

# PRESA DE CARUACHI ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS COMPUERTAS DE LOS CONDUCTOS DE DESVÍO

## CARUACHI DAM. STUDY OF THE HYDRAULIC BEHAVIOUR OF THE DIVERSION CONDUITS

M. SÁNCHEZ-JUNY. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

D. NINYEROLA. Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones

J. POMARES. Ingeniero Técnico de Obras Públicas

J. DOLZ. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Depto. Ing. Hidráulica, Marítima y Ambiental. UPC*

E. EGUSQUIZA. Dr. Ingeniero Industrial

*Depto. Mecánica de Fluidos. UPC*

F. QUINTERO. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

F. ABADÍA. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Dragados Obras y Proyectos, S. A*

**RESUMEN:** Se presenta el estudio desarrollado en el Laboratorio de Modelos Reducidos del Dpto. de Ing. Hidráulica, Marítima y Ambiental de la UPC, para el análisis del comportamiento hidráulico de las compuertas a utilizar en la operación de cierre de la presa de Caruachi en el río Caroní (Venezuela). Se han analizado la capacidad de desagüe, la aireación de los conductos de desvío, las presiones en los mismos durante la operación, así como las vibraciones y fuerza vertical descendente (down-pull) sobre las compuertas.

**PALABRAS CLAVE:** CARUACHI, PRESA, ELEMENTOS HIDROMECAÑICOS, COMPUERTAS

**ABSTRACT:** The present article describes the study carried out at the Reduced Model Laboratory (Hydraulic, Maritime and Environmental Engineering Department, UPC) into the hydraulic behaviour of the gates employed in the closing operation of the Caruachi dam on the River Caroní (Venezuela). An analysis is made of the discharge and aeration capacity of the diversion conduits, the operation pressures in the same and the vibration and down-pull on the gates.

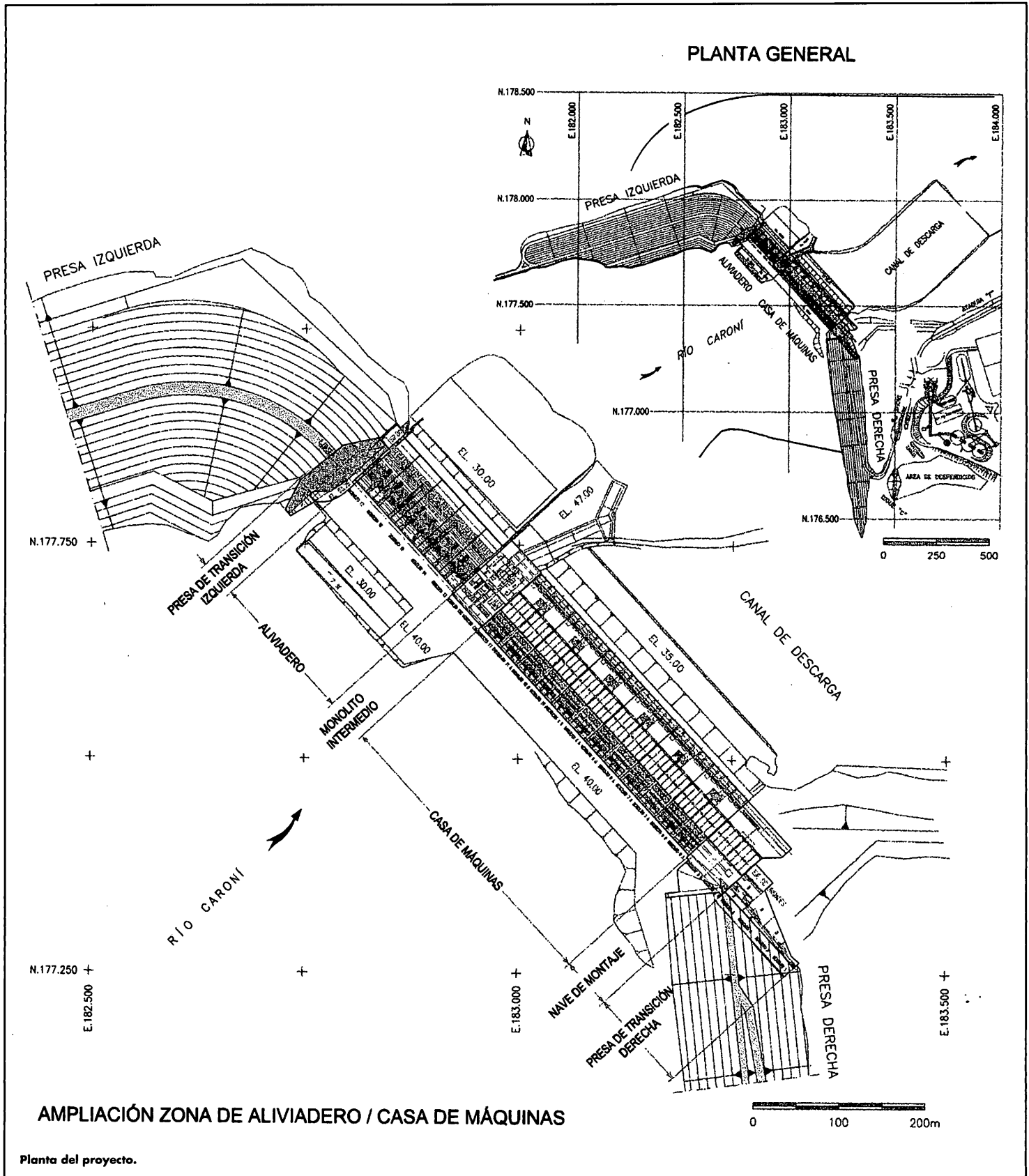
**KEYWORDS:** CARUACHI, DAM, HYDROMECHANICAL ELEMENTS, DAM GATES

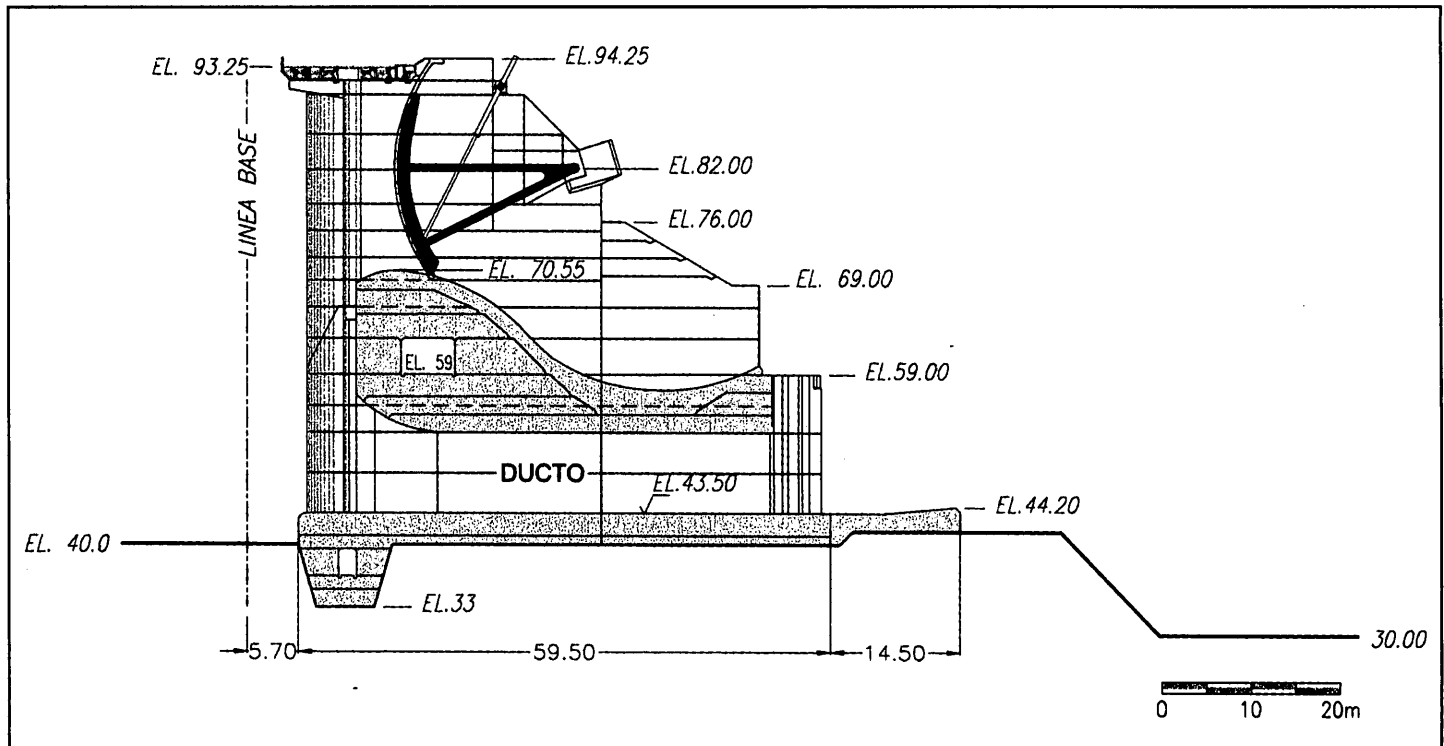
## 1. EL PROYECTO DE LA PRESA DE CARUACHI

### 1.1. Características generales

La presa de Caruachi, actualmente en construcción por parte del *Consortio DRAVICA (DRAGADOS OBRAS Y PROYECTOS, S.A., ICA y VIALPA)*, se encuentra ubicada en el río Caroní afluente del Orinoco, al este de Venezuela. Forma parte del complejo hidroeléctrico del tramo inferior del citado río, propiedad de *EDELCA* y constituido por cinco centrales. Tres ya operativas: Macagua I (360 Mw, finalizada en 1959), Guri (10.000 Mw finalizada en 1986) y Macagua II (2.540 Mw, finalizada en 1997). Las otras dos cen-

trales están actualmente en construcción: Caruachi (2160 Mw) y Tocoma (también 2.160 Mw). Estas cinco centrales constituyen el aprovechamiento integral del tramo inferior del río Caroní: 188 Km de longitud, 264 m de desnivel, 4.824m<sup>3</sup>/s de caudal medio, máxima avenida registrada de 17.576 m<sup>3</sup>/s y caudal mínimo registrado 188m<sup>3</sup>/s. Elemento fundamental de este esquema es el embalse de Guri (85.000 Hm<sup>3</sup> de volumen útil) situado en cabecera y que actúa como elemento regulador de caudales. El proyecto Caruachi (Marcano et al. (1998), Méndez et al. (2000)) aprovecha un salto bruto de 36,75 m con una potencia de 2.160 Mw, mediante 12 turbinas de tipo Kaplan. La presa de Caruachi está formada por tres cuerpos:





Sección transversal del aliviadero.

- 1. Cuerpo central de hormigón que alberga la casa de máquinas y el aliviadero.
- 2. Presa de escollera con pantalla de hormigón, desde el cuerpo central hasta la margen derecha del río.
- 3. Presa de escollera con núcleo de arcilla, desde el cuerpo central hasta la margen izquierda.

El aliviadero consiste en un perfil estricto formado por nueve cuerpos de, aproximadamente, 15 m de ancho, controlados por compuertas radiales de unos 21 m de altura. La capacidad es de 35.000 m<sup>3</sup>/s. Debajo del aliviadero se encuentran 18 conductos rectangulares de 5,5 m de ancho por 9 m de alto y 45 m de largo, que permitirán el paso del río, durante las fases más avanzadas de construcción de la presa.

El desvío del río se contempla en dos etapas (Marcano et al. (1998), Méndez et al. (2000)). La primera, consistió en la realización de una ataguía desde la margen derecha que desvió el río hacia la margen izquierda, dejando un ancho cauce de unos 350 m. Ello permitió la construcción en seco del cuerpo central de la obra, así como de la presa de escollera con pantalla que cierra la margen derecha. La segunda etapa de desvío requiere la destrucción parcial de la anterior ataguía, lo que permitirá el paso del río por el aliviadero de la presa y por los 18 conductos situados debajo del mismo, dejando seco la margen izquierda para la construcción de la presa de escollera. En la actualidad se ha efectuado el desvío del río por los mencionados conductos

(Verano 2001) y se está procediendo a la construcción de la presa de escollera de la margen izquierda.

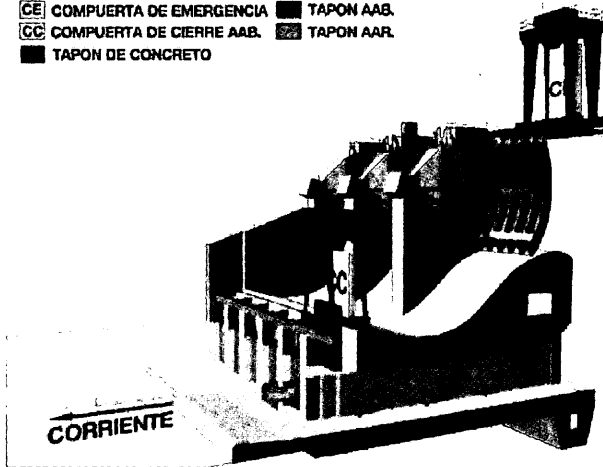
### 1.2. Cierre de los conductos de desvío

Los conductos situados bajo el aliviadero, y la operación de cierre han sido diseñados en el laboratorio de EDELCA (Marcano et al. (1998)). Durante el período que funcionen como elementos de desvío del río, los 18 conductos trabajarán en lámina libre para caudales inferiores a unos 5.000 m<sup>3</sup>/s, para caudales mayores y hasta los 13.000 m<sup>3</sup>/s estarán en presión, condicionados además por el remanso producido por la presa de Macagua situada aguas abajo.

Una vez finalizada la construcción de la presa, se procederá al cierre y sellado de los citados conductos con el fin de permitir el llenado del embalse. El cierre se ha previsto (Marcano et al. (1998)) realizarlo desde su extremo aguas abajo, y de manera secuencial, desde el conducto situado en la margen derecha hacia la izquierda. Este plan de operación contempla la posible ocurrencia de alguna situación excepcional que dificulte el cierre normal desde aguas abajo. En este caso el cierre se llevará a cabo desde el extremo aguas arriba. Por ello, se debe contar, con una compuerta para el cierre normal y otra de emergencia, así como sendas grúas ubicadas una en cada extremo del conducto.

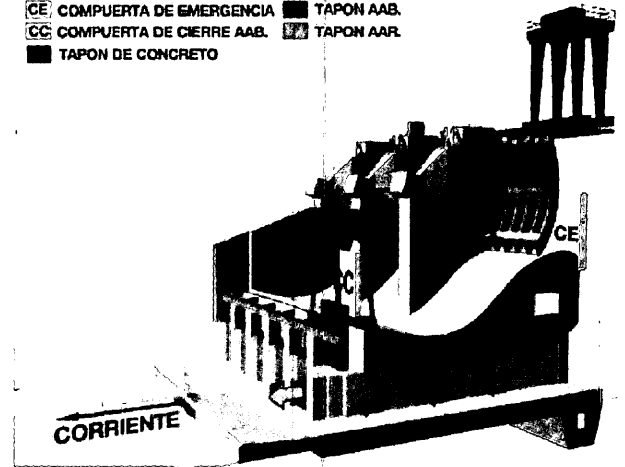
En condiciones normales, el cierre de uno de los 18 conductos se llevará a cabo como sigue:

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA    ■ TAPON AAB.  
CC COMPUERTA DE CIERRE AAB.    ■ TAPON AAR.  
■ TAPON DE CONCRETO



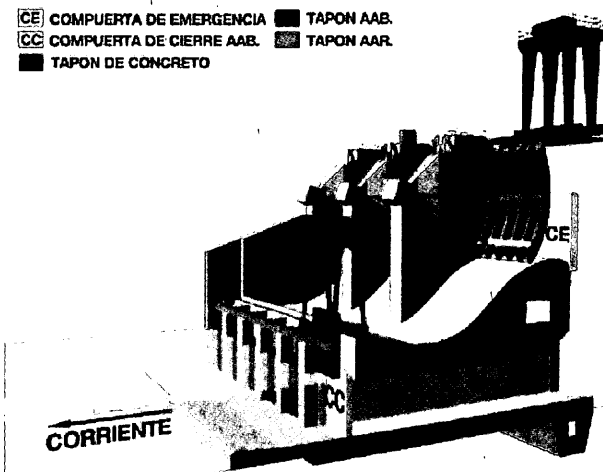
1. Posición de partida.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA    ■ TAPON AAB.  
CC COMPUERTA DE CIERRE AAB.    ■ TAPON AAR.  
■ TAPON DE CONCRETO



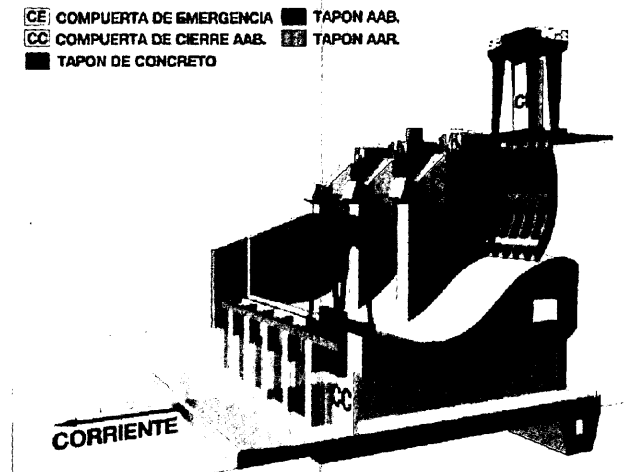
2. Se presenta la compuerta de emergencia aguas arriba.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA    ■ TAPON AAB.  
CC COMPUERTA DE CIERRE AAB.    ■ TAPON AAR.  
■ TAPON DE CONCRETO



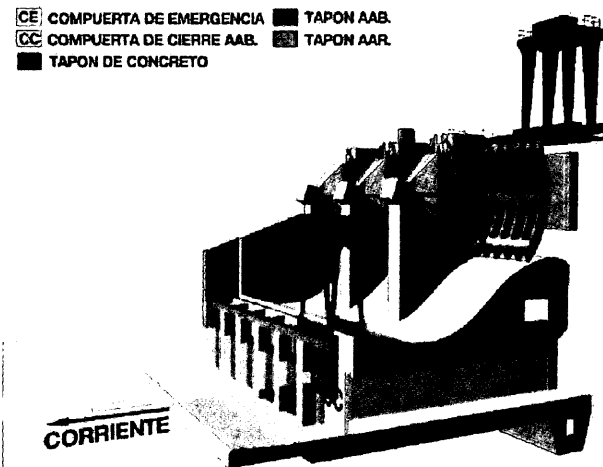
3. Se coloca y se hace descender la compuerta de cierre aguas abajo.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA    ■ TAPON AAB.  
CC COMPUERTA DE CIERRE AAB.    ■ TAPON AAR.  
■ TAPON DE CONCRETO



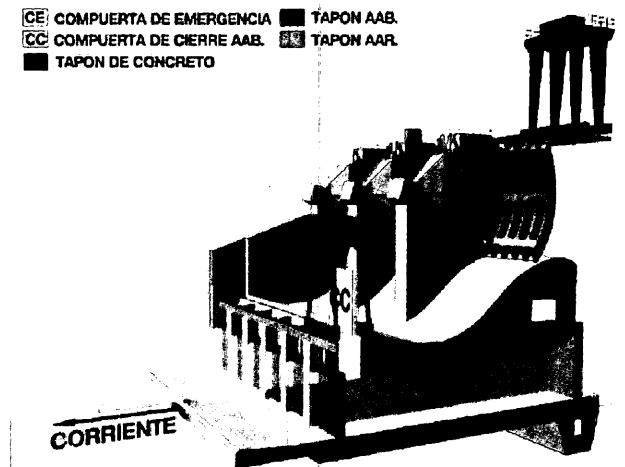
4. Se saca la compuerta de emergencia de la ranura y se sitúa en la posición de descanso.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA    ■ TAPON AAB.  
CC COMPUERTA DE CIERRE AAB.    ■ TAPON AAR.  
■ TAPON DE CONCRETO



5. Se coloca un tapón metálico en la boca aguas abajo.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA    ■ TAPON AAB.  
CC COMPUERTA DE CIERRE AAB.    ■ TAPON AAR.  
■ TAPON DE CONCRETO



6. Se coloca un tapón metálico en la boca aguas arriba. Se levanta la compuerta de cierre aguas abajo.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA ■ TAPON AAB.  
 CC COMPUERTA DE CIERRE AAB. ■ TAPON AAR.  
 ■ TAPON DE CONCRETO



7. Se achica el agua del interior del conducto.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA ■ TAPON AAB.  
 CC COMPUERTA DE CIERRE AAB. ■ TAPON AAR.  
 ■ TAPON DE CONCRETO



8. Se clausura el conducto con un tapón de hormigón en su interior.

Para la operación de cierre de emergencia se ha previsto el siguiente protocolo:

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA ■ TAPON AAB.  
 CC COMPUERTA DE CIERRE AAB. ■ TAPON AAR.  
 ■ TAPON DE CONCRETO



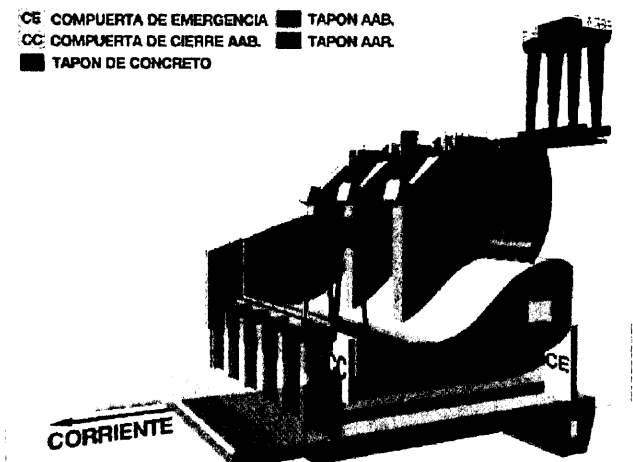
1. Posición de partida.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA ■ TAPON AAB.  
 CC COMPUERTA DE CIERRE AAB. ■ TAPON AAR.  
 ■ TAPON DE CONCRETO



2. Se presenta la compuerta de emergencia aguas arriba. Se desciende la compuerta de cierre aguas abajo y se atasca.

CE COMPUERTA DE EMERGENCIA ■ TAPON AAB.  
 CC COMPUERTA DE CIERRE AAB. ■ TAPON AAR.  
 ■ TAPON DE CONCRETO

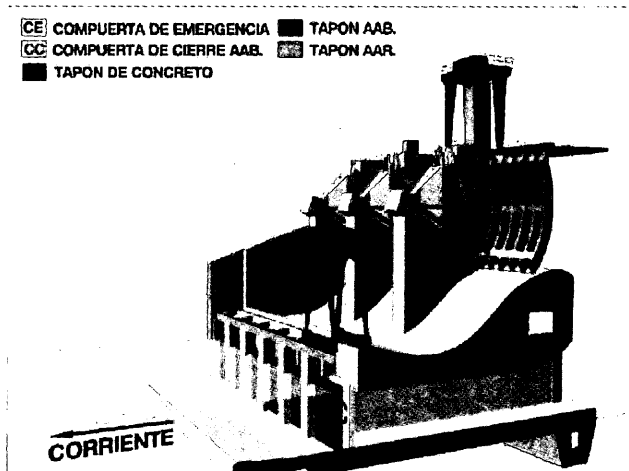


3. Se desciende la compuerta de emergencia. Se coloca el tapón metálico en el extremo aguas abajo.

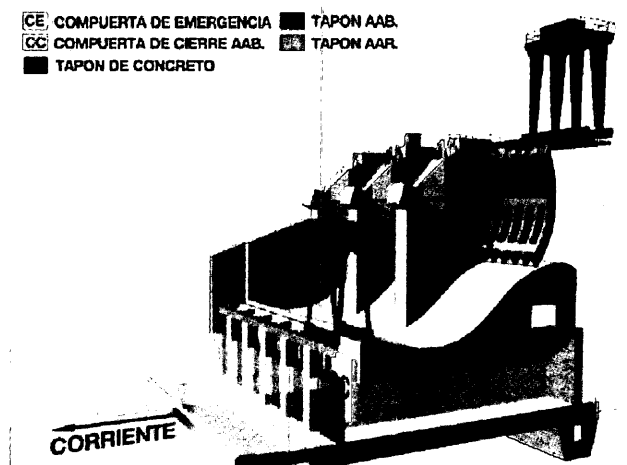
CE COMPUERTA DE EMERGENCIA ■ TAPON AAB.  
 CC COMPUERTA DE CIERRE AAB. ■ TAPON AAR.  
 ■ TAPON DE CONCRETO



4. Se separa y se cierra la compuerta de cierre. Se levanta y retira la compuerta de emergencia aguas arriba.



5. Se coloca el tapón metálico aguas arriba.



6. Se retira la compuerta de cierre.



7. Se achica el agua del conducto.



8. Se clausura el conducto con un tapón de hormigón.

Es importante reseñar la dificultad en el cierre de los últimos conductos, ya que deberá realizarse con caudales en cada uno de ellos próximos a los 1000 m<sup>3</sup>/s y aproximadamente una carga hidráulica de 22 m. La operación con estos últimos conductos, y en particular, la del último por tratarse de la situación más desfavorable (máximo caudal y máxima carga) justificó el encargo, por parte de DRAGADOS OBRAS Y PROYECTOS, S. A., del estudio en modelo reducido en el Laboratorio de Modelos Reducidos del Dpto. de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya.

## 2. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

El modelo se ha construido a escala 1/20 y se ha operado según el criterio de semejanza de Froude. Tal y como

se ha dicho, reproduce el conducto número 18, el último que está previsto cerrar. Por tanto, se trata del conducto que presenta un mayor caudal en el momento del cierre, puesto que el nivel en el embalse se encontrará a la máxima cota (cota 80 m). Aguas abajo, el río se sitúa a la cota 56.5 m. En la Figura 1 se muestra una imagen general del modelo.

En el modelo, las compuertas se encuentran suspendidas mediante un cable, que a su vez está fijado a una célula de carga. Las rigideces del sistema de sustentación fueron simuladas en el modelo con un muelle calibrado que se encuentra fijado al cable de sujeción. Experimentalmente se ajustaron las rigideces del modelo. Para ello se determinaron las frecuencias propias del conjunto formado por las compuertas y el sistema de suspensión de las mismas. Los ensayos consistieron básicamente en la captación mediante acelerómetros de la respuesta vibratoria en dirección vertical a excitaciones de carácter impulsivo.



Figura 1. Vista general del modelo. A la derecha se aprecia el depósito cabecera (embalse), y a la izquierda el depósito de desagüe (río) y en la parte central el conducto

Aunque el modelo sólo contempla un conducto, aguas arriba (embalse) y aguas abajo (río) se reproduce un ancho equivalente a tres conductos. De este modo se tienen en cuenta las posibles influencias que los flujos de entrada y salida pueden tener en el comportamiento hidráulico del conducto y compuertas. Al objeto de contrastar la bondad de esta condición de contorno geométrica, se utilizó el modelo a escala 1/80 existente en el laboratorio de EDELCA. Este modelo reproduce una parte importante del embalse, toda la presa (con sus conductos) y un largo tramo de río aguas abajo. En él se limitó el recinto reproducido en el modelo utilizado en el presente trabajo y se analizó la posible influencia de dicha geometría en los flujos de aproximación y desagüe. Asimismo también fueron objeto de análisis las posibles interferencias que los flujos de aproximación y desagüe de conductos próximos pudieran tener en el aquí ensayado. Después de realizadas estas actividades se concluyó que el modelo utilizado no viene afectado por incertidumbres relacionadas con el ámbito modelado aguas arriba y abajo.

### 3. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL CONDUCTO

#### 3.1 Descripción del flujo

Al analizar el flujo para las diferentes aperturas de las compuertas de cierre y emergencia (25%, 50%, 75% y 100%) se ha apreciado toda una casuística de comportamiento hidráulico en el conducto:

- Compuerta de emergencia (aguas arriba) completamente abierta: el flujo en el conducto es a presión sea cual sea la posición de la compuerta de cierre (aguas abajo).
- Compuerta de cierre completamente abierta: aparece flujo en lámina libre para aperturas de la compuerta de emergencia igual o inferiores al 75%.
- Ambas compuertas parcialmente cerradas: sólo se aprecia lámina libre para una apertura del 75% en la compuerta de cierre y un 25% en la de emergencia, tal y co-

mo puede verse en la Figura 2 y la Figura 3. La presencia de lámina libre requiere una apertura menor en la compuerta de emergencia a medida que también es menor la apertura de la compuerta de cierre.

La presencia de un flujo en lámina libre viene acompañado de un movimiento altamente desordenado, de carácter pulsátil y acusadamente inestable. Ello ocasiona importantes sollicitaciones mecánicas sobre el conducto y las compuertas. Esta situación se hizo muy patente para los casos: apertura 100% en compuerta de cierre y 50% en la de emergencia; 100% cierre y 25% emergencia; 75% cierre y 25% emergencia (Figura 3).

#### 3.2 Capacidad de desagüe del conducto

Se ha analizado el caudal que circula por el conducto bajo diversas posiciones de las compuertas. Cuando ambas están completamente abiertas el caudal es de 994 m<sup>3</sup>/s. El caudal desagüado depende de la posición de la compuerta de emergencia únicamente cuando la apertura de la compuerta de cierre es superior a un determinado valor. Ello, como es lógico, está vinculado a la existencia o no de lámina libre.

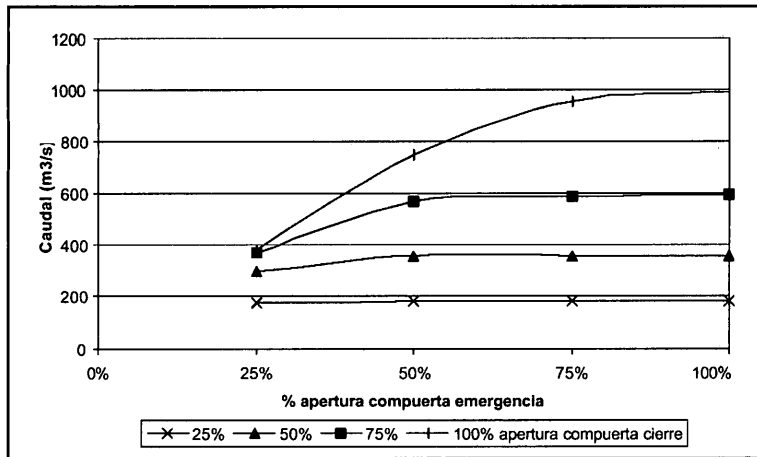
En la Figura 4 se muestra el caudal de desagüe por el último conducto a cerrar, en función de las diversas aperturas



Figura 2. Compuerta de cierre abierta un 75% y la de emergencia un 50%. No existe lámina libre.



Figura 3. Compuerta de cierre abierta un 75% y la de emergencia un 25%. Clara presencia de lámina libre.



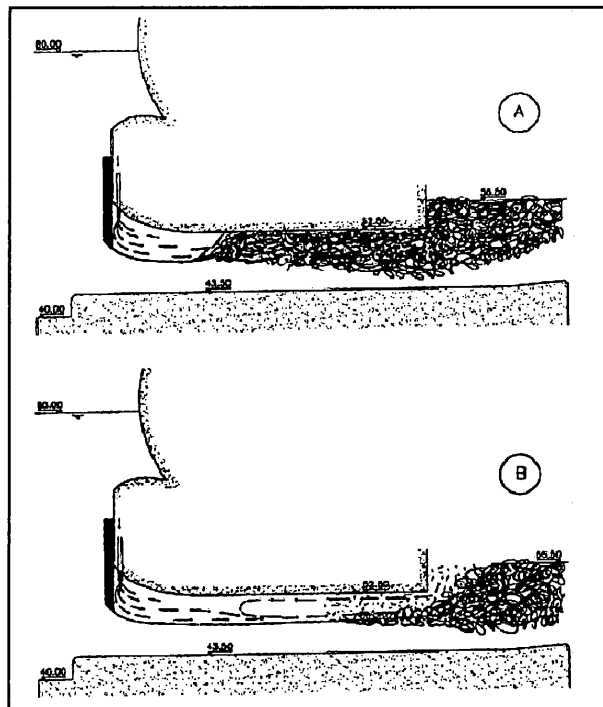
**Figura 4.** Caudal de desagüe. Embalse a la cota 80 m y río a la 56,5 m.

de ambas compuertas, y bajo las condiciones previstas de funcionamiento: cota 80 m en el embalse y 56,5 m en el río.

### 3.3. Aireación del conducto

La presencia de un flujo en lámina libre hace necesaria la aireación de la zona de conducto libre de agua. Por este motivo se ha instalado una tubería de aireación.

La presencia de lámina libre viene acompañada de una periódica entrada en carga en el extremo aguas abajo del conducto. Asimismo se presenta una depresión en la zona de conducto libre de agua. Todo ello se traduce en un flujo en el conducto altamente irregular, espacial y temporalmen-



**Figura 5.** Posibles esquemas de flujo en lámina libre. Arriba con resalto en el interior del conducto y entrada en carga del mismo. Abajo todo el conducto en lámina libre. Las flechas indican la circulación del aire.

te. Ello le confiere un carácter pulsátil y pseudoestacionario, de manera que se observa un periódico avance y retroceso del frente agua-aire que pone en contacto con el techo del conducto a la masa de agua que avanza. Esta variabilidad en el flujo lleva asociada la variabilidad en la depresión existente en la zona del conducto no ocupada por el agua, y ambas están estrechamente vinculadas a la capacidad de la tubería de aireación cuando ésta no es suficiente.

Se ha establecido que el diámetro mínimo preciso en el conducto de aireación es de unos 1250 mm. Con este diámetro el flujo en lámina libre es bastante ordenado y prácticamente desaparece la depresión en la zona no ocupada por el agua.

De existir lámina libre, ésta puede abarcar toda la longitud del conducto o solo una parte del mismo, Figura 5. En este último caso el nivel del río debe ser lo suficientemente elevado como para provocar un resalto en el interior del conducto y la consiguiente entrada en carga aguas abajo de dicho resalto. La existencia o no de resalto depende del nivel del río y del número de Froude del flujo en la sección donde se produce la máxima contracción (mínimo calado) aguas abajo de la compuerta: a mayor número de Froude más se desplaza el resalto hacia aguas abajo, pudiendo ser expulsado fuera del conducto y establecerse, por tanto, un flujo en lámina libre a lo largo de todo él. Por contra, a mayor nivel en el río más hacia aguas arriba se desplaza el resalto y la correspondiente entrada en carga, pudiéndose llegar a que todo el conducto esté en presión.

Así, aunque el nivel del río (cota 56,5 m) se sitúe 4 m por encima de la cubierta del conducto (cota 52,5 m), es posible, en principio, que en las proximidades de la sección de desagüe el flujo presente una superficie libre a cota inferior a la correspondiente a la cubierta y, por tanto, se facilite la entrada de aire hacia el interior del conducto, Figura 5b.

### 3.4. Presiones en el conducto

Del análisis de las presiones en siete puntos del conducto (tres en la solera, tres en las ranuras de las compuertas y una en la pared lateral izquierda a la salida del conducto) no se desprende que exista riesgo de cavitación. La existencia de lámina libre conlleva una mayor variabilidad temporal en las presiones, lo que está asociado al marcado carácter desordenado del flujo.

## 4. ESFUERZO HIDRODINÁMICO VERTICAL SOBRE LAS COMPUERTAS (DOWNPULL)

Las acciones hidrodinámicas sobre las compuertas han sido estudiadas a través del análisis de los datos obtenidos por la instrumentación instalada en las mismas: acelerómetros para registrar la vibración (en la dirección del flujo y en





Figura 5 (bis).  
Resaltos en el  
conducto.

sentido vertical) y células de carga para registrar el esfuerzo sobre el sistema de suspensión. La información obtenida por esta instrumentación fue almacenada, de forma continua y simultánea, por un período de unos tres minutos en una grabadora analógica multicanal. Posteriormente fue procesada estadísticamente. Todo ello se realizó para las 16 posibles combinaciones de apertura de compuerta contempladas en este estudio.

Al analizar las diferentes situaciones de apertura de las compuertas, se observa que la compuerta de emergencia siempre está sometida a un empuje hidrodinámico hacia abajo, mientras que en algunos casos la de cierre presenta un ligero empuje hacia arriba.

El esfuerzo vertical sobre la compuerta de emergencia es más elevado para aperturas parciales de la misma, estando la compuerta de cierre totalmente abierta. El máximo ( $2.022,5 \times 10^3$  N) tiene lugar para una apertura del 100% en la compuerta de cierre y del 50% en la de emergencia, superando el triple de su peso en el aire y el mínimo ( $85 \times 10^3$  N) para un 75% en la de emergencia y 25% en la de cierre. Estas situaciones con elevado esfuerzo hidrodinámico están asociadas a flujo en lámina libre, y por tanto, influidas por la capacidad de aireación. En la Tabla 1 se muestra el valor medio de la fuerza de sustentación registrado por las respectivas células de carga. Los pesos al aire y sumergido son respectivamente de 588.600 N y 510.120 N para la compuerta de emergencia, y 519.930 N y 392.400 N para

la compuerta de cierre. Tomando en cuenta estos valores y la tabla anterior, observamos que en la compuerta de emergencia siempre existe un esfuerzo hidrodinámico hacia abajo, mientras que en la de cierre puede existir un ligero empuje hacia arriba.

Un primer análisis de sensibilidad para identificar la posible causa del elevado esfuerzo hidrodinámico descendente que actúa sobre la compuerta de emergencia aconseja estudiar en detalle la forma de su labio inferior. Así, al modificar el ángulo de dicho labio se observó un cambio notable en el esfuerzo descendente: para el caso de mayor esfuerzo (100% de apertura en la compuerta de cierre y 50% en la de emergencia) éste disminuyó del orden de un 50% al reducir el ángulo de  $45^\circ$  a  $30^\circ$ . Teniendo en cuenta, también, los condicionamientos resistentes se adoptó el valor de  $37,5^\circ$ . De este modo el máximo esfuerzo hidrodinámico hacia abajo a que está sometida la compuerta de emergencia es de  $1.393 \times 10^3$  N. Este esfuerzo tiene lugar para una apertura del 100% en la compuerta de cierre y del 50% en la de emergencia.

Cabe indicar que el importante esfuerzo hidrodinámico descendente es también en parte debido al hecho de ser una compuerta de paramento. Ello incrementa notablemente dicho esfuerzo respecto al que tendría en caso de estar situada en túnel.

## 5. VIBRACIONES EN LAS COMPUERTAS

Al ensayar con posiciones fijas de las compuertas, las situaciones más desfavorables son debidas a la vibración vertical y se presentan para aperturas elevadas de la compuerta

TABLA 1. VALOR MEDIO DE LA FUERZA DE SUSTENTACIÓN PARA AMBAS COMPUERTAS

Apertura (%)		Fuerza de sustentación ( $10^3$ N)	
C. Emergencia	C. Cierre	C. Emergencia	C. Cierre
100	100	-	-
	75	-	381.8
	50	-	355.6
	25	-	343.5
75	100	2231.0	-
	75	1178.5	460.3
	50	776.2	359.7
	25	595.1	371.9
50	100	2532.6	-
	75	1701.5	460.3
	50	997.5	410.0
	25	655.5	370.0
25	100	1999.7	-
	75	1963.1	480.4
	50	1510.5	410.0
	25	816.4	399.9

de cierre. El máximo nivel vibratorio corresponde a una apertura del 100% en la compuerta de cierre y del 50% en la de emergencia. Estas aperturas también dan lugar al máximo esfuerzo vertical hidrodinámico y presentan un flujo muy desordenado en el conducto.

Al objeto de analizar en detalle el estado vibratorio de las compuertas se dotó al modelo de un mecanismo que permitiera el desplazamiento de las compuertas acorde con las velocidades de maniobra previstas en prototipo: entre 1 y 2,5 m/min.

Los primeros ensayos realizados con la compuerta de emergencia no mostraron situaciones vibratorias conflictivas, mientras que la de cierre presentaba un acusado estado vibratorio vertical justo al inicio de la maniobra de cierre. Ello aconsejó centrar la actividad en el estudio de esta compuerta.

Un primer análisis mostró que el fuerte estado vibratorio en la compuerta de cierre depende de:

- Posición. La situación problemática se presenta al inicio de la maniobra de cierre, cuando la compuerta se ha introducido entre 0,1 y 0,2 m en el conducto. Al alejarse ligeramente de la posición conflictiva se comprobó que desaparecía el estado vibratorio.
- Rigidez del sistema de sustentación. Las rigideces consideradas han variado entre 10.500 Kp/cm y 33.500 Kp/cm. Al inicio del cierre la rigidez del sistema de sustentación (fundamentalmente debida al cable) es de 30.000 Kp/cm.
- Geometría del labio. Se ha comprobado la clara influencia de la geometría de la parte inferior de la compuerta. Se favorece la vibración en la medida que la envolvente inferior de dicha geometría presenta un menor ángulo con la horizontal.
- Condiciones de flujo en el río. Unas primeras observaciones cualitativas parecen mostrar que el flujo alterado que se presenta en el río a la salida del conducto puede influir en el estado vibratorio de la compuerta de cierre.

Ello podría justificarse teniendo en cuenta que las características del flujo en el río puedan condicionar las del flujo junto al labio y éstas al estado vibratorio. De ser cierta esta hipótesis, el estado vibratorio de la compuerta de cierre correspondiente al conducto 18 no tendría por qué ser idéntico al de otro conducto situado en la parte más central del río. Ello es así porque el flujo en el río a la salida del conducto 18 presenta una mayor alteración superficial al estar este conducto ubicado junto a la margen izquierda.

- Peso de la compuerta. En la medida que la masa de la compuerta, incluida la del correspondiente lastre, afecta a su frecuencia propia, cabe esperar que tenga incidencia en el estado vibratorio. Según proyecto, a la compuerta se le incorpora un lastre de 15 t. En el presente estudio también se contempla un lastre adicional de 10 t.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha estudiado en un modelo reducido la operación de cierre de los conductos de desvío del río Caroní, durante la construcción de la presa de Caruachi (Venezuela).

El modelo reducido se ha construido a escala 1/20 y en él se han analizado las diversas maniobras previstas según el protocolo de cierre desarrollado por EDELCA: tanto la operación de cierre en condiciones normales, desde el extremo aguas abajo del conducto (compuerta de cierre), como en caso de emergencia, desde su extremo aguas arriba (compuerta de emergencia).

Se ha caracterizado el comportamiento hidráulico del flujo para las diversas posiciones de las compuertas, en particular aquéllas para las que el funcionamiento del conducto es en lámina libre. Así se ha analizado la capacidad de desagüe, la aireación y las presiones en el conducto.

También se han estudiado los esfuerzos verticales descendentes sobre las compuertas y su estado vibratorio. ■

## BIBLIOGRAFÍA

–Marcano, A.; Patiño, A. 1998. Proyecto Caruachi, desvío del río durante la construcción. *Proc. del XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Octubre 1998*. Oaxaca. México.  
Méndez, I.; Salazar, E.; Marcano, A.; Sánchez-Juny, M.; Egusquiza, E.; Pomares, J.; Ninyerola, D.; Dolz, J.  
–2000. Proyecto Caruachi, investigación experimental sobre la fuerza descendente (downpull) durante las maniobras de cierre de emergencia de los conductos de desvío. *Proc. del XIX Congreso Latinoamericano de*

*Hidráulica, Octubre 2000*. Córdoba. Argentina.

–DEHMA. 1999. Estudio en modelo reducido del comportamiento hidráulico de las compuertas de cierre y emergencia de los conductos de desvío de la presa de Caruachi (Venezuela). *Documento interno. Estudio realizado por encargo de DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES SA*. UPC. Barcelona. España.

–DEHMA. 1999. Estudio en modelo reducido del comportamiento hidráulico de las compuertas de cierre y emergencia de los conductos de desvío de la presa de Caruachi (Venezuela). Informe nº 1. Avance de los resultados obtenidos en el estudio de las necesidades de ai-

reación y del esfuerzo hidrodinámico sobre la compuerta de emergencia. *Documento interno. Estudio realizado por encargo de DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES SA*. UPC. Barcelona. España.

–DEHMA. 1999. Estudio en modelo reducido del comportamiento hidráulico de las compuertas de cierre y emergencia de los conductos de desvío de la presa de Caruachi (Venezuela). Informe nº 3. Avance de los resultados obtenidos en el estudio del estado vibratorio de la compuerta de cierre. *Documento interno. Estudio realizado por encargo de DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES SA*. UPC. Barcelona. España.