

RENOVACION DE LAS INSTALACIONES MECANICAS DEL DESAGÜE DE FONDO DEL EMBALSE DE LA TRANQUERA

Federico Salinas Morales. Doctor Ingeniero de Telecomunicación
y Honorio Jesús Morlan Martín, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

1. Antecedentes

La presa de la Tranquera está situada aguas abajo de la confluencia de los ríos Jalón, Mesa y Ortíz (cuenca del río Jalón) a unos 3 km aguas arriba de la localidad de Carenas, en la provincia de Zaragoza.

Con el desembalse de La Tranquera se aportan a diario los caudales necesarios para la explotación de los aprovechamientos del río Piedra y Jalón, ya sean estos usuarios de regadío, de abastecimiento, aprovechamiento hidroeléctrico, etc., o bien los caudales necesarios para mantener el cauce del río en condiciones higiénico-sanitarias en las épocas de sequías.

La presa es de gravedad con fábrica de hormigón, tiene 43,45 m de altura y taludes 0,05 aguas arriba y 0,75 aguas abajo; es de planta recta con una longitud de 225,21 m y 7,00 m de anchura en la coronación a la cota 687,50 s.n.m.

El aliviadero se encuentra en coronación y está compuesto por 3 vanos de 19 m de ancho, con unas compuertas de cierre tipo sector sumergido de 5 m de altura. Su lámina vertiente máxima es de 5 m, con una capacidad total de desagües estimada en 1.470 m³/seg.

La toma de agua dispone en cada extremo de sus dos conductos, como válvula de regulación, de una LARNER-JOHNSON de 1 m de diámetro y como válvula de seguridad de una válvula de compuerta.

Existen actualmente dos tomas para montaje de una futura central hidroeléctrica con compuertas de paramento y tapas ciegas en su extremo de aguas abajo.

Después de 25 años que lleva el embalse en explotación y pese a la conservación llevada a efecto durante este período, se precisaba una completa revisión de todas las instalaciones mecánicas.

El desagüe de fondo está constituido por dos conductos cerrados por cuatro compuertas tipo BUREAU (dos en cada conducto), de 1,2 m x 2,5 m, accionadas por servomotor hidráulico. Asimismo disponen de otros dos conductos laterales con dos cierres por válvula de compuerta Ø 600 mm, con accionamiento electro-mecánico.

Después de 25 años que lleva el embalse en explotación y pese a la conservación llevada a efecto durante este período, se precisaba una completa revisión de todas las instalaciones mecánicas.

Por ello, se hizo imprescindible la modernización y puesta a punto de la totalidad de las instalaciones mecánicas del embalse, con el fin de asegurar una garantía total de las mismas en explotación, dotándolas de los avances técnicos habidos desde su montaje y adaptándolas a lo previsto por la vigente instrucción de Grandes Presas.

En este trabajo, se describen las actuaciones que se han desarrollado para el acondicionamiento de las instalaciones mecánicas del desagüe de fondo.

2. Elección de la solución

En este caso concreto no se eligió «a priori» una solución a partir de unos datos del problema, sino que la solución surgió como resultado de unos debates sucesivos con diversas aportaciones de ideas, llegándose finalmente a una solución que ha permitido una reparación de las instalaciones mecánicas del desagüe de fondo más completa que la inicialmente planeada.

Inicialmente se consideró la ejecución de una obra consistente en retacar mediante buceadores las fugas de las compuertas de agua arriba de cada uno de los dos conductos del desagüe de fondo con el fin de reparar en seco ambas compuertas de aguas abajo.

Como preparación de las tareas de buceo, se realizó un profundo y detallado estudio de los pormenores de este trabajo antes de afrontar estas delicadas actuaciones muy arriesgadas y llenas de limitaciones.

Para retacar las compuertas de aguas arriba era preciso que los buceadores recorriesen un túnel de unos 40 m, operación que naturalmente era posible, pero que no era muy conveniente con vistas a una emergencia que requiriese un retorno urgente del buceador a superficie.

Conducidos por la anterior idea se empezó a considerar la posibilidad de colocar un escudo en la embocadura de cada uno de los conductos.

Esta última solución presentaba la dificultad de no disponer de superficies de apoyo, perpendiculares al flujo, en jambas y umbral aunque sí en dintel. En efecto la galería de acceso a las compuertas tiene un primer tramo a cielo abierto y un segundo tramo en falso túnel; tanto en el tramo a cielo abierto como en el siguiente en túnel, las dos superficies verticales de los hastiales y la superficie horizontal de solera están en prolongación una de otra, o lo que es lo mismo, contenidas en el mismo plano.

Esta solución de obturar mediante un escudo la embocadura del conducto permitía, además, mantener en seco la zona entre ambas compuertas con posibilidad de acondicionar también la de guarda.

Con todas estas ideas se hizo un estudio de solución en «T» cuyo resumen recogemos en el cuadro 1.

CUADRO 1

Retacado de Compuertas de agua arriba	Colocación de un escudo a la entrada del túnel
Ventajas: Menor riesgo de la operación, al utilizarse como elemento de obturación una compuerta permanente diseñada para la presa. Menor coste. Inconvenientes: Mayor riesgo para buceadores. No se reparan las compuertas de aguas arriba.	Ventajas: Menor riesgo para los buceadores. se reparan los tableros de las compuertas de aguas arriba. Inconvenientes: Mayor riesgo de la operación al utilizarse como medio de obturación un elemento provisional. Mayor coste.
SOLUCION Se adoptó la solución de colocación de un escudo, después de debatidas las dos posibilidades y fundamentalmente por comportar menor riesgo para los buceadores y una más completa renovación de las instalaciones mecánicas.	

Una vez adoptada la solución de colocar un escudo a la entrada del túnel, había que resolver como retenerlo sin un apoyo frontal en jambas ni en umbral.

La primera solución que se estudió fue la de excavar una zanja de 2 m de anchura por 0,8 m de profundidad y 0,8 m de longitud en el sentido del flujo del agua; estando esta zanja situada en el último tramo de la solera a cielo abierto y de modo que una de las caras formase parte del mismo plano que el frontón del dintel del arranque del falso túnel; esta solución ofrecía una superficie de apoyo en umbral de 2 m de ancho por 0,8 m de profundidad.

Esta excavación se proyectó a base de tres líneas de taladros de 2 m de anchura distantes 0,4 m entre ellas y con 7 taladros por línea, dando un total de 21 taladros para cargar con 0,5 kg de explosivo por taladro y otros 6 taladros de descompresión. Resultando: un volumen teórico a demolir de $0,8 \times 0,8 \times 2 = 1,28 \text{ m}^3$; un número de taladros de 27 con una longitud teórica total de perforación de 21,6 m lineales; y una carga total de 10,5 kg de explosivo, para cebado eléctrico con microretardos desde superficie, lo que suponía un riesgo y podía producir cierta mortandad en la fauna del embalse.

Posteriormente se consideró otra solución consistente en anclar a la solera, en el arranque del falso túnel, una viga de apoyo de umbral para el escudo; esta es la solución que se adoptó y que finalmente se ha realizado según las descripciones que figuran a continuación.

Quedaba todavía otra cuestión por solucionar en cuanto si convenía construir un solo escudo con operaciones sucesivas de obturación en ambos conductos; o bien construir dos escudos con operaciones simultáneas de obturación en ambos conductos. El estudio de solución en «T» se realizó como resumimos en el cuadro 2.

Esta solución presentaba como ventaja adicional la de no tener que preocuparnos de si el muro de división de los dos falsos túneles tenía capacidad resistente suficiente para soportar, por una cara la presión del agua del embalse mientras que por la otra cara solamente la presión atmosférica.

La solución adoptada ha permitido dejar prácticamente «en seco» (es decir con solamente un pequeño caudal de agua por fugas a través de las juntas entre escudo y parámetros) las zonas de las cuatro compuertas del desagüe de fondo y por tanto ha sido posible una reparación completa de las instalaciones mecánicas.

3. Descripción general de la obra realizada

Esta obra de acondicionamiento de las instalaciones mecánicas del desagüe de fondo de la Tranquera puede considerarse como descompuesta en tres tareas bien diferenciadas, a saber: diseño, fabricación y montaje.

Básicamente se han diseñado los siguientes elementos: Viga de umbral para apoyo de escudo, escudo, equipo oleodinámico y servomotores para nuevo sistema de accionamiento de las cuatro compuertas, capillo y tajaderas.

Después de realizado el diseño e iniciada la fabricación de un escudo para apoyo en zanja se decidió apoyarlo en la viga de umbral ya citada, con el consiguiente cambio en el diseño y posteriormente se decidió la construcción de dos escudos en lugar de uno sólo para realizar simultáneamente las operaciones de obturación subacuática, acondicionamiento de las instalaciones mecánicas y nueva puesta en servicio, como también se indicó anteriormente.

La viga se diseñó de modo que garantizase un perfecto y seguro cosido al hormigón de umbral y un adecuado apoyo para la parte inferior del escudo.

El equipo oleodinámico y servomotores se diseñaron según el estado actual del buen arte para sustituir la obsoleta instalación de mando manual, muy voluminosa y de baja presión. Esto nos llevó a diseñar un nuevo capillo para adaptar el nuevo cilindro a la brida superior de la compuerta.

Inspeccionadas las tajaderas, se observó que las dos de regulación estaban muy deterioradas especialmente en su parte inferior y básicamente debido a efectos de cavitación y corrosión. A la vista de su estado se decidió diseñar una tajadera con el labio inferior de acuerdo con la recomendación del Bureau of Reclamation de U.S. para la compuerta «mejorada», tal como la denomina el citado U.S.B.R.

4. Viga de umbral

Esta viga, como ya hemos indicado, sirve de apoyo inferior del escudo de obturación de los conductos.

La configuración de este apoyo de umbral se representa en la figura n.º 1 así como en la fotografía n.º 1 en la que se observa que han sido cortados a soplete unos centímetros a cada lado para reducir su anchura facilitando así su colocación subacuática sin reducir la resistencia del apoyo, también se aprecia el zócalo frontal de apoyo del escudo a que nos referimos a continuación, y que también aparece en la citada figura n.º 1 donde está referido como «A».

En la parte derecha del alzado se aprecia ese zócalo, que permite que al deformarse por flexión el escudo, este apoye en la zona más próxima a la solera, mejorando así las condiciones de trabajo del conjunto.

Para resistir el empuje transmitido por el escudo se dispusieron en cada una de las dos bases longitudinales 10 pernos de fijación, los 4 pernos internos de la base transversal no se computan en el cálculo, quedando por tanto como una seguridad adicional.

5. Instalación de la viga de umbral

Las operaciones de replanteo subacuático en general requieren varias operaciones redundantes con objeto de detectar posibles errores de bulto o promediar errores de precisión. En nuestro caso y para marcar la línea de umbral que proyecta la arista de dintel, y una vez efectuada la necesaria limpieza y extracción de limos y barro, mediante

CUADRO 2

Construcción de un solo escudo	Construcción de dos escudos
Ventajas: Menor coste de fabricación para un solo escudo. Posibles rectificaciones para la colocación en el segundo conducto. Inconvenientes: Mayor número de movilizaciones para los buceadores. Mayor coste de colocación.	Ventajas: Menor número de movilizaciones para los buceadores. Menor coste de colocación. Reducción del tiempo de obra. Inconvenientes: Mayor coste de fabricación para dos escudos; el coste del segundo escudo resulta muy inferior al del primero ya que los costes de proyecto y de preparación de fabricación no se duplican.
SOLUCION Se adoptó la solución de construir dos escudos con reparación simultánea de ambos conductos.	

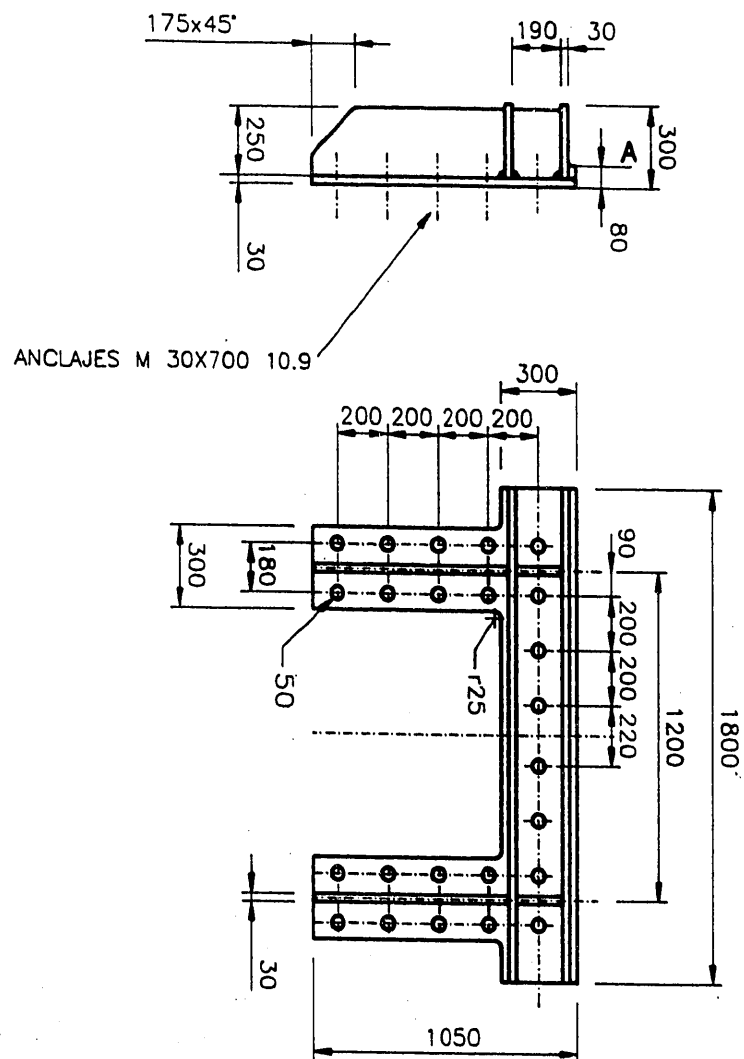


Figura n.º 1.

consecuencia de éto se decidió cambiar la trepanadora por un martillo perforador neumático con presión en superficie de 15 kg/cm^2 empleando broca hueca autolimpiable mediante el propio aire comprimido, con lo que se pudo terminar la operación de taladrado sin otras dificultades que las inevitables de trabajo en agua profunda y escasa visibilidad.

Después de realizados los taladros se colocaron los pernos fijándolos con resina epoxy, y posteriormente se fijó la viga de apoyo mediante las tuercas correspondientes.

6. Escudo de cierre

El escudo de cierre estanco se calculó para una presión nominal de 40 m.c.a. siendo las medidas nominales de escudo de $2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$. Dado que los apoyos se encuentran situados, uno en umbral y otro en dintel, el vano en relación con la carga y los apoyos es de 4 m. Dada esta forma de trabajo, el escudo está formado por dos vigas principales de 4 m nominales de longitud y dispuestas verticalmente, y de una chapa de forro; las vigas principales están formadas por el propio forro de 15 mm de espesor, almas de 700 mm de canto y 10 mm de espesor y alas de $300 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$; existen además otras vigas horizontales, siendo 9 unidades en IPE 200 y 2 unidades UPN 200. A continuación se incluyen dos croquis del escudo, en las figuras n.º 2 y n.º 3.

Para las operaciones de arriado e izado, el escudo dispone de sus adecuados puntos de cogida; para las operaciones de llenado en el equilibrado de presiones dispone de una válvula de bypass en la parte inferior y de una válvula de venteo en la parte superior.

7. Instalación del escudo de cierre

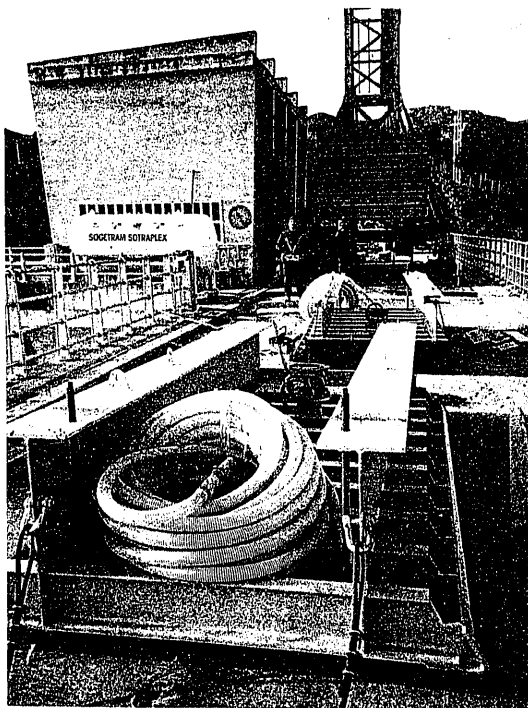
En la fotografía n.º 2 se ven los dos escudos de obturación acopiados sobre la coronación de la presa y pertrechados para su botadura y fondeo a su lugar de ubicación. En la fotografía se aprecian las válvulas compuerta para bypass; asimismo se ve, enrollada, una manguera traqueal conectada al venteo para dar salida al aire en superficie.

La fotografía n.º 3 corresponde a un momento del arriado de un escudo mediante la grúa torre instalada en coronación para estos y otros trabajos que no se describen en el presente artículo.

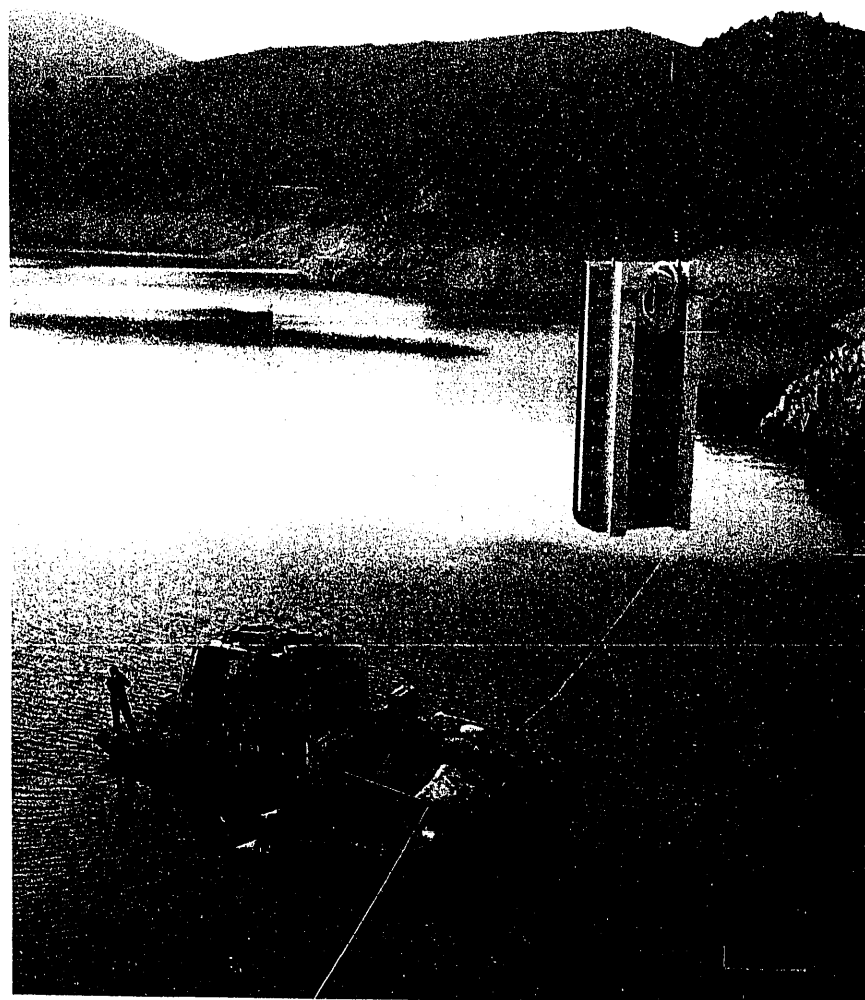
Después de colocados en sus posiciones de obturación se procedió al retacado de las ranuras de contacto; unos días después de vaciados los dos conductos se inspeccionaron los escudos desde el interior de las galerías.

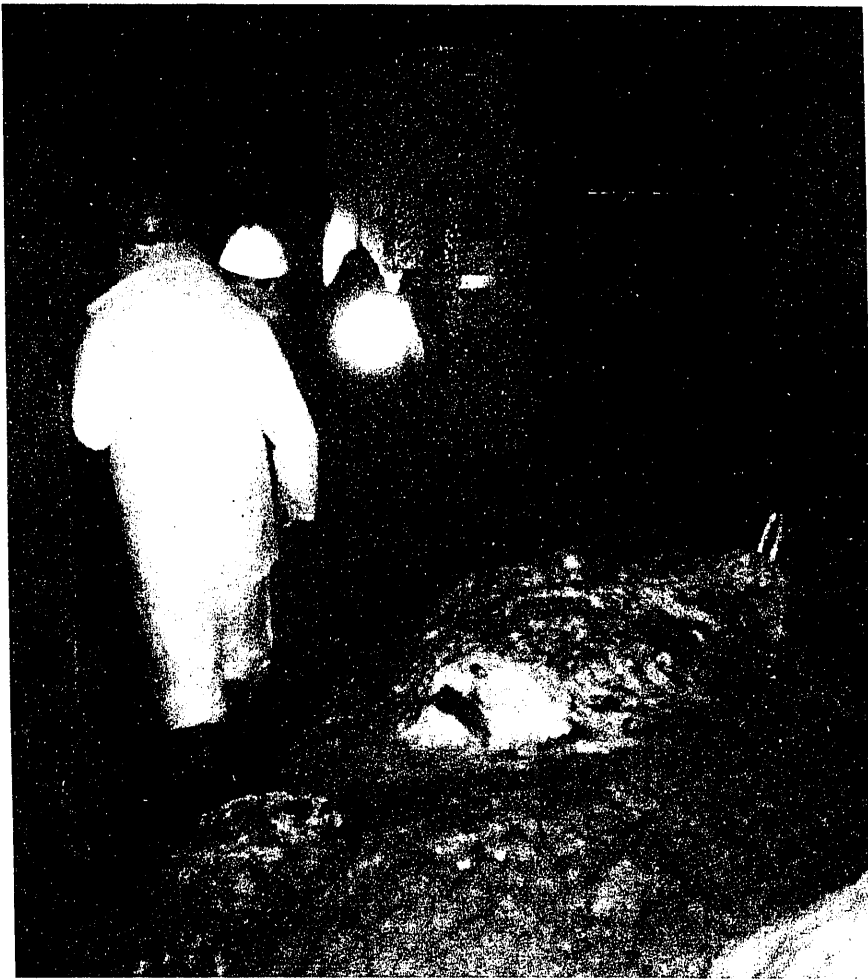
En la fotografía n.º 4 se aprecia el escudo del conducto derecho realizando su misión de contener el empuje de la columna de agua de unos 40 m de altura. Se aprecian dos rayas negras verticales que se pintaron para conocer, desde esta cara de la chapa pantalla, la posición de las almas de las vigas principales; también se aprecia, en la parte superior el orificio de venteo; los restos de colores que se aprecian, en la fotografía original,

Fotografía n.º 2.



Fotografía n.º 3.



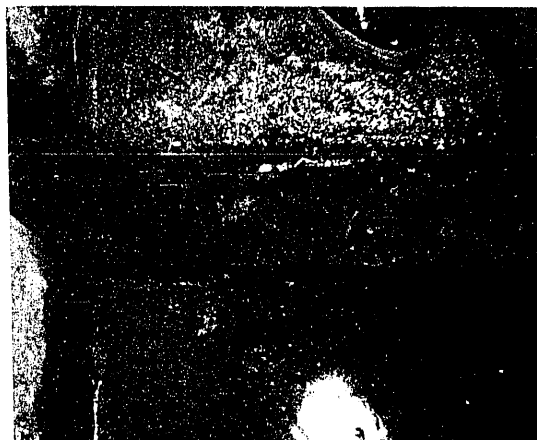


Fotografías núms. 4 y 5.

sobre los sedimentos, corresponden al material de retacado sorbido por la corriente.

Los pernos de fijación de un lateral de la viga de apoyo pueden verse en la fotografía n.º 5; también puede apreciarse la perfecta correspondencia entre la pletina de empuje del apoyo y la línea vertical que corresponde al alma de una de las vigas principales. Esta correspondencia entre pletina de empuje y alma de la viga principal se comprobó en los tres casos restantes.

Estas operaciones subacuáticas, tanto las de colocación de la viga de apoyo mediante pernos



Fotografía n.º 6.



de anclaje, como estas de instalación del escudo de cierre se realizaron durante los meses de enero y febrero de 1991, representando las bajas temperaturas propias del tiempo una nueva dificultad; en la vaporización de los gases contenidos en las botellas como líquidos a presión, los fenómenos de congelación añadieron otra dificultad.

8. Obras de renovación de las instalaciones mecánicas

El mantener en «seco» las zonas correspondientes a las cuatro compuertas del desagüe de fondo ha permitido realizar una completa reparación en todas ellas. La expresión de «mantener en «seco»», se refiere evidentemente a dejar accesibles las zonas de las compuertas, si bien con una lámina de agua fluyente correspondiente al pequeño caudal de fugas de los escudos; en las zonas en que ha sido necesario dejar totalmente en seco una determinada área se ha colocado una ataguía con tubo de desagüe y una contrataguía al final del mismo. Tal fue el caso de la reposición del metal de asiento de los sellos.

Las obras realizadas han sido las que se enumeran a continuación:

1. Desmontaje de todos los elementos que habían de ser sustituidos o reparados, tales como: equipo oleohidráulico, instalación eléctrica, by-pass, aireaciones, tajaderas, etc.

2. Reposición del metal de asiento de los sellos de umbral de las cuatro compuertas; este asiento a base de plomo se reparó mediante aportación por fusión. Ver fotografía n.º 6.

También se repararon las guías de las cuatro compuertas.

3. Los by-pass de ambas compuertas de guarda se instalan de acuerdo con el estado actual del buen arte.

4. Las tajaderas de las compuertas de guarda se extrajeron para su puerta a punto y las de las compuertas de maniobra que, como ya se ha dicho, estaban muy deterioradas por efectos de cavitación y corrosión se extrajeron para ser sustituidas por otras de nueva construcción.

5. Se instalaron nuevos cilindros oleohidráulicos y su central de presión y cuadro de mando correspondiente. ■