

# Fase de inicio de la rotura de una presa de escollera por sobrevertido

MIGUEL ÁNGEL TOLEDO (\*), MANUEL B. PISFIL (\*\*) y ANDRÉS DIE MORAN (\*\*\*)

**RESUMEN** En este artículo se analiza la fase de inicio de la rotura de una presa de escollera por sobrevertido. A partir de los ensayos en modelo reducido realizados, se define la “trayectoria de rotura” para caracterizar el proceso de fallo. Se observa una tendencia hacia la línea recta, más clara con taludes suaves. Esto puede deberse al papel relativo desempeñado por los mecanismos básicos de rotura: el deslizamiento en masa juega un papel esencial con taludes muy inclinados, lo que enmascara la tendencia a la línea recta. Para taludes suaves, el único mecanismo activo es el arrastre de partículas, observándose un ajuste más claro.

## INITIATION PHASE OF ROCKFILL DAMS BREACHING BY OVERTOPPING

**ABSTRACT** *This article analyses the initiation phase of rockfill dams breaching by overtopping. Based on the reduced models that have been tested, the “failure path” is defined to characterize the breaching process. It shows a tendency, clearer for gentler slopes, towards a straight line. This may be interpreted as the effect of the relative role of the basic failure mechanisms: mass sliding plays an essential role for steep slopes, and the tendency is hidden. For gentle slopes, the only active failure mechanism is scour, and a clearer fit is observed.*

**Palabras clave:** Sobrevertido, Escollera, Rotura, Brecha.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de rotura de una presa de escollera por sobrevertido, pueden distinguirse dos fases, que pueden denominarse fase de inicio de la rotura y fase de formación de la brecha [1], [2]. La mayoría de las investigaciones realizadas hasta la fecha se han centrado en la fase de formación de la brecha, a pesar de que la fase de inicio influye apreciablemente en la duración total del proceso de rotura, considerando como instante inicial el momento en que se inicia el vertido sobre la coronación de la presa.

El objetivo de esta investigación es caracterizar la evolución del proceso de rotura durante la fase de inicio de la brecha. Este objetivo se inserta en un programa más amplio que se está llevando a cabo en el Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética de la Universidad Politécnica de Madrid, dedicado al estudio de la rotura de presas de escollera por sobrevertido, que se encuentra en su fase inicial; se presentan aquí los resultados obtenidos por el momento.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. INSTALACIONES DE ENSAYO

El programa de ensayos se está llevando a cabo en el Laboratorio de Hidráulica de la ETS de Ingenieros de Caminos

de la UPM, utilizando un canal de vidrio de 30,5 cm de ancho y 40 cm de alto, que está conectado a un depósito de nivel constante.

### 2.2. SISTEMA DE MEDIDA

El caudal se ha medido con un vertedero de pared delgada instalado a la entrada del canal. Los niveles de aguas arriba y aguas abajo se han medido mediante un limnómetro convencional y, en un caso, utilizando un medidor de nivel ultrasónico. Una malla dibujada sobre el cristal del canal ha permitido registrar la posición de la línea de saturación en cada momento.

Un sistema de captación de imágenes de alta velocidad se ha instalado perpendicularmente al talud de aguas abajo del modelo. Se trata de una cámara digital Basler A602f, capaz de registrar 100 imágenes por segundo.

Una segunda cámara digital convencional de vídeo se colocó sobre el canal de ensayo para disponer de una visión frontal del proceso de rotura del modelo, y disponer también de un registro continuo del ensayo, inabordable con la cámara de alta velocidad a causa del tamaño de los ficheros generados.

### 2.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Los modelos se prepararon de 300 mm de altura, y con una coronación de 100 mm de anchura. Los taludes adoptados son de 1V:1,5H aguas arriba y 1V:2H aguas abajo.

Los ensayos se realizaron incrementando el caudal por intervalos, y permitiendo que en cada intervalo se alcanzara el una situación estacionaria. Entonces se realizaban las siguientes medidas: posición de la línea de saturación y forma del talud de aguas abajo (una vez que ha comenzado la rotura). El parámetro Cu/L (Fig. 1) se denomina “Grado de

(\*) Profesor Titular de Ingeniería Hidráulica. Universidad Politécnica de Madrid.

(\*\*) Ingeniero Civil. Doctorando. Universidad Politécnica de Madrid.

(\*\*\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

FASE DE INICIO DE LA ROTURA DE UNA PRESA DE ESCOLLERA POR SOBREVERTIDO

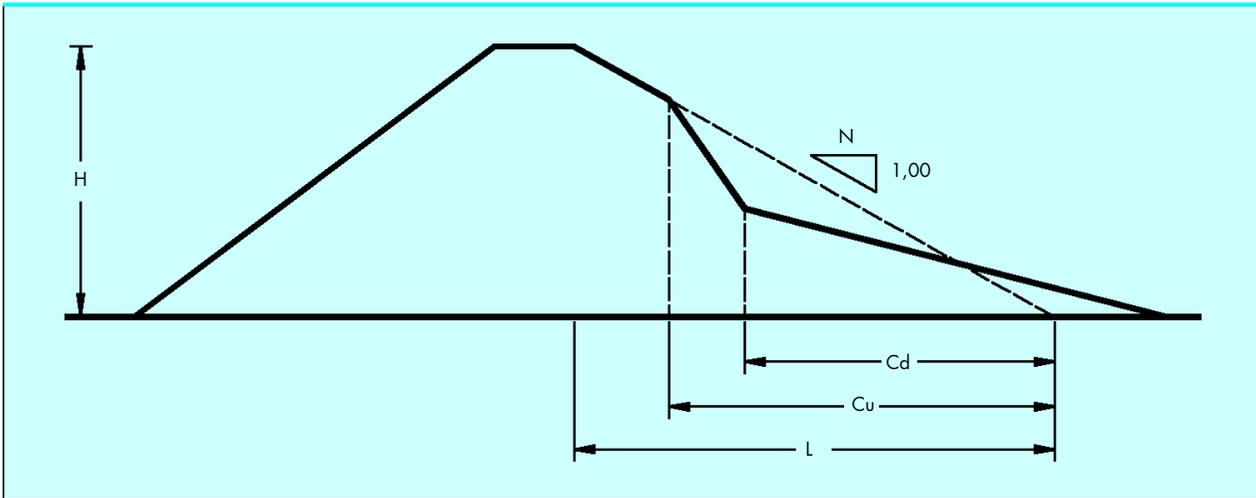


FIGURA 1. Sección del modelo durante la fase de inicio de la brecha.

avance” de la rotura. Este parámetro permite caracterizar el proceso de rotura.

2.4. MATERIALES

En la Tabla 1 y Fig.2 pueden verse las características de los materiales utilizados.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos se muestran en varias tablas y figuras: En la Tabla 2 pueden verse los valores de Cu y Cd medidos en cada escalón de caudal. En las Fig. 3,

Descripción	Material M1	Material M2
D <sub>10</sub> (mm)	5,00	4,80
D <sub>50</sub> (mm)	8,10	5,20
D <sub>60</sub> (mm)	9,00	5,50
Cu	1,80	1,15
Ángulo de rozamiento	37°	36°

TABLA 1. Características de los materiales utilizados en los ensayos.

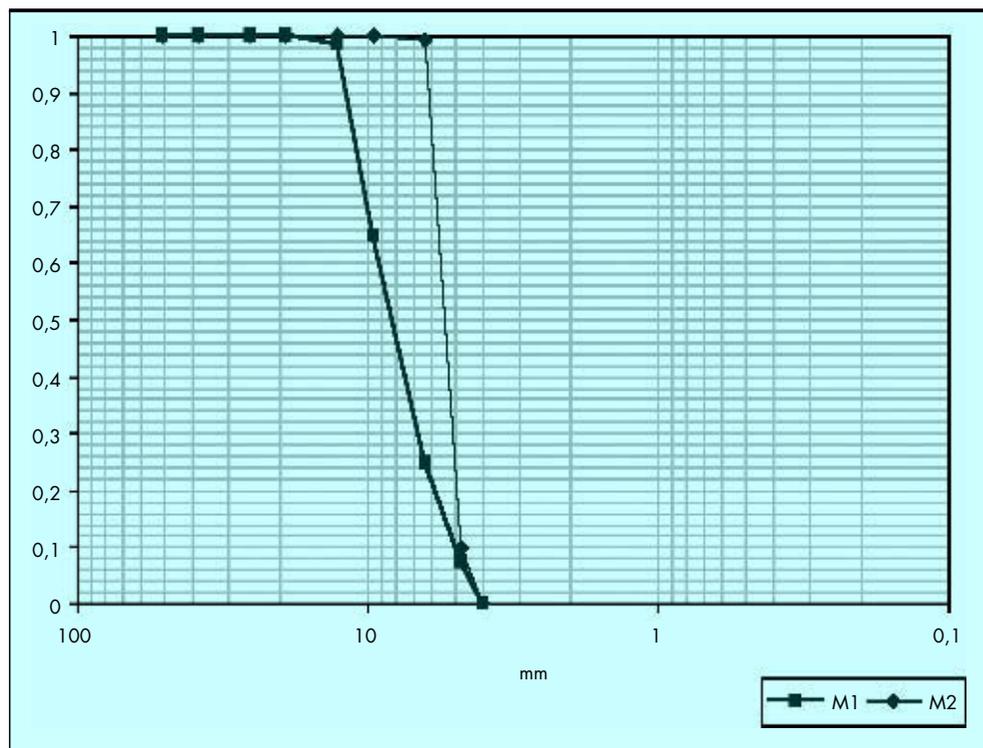


FIGURA 2. Curvas granulométricas de los materiales utilizados.

## FASE DE INICIO DE LA ROTURA DE UNA PRESA DE ESCOLLERA POR SOBREVERTIDO

Caudal(Q) (l/s)	M1		Comentarios
	Cd	Cu	
0,70	30,21	38,75	Arrastre de material (Ver Fig. 3)
1,10	31,17	41,11	Predominio del arrastre. (Ver Fig. 4)
1,20	35,50	47,75	Arrastre
1,30	36,00	48,00	El arrastre continua
1,40	42,83	55,07	Combinación de arrastre y deslizamiento. (Ver Fig. 5)
1,50			Inicio de brecha para $Q=Q_r$ (Caudal de brecha)

Caudal(Q) (l/s)	M2		Comentarios
	Cd	Cu	
0,50	44,50	29,00	Arrastre de material
0,55	46,00	32,00	Arrastre
0,60	48,00	36,00	Arrastre
0,90	54,00	48,00	Combinación de arrastre y deslizamiento.
1,00			Inicio de brecha para $Q=Q_r$ (Caudal de brecha)

TABLA 2. Parámetros Cd y Cu obtenidos para distintos caudales.

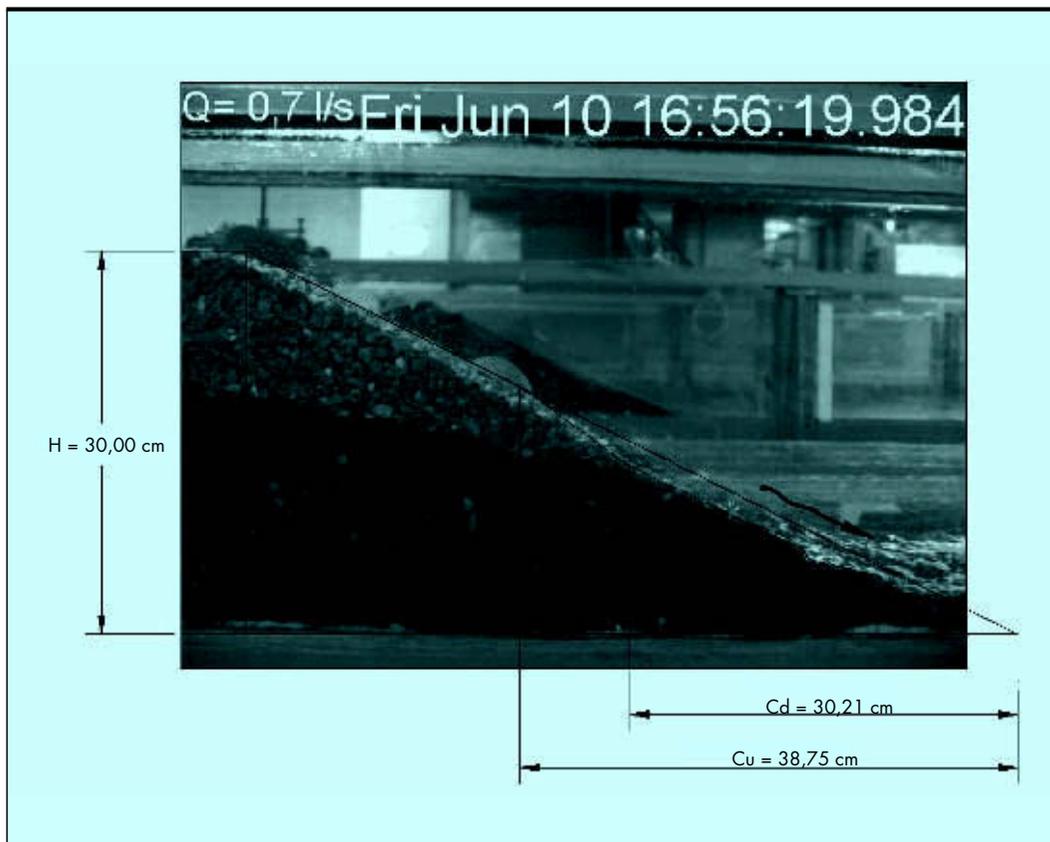


FIGURA 3.

FASE DE INICIO DE LA ROTURA DE UNA PRESA DE ESCOLLERA POR SOBREVERTIDO



FIGURA 4.

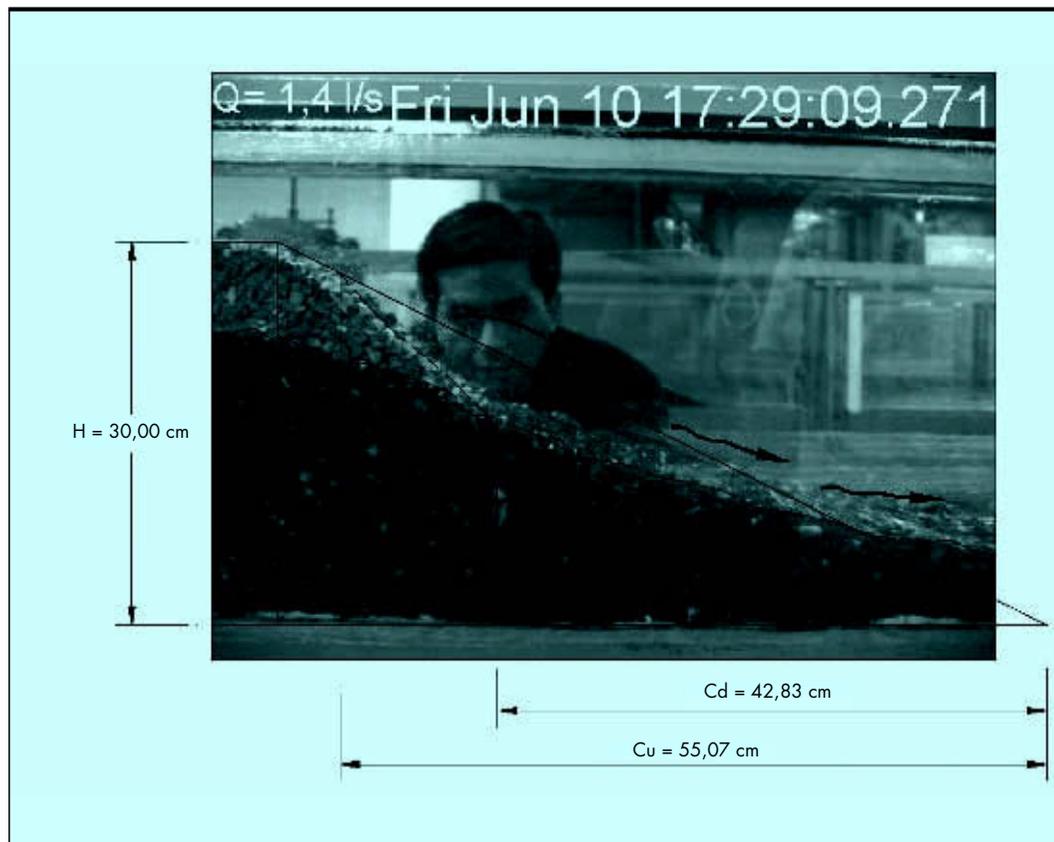


FIGURA 5.

FASE DE INICIO DE LA ROTURA DE UNA PRESA DE ESCOLLERA POR SOBREVERTIDO

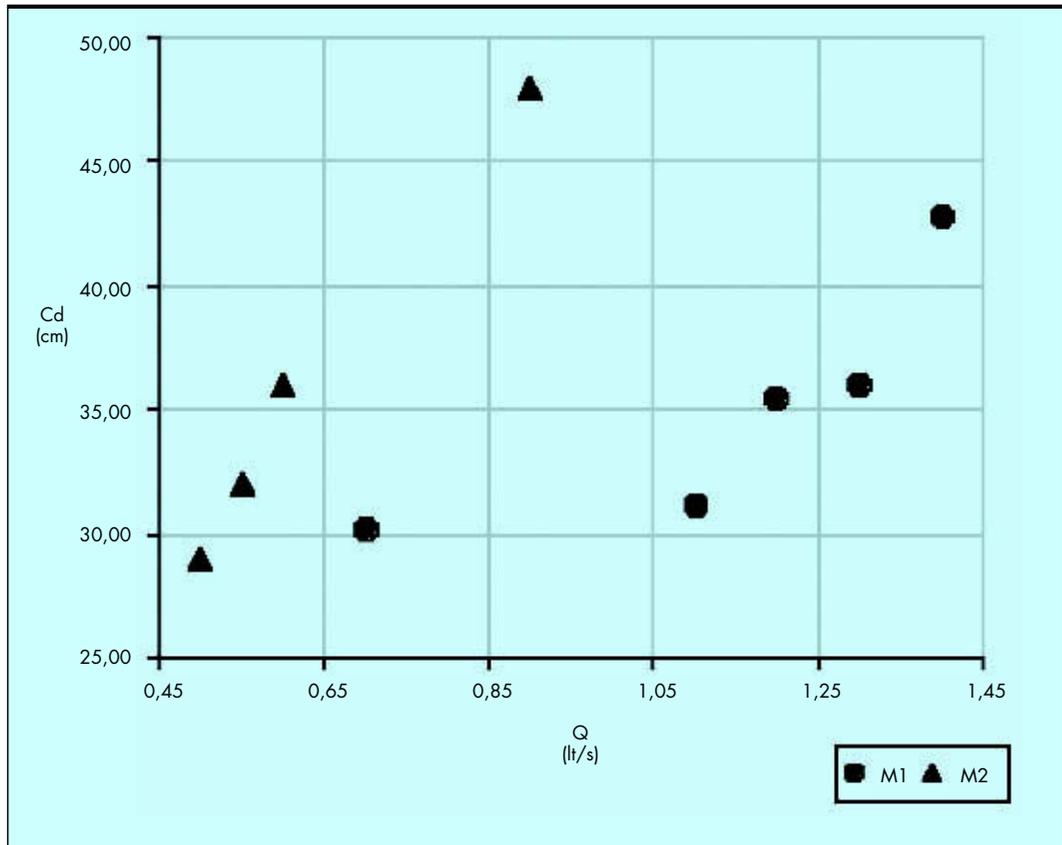


FIGURA 6. Parámetro Q (Caudal) vs Cd.

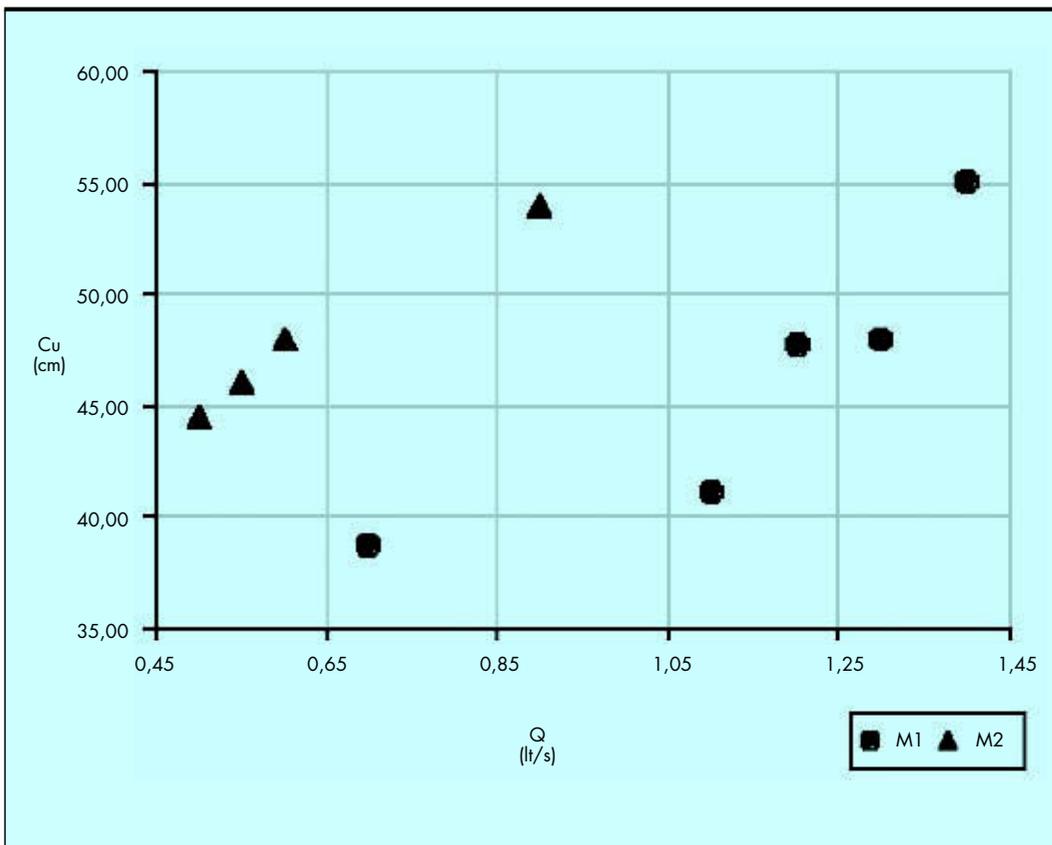


FIGURA 7. Parámetro Q (Caudal) vs Cu.

## FASE DE INICIO DE LA ROTURA DE UNA PRESA DE ESCOLLERA POR SOBREVERTIDO

4 y 5 se muestra su representación. Los puntos ( $Q$ ,  $C_d$ ) y ( $Q$ ,  $C_u$ ) se representan en las Fig. 6 y 7, en las que puede verse el grado de rotura para tres caudales diferentes: 0,70, 1,10 y 1,40 l/s.

#### 4. DISCUSIÓN

La evolución del proceso de rotura durante la fase de inicio de la brecha puede caracterizarse uniendo los puntos ( $Q$ ,  $C_u$ ) en un gráfico. Esta línea, que se denominará "camino de rotura", puede obtenerse de la Fig. 4 para los materiales y geometrías utilizados hasta el momento en los ensayos realizados en el marco de la presente investigación. Los "caminos de rotura" pueden representarse adimensionalmente para facilitar la comparación de los diferentes materiales y geometrías. Para ello, se define el "grado de avance" de la rotura como  $C_u/L$  (ver Fig.1), y el caudal de cada escalón puede dividirse por el "caudal de rotura". Éste se define como el caudal para el que comienza a formarse una brecha que rompe la continuidad de la coronación de la presa.

En la Fig. 8 se muestra los "caminos de rotura" expresados de forma adimensional correspondientes a los ensayos realizados en esta campaña, junto con otros realizados con anterioridad. Se observa una cierta tendencia, si bien con una considerable dispersión. En la Fig. 9 se han separado los datos correspondientes a diferentes taludes en gráficos distintos. Se observa una tendencia mucho más clara para cada talud considerado de forma independiente. Es interesante observar que la tendencia es más acusada para taludes suaves y la dispersión mayor para taludes con mayor pendiente. Para  $N=3$  los datos se ajustan relativamente bien a una línea recta, mientras que para  $N=1,5$  se observa una

dispersión claramente mayor. Esto podría deberse a que para  $N=1,5$  el mecanismo de deslizamiento en masa juega un papel importante en el proceso de rotura, mientras que para  $N=3$  la rotura está gobernada por el arrastre de partículas. Para taludes intermedios ambos mecanismos de rotura se combinan con grados variables de participación, y se observa una dispersión intermedia. La verificación de esta hipótesis requiere la realización de más ensayos.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación está siendo financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, dentro del Plan Nacional de I+D 2004-2006 (Referencia: BIA-2003-09631-C02-02).

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Concepción García Viñuela, directora de la biblioteca de la ETS de Ingenieros de Caminos de la UPM, y al resto del personal de dicha biblioteca, por su inestimable ayuda.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] WHAL T.L. (1998). Prediction of Embankment Dam Breach Parameters. *DSO-98-004 of USBR Dam Safety*. July 1998.
- [2] WHAL T.L. (2004). Uncertainty of Prediction of Embankment Dam Breach Parameters. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 130, No. 5, May 1, 2004.
- [3] TOLEDO M.A. Physical and mathematical modelling of embankment dam failure due to overtopping. *International Seminar on Stability and Breaching of Embankment Dams, Oslo, Norway*, October 23-24, 2004.

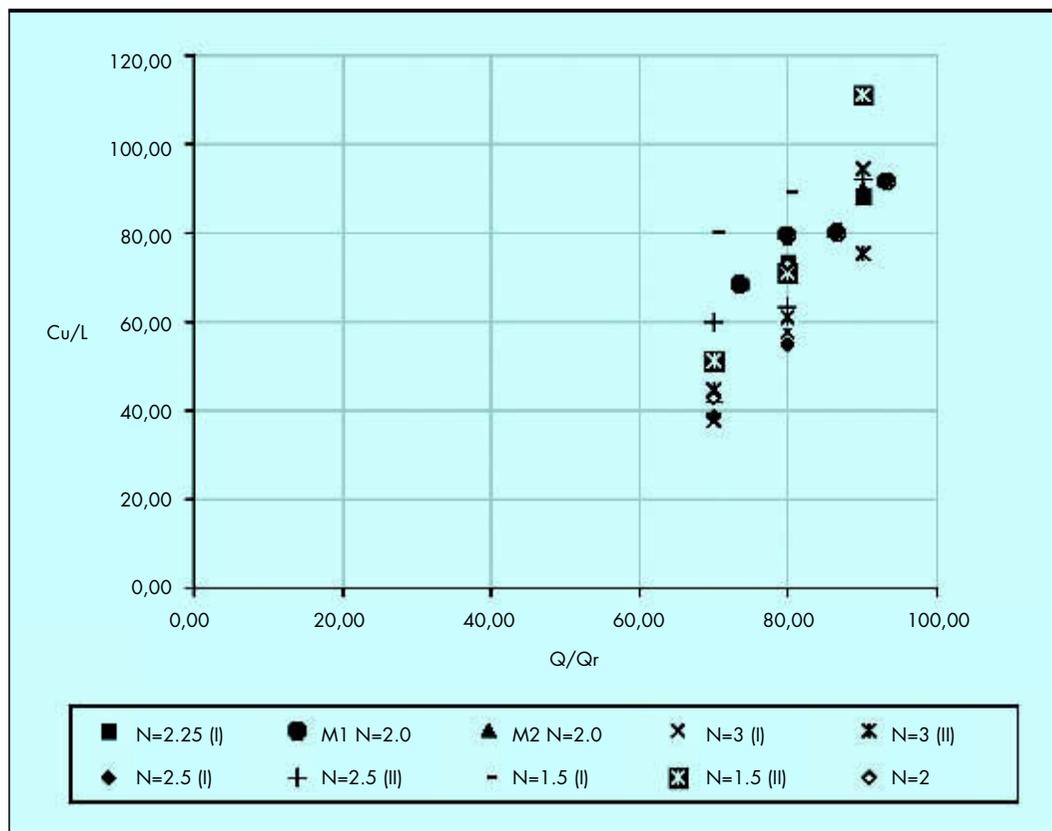


FIGURA 8.

FASE DE INICIO DE LA ROTURA DE UNA PRESA DE ESCOLLERA POR SOBREVERTIDO

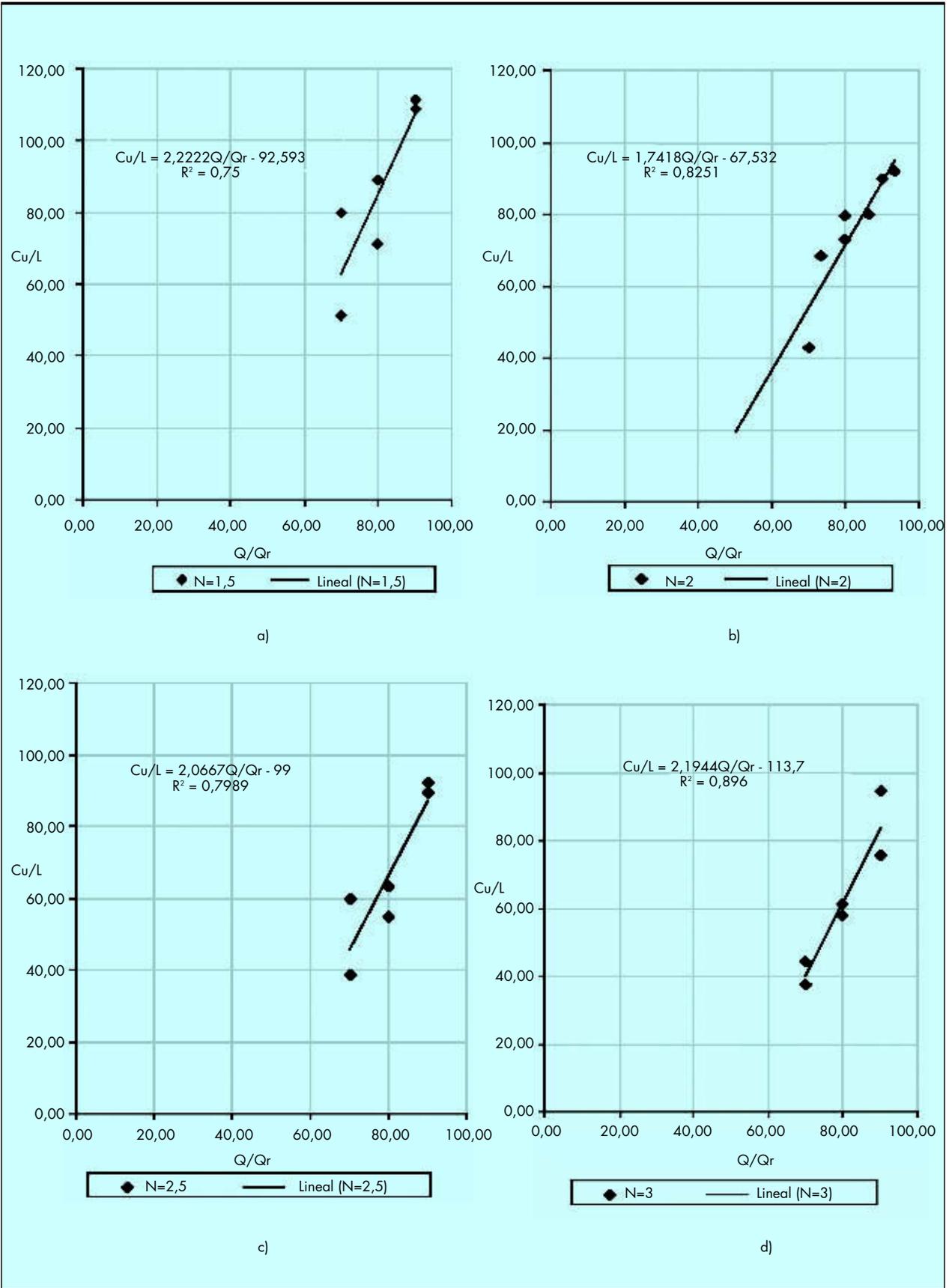


FIGURA 9.