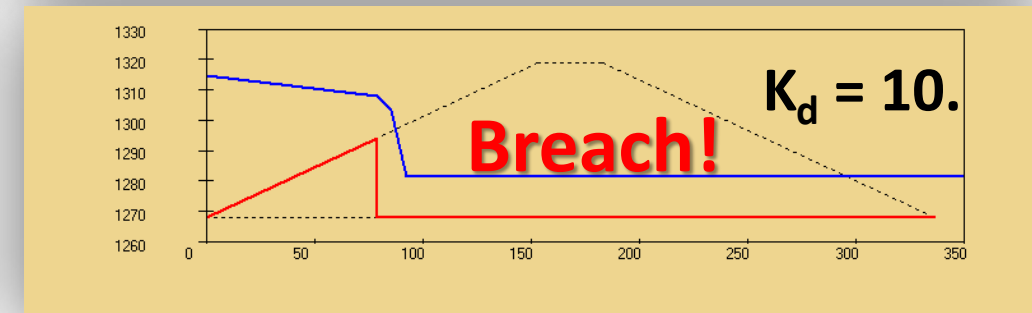
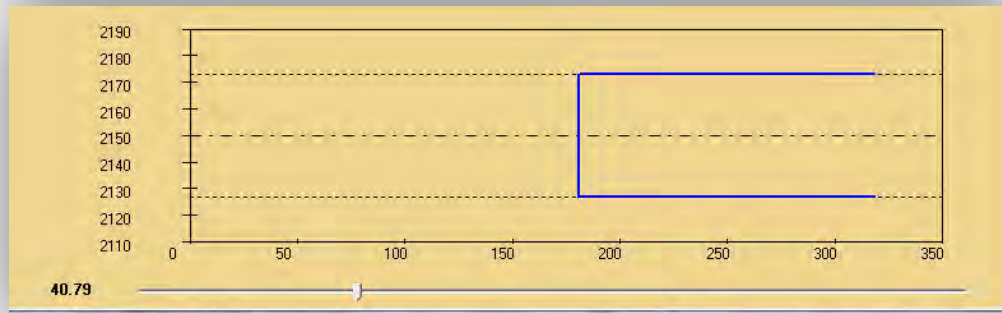
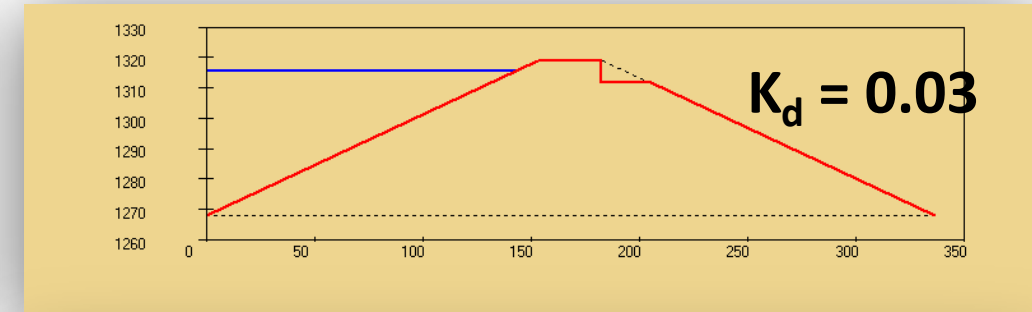
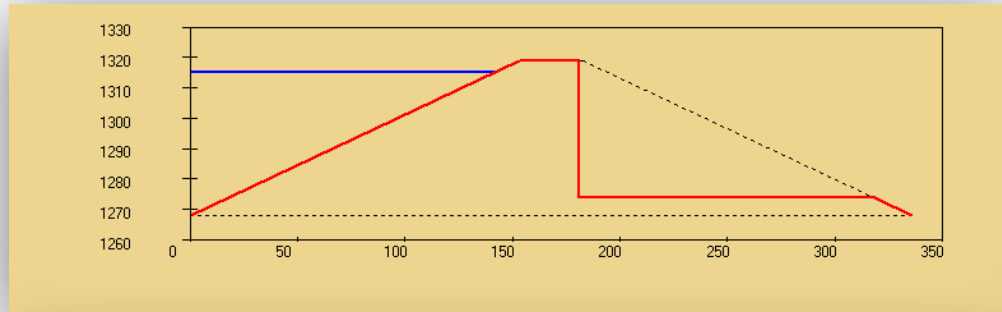
¿Cómo se rompe?

From Huber Collection, University of California Water Resources Center Archives



Presas homogéneas

Presas homogéneas



El Modelo WinDAM y otros permiten el estudio de su rotura

¿Por qué utilizar fórmulas empíricas inespecíficas?

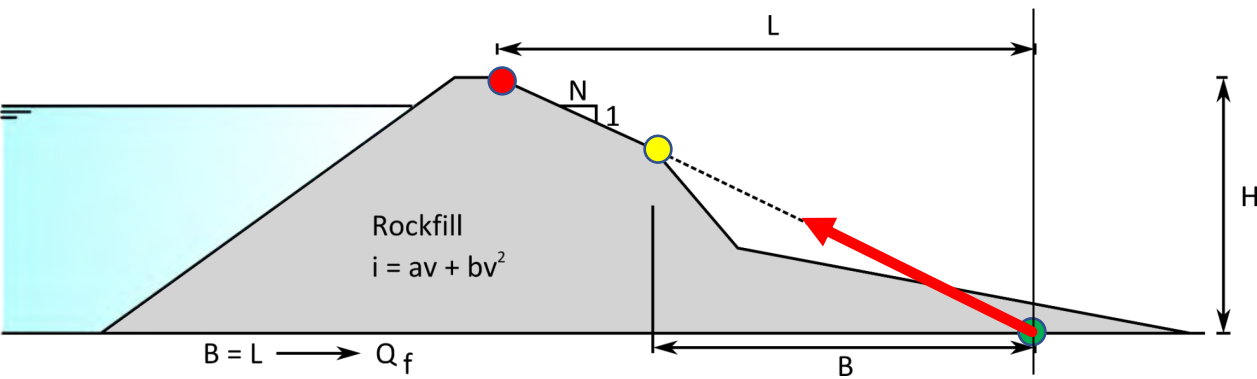
La rotura de una presa homogénea es progresiva, y requiere tiempo y caudal

En su fase final puede ser explosiva

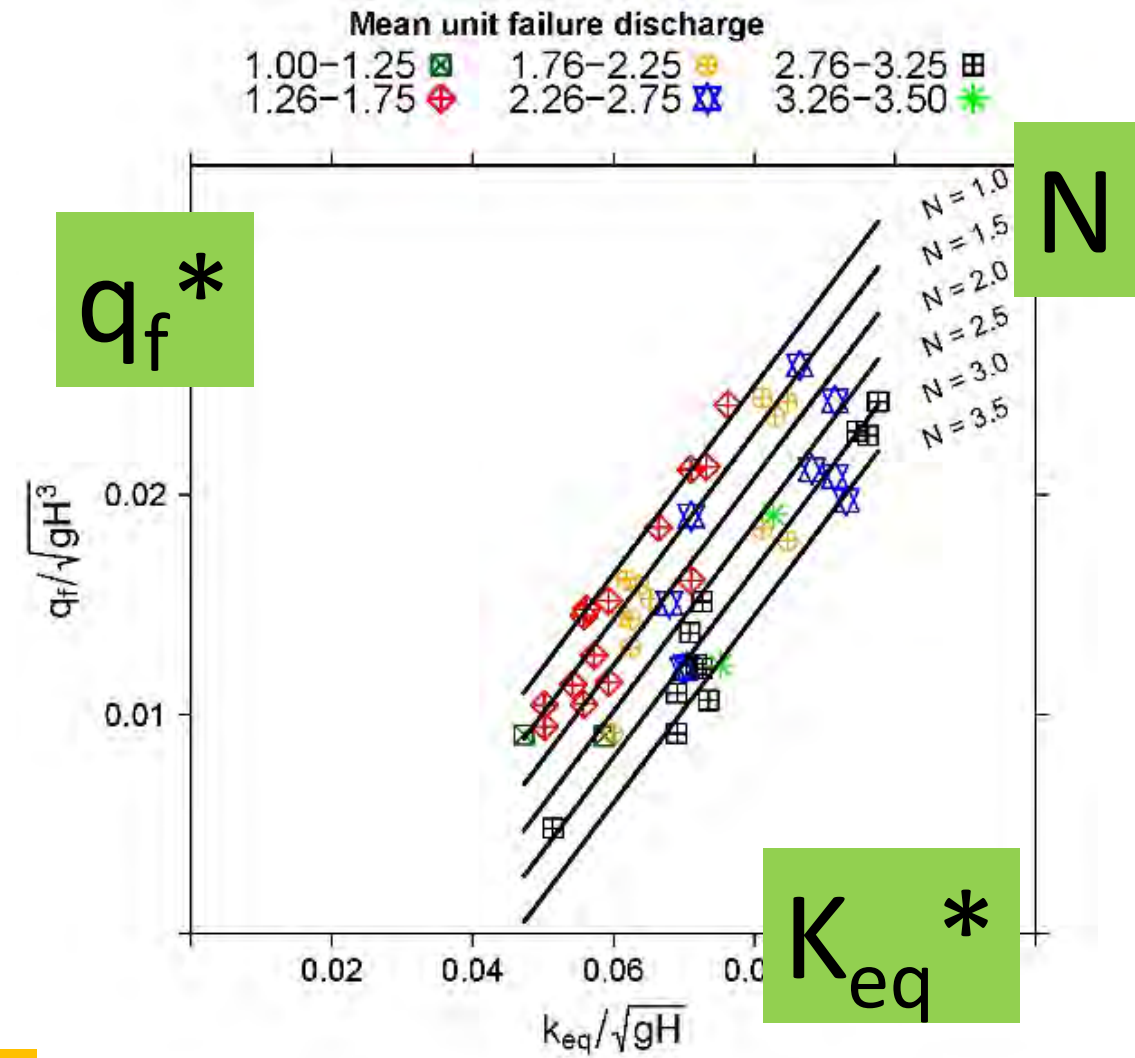
Presas de escollera

Rotura del espaldón

Presas de escollera

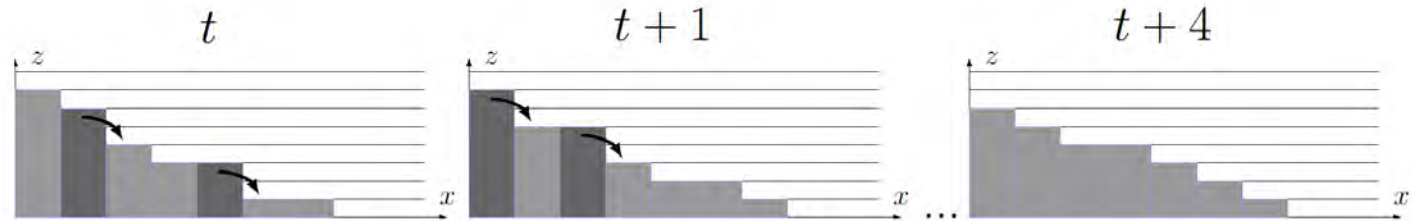


$$q_f^* = -0.0049 + 0.4242 \cdot k_{eq}^* - 0.0041 \cdot N$$

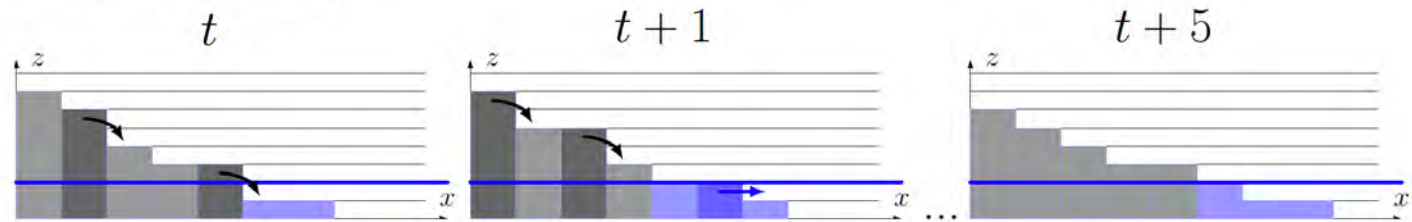


AUTOMATAS CELULARES

ROTURA DEL ESPALDÓN DE ESCOLLERA



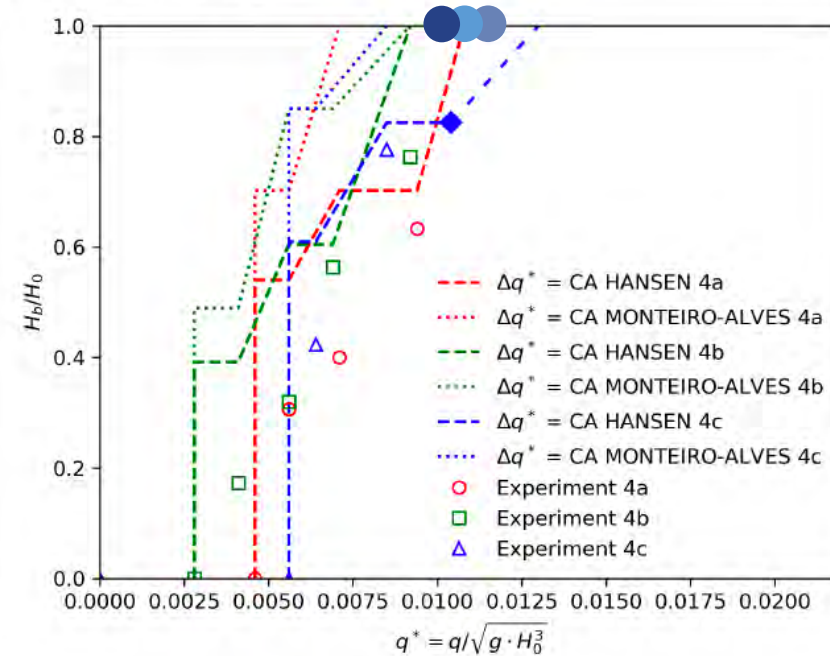
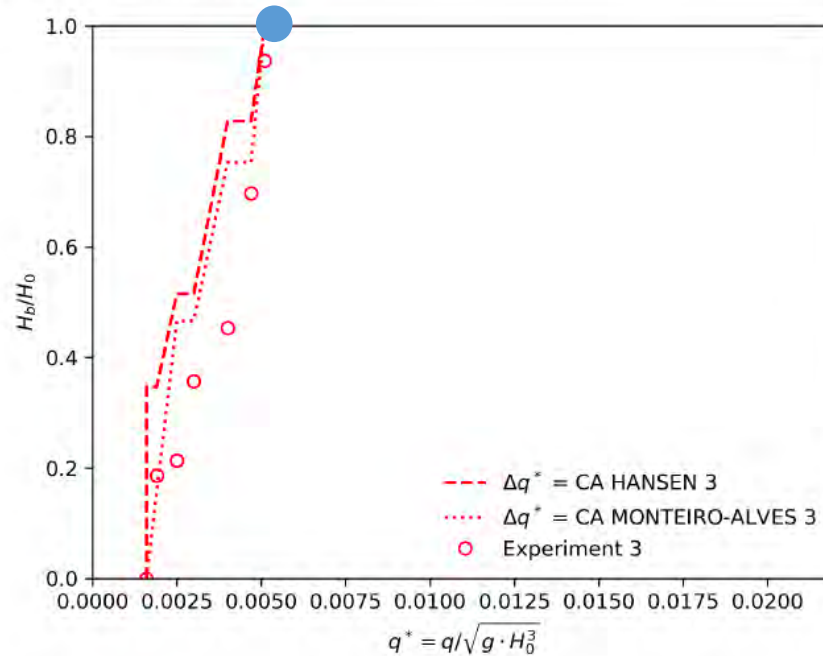
(a) 1D BTW model. Cells are in equilibrium (in light gray) when $z_i^t - z_{i+1}^t \leq \Delta z$. At $t + 4$ all the cells are in equilibrium



(b) Modified 1D BTW model. The blue line represents the water emergence height (z_{out}). Cells are submerged (in blue) when $z_i^t \leq z_{\text{out}}$. Dry cells are in equilibrium when $z_i^t - z_{i+1}^t \leq \Delta z$; submerged cells are in equilibrium when $z_i^t - z_{i+1}^t \leq \Delta z$ and $z_i^t - z_{i+2}^t \leq \Delta z$. In this case the equilibrium is reached at $t + 5$ and the final slope is gentler than in the original BTW model

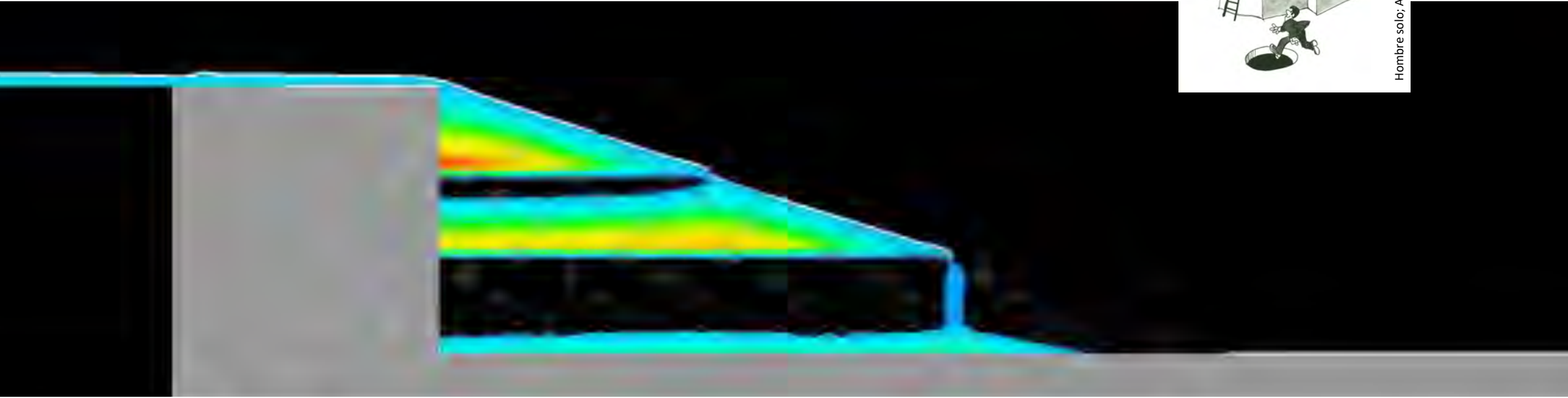
AUTOMATAS CELULARES

ROTURA DEL ESPALDÓN DE ESCOLLERA



(c) Experiment 3. $S_e = 0.9$ (Hansen's model), (d) Experiments 4. $S_e = 0.9$ (Hansen's model),
 $a = 2.71$ s/m and $b = 65.35$ s²/m² (Monteiro-Alves's model) $a = 0.82$ s/m and $b = 52.82$ s²/m² (Monteiro-Alves's model)

¡Cuidado con la posible anisotropía!



Hombre solo; Author: Antonio Mingote, 2008; Ed. Planeta

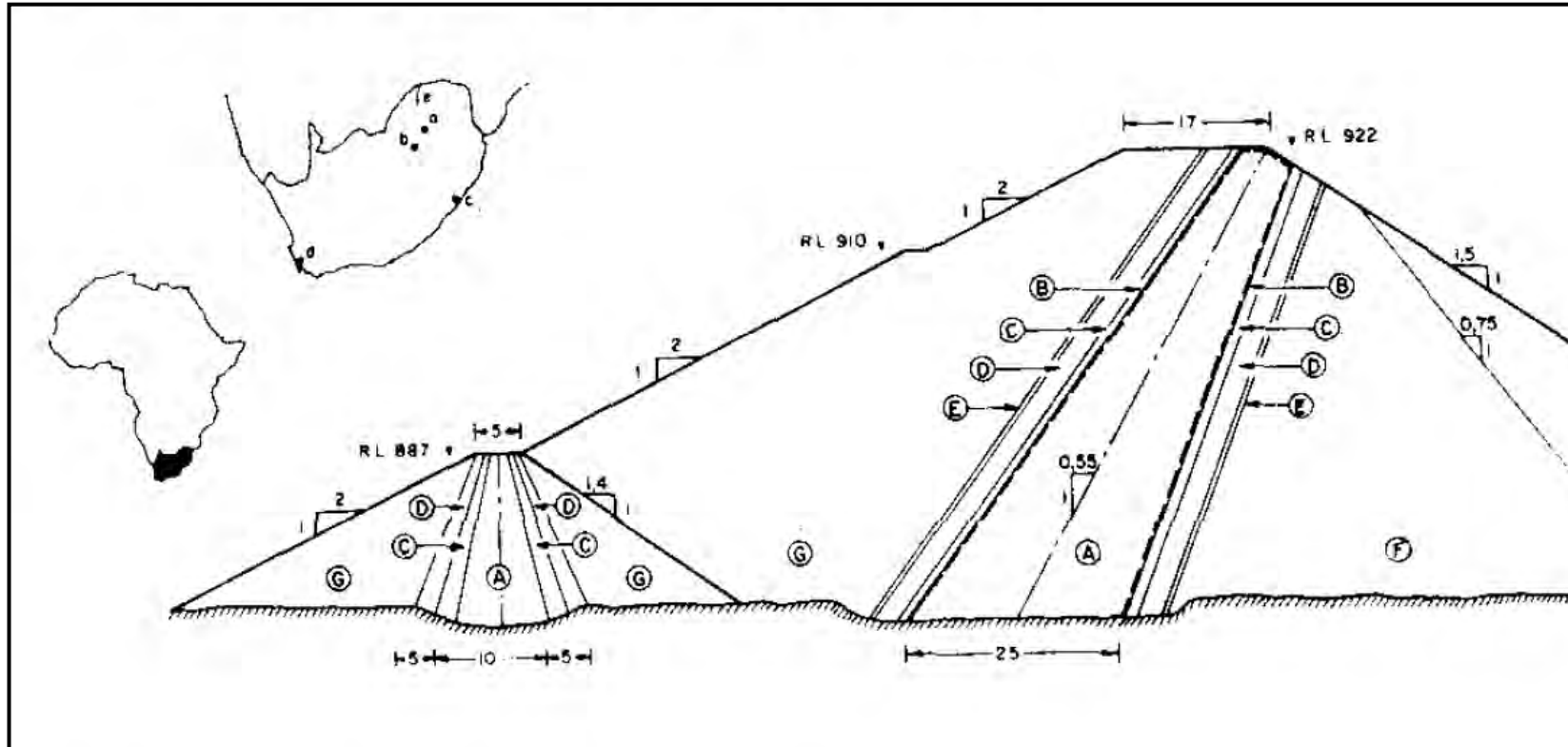
La rotura de una presa
de escollera requiere
que se supere un cierto
caudal

...que depende de la permeabilidad de la escollera
y de la altura de la presa

Presas de escollera

Rotura del núcleo

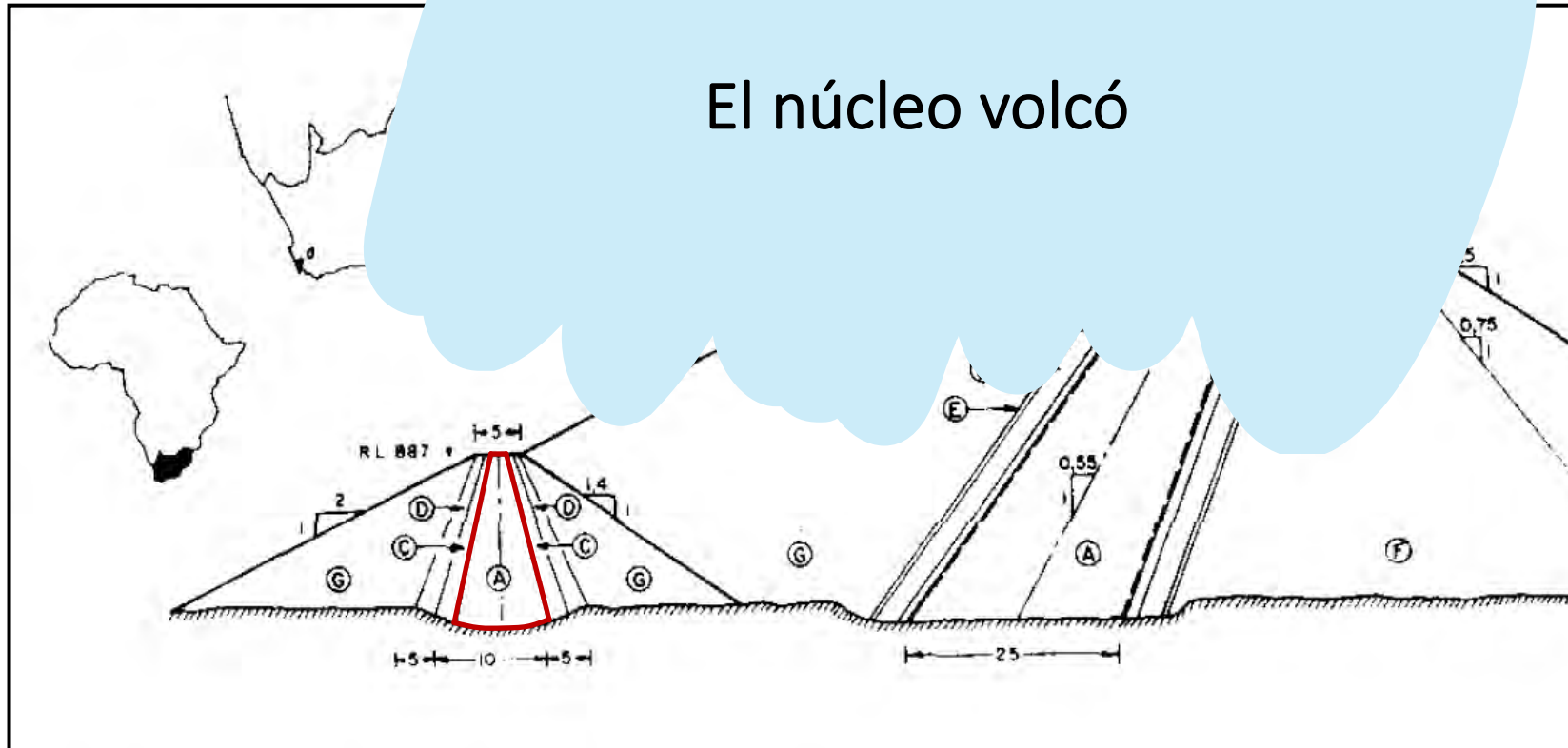
Ataguía de la presa de Hans Strydom (rotura en 1977)



Odendaal and Van Zyl 1979

Hans Strydom co

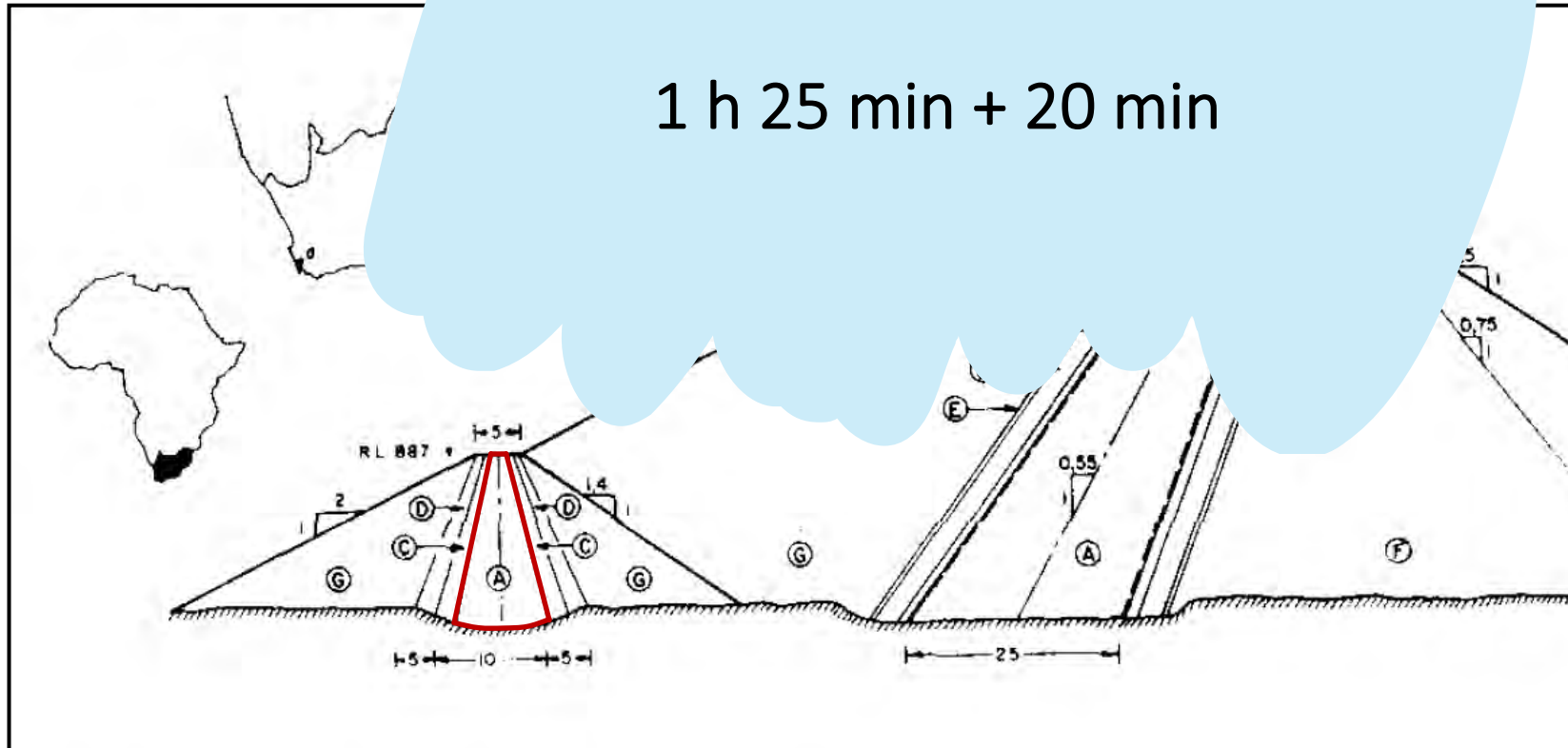
El núcleo volc



Odendaal and Van Zyl 1979

Hans Strydom co

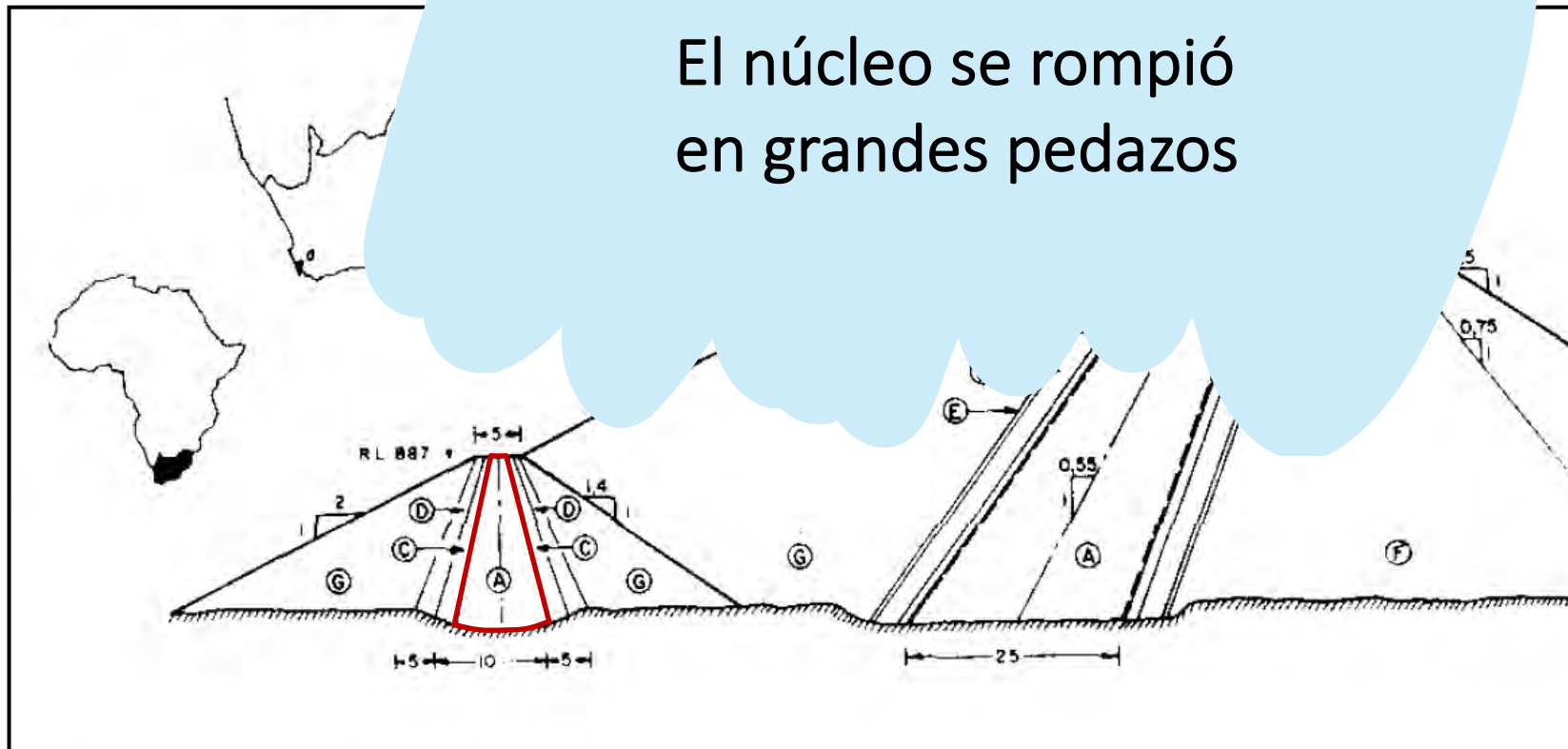
1 h 25 min + 20 min



Odendaal and Van Zyl 1979

Hans Strydom co

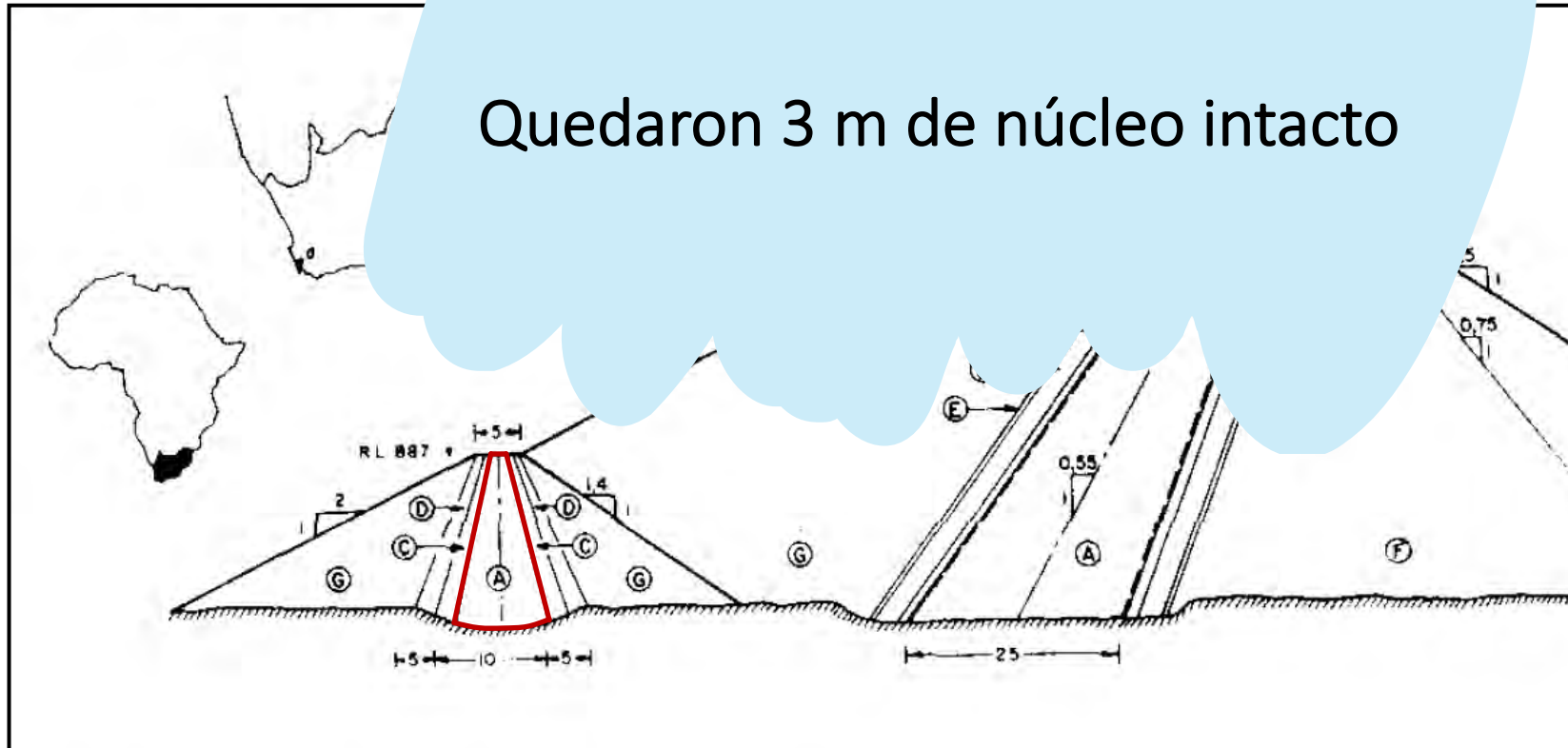
El núcleo se rompió
en grandes pedazos



Odendaal and Van Zyl 1979

Hans Strydom co

Quedaron 3 m de núcleo intacto



Odendaal and Van Zyl 1979

Presas de Tous

(rotura en 1982)

antes de la rotura...





...después de la rotura



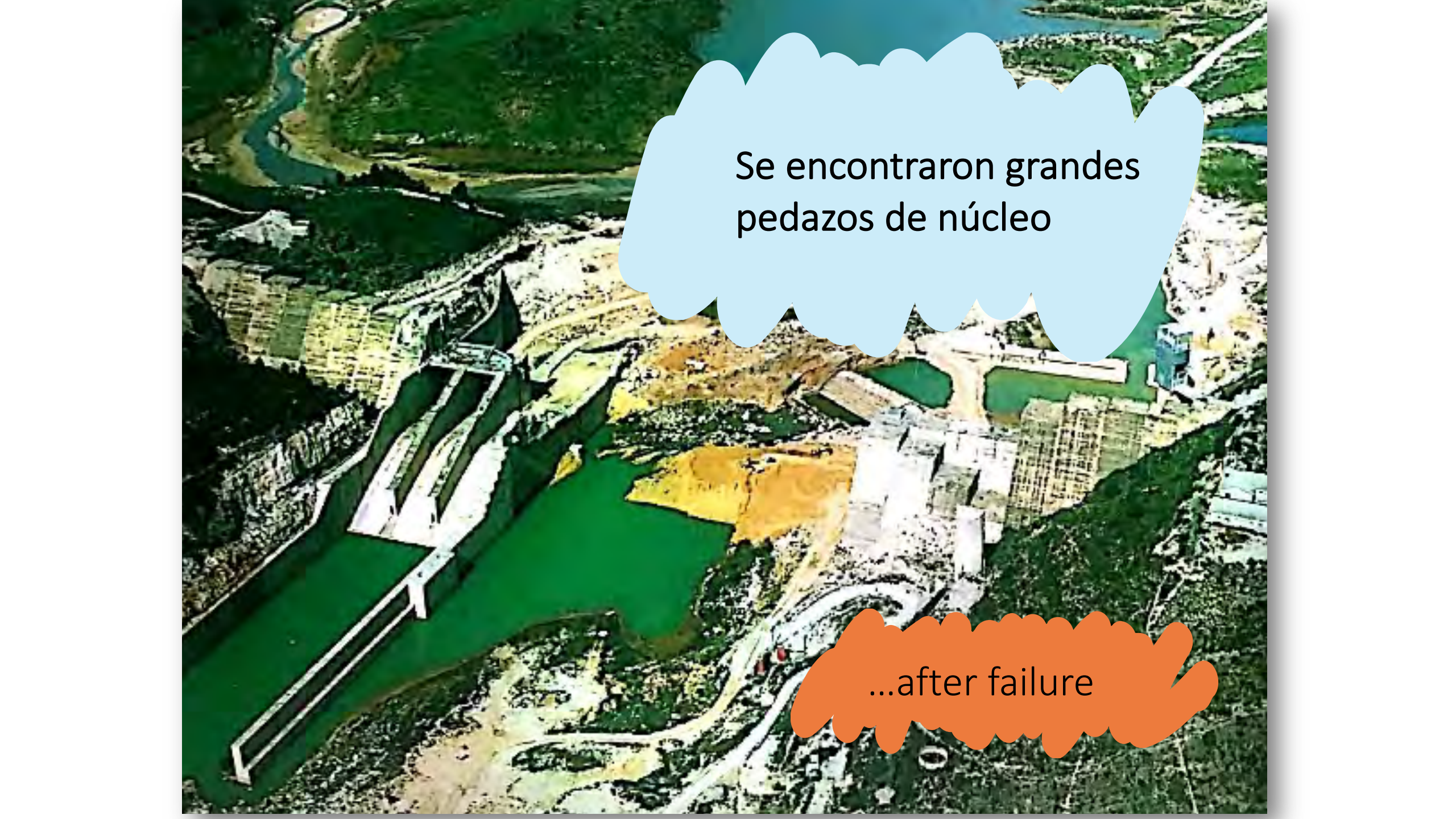
...después de la rotura

An aerial photograph of a large dam structure with multiple spillways, situated in a valley. The surrounding landscape includes green fields, some buildings, and a winding river. A light blue cloud-like bubble is overlaid on the upper right portion of the image. Inside the bubble, there is Spanish text and a cartoon drawing of a smiling bomb character with a lit fuse.

Se oyó un ruido como
una explosión

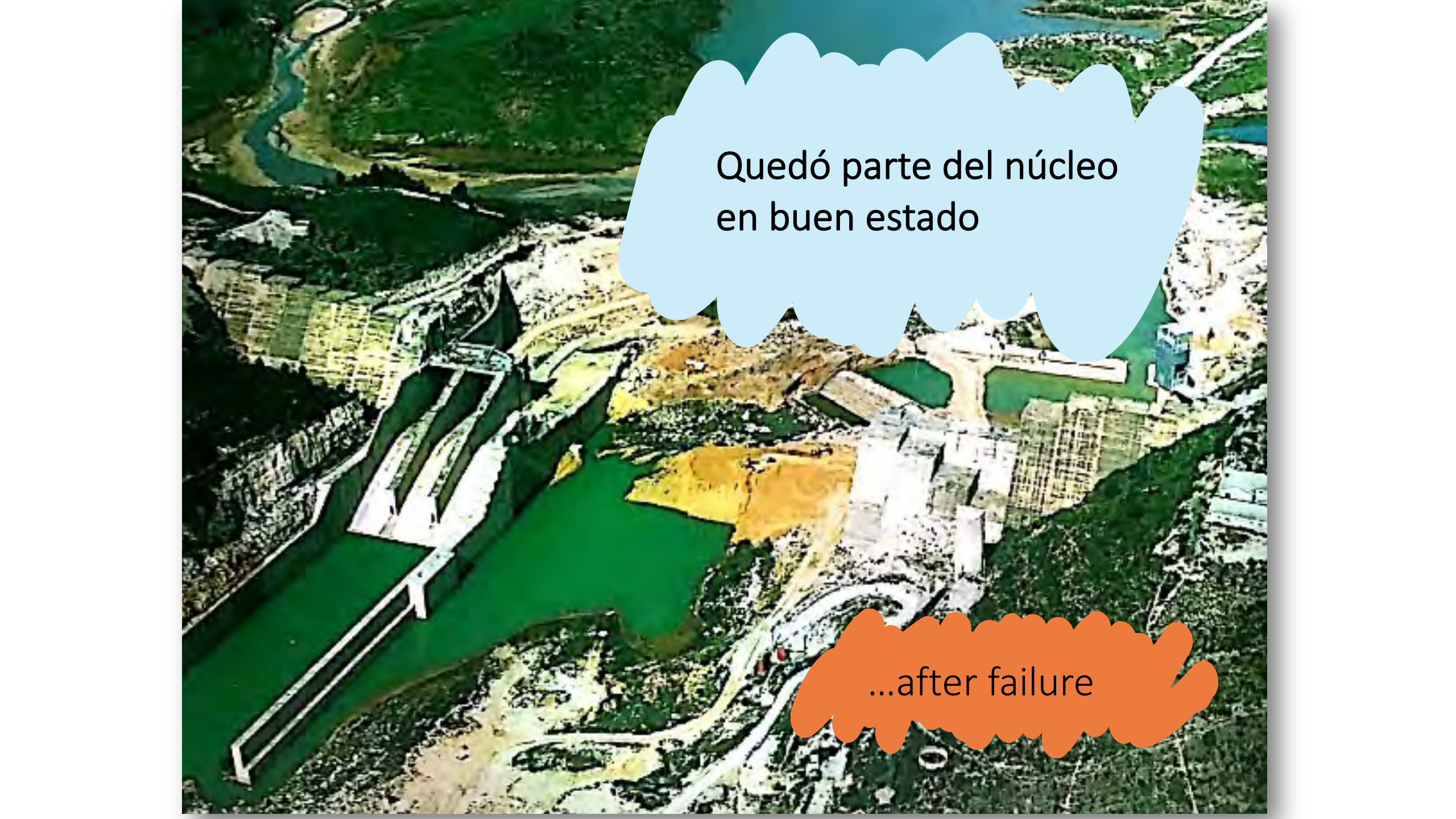


after failure

An aerial photograph showing a large dam structure with a significant breach. The reservoir is filled with greenish water. The surrounding area includes a town with buildings and roads, and a river flowing through a valley. A large blue cloud-like shape is overlaid on the upper part of the image, and an orange cloud-like shape is overlaid on the lower right part.

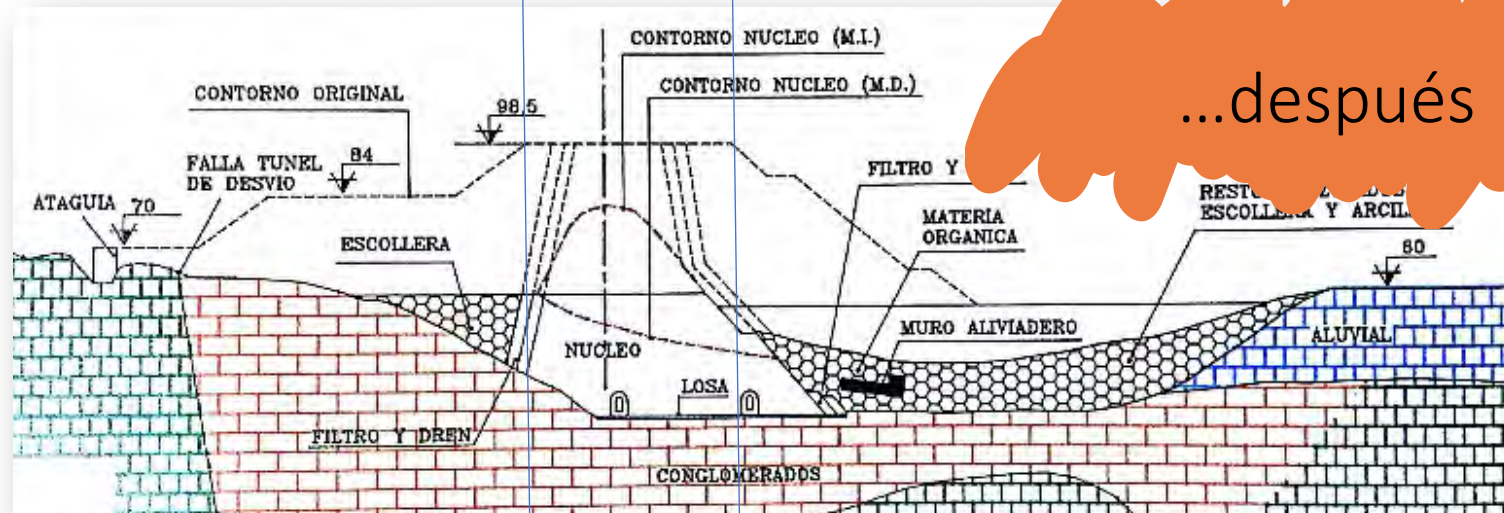
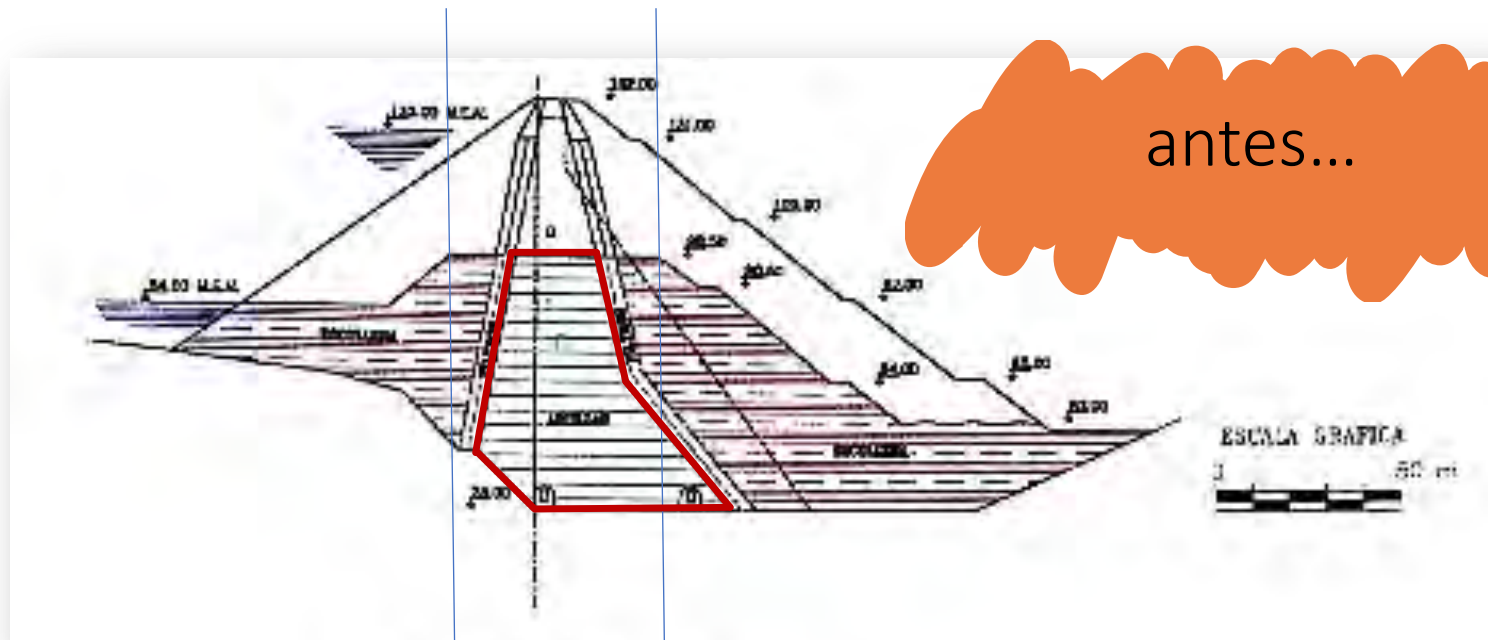
Se encontraron grandes
pedazos de núcleo

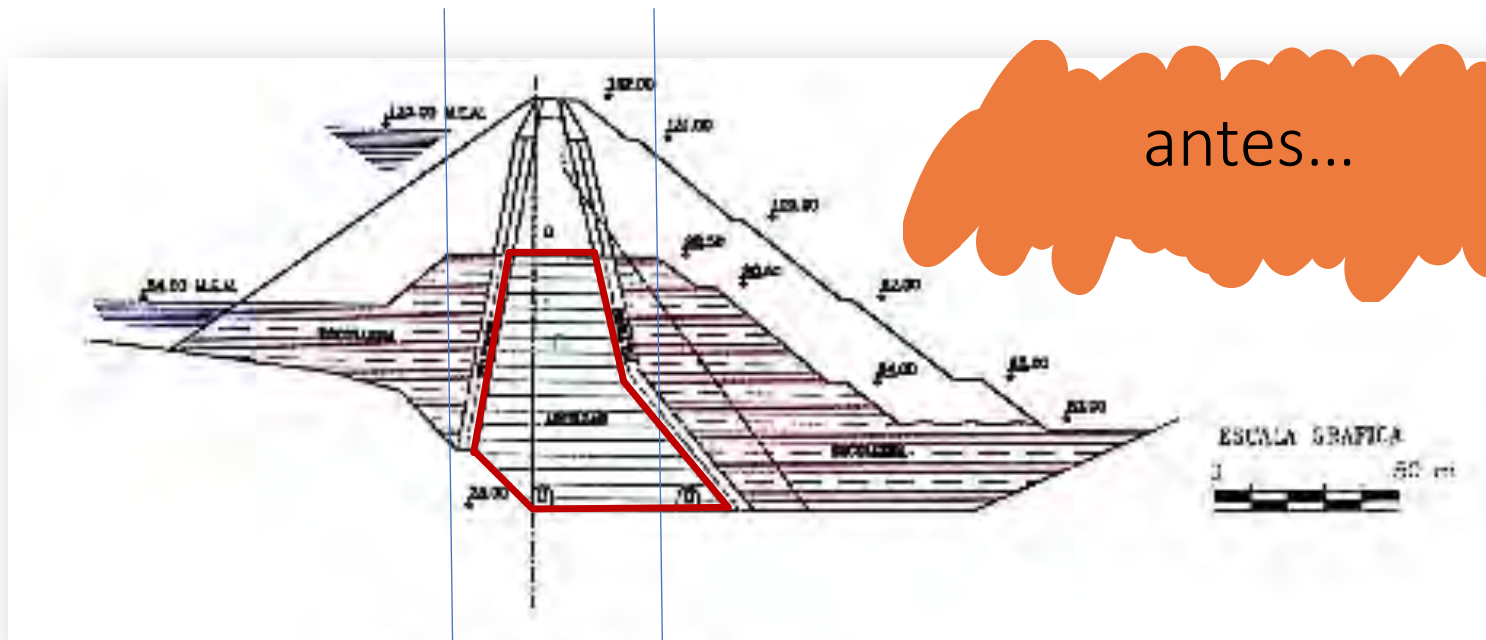
...after failure

An aerial photograph showing a large dam structure with multiple spillways. The water behind the dam is a deep green color. The surrounding landscape includes green fields, some industrial or construction areas with yellow and orange earth, and a river or canal flowing through the scene. Two text overlays are present: a light blue cloud-like shape in the upper right and an orange cloud-like shape in the lower right.

Quedó parte del núcleo
en buen estado

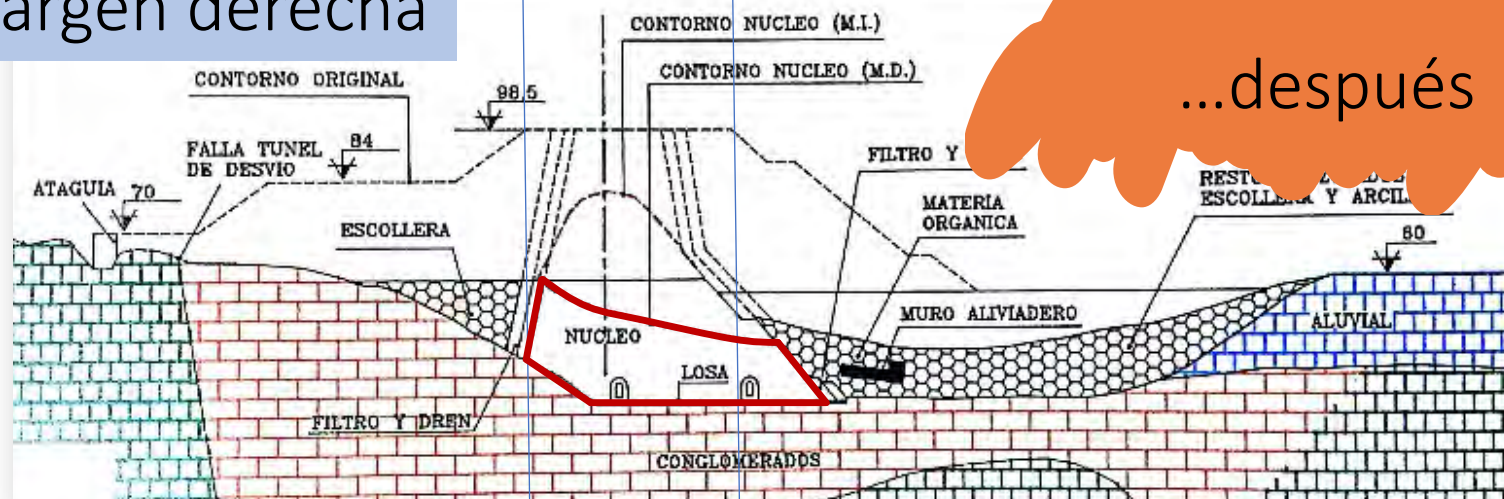
...after failure



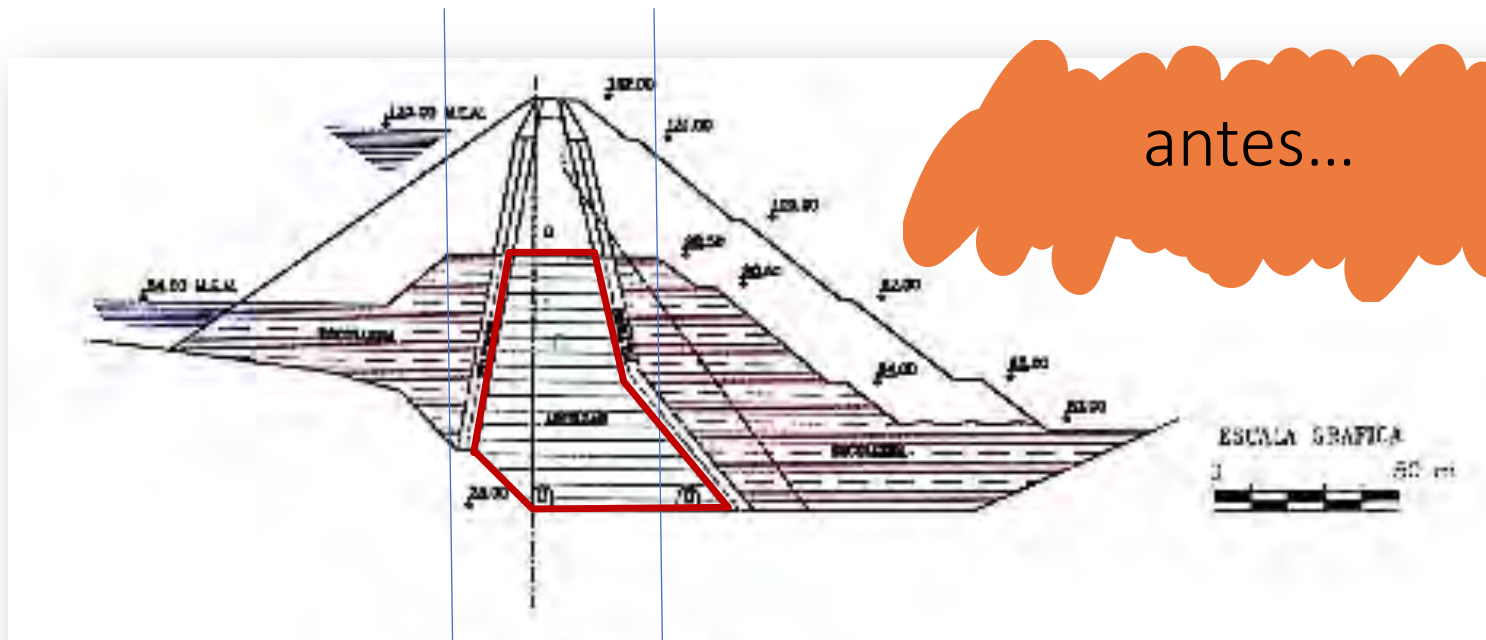


antes...

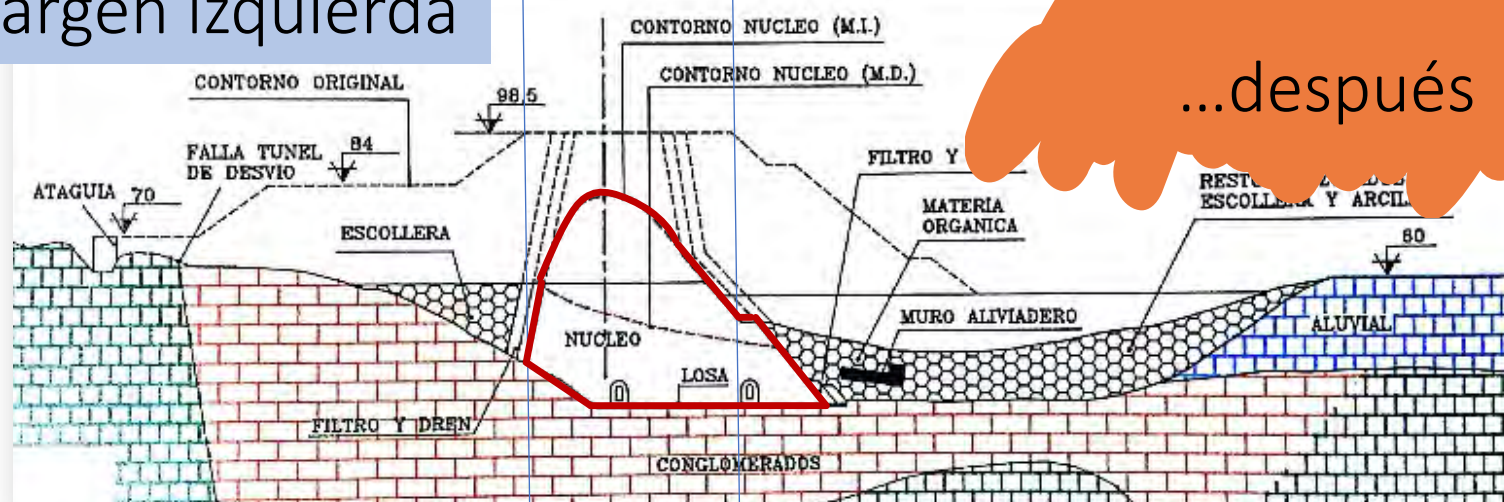
Margen derecha



...después



Margen izquierda



Núcleo ancho



Núcleo estrecho



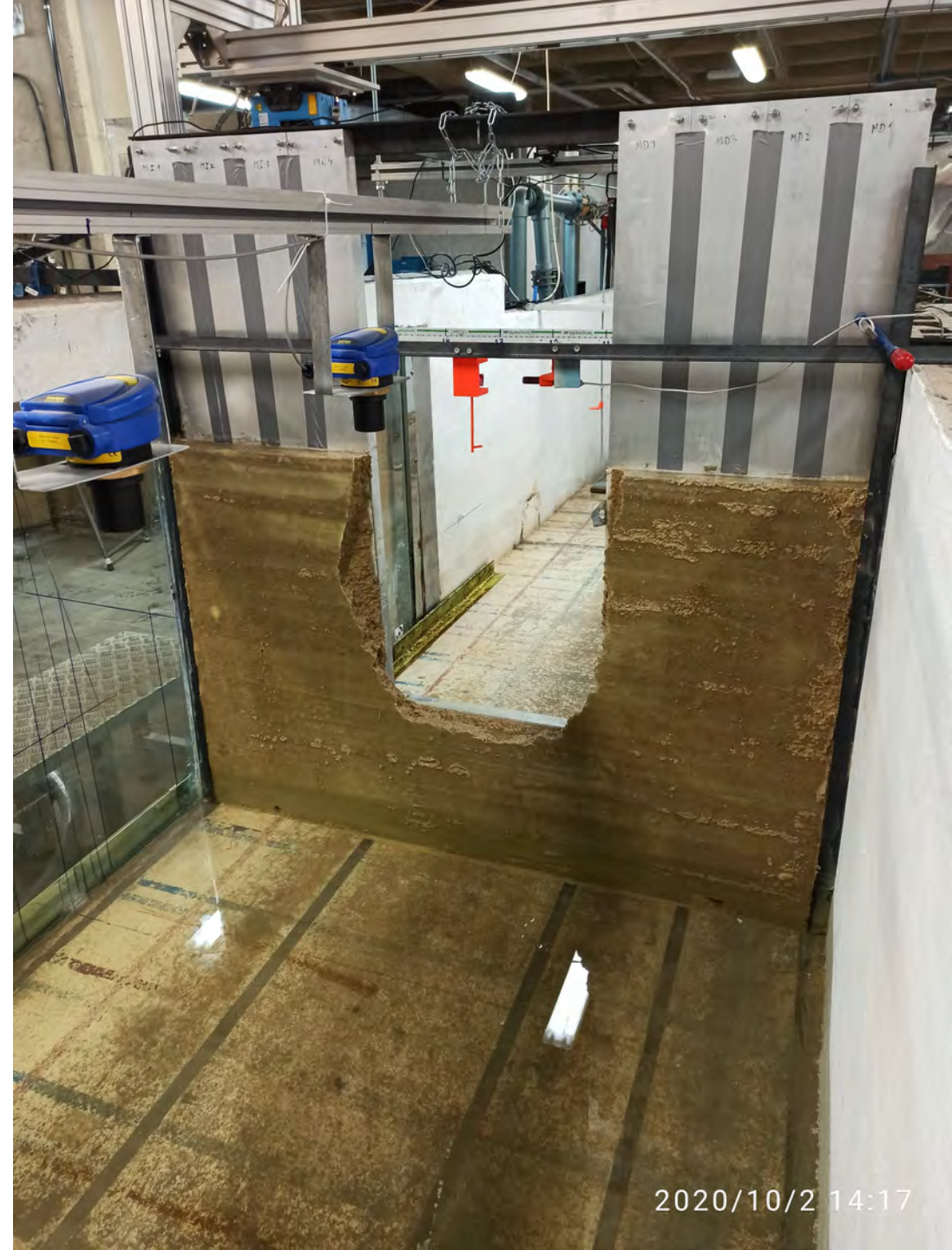
Pantalla

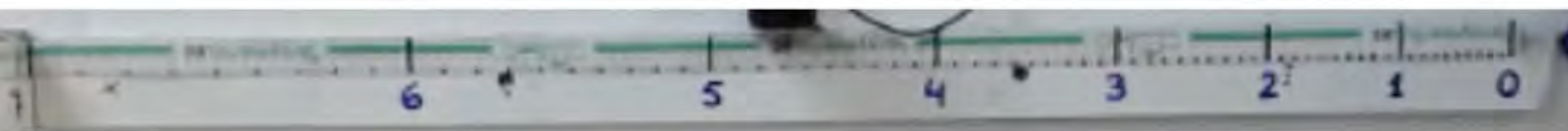


HIRMA



INCLAM - UPM - CIMNE





Margen derecho



Frontal



Margen izq.



13:59:40

Viernes, 2 de octubre de 2020

00:00:00.000

Desarrollo y validación de una aplicación para la determinación del hidrograma de rotura de presas de materiales sueltos a partir de la configuración geomecánica particular (HIRMA)

La onda de rotura de
una presa de escollera
está gobernada por el
elemento impermeable

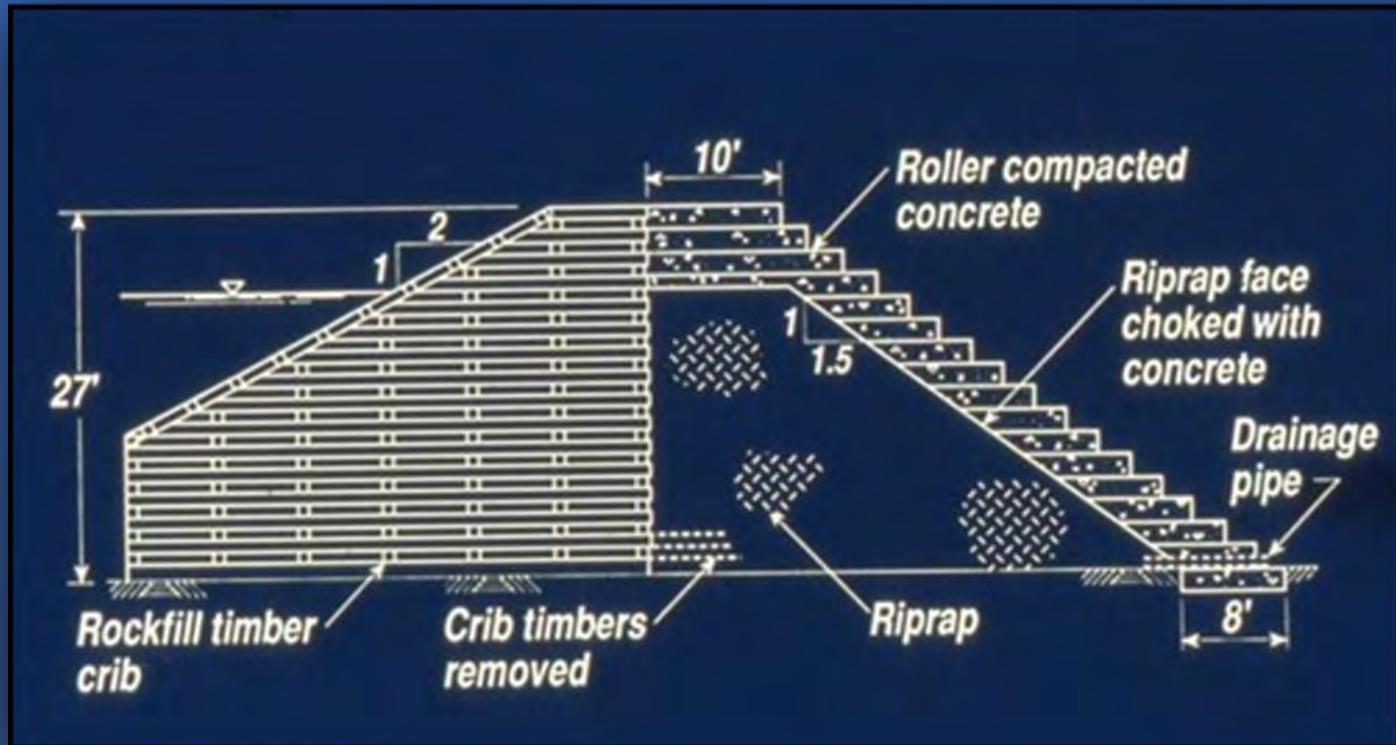
...y esa rotura es estructural y por tanto rápida



El remedio



El remedio



HCR

Presa de Ocoee N° 2, Tennessee
(Fuente: Hansen y Fitzgerald 2016)

Losas de HV



Presa de Ulley, Reino Unido



Presa de Molino de la Hoz, España



Presa de Crotty, Australia

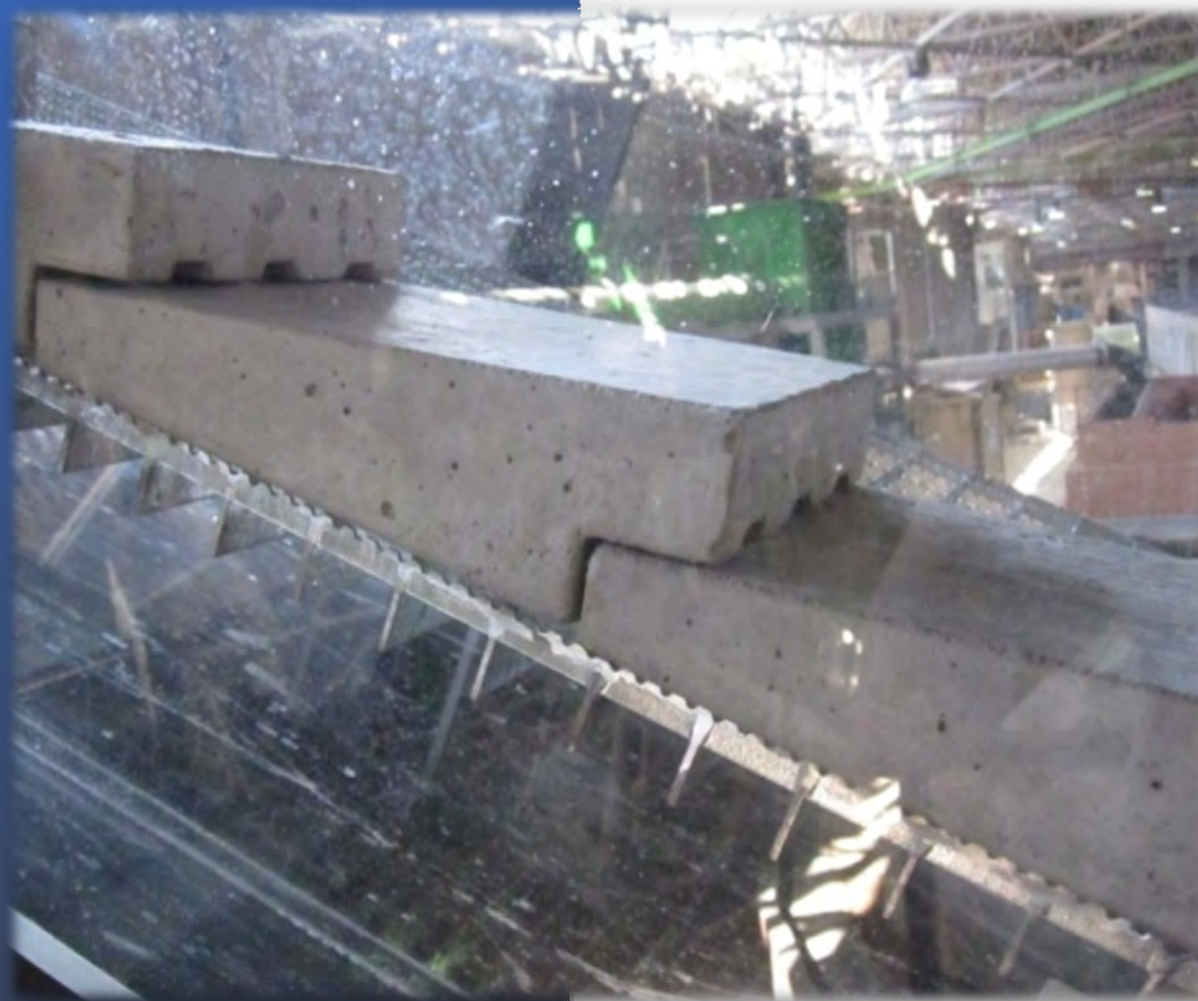
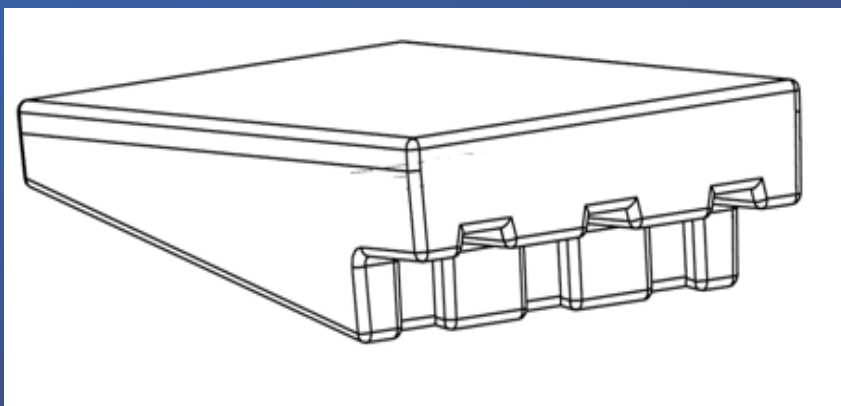
82 m de altura

Bloques en forma de cuña



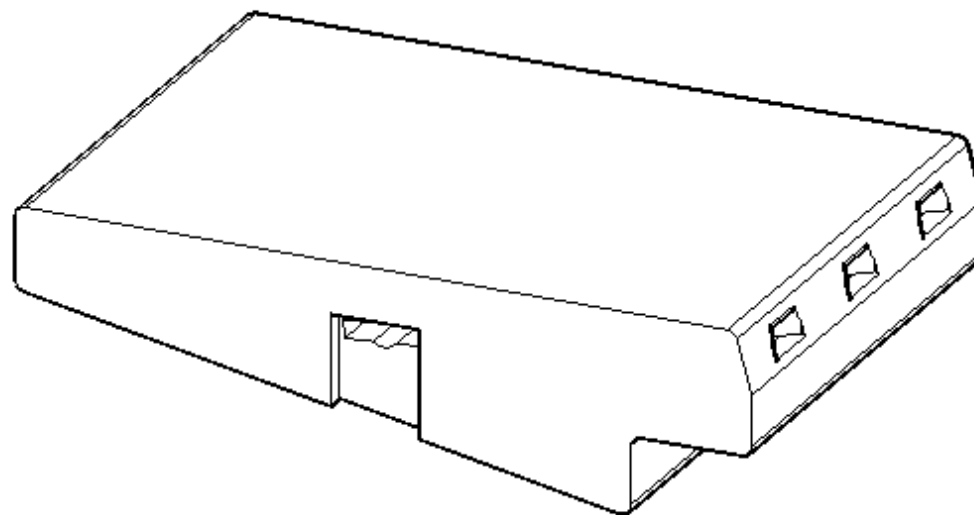
Presa de Barriga, España

11 m²/s en Avenida Extrema



Bloque USA

Bloque ACUÑA





Presa de Ogden, Reino Unido



Presa de Bruton, Reino Unido 10,2 m²/s

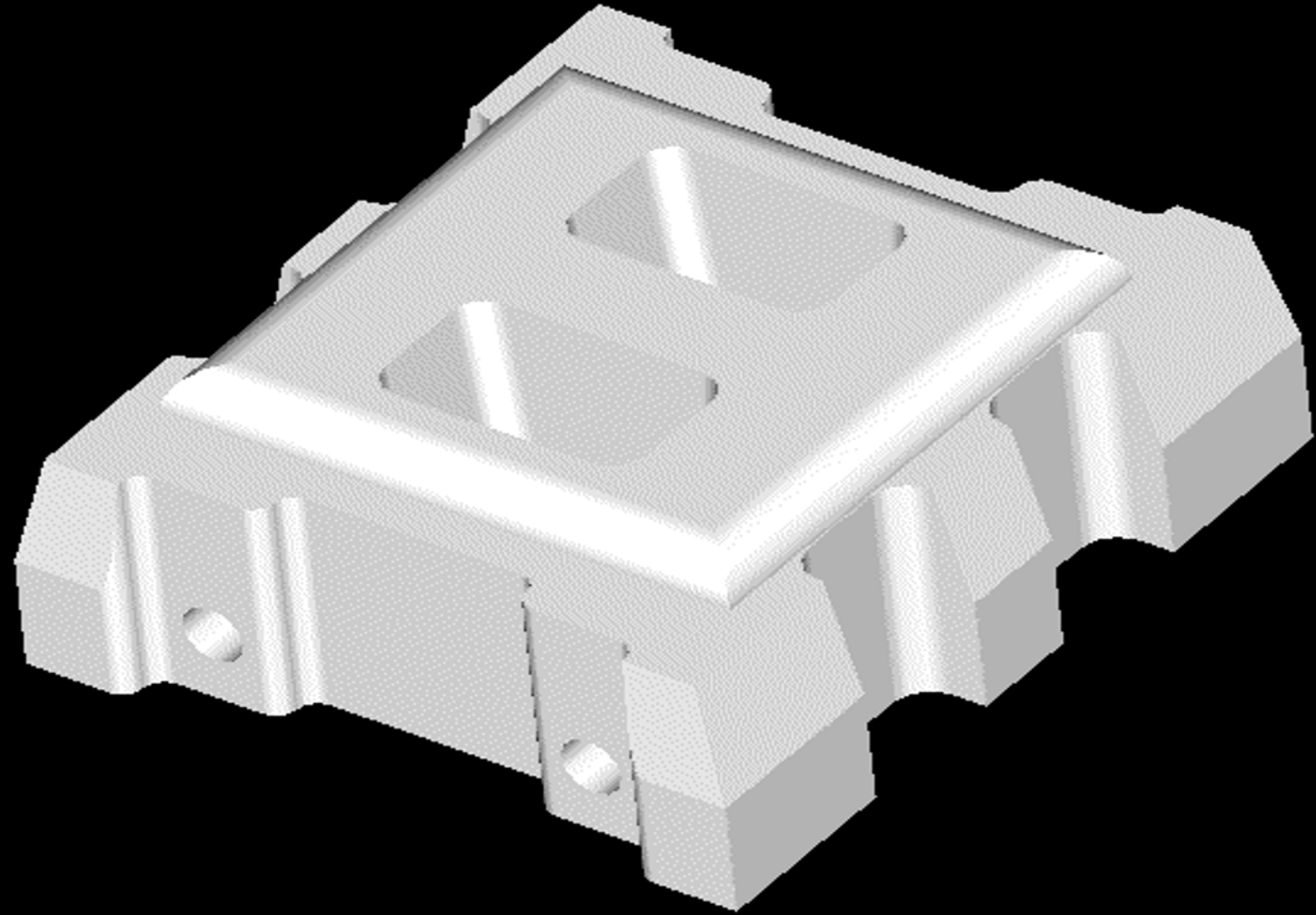
Bloques articulados de hormigón (ACBs)



Ataguía de la presa del Portugués, Puerto Rico

Altura de sobrevertido
estimada de 1,20 m





Fuente: Fawcett 2016

Fuente: Fawcett 2016





<http://watershedgeo.com/hydroturf/>

Mortero armado con césped sintético (Hydroturf)



Aplicación, 2014

Huracán Katrina, 2005







ArmorMax® ARVS for
Erosion Control

Type B1 Anchor



Thompson 2016

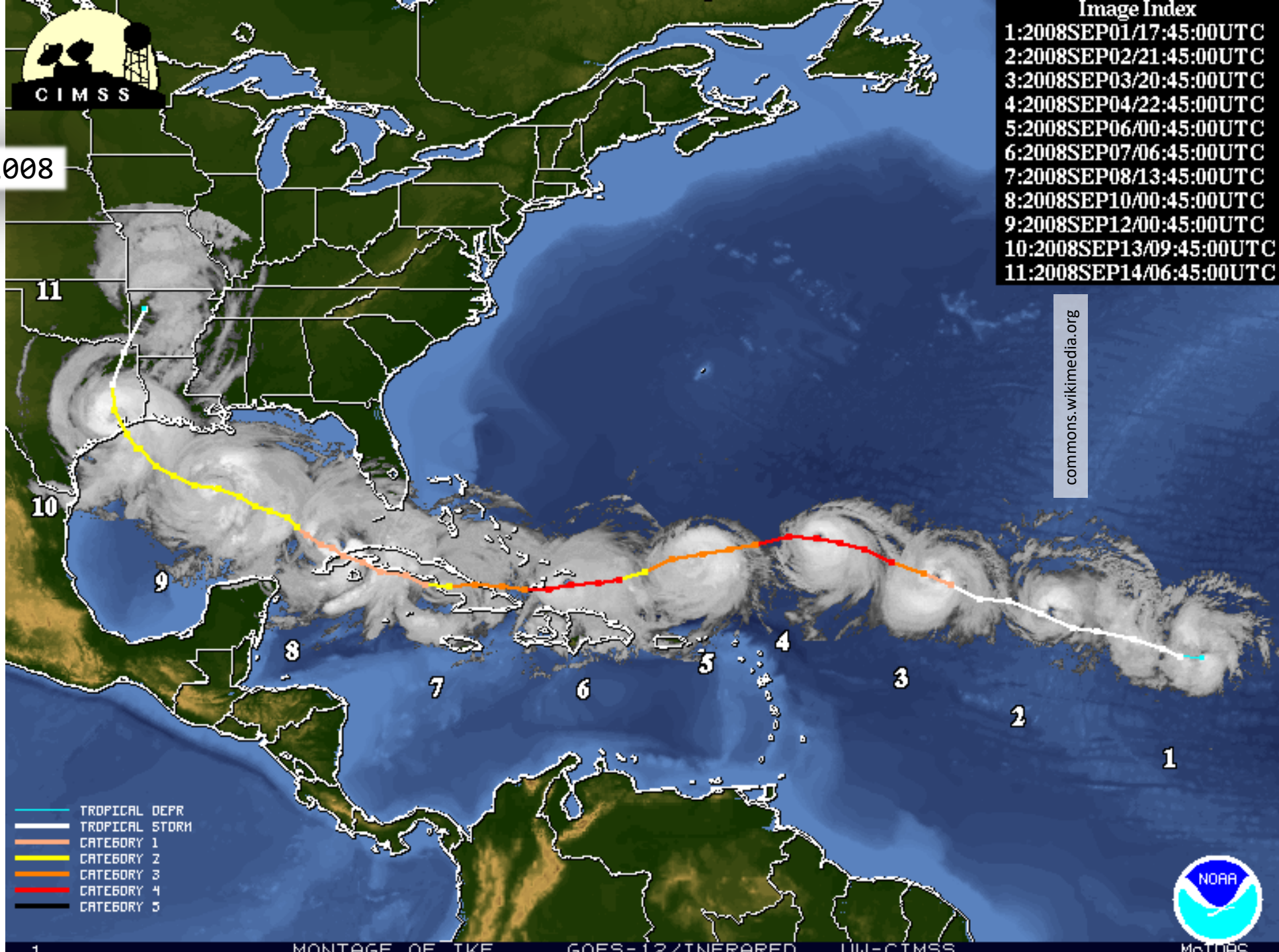
2600 m de dique protegidos con ArmorMax



Huracán Ike, 2008

- Image Index
- 1:2008SEP01/17:45:00UTC
 - 2:2008SEP02/21:45:00UTC
 - 3:2008SEP03/20:45:00UTC
 - 4:2008SEP04/22:45:00UTC
 - 5:2008SEP06/00:45:00UTC
 - 6:2008SEP07/06:45:00UTC
 - 7:2008SEP08/13:45:00UTC
 - 8:2008SEP10/00:45:00UTC
 - 9:2008SEP12/00:45:00UTC
 - 10:2008SEP13/09:45:00UTC
 - 11:2008SEP14/06:45:00UTC

commons.wikimedia.org





Protección con malla ArmorMax

Thompson 2016

Huracán Issac, 2012





Open stone asphalt

Rip-rap

Escollera armada...

Laberintos



Georgia, USA

Teclas de piano (PKW)





[http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000490](http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000490)

Compuertas fusibles tipo Hydroplus

http://www.panoramio.com/user/4400892?with_photo_id=34553095





Presa de Louet, Francia

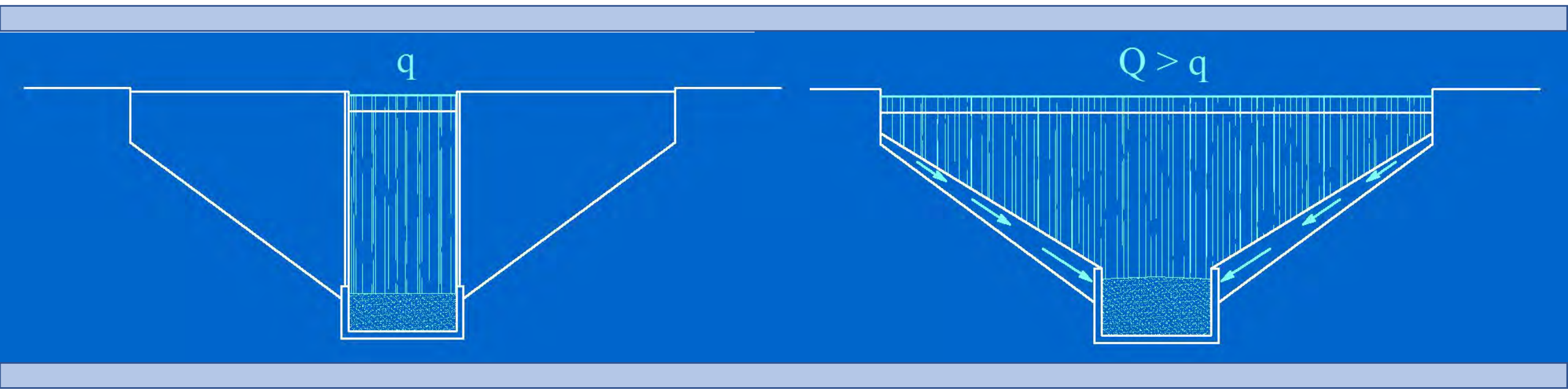
Compuertas fusibles recuperables



Compuertas inflables



Cajeros altamente convergentes





Presa de Zapardiel de la Cañada (Ávila)



CALA
FCC - UPM - CIMNE

CAJEROS ALTAMENTE CONVERGENTES

ALIVIADEROS





Soluciones tradicionales





El resguardo



Enfoque legalista



¿Cumple el resguardo?

¿Tengo un problema legal?

¿Tengo un problema social?

¿Tengo un problema económico?





· Hombre solo; Author: Antonio Mingote, 2008; Ed. Planeta



Hombre solo; Author: Antonio Mingote, 2008; Ed. Planeta

Resguardos fijos





La solución

Resguardo

Protecciones

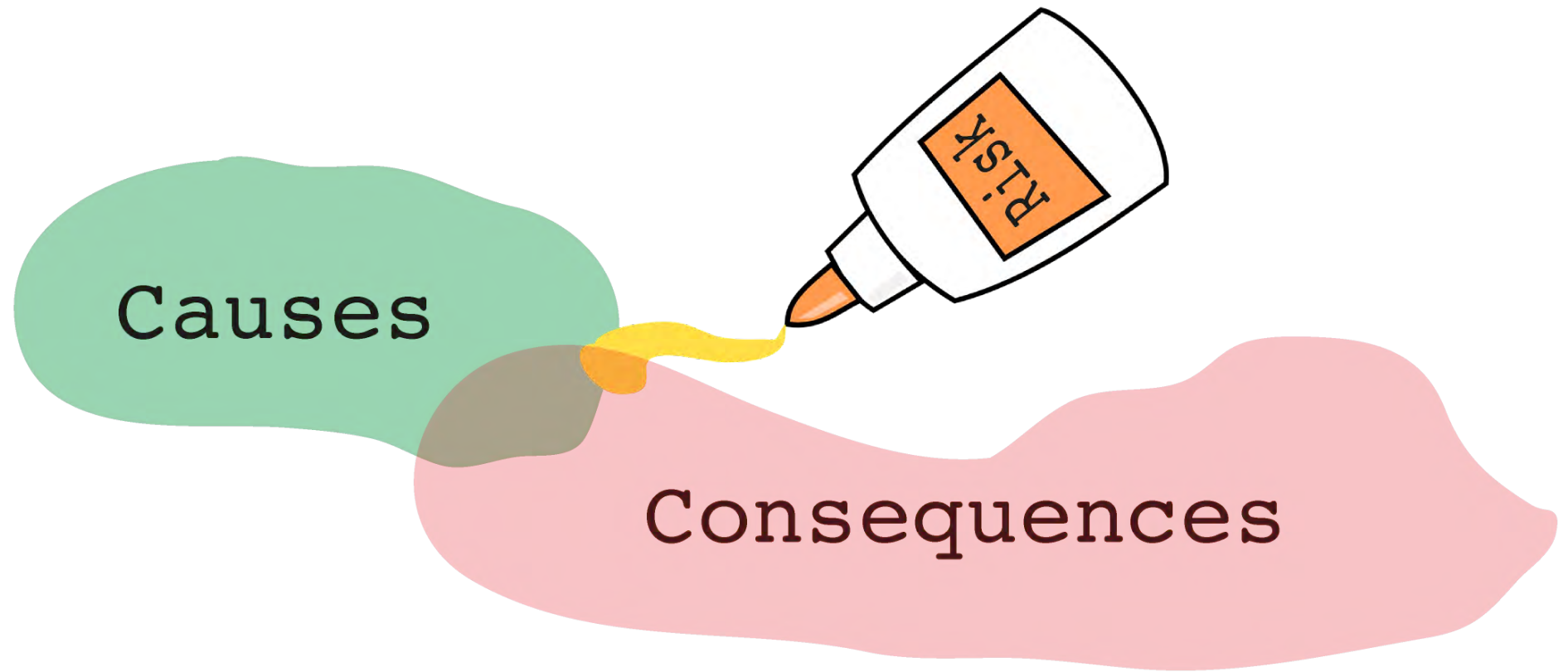


Resguardo - Protecciones



Riesgo





$$\text{Riesgo} = P(\text{rotura}) \times \text{Daños}$$



$$P(\text{rotura}) = P(Q > Q_{\text{lim}})$$

Resguardo → Riesgo ← Protecciones

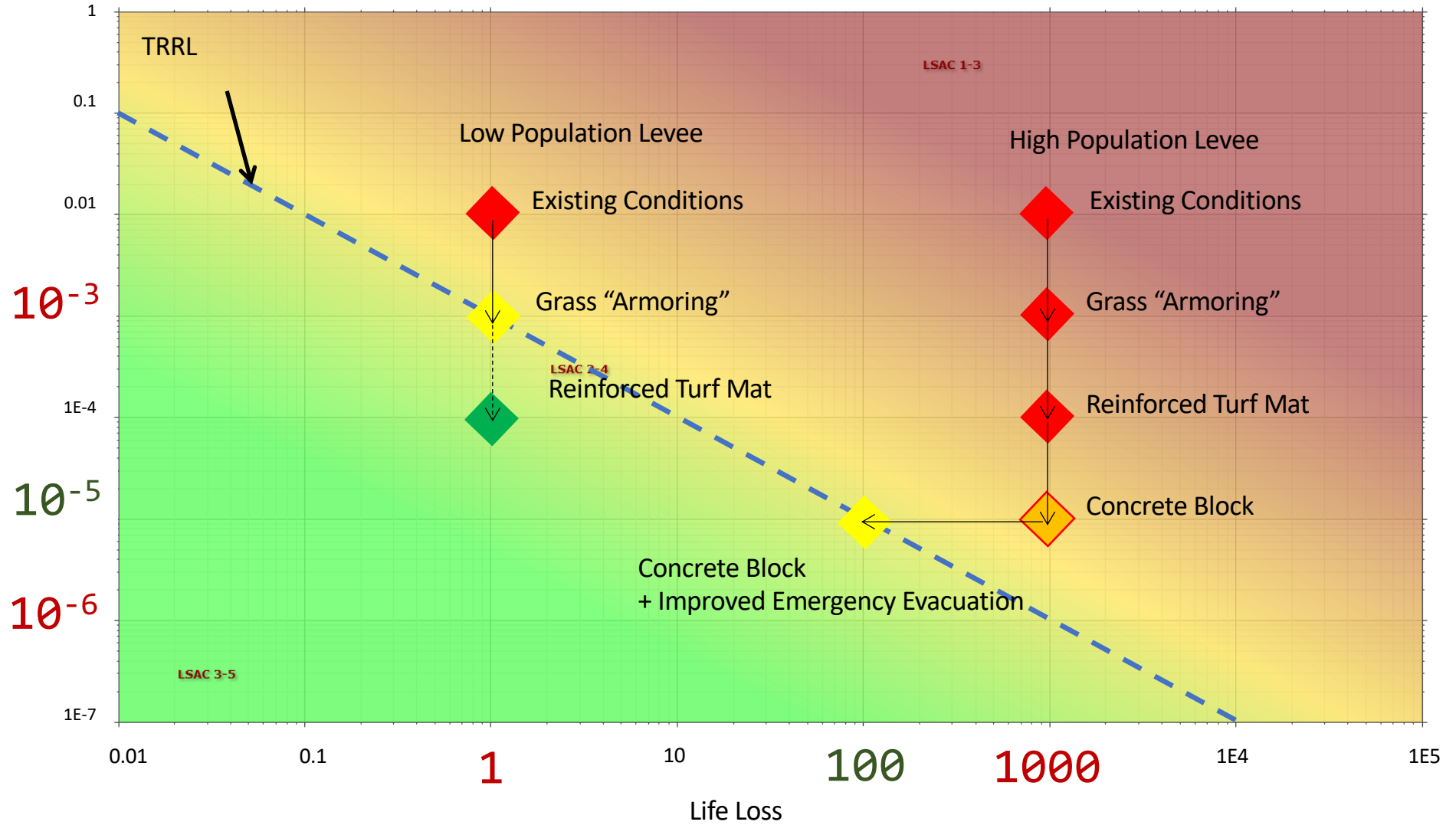




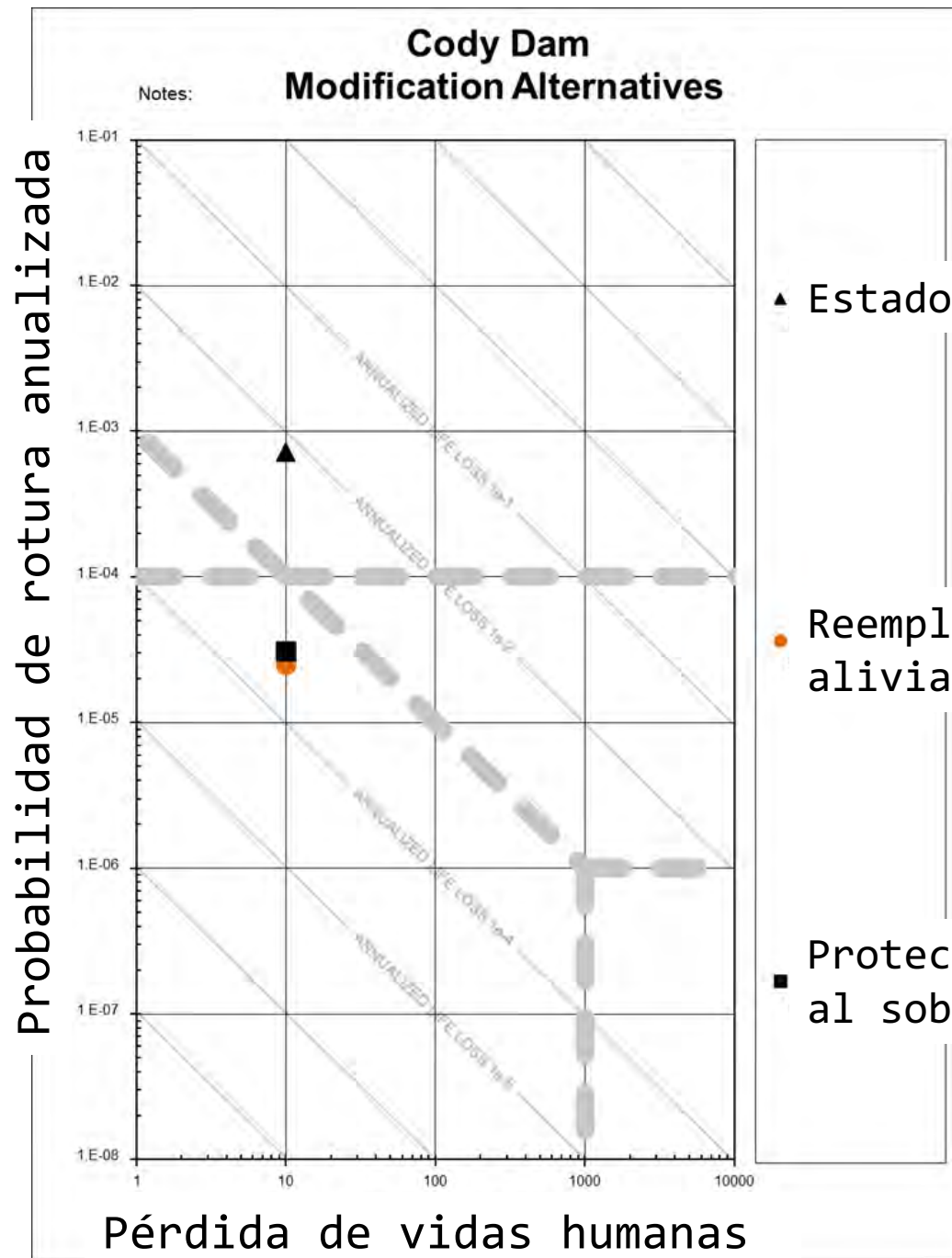


US Army Corps
of Engineers®

Probabilidad de rotura anualizada



37/38

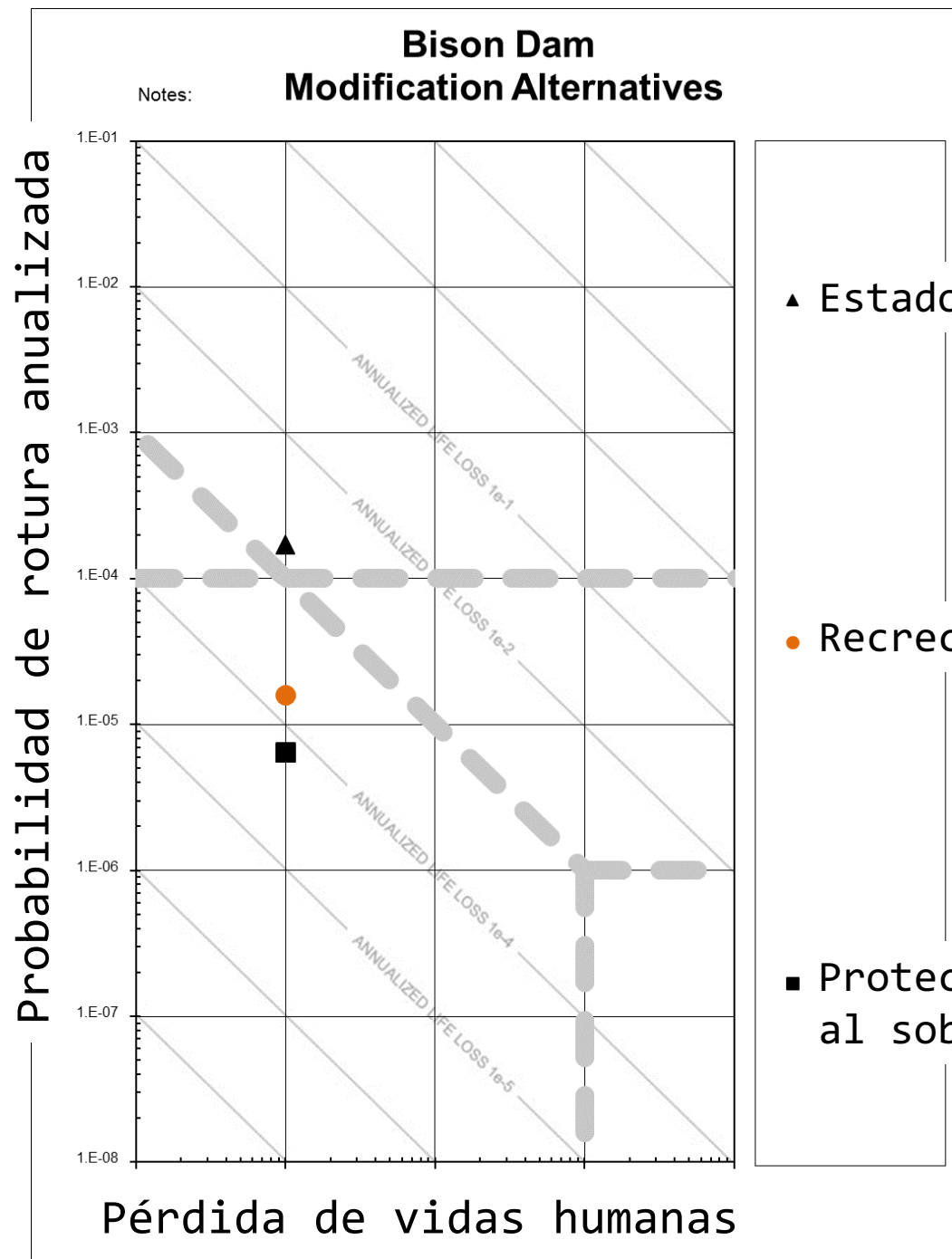


Presa de Cody



Presa de tierra



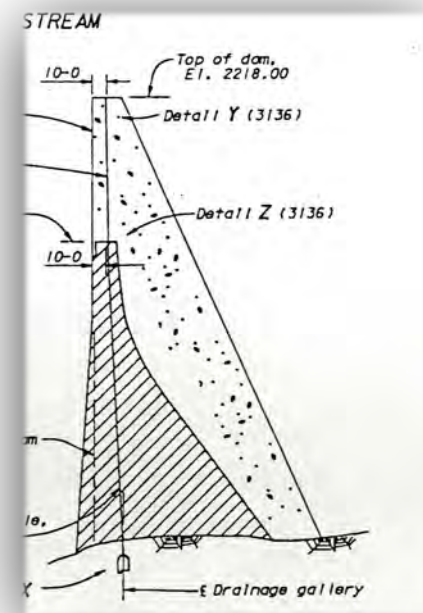


Presa de Bison

▲ Estado actual

● Recreimiento

■ Protección frente al sobrevertido



Presa arco



2015

Avenidas de Columbia, en Carolina del Sur

Rotura de 50 presas...

...la mayoría por sobrevertido...

...con láminas de alrededor de 1 m



Presa de Old Mill; riesgo alto

Presas de Forest Lake

Ondas de rotura de tres presas aguas arriba

Sobrevertido de 90 cm



Las presas con protecciones aguantaron



El peligro de no actuar

i Hay soluciones!



POLITÉCNICA

serpa



Dam Safety Research

RESEARCH GROUP
ON HYDROINFORMATICS
AND WATER MANAGEMENT

blogs.upm.es/serpa
miguelangel.toledo@upm.es

