

LIMPIEZA DE SOLERAS DE DIQUES SECOS

Por Francisco GONZALEZ
DE POSADA

Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos.
Catedrático de la E.T.S.
de I.C.C. y P. (Santander).

Se describe un proceso de limpieza de soleras de diques secos basado en la inyección de un caudal de agua, de modo automático y regulable, por la base de la proa del dique, cuya circulación a favor de la pendiente realiza un barrido de los fangos y residuos acumulados sobre la solera. El caudal, con dichos productos, desagua en lámina libre en una galería de achique en popa. Se analizan las variedades que intervienen en el fenómeno, el régimen hidráulico sobre la solera, las condiciones convenientes de las zonas de alimentación y de desagüe. Se ofrecen unas fórmulas prácticas para determinar unos valores adecuados de las magnitudes necesarias para el proyecto de un sistema completo de limpieza automática regulable.

1. Introducción

El método usual o clásico de limpieza de los fangos y residuos depositados sobre las soleras de los diques secos consiste en la

utilización de un conjunto de mangueras por un equipo de operarios especialistas. Con este procedimiento se consigue normalmente un elevado grado de limpieza. Sin embargo, presenta graves inconvenientes entre los que pueden destacarse: la inseguridad en el trabajo de los operarios expuestos a frecuentes caídas por lo resbaladizo del suelo, y su elevado coste motivado fundamentalmente por los tiempos de inutilización del dique y de espera de los buques como consecuencia de la larga duración del proceso de limpieza de la solera.

El aprovechamiento de dárselas próximas a la proa (casos poco frecuentes entre los que puede citarse el Dique Seco nº 10 de Marsella) para realizar la toma de agua de mar del sistema de inundación de diques llenando éste por proa, permite secundariamente disponer de un sistema automático de limpieza mediante circulación de agua sobre la solera a favor de la pendiente utilizando las conducciones de inundación. Sin embargo, no existe hasta ahora una teoría del proceso de limpieza, ni un análisis teórico general del mismo, ni siquiera unos resultados de referencia, ni un enfoque de las condiciones de contorno óptimas, ni unas recomendaciones cualitativas, ni unas estimaciones

cuantitativas. Falta un planteamiento del problema y unas vías de solución para una concepción aceptable de un sistema automático, sólo se ha alumbrado su posibilidad. En esta comunicación se inicia un estudio completo del problema mediante un análisis teórico general del proceso de limpieza, se aporta una teoría simplificada que permite obtener unos resultados cuantitativos para la realización del proyecto de un **sistema automático regulable autónomo**, se describen los elementos necesarios para un funcionamiento adecuado estableciendo las condiciones de contorno que deben verificarse en la alimentación y en el achique.

Finalmente, otra característica destacable es su adecuación a diques secos ya construidos —en explotación— que reúnan unas características mínimas. Las obras complementarias, en estos casos, se consideran de coste muy pequeño en comparación con sus rendimientos.

2. Descripción elemental del método automático regulable de limpieza mediante circulación de agua sobre la solera.

(*) Presentado el día 2 de mayo de 1978, en el I Congreso Iberoamericano de Ingeniería Naval. Madrid-Sevilla 1 a 6 mayo 1978.

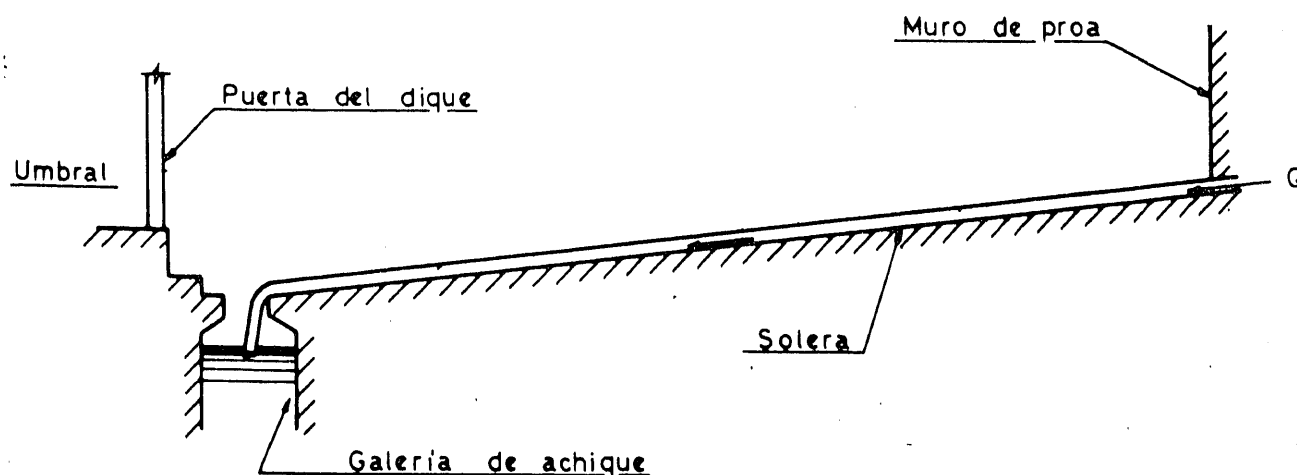


Fig. 1

El método automático regulable de limpieza de solera consiste esencialmente en **inyectar por la proa del dique seco a nivel de solera un determinado caudal de agua de mar cuya circulación a favor de la pendiente realizará un barrido de los residuos acumulados sobre la solera durante un cierto tiempo anterior de trabajo en el dique y de los fangos introducidos durante la maniobra de salida y entrada de los buques**. Este caudal debe desaguar en lámina libre en una galería de achique transversal a la solera en popa. El flujo de agua se esquematiza en la figura nº 1. Se dispone así de un **sistema combinado de inundación de solera por proa y achique simultáneo por proa**, que permite realizar una limpieza superficial eficaz de la solera en un **proceso de corta duración que puede llevarse a cabo después de realizado el achique o inmediatamente antes de su terminación**.

En la figura nº 1 se representa el proceso de limpieza como **proceso continuo de inundación-barrido-bombeo**. No obstante, con este método de circulación de agua a favor de la pendiente también se puede efectuar la limpieza de solera mediante **procesos intermitentes de inyección de agua y cierre**, de diferentes intervalos de tiempo, y con bombeo continuo o discontinuo. En otros casos podría inyectarse caudal constante y bombearse de manera intermitente de acuerdo con los programas de parada de las bombas principales en función de los niveles de agua en el dique o en la galería de achique. (Estas consideraciones con las múltiples variantes de leyes de inundación $Q(t)$ y programas de achique impuestos por las condiciones de funcionamiento de las bombas, permiten imaginar las diferentes posibilidades de aplicación de un sistema automático mediante la construcción de los elementos complementarios necesarios).

El establecimiento de un

sistema automático de limpieza adecuado exige el proyecto de los elementos siguientes:

a) Un **panel de eyectores o una cámara de alimentación continua** en la parte inferior del cajero de proa a nivel de solera, con las correspondientes conducciones de distribución y de alimentación (acueducto con compuerta o válvula regulable).

b) Una **galería de achique** en popa, transversal al dique en toda su anchura, con unos ventanales o troneras uniformemente distribuidos y de secciones apropiadas para que el desagüe en ellas se realice en lámina libre.

Este proceso automático regulable debe considerarse como de **limpieza de "la mayor parte de los fangos y de los residuos de diferente naturaleza acumulados sobre la solera"**, ya que normalmente quedarán algunos residuos adheridos a la solera o protegidos por los picaderos, cuya limpieza debería efectuarse, en caso necesario, por el método clásico.

3. Régimen hidráulico sobre la solera.

Básicamente la limpieza de la solera de un dique seco mediante circulación de agua es un **problema de puesta en movimiento y transporte de materiales de muy diferente naturaleza, física y geométrica, arrastrados por un**

hidrograma $Q-t$ de inundación por proa de corta duración.

Unos datos necesarios, entre otros, para un estudio detallado del problema serían los siguientes:

a) **Relativos a la solera del dique**. Datos permanentes, de naturaleza geométrica, como son la longitud (l), la anchura (b) y la pendiente (l); y otro que puede considerarse permanente, la rugosidad (n), aunque varíe con el paso del tiempo y con los productos acumulados sobre la solera.

b) **Relativos a los residuos o materiales de arrastre**; conjunto de datos que puede variar en cada proceso de limpieza. Entre ellos pueden destacarse: naturaleza, densidad, adherencia al hormigón volumen, cohesión, granulometría de los residuos sólidos, etc., para cada tipo de material.

c) **Relativo a los picaderos**: forma geométrica, dimensiones, peso, número y situación en la solera; este último dato de considerable importancia puede ser muy variable.

d) **Relativos a la inundación**. El sistema de eyectores puede considerarse permanente en el número de eyectores y en la sección de los mismos. Sin embargo, el caudal total de inundación responde a un hidrograma $Q(t)$ que en el caso más simple será de la forma representada en la figura nº 2, y, por otra

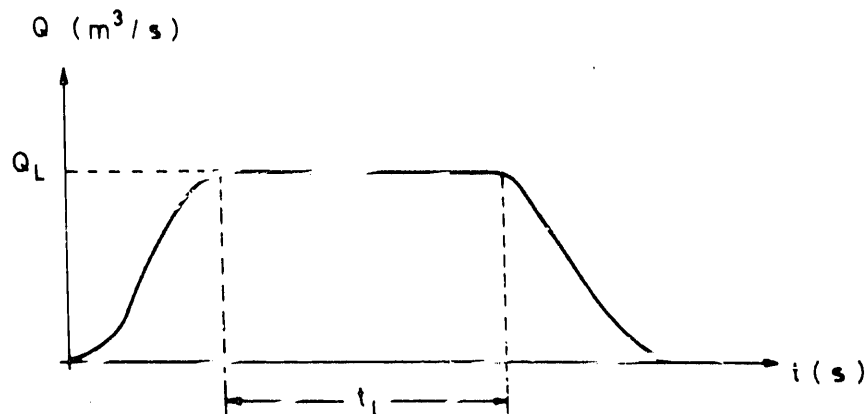


Fig. 2

LIMPIEZA DE SOLERAS DE DIQUES SECOS

parte, el caudal real correspondiente a cada uno de los eyectores reparto no exactamente uniforme del total, ni siquiera es independiente del caudal de alimentación.

e) **Relativos al desagüe** Las formas, dimensiones y situación de las secciones de desagüe bastarían en los casos de desagüe en lámina libre con altura de caída suficiente; en caso contrario sería necesario conocer las diferentes posibles leyes de achique con niveles de agua en el dique $Q(h)$, $Q(t)$.

La consideración simultánea de todos estos datos (aún en la hipótesis de que fueran conocidos) hacen imposible una deducción analítica correcta, tanto del flujo hidráulico sobre la solera como de las condiciones de comienzo de arrastre y transporte de los distintos materiales sólidos y líquidos. Las dificultades se comprenden fácilmente, entre otras, por las siguientes razones:

1. El proceso de limpieza consta esencialmente de dos fenómenos diferentes sucesivos: la "puesta en movimiento" y el "transporte" de cada uno de los tipos de residuos.

2. La **duración del proceso** depende de la naturaleza y de la cantidad de los residuos más resistentes a su barrido; pero, en todo caso, se trata de un proceso **normalmente corto**, en el cual aún en la hipótesis de hidrograma de alimentación con cresta

horizontal (figura nº 2) la importancia de la rama ascendente es determinante en el proceso de limpieza, es difícilmente regulable sobre la solera y es más difícil aún evaluar sus efectos dinámicos sobre los materiales.

3. Un régimen hidráulico mixto (agua-materiales de arrastre) como el de la limpieza de soleras de diques secos es enormemente complejo ya que siempre es variado (en el espacio) y variable (en el tiempo) al realizarse un barrido, es decir sin ningún tipo de alimentación simultánea de materiales al hidrograma.

4. La complejidad del fenómeno se ve agravada además por la presencia de los picaderos, en cuanto elementos perturbadores del flujo prácticamente paralelo que se produciría sin ellos y en cuanto elementos reductores de la capacidad de limpieza de los métodos de "circulación natural" de agua.

5. Las discontinuidades geométricas de contorno (sistema de eyectores en proa y troneras sobre la galería de achique en popa) y las diferentes leyes $Q(t)$ de alimentación y de achique que pueden considerarse como condiciones límites.

Pero no sólo es analíticamente imposible sino que es absolutamente innecesario en la práctica pretender tanta perfección teórica, dadas la flexibilidad del método por la regulación de la apertura de la compuerta o válvula (normalmente este sistema se concebirá con dos funcio-

nes: una de limpieza, a la que ahora nos estamos refiriendo y otra de inundación del dique, como sistema primario o secundario, que trataremos más adelante), y la convicción previa acerca de la imposibilidad de una limpieza absoluta por este procedimiento.

El conocimiento o la estimación de los datos referidos, con un cierto grado de precisión, permitirá al menos con un conjunto de hipótesis simplificativas, y para el caso de hidrograma de alimentación, representado en la figura nº 2, deducir o estimar un caudal Q_L que denominaremos **caudal de limpieza**, que establecerá sobre la solera una lámina de agua de **calado adecuado**, de modo que se alcance una ley de **distribución de velocidades suficientemente eficaz** para el barrido del material. Asimismo podrá estimarse un tiempo T_L que denominaremos **duración del proceso de limpieza** con el caudal constante de alimentación Q_L . La determinación de estos valores Q_L y T_L es importante para la realización del proyecto del sistema y, en consecuencia, para la evaluación de los costes y rendimientos del sistema proyectado.

4. Desagüe en la galería de achique.

Es conveniente para una mejor y más rápida limpieza del tramo inferior de la solera que no exista colchón de agua sobre la galería de achique que conduce las aguas con los residuos a la cámara de aspiración de las bombas. La presencia de un cierto colchón (fig. nº 3) frenaría la lámina de

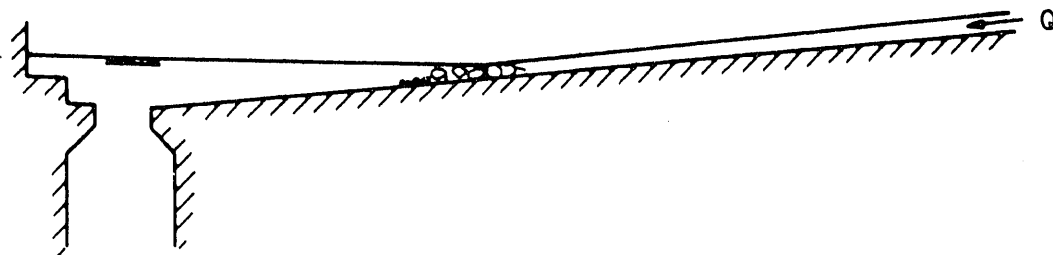


Fig. 3

LIMPIEZA DE SOLERAS DE DIQUES SECOS

barrido y dificultaría la limpieza de dicho tramo inferior inundado. Por tanto, **el desagüe hacia la galería de achique debe realizarse en lámina libre.** (fig. nº 1). En consecuencia, el nivel de agua debe estar por debajo de la cota mínima de solera del dique y en el interior de la galería de achique.

Esta característica del flujo en las troneras impone dos condiciones:

1. **El sistema de bombeo debe poseer una capacidad, en condiciones de seguridad, con nivel de agua en la galería, Q_{BG} , tal que**

$$Q_{BG} \geq Q_L \quad (1)$$

Normalmente las bombas del sistema principal de achique, en los proyectos modernos pero de concepción de limpieza de solera clásica, para el funcionamiento con menores riesgos, tienen establecido un programa final de paradas sucesivas en función del nivel de agua en el dique, de modo que la etapa última del achique suele realizarse con las bombas del sistema secundario.

Esta primera condición exige proyectar el sistema secundario de achique con una capacidad total igual o mayor que Q_L o bien proyectar el sistema principal de forma que pueda bombear sin

riesgos el caudal Q_L con niveles de agua en la galería de achique. (En este último caso, dados el rango de valores de Q_L , cuya estimación veremos más adelante, y la capacidad usual de achique de las bombas principales actuales sería normalmente suficiente el funcionamiento de un sola bomba principal.)

2. **El área de las secciones de desagüe del agua del dique en la galería debe ser suficiente para que el Q_L vierta en lámina libre,** es decir, no se produzca en ellas un desagüe inundado o sumergido como el que se esquematiza en la fig. nº 4.

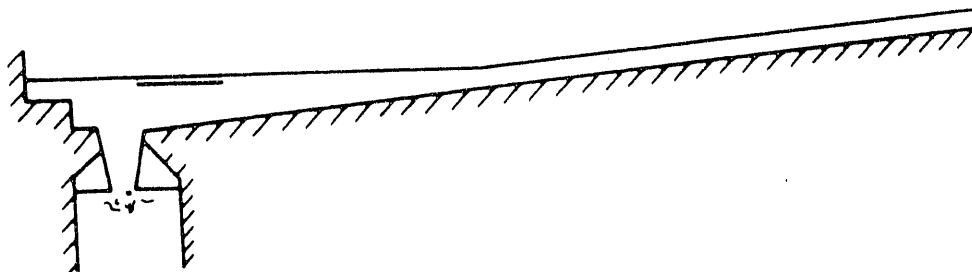


Fig. 4

Desde el punto de vista de la obra de fábrica es necesario **proyectar una galería de achique, transversal al dique en toda su longitud, que recoja el agua de limpieza con los residuos y la conduzca a la cámara de aspira-**

ción prevista, y un sistema de ventanales o troneras de secciones suficientes y uniformemente distribuidas sobre la galería y a lo largo de ella. Esta galería debe servir para el achique general del dique y utilizarse como parte de la

conducción de alimentación en los casos de inundación principal del dique por popa.

En las figuras nº 5 a 8, se representan unos esquemas de proyectos adecuados que pueden servir de referencia.

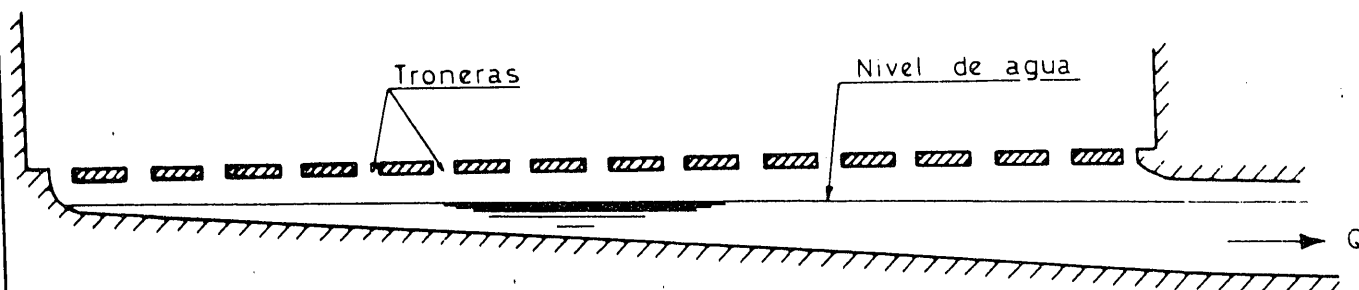


Figura 5.—Solución A: Troneras de sección horizontal. Sección longitudinal de la galería de achique

LIMPIEZA DE SOLERAS DE DIQUES SECOS

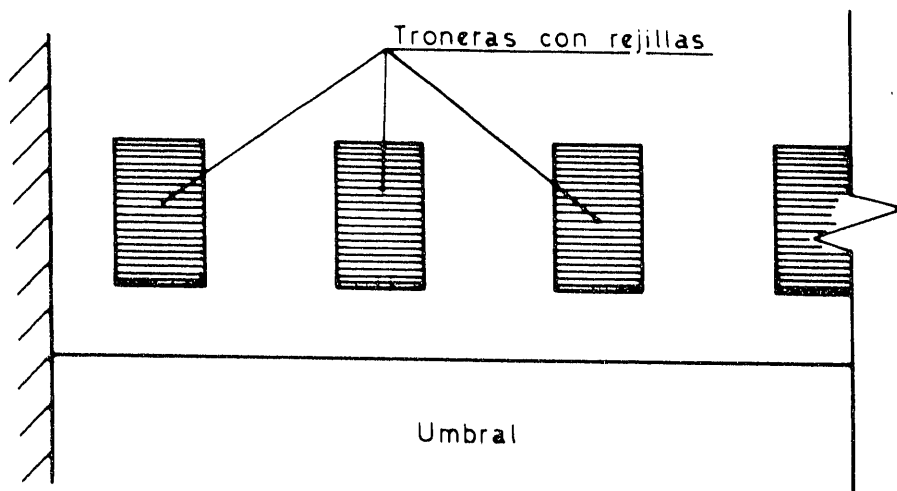


Figura 6.—Solución A: Detalle de la planta de la solera del dique en popa, zona de las troneras.

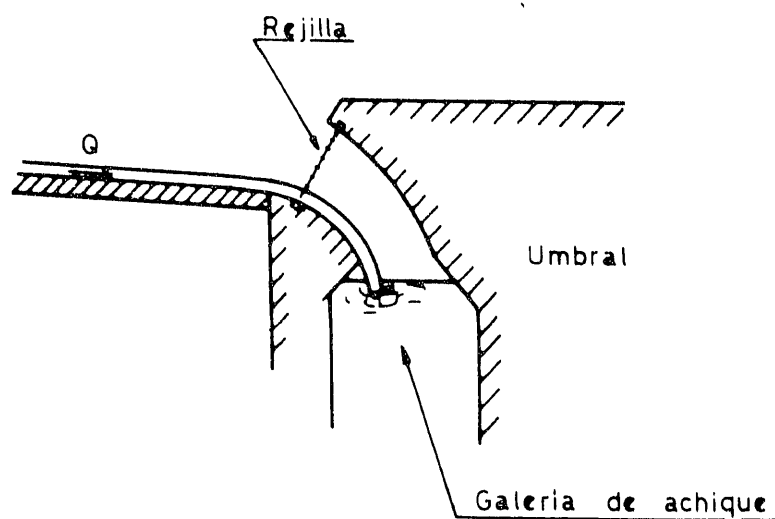


Figura 7.—Solución B. Troneras de flujo cuasihorizontal

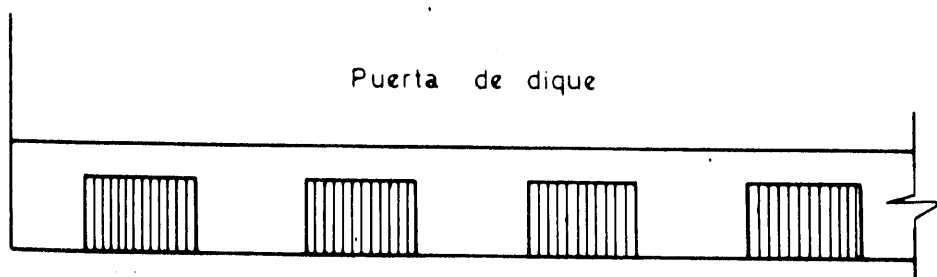


Figura 8.—Solución B. Esquema de vista frontal de las troneras desde proa

LIMPIEZA DE SOLERAS DE DIQUES SECOS

5. Sistema de alimentación.

La concepción general del sistema de alimentación de caudales para la limpieza de solera, en la hipótesis de sistema independiente, puede consistir esencialmente de los siguientes elementos principales:

- a) una toma de agua de mar, conjunta con la del sistema principal de inundación o independiente;
- b) una compuerta o válvula de apertura regulable con ata-

guía aguas arriba que permita en caso necesario su reparación. La compuerta o válvula es el elemento director del automatismo y de la regulación del método;

c) un **acueducto** o conducción de alimentación que lleve el agua hasta la proa;

d) una **conducción de distribución** del caudal en la parte inferior del cajero de proa;

e) un **sistema de eyectores** a nivel de solera que produzca una inundación uniforme pero de

alimentación discontinua o una **cámara** de alimentación continua a lo largo de toda la proa.

Los muros de proa de los Diques Secos se proyectan de modo que sus líneas de intersección con la solera, en planta, pueden adoptar diferentes formas. En la figura nº 9, se representan unos esquemas de formas recta, trigonal y circular, que suelen ser frecuentes, completados con unos esquemas de conducciones de inundación y sistemas eyectores.

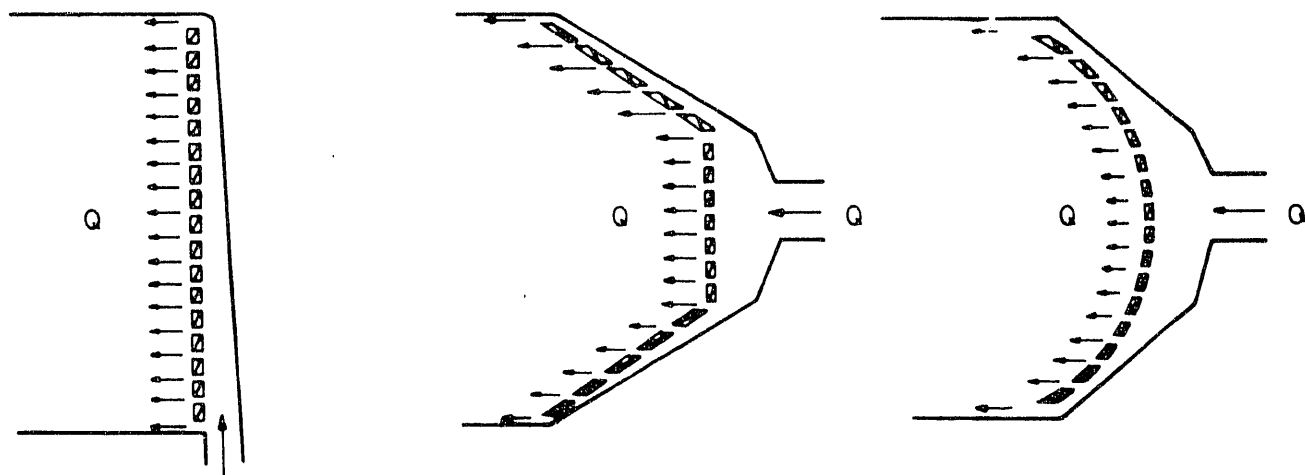


Figura 9.— Esquemas de posibles tipos de conducciones de distribución y sistema de eyectores

Desde el punto de vista del sistema de limpieza automático que estudiamos las condiciones que deben cumplirse para la alimentación por proa son:

1. **Distribución lo más uniforme posible** del caudal inyectado sobre la sección transversal del dique. El proyecto de una conducción de distribución adecuada a cada tipo de proa con el correspondiente sistema de eyectores o cámara de alimentación continua puede realizarse mediante estudio sobre modelo reducido en unos primeros casos. Posteriormente, la experiencia será normalmente suficiente.

2. **Alimentación suficiente**, es decir

$$Q_a \geq Q_L \quad (2)$$

donde Q_a es el máximo caudal de alimentación posible en la bajamar para compuerta o válvula totalmente abierta.

El acueducto conduce los caudales de alimentación hasta proa por gravedad. Dadas las cotas usuales de soleras en proa y lo reducido de las máximas distancias a que puede encontrarse el mar de la proa (la longitud del dique) siempre existe la posibilidad de obtener dichos caudales en condiciones aptas hidráulica y económicamente.

Un elemento delicado del proyecto es el conjunto conducción de distribución-sistema de eyectores, que exige un estudio detallado del número de eyectores, sección y situación de los mismos para obtener una distribución del caudal lo más uniforme posible y evitar, tanto como resulte económicamente aconsejable, las superficies triangulares de proa no afectadas por el barrido según se esquematiza en la figura nº 10.

En este caso, un mayor número de eyectores de menor sección comparado con un menor número de eyectores de mayor sección, a igualdad de caudal total, implicaría mayores pérdidas de potencial hidráulico lo que supondría mayores dimensiones del acueducto y de las compuertas o válvulas.

Si las razones de tipo hidráulico relativas al proceso de limpieza invitan a una solución de alimentación continua las razones de tipo estructural de la base de los cajeros invitan a una solución de sistema de eyectores embebidos en la masa del cajero.

6. **Determinación del caudal de limpieza y de la duración del proceso.**

Normalmente Q_a , mínimo de alimentación por el acueducto con compuerta o válvula totalmente abierta y dique vacío, será

LIMPIEZA DE SÓLERAS DE DIQUES SECOS

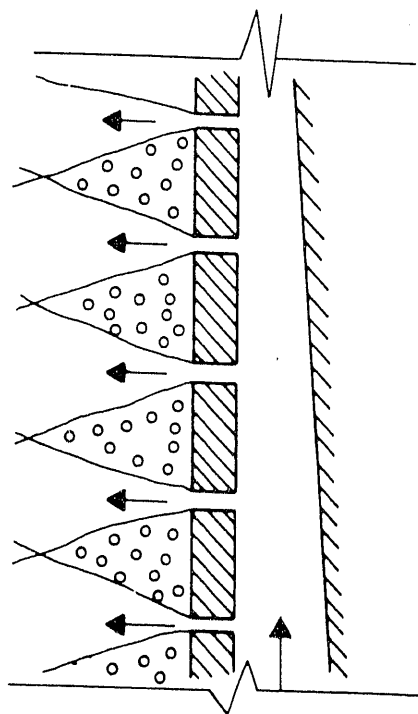


Figura 10.—Croquis de las superficies triangulares no afectadas por la limpieza en caso de utilizar un sistema de eyectores en la alimentación

muy superior a Q_L ya que, como describiremos en el apartado siguiente, es conveniente utilizar el sistema de alimentación del proceso de limpieza como sistema secundario de inundación del dique. En consecuencia, la exactitud en la determinación de Q_L no sólo resulta imposible desde el punto de vista teórico de acuerdo con lo expuesto en el apartado 3, sino que se hace innecesaria también desde el punto de vista práctico de la alimentación, dado que Q_a mayor que Q_L y el sistema es regulable. Conserva toda su importancia desde la perspectiva del achique y, en todo caso, para el conocimiento del régimen sobre la solera en su utilización como caudal de limpieza.

Tratamos por tanto de **estimar** los valores de Q_L y t_L representados en la figura nº 2 que servirán como **valores de referencia** para el proyecto de los diferentes elementos del sistema.

El cálculo de dichos valores se supone suficientemente correcto en el marco de las hipótesis siguientes: el dique se considera como un canal de solera plana de

anchura constante " b " y pendiente también constante " i ", se prescinde de la presencia de los picaderos, se supone flujo en régimen uniforme y una rugosidad constante " n " de la solera, se acepta que el radio hidráulico coincide con el calado (hipótesis usual en casos mucho más desfavorables de cursos de agua de gran anchura comparada con el calado, como son ríos en sus tramos medios y bajos). El desarrollo del cálculo, en este marco, es elemental:

$$u^* = \sqrt{ghI} \quad (3)$$

$$h = \frac{u^{*2}}{gI} \quad (4)$$

$$R_H = \frac{b \cdot h}{b + 2h} = h \quad (5)$$

Empleando la fórmula de Manning:

$$V_L = 1/n R_H^{2/3} I^{1/2} = n^{-1} h^{2/3} I^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{se obtiene } Q_L = V_L b h = n^{-1} g^{5/3} u^{*10/3} b I^{-7/6} \quad (7)$$

Estimamos como suficiente para una limpieza eficaz en los casos ordinarios de fangos y residuos de productos actualmente utilizados en diques secos **una velocidad de corte u^* del**

orden de 0.06 m./seg. En este caso, y para $g = 9.81$ m./seg.², resultan las fórmulas siguientes:

$$h \text{ (m)} = 0.000367 I^{-1}$$

$$V_L \text{ (m./s.)} = 0.366 I^{-1/6} n^{-1} \quad (9)$$

$$Q_L \text{ (m}^3\text{/s.)} = 0.000134 b I^{7/6} n^{-1} \quad (10)$$

que permiten deducir el calado, la velocidad media y el caudal de limpieza en función de la pendiente, de la anchura del dique y del coeficiente de rugosidad.

Otro **valor de referencia**, también importante para el proyecto técnico, en su consideración económica, es la **duración del proceso de limpieza**, t_L . Dentro del marco de las hipótesis simplificativas de un fenómeno tan complejo estimamos que puede considerarse, en primera aproximación, a efectos del proyecto, el valor de t_L dado por la sencilla fórmula.

$$t_L \text{ (s)} = K \frac{l \text{ (m)}}{V_L \text{ (m./s.)}} \quad (11)$$

donde l es la longitud del dique, y el coeficiente K puede variar de 2,5 a 4 en casos comunes.

Con los datos anteriores, resulta:

$$t_L \text{ (s)} = k' I^{1/6} (7 \leq k' \leq 11) \quad (12)$$

La experiencia de la utilización del método en prototipos permitirá ajustar estos valores en el futuro.

Paralelamente a estos valores de referencia debe considerarse la necesaria estabilidad de los picaderos frente al flujo de limpieza, estudio que permitirá asimismo deducir o estimar un caudal máximo admisible Q_s para garantizar la estabilidad de los picaderos, caudal que no debería superarse en ningún proceso de limpieza.

7. Utilización del sistema de limpieza automático regulable como sistema complementario de inundación.

El sistema automático regulable analizado supone una alimentación por proa de agua de mar conducida por acción gravitatoria mediante apertura de una compuerta o válvula graduable. La existencia de este sistema de limpieza permite satisfacer otra finalidad complementaria de sumo interés, eficacia y economía: **su utilización como variante de inundación**. En este caso,

LIMPIEZA DE SOLERAS DE DIQUES SECOS

desarrollaría las funciones siguientes (cuando el sistema de inundación principal tiene lugar por popa a través de la casa de bombas):

1. Llenado desde proa de la cámara de aspiración de bombas, galería de inundación y achique y parte inferior del dique con objeto de evitar las graves perturbaciones de flujo y excesivas velocidades que tienen lugar al comienzo del llenado por el sistema principal, reduciendo considerablemente los riesgos de deterioro mecánico en el hormigón.

2. Empleo como sistema secundario de inundación, para los casos de avería del sistema principal.

3. Utilización como **sistema complementario de inundación del dique** reduciendo los tiempos de llenado —tiempos "muertos" del dique seco, de elevado costo— funcionando simultáneamente con el sistema principal, con lo que se consigue un notable incremento de la función caudal de llenado con el nivel de agua en el dique sin incrementar las velocidades en los puntos peligrosos de la cámara de aspiración y galería de inundación y achique.

La doble función de **sistema automático de limpieza** y de **sistema complementario de inundación** hace que pueda considerarse oportuno proyectar el sistema con una capacidad superior a QL. En este caso es conveniente que el caudal de proyecto, Q_a , sea inferior al caudal máximo de estabilidad de los picaderos a dique vacío, Q_s , o bien, en caso de ser superior, proyectar un dispositivo que impida la apertura de la compuerta o válvula por encima de la sección correspondiente al Q_s para dique vacío.

8. Consideraciones básicas para el proyecto de un nuevo dique seco.

El proyecto de un nuevo dique seco con un sistema automático regulable de limpieza de solera como el descrito en los apartados anteriores, en resumen, exige:

a) La determinación del caudal de circulación en régimen

permanente, QL, para una limpieza de la solera suficientemente eficaz.

b) Con objeto de no proyectar un sistema de bombeo especial e independiente para el achique de los caudales de limpieza es preciso dotar al sistema secundario de achique con una capacidad no inferior a QL, o bien proyectar el sistema principal de achique de tal modo que pueda funcionar en condiciones de seguridad con nivel de agua dentro de la galería para caudales próximos a QL.

c) Proyectar las secciones de desagüe (troneras) del dique hacia la galería con áreas tales que permitan vertidos en lámina libre de QL, con la finalidad de que no se produzcan colchones reductores de la velocidad de circulación y como consecuencia acumulaciones de los residuos.

d) Proyectar un acueducto, una conducción de distribución y un sistema de eyectores o cámara de alimentación continua, tales que posean una capacidad Q_a igual o mayor que dicho QL, y alimenten de manera uniforme la sección transversal del dique. Este proyecto vendrá condicionado también por la capacidad de llenado que se le encomiende en su función de sistema complementario de inundación y se automatizará la apertura de la compuerta o válvula de modo que con dique vacío el caudal de inundación sea en todo caso inferior a Q_s .

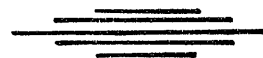
9. Consideraciones finales: aplicaciones.

a) Las consideraciones efectuadas en el desarrollo del presente artículo se refieren fundamentalmente al proyecto de nuevos diques con sistema de inundación por popa. Estos deben concebirse para una mayor eficacia de la limpieza, con la galería común de inundación y achique, de forma transversal al dique en toda su anchura.

b) También nos hemos referido al caso de diques con sistema de inundación por proa. En este caso, para una más completa limpieza de la zona superior de la

solera debe estudiarse el sistema de troneras o eyectores para caudales pequeños de inundación con dique vacío (es decir, para caudales de limpieza) con objeto de proyectar la conducción de distribución y los eyectores o cámara continua de forma que se logre una adecuada uniformidad del flujo para toda la gama de caudales de limpieza e inundación.

c) Quizá lo más interesante o sugestivo del método sea la **posibilidad de su aplicación a diques ya construidos**, mediante el proyecto y construcción de un sistema automático regulable autónomo con acueducto adosado interiormente a un cajero lateral y la conducción de distribución y eyectores al cajero de proa en su base interior al dique. En bastantes casos se trataría de una obra poco costosa comparada con su alto rendimiento.



LISTA DE SIMBOLOS

- l : longitud y eslora.
- b : anchura o manga.
- I : pendiente de la solera.
- t : tiempo.
- h : calado.
- g : aceleración de la gravedad.
- v : velocidad.
- u^* : velocidad de corte o cizallamiento.
- n : coeficiente de rugosidad de Manning.
- RH : radio hidráulico.
- Q : caudal.
- QL : caudal de limpieza del proceso automático en régimen permanente.
- QBG : caudal máximo de bombeo con nivel de agua en la galería.
- Q_a : caudal de alimentación con compuerta o válvula totalmente abierta.
- Q_s : caudal máximo admisible para la estabilidad de los picaderos.
- tL : duración del proceso de limpieza con QL.