

# Recrecimiento de las presas de Villalcampo y Castro

Por F. OLARREAGA GARMENDIA

Dr. Ingeniero del I.C.A.I.

P. DIAZ-GUARDAMINO GIL

Ingeniero Industrial.

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES

La mayor parte de los aprovechamientos hidroeléctricos actualmente en servicio, fueron proyectados y construidos para su explotación en un sistema de producción de energía predominantemente hidroeléctrico, y los equipos generadores instalados en sus centrales estaban destinados a producir prácticamente la totalidad de la energía demandada. El factor de carga de la potencia instalada resultaba, en consecuencia, muy elevado, siendo normal alcanzar entre 4.000 y 6.000 horas de utilización.

Al desarrollarse otras fuentes de producción de energía eléctrica, tales como las centrales térmicas convencionales y nucleares que, por razones técnicas y económicas deben funcionar en base, se modificó la función de las centrales hidroeléctricas pasando éstas a producir energía en horas de punta y hacer frente a las variaciones de la demanda.

Como consecuencia de esto, se ha puesto de manifiesto la conveniencia de ampliar la potencia instalada en los aprovechamientos hidroeléctricos existentes con objeto de concentrar la producción de energía en las horas de punta y mantener las reservas de energía necesarias para la regulación. Estas ampliaciones de potencia deberían ir acompañadas, donde ello sea posible, de un aumento de la capacidad de regulación de los embalses, mediante el recrecimiento de los mismos.

El recrecimiento de los embalses obliga en general a modificar, entre otros, los órganos móviles de cierre, y los elementos previstos para la evacuación de avenidas, adecuándolos a las nuevas condiciones de carga.

El objeto del presente trabajo es describir algunas realizaciones de Iberduero, S. A. en este campo.

## 2. TIPOS DE RECRECIMIENTO

En este trabajo se van a describir algunas soluciones para el recrecimiento de compuertas radiales tipo Tainter, utilizadas frecuentemente en los aliviaderos de las presas, cuando se desea

incrementar la capacidad de regulación de un embalse mediante la elevación del nivel del mismo.

Esquemáticamente, los sistemas de recrecimiento se pueden clasificar como sigue:

### a) *Recrecido superior.*

La estructura resistente y la pantalla se prolongan hacia arriba. Dependiendo de la magnitud de las cargas hidráulicas, se colocan o no brazos nuevos que colaboren con los existentes en la transmisión de dichas cargas al eje de giro (fig. 1).

### b) *Recrecido inferior.*

Se añade por la parte inferior una viga cajón nueva con sus brazos correspondientes, o bien se prolongan pantalla y estructura resistente hacia abajo. En este último caso normalmente se precisan brazos nuevos (fig. 2).

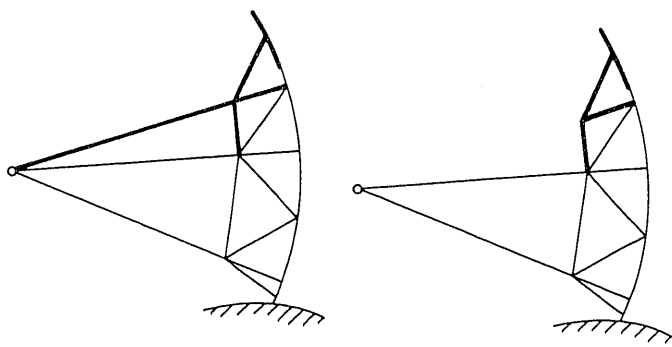


Fig. 1.—Recrecido superior.

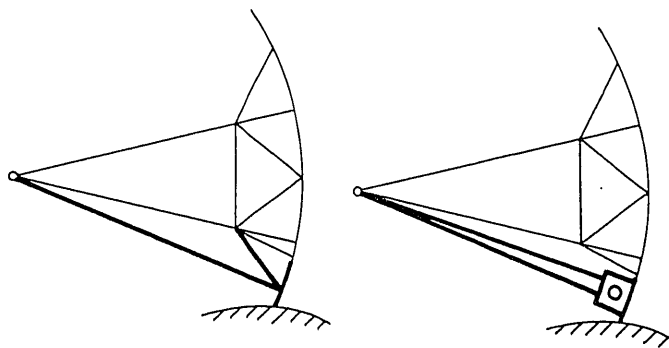


Fig. 2.—Recrecido inferior.

## c) *Recrecido mixto.*

La pantalla y la estructura resistente se prolongan por arriba y por abajo, de forma que la resultante del empuje hidráulico esté centrada respecto a los brazos de la compuerta a los que transmite cargas similares (fig. 3).

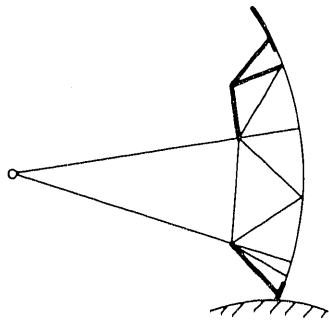


Fig. 3.—Recrecido mixto.

Iberduero, S. A. ha ampliado la potencia instalada en algunas de sus instalaciones, y tiene en proyecto la realización de nuevas ampliaciones dentro de un plan general de optimización en la utilización de sus recursos hidráulicos.

Con motivo de la ampliación de la potencia instalada en los Saltos de Villalcampo y Castro

se decidió, en ambos casos, elevar dos metros el nivel del embalse, planteándose el problema del recrecimiento de las compuertas de los aliviaderos, que se orientó en la forma que se describe seguidamente.

## 3. RECRECIMIENTO DE LAS COMPUERTAS DE LA PRESA DE VILLALCAMPO

### 3.1. Consideraciones generales.

Las características generales de las compuertas de los aliviaderos de presa instaladas en el Salto de Villalcampo son las siguientes:

Número: 4.

Tipo: Radial, tipo Tainter.

Accionamiento: Cabrestante.

Caudal máximo: 7.500 m<sup>3</sup>/seg.

Dimensiones: 24,00 × 11,00 metros.

Al no poseer Iberduero experiencia alguna sobre el recrecimiento de compuertas radiales, se realizó un estudio preliminar en el que se plantearon las tres alternativas antes descritas, comprobándose que en los recrecidos inferior, mixto y superior con brazos nuevos, existían interferencias con la obra civil cuando la compuerta se abría totalmente, lo que limitaba sensiblemente la capacidad de vertido.

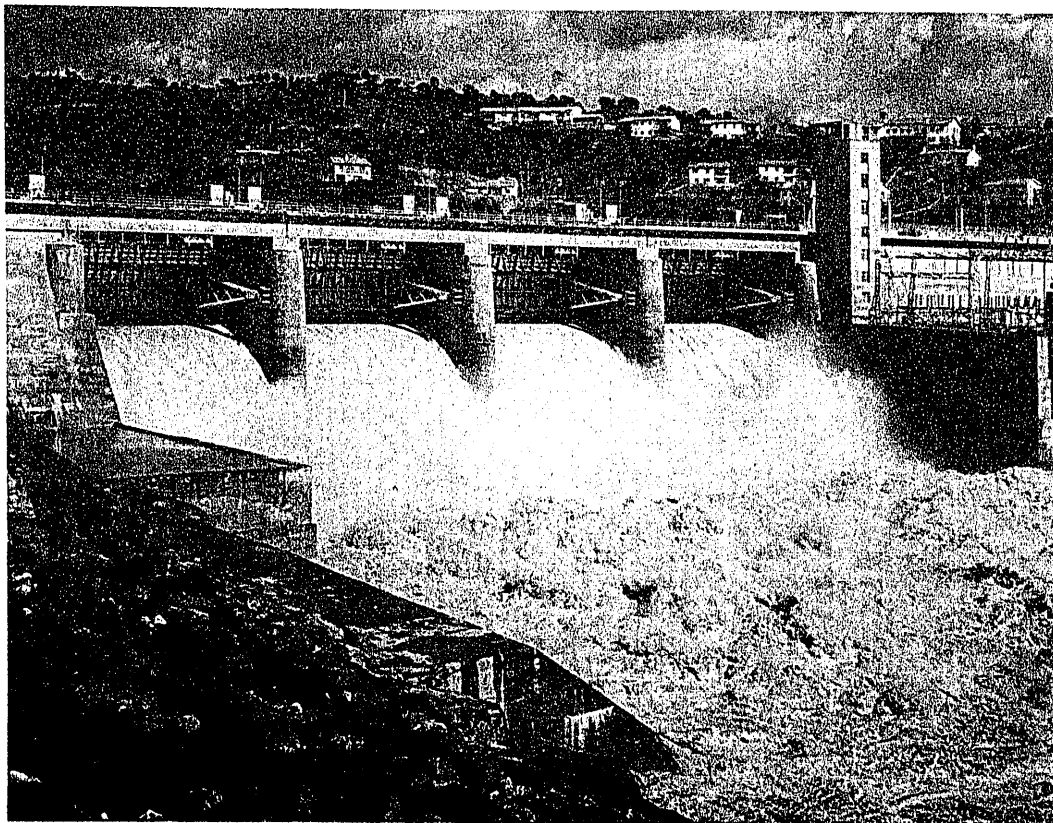


Figura 4.  
Salto de Villalcampo.  
Presa vertiendo.

# RECRECIMIENTO DE LAS PRESAS DE VILLALCAMPO Y CASTRO

En consecuencia, se optó por desarrollar el proyecto del recrecido de la compuerta por su parte superior, sin posibilidad de disponer brazos nuevos.

El diseño de las compuertas originales es de estructura de celosía con uniones remachadas. Accionadas por cabrestantes de cadena, tienen dos brazos a cada lado que transmiten el empuje hidráulico al hormigón a través de los ejes de giro, apoyados en unas estructuras metálicas soporte ancladas a las pilas y estribos laterales de la presa.

## 3.2. Proyecto.

El proyecto se desarrolló tomando como base las recomendaciones generales de las normas DIN 19704 "Bases de cálculo para construcciones hidráulicas de acero", normas MV del Ministerio de la Vivienda, e instrucción EM-62 del Instituto Eduardo Torroja.

El primer paso consistió en calcular las nuevas cargas hidráulicas a las que quedarían sometidas tanto la estructura existente como la parte a recrecer.

Se dimensionó la obra de recrecido calculando la nueva pantalla, prolongación de la anterior por su parte superior, y calculando la nueva celosía que complementaría a la existente, reforzada.

Se comprobaron las condiciones de trabajo de la pantalla, vigas de la celosía, nudos, etc., de las compuertas antiguas y se definieron los refuerzos o modificaciones que era necesario introducir para conseguir unas condiciones de trabajo admisibles.

Hubo que sustituir algunas barras de la celosía; se reforzaron varios nudos, sustituyendo las uniones remachadas por tornillos de alta resistencia ajustados, y se reforzó la pantalla soldando una serie de perfiles en la cara de aguas abajo.

La elevación del nivel del embalse en dos metros, somete a la compuerta a cargas mayores. La resultante hidráulica, que antes del recrecido transmitía su carga a los brazos en igual proporción, no sólo aumentaba de valor en términos absolutos, sino que transmitía más carga a los brazos superiores que a los inferiores (fig. 5), por lo que se realizó una comprobación a flexión por pandeo de todos los brazos, que dio como resultado la necesidad de sustituir los dos brazos superiores de cada compuerta por otros más rígidos.

Se comprobaron asimismo los ejes de giro, cojinetes y vigas de apoyo ancladas al hormigón, y hubo que sustituir los cojinetes de bronce por unos casquillos de bronce autolubricados capaces de resistir una carga específica mayor.

En la figura 6 se pueden apreciar, sombreados, los elementos nuevos o sustituidos en las compuertas.

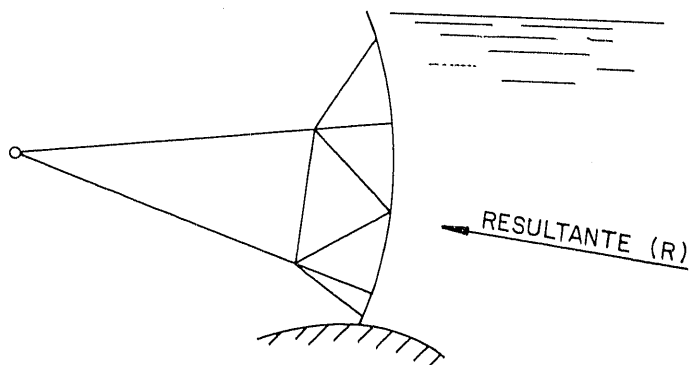
Es interesante indicar que, a pesar de que las compuertas existentes eran totalmente remachadas, en todas las partes nuevas, modificaciones o refuerzos se empleó preferentemente la soldadura, excepto en varias uniones que hubo que recurrir a uniones atornilladas.

Respecto a los cabrestantes de accionamiento, se calcularon los nuevos esfuerzos de tiro debidos al mayor peso de las compuertas y a los mayores rozamientos, comprobándose que estaban capacitados para las nuevas condiciones de trabajo.

Por último, se calcularon las pilas y los anclajes existentes para las nuevas cargas transmitidas, que no precisaron modificaciones.

Este punto es muy importante, y a veces decisivo a la hora de plantearse un recrecido, pues puede conducir a la necesidad de pretensar los anclajes existentes, introducir anclajes nuevos, e incluso en algunos casos a desechar la idea del recrecido.

A) ANTES DEL RECRECIDO.



B) DESPUES DEL RECRECIDO.

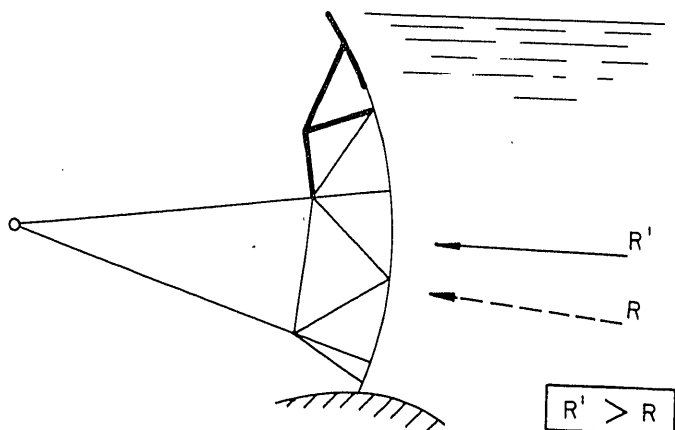


Figura 5.

# RECRECIMIENTO DE LAS PRESAS DE VILLALCAMPO Y CASTRO

El conjunto de los trabajos duró cerca de cinco meses, y se dividió fundamentalmente en las siguientes etapas:

## Fase I.

a) Instalación de los medios auxiliares de montaje y la maquinaria necesaria.

b) Izado de las compuertas para colocar unas vigas auxiliares de refuerzo, necesarias para poder desmontar los brazos superiores y hacerlos descansar en unos soportes especiales.

c) Izado de dichos brazos para su sustitución y desguace de las barras de la celosía que iban a ser sustituidas.

d) Descenso de los nuevos brazos superiores y presentación de los nudos de unión de estos con las bisagras de los ejes de giro y con el arriostrado de las compuertas. También se presentaron los nuevos nudos de las barras nuevas de la celosía que sustituían a las originales.

e) Se procedió a taladrar, escariar, atornillar o soldar los diferentes nudos, según correspondiera.

f) Extracción de los ejes de giro y los casquillos de bronce, y colocación de nuevos casquillos autolubricados. Posteriormente se volvieron a montar los ejes.

g) Soldadura de las viguetas de refuerzo de la pantalla.

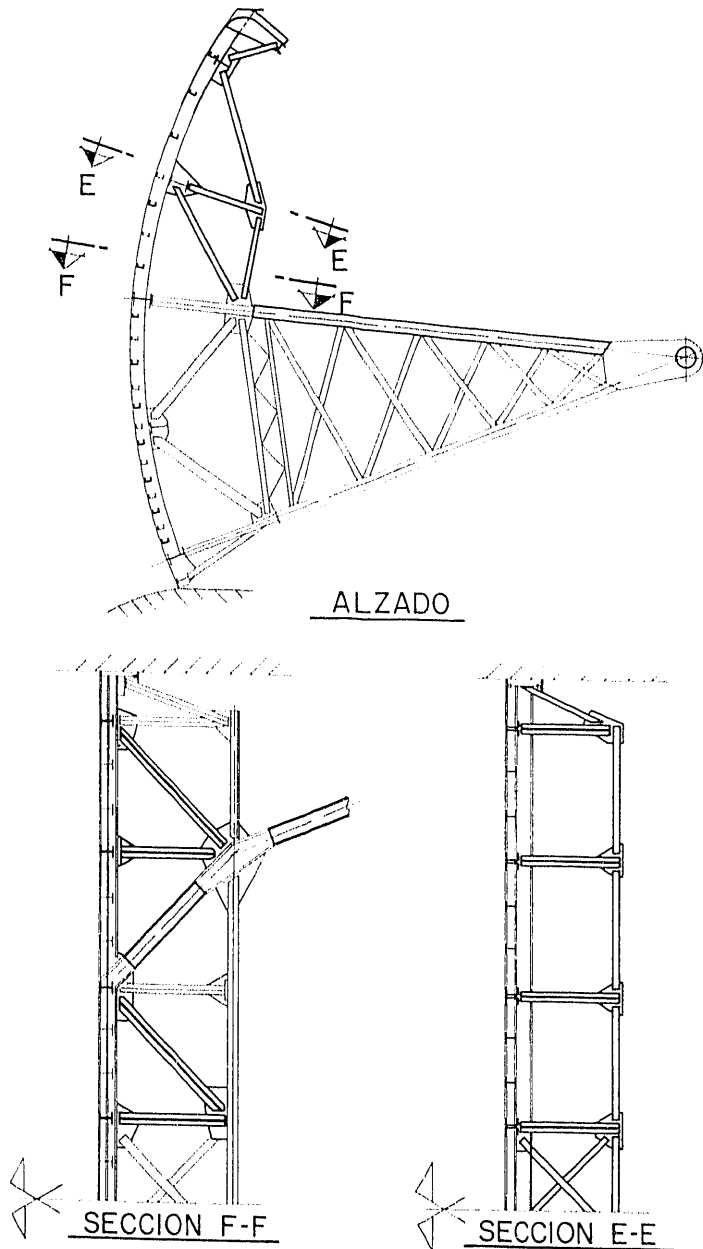


Fig. 6.—Salto de Villalcampo. Disposición esquemática de la compuerta recrecida.

### 3.3. Montaje.

Dado que parte de los trabajos a realizar requerían que las compuertas estuviesen sin carga, y a fin de reducir al mínimo el tiempo de parada de la Central, el montaje se dividió en dos fases claramente diferenciadas.

En la primera de ellas se ejecutaron los refuerzos, modificaciones, o la sustitución de elementos de las compuertas originales, y se realizó con el embalse bajo. La segunda fase correspondió al montaje de la nueva estructura.

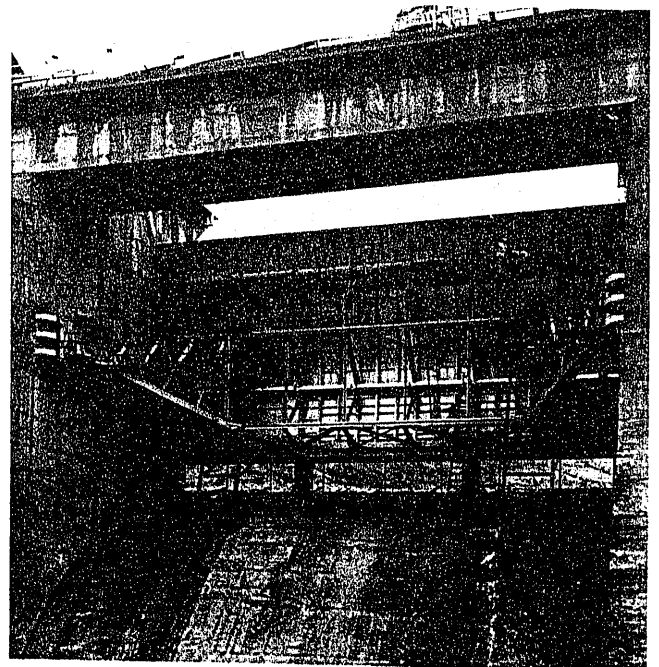


Fig. 7.—Salto de Villalcampo. Compuertas. Montaje de los refuerzos en la estructura existente.

# RECRECIMIENTO DE LAS PRESAS DE VILLALCAMPO Y CASTRO

h) Apriete de los tornillos de alta resistencia, con el par de apriete adecuado en todos los nudos reformados.

i) Repaso general de todas las operaciones realizadas, dándose por concluidos los trabajos de la primera fase.

Para la realización de los trabajos descritos se emplearon aproximadamente dos meses y medio.

## Fase II.

a) Presentación y punteado de los módulos de pantalla del recrecimiento y arriostamiento correspondiente.

b) Realización de las soldaduras pendientes después del punteo.

c) Realización de remates en los cierres. Tras una revisión general de todos los trabajos se dio por finalizado el montaje.

Aunque se ha descrito el recrecido siguiendo una cierta secuencia, no significa que los trabajos se ejecutaran rigurosamente en ese orden en todas las compuertas. De hecho, algunas de las etapas se superpusieron, ya que los trabajos se realizaron a la vez en las cuatro compuertas, coordinando las diferentes etapas de forma que se aprovechara al máximo el material y equipos auxiliares de montaje.

## 4. RECRECIMIENTO DE LAS COMPUERTAS DE LA PRESA DE CASTRO

### 4.1. Consideraciones generales.

Las características generales de las compuertas de los aliviaderos de presa instaladas en el Salto de Castro son las siguientes:

Número: 4.

Tipo: Radial, tipo Tainter.

Accionamiento: Cabrestante.

Caudal máximo: 10.500 m<sup>3</sup>/seg.

Dimensiones: 18,00 x 11,00 metros.

A la vista de la experiencia habida en Villalcampo, y analizadas las ventajas e inconvenientes de la solución adoptada se decidió en Castro recrecer las compuertas por la parte inferior, sin que hubiese ninguna interferencia con la obra civil.

Las compuertas de la presa de Castro se construyeron pocos años después de las de Villalcampo, concretamente en 1953, por lo que el diseño es similar, con estructura de celosía y uniones remachadas, accionadas mediante cabrestantes de cadena.

### 4.2. Proyecto.

La obra de recrecido consistió en la construcción de una viga cajón con sus brazos correspon-

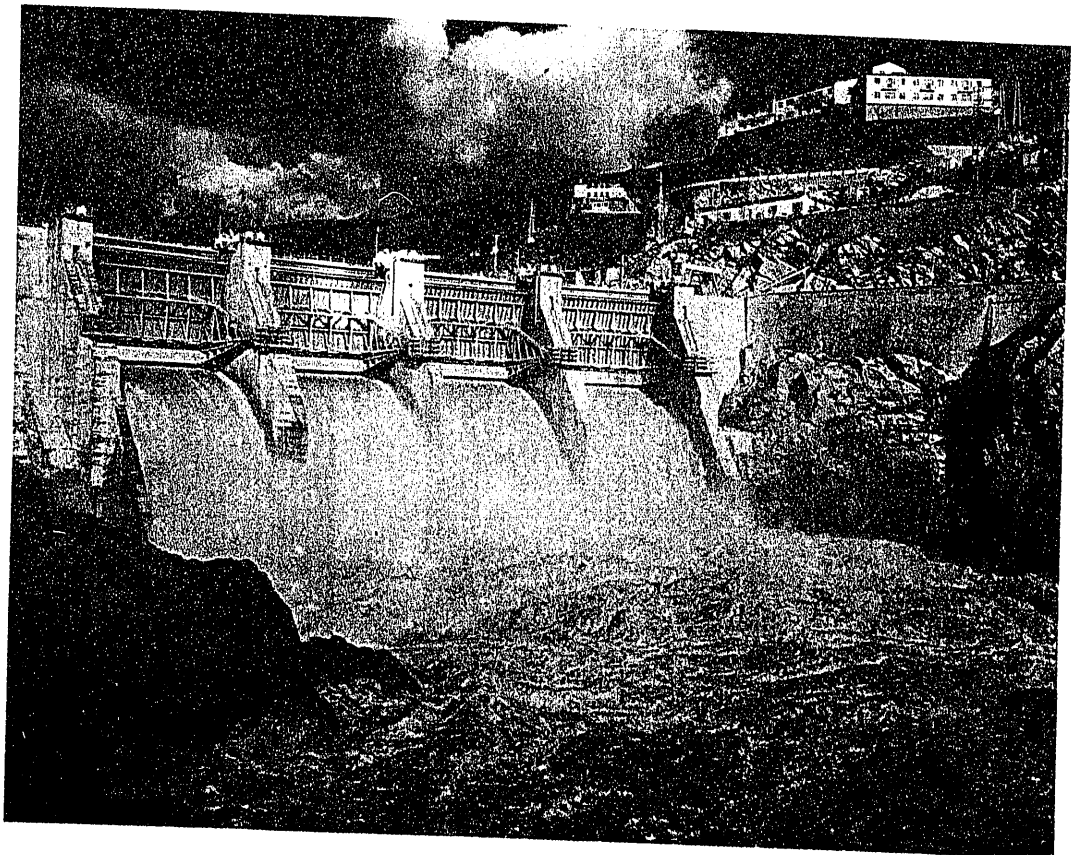


Figura 8.  
Salto de Castro.  
Presa vertiendo.

## RECRECIMIENTO DE LAS PRESAS DE VILLALCAMPO Y CASTRO

dientes para disponerla en la parte inferior de la estructura existente, y haciendo coincidir el radio de curvatura de la pantalla con una de las alas de dicha viga (fig. 9).

Con esta solución las cargas hidráulicas actuantes sobre la estructura primitiva son prácticamente las mismas que antes del recrecimiento, no siendo necesario modificar ni reforzar las compuertas existentes.

De hecho, existe una ligera variación de la resultante hidráulica que se considera despreciable.

Para el proyecto de la viga cajón y brazos, se siguieron los mismos criterios generales de cálculo que en Villalcampo.

La viga cajón se diseñó como una viga simplemente apoyada en sus extremos. Los apoyos consistían en unas articulaciones en forma de bisagra que unían la viga cajón y la compuerta. Por lo tanto, las deformaciones de la parte recrecida eran independientes de la existente. La carga hidráulica que actuaba era la correspondiente al empuje del agua en la zona de pantalla del cajón.

Cada viga cajón estaba unida a los ejes de giro mediante cuatro brazos, dos en cada lado, unidos entre sí con presillas (fig. 10).

Se comprobó el conjunto viga cajón/brazos para resistir el peso propio actuando como vigas apoyadas en dos puntos, el punto de amarre de la cadena y el eje de giro.

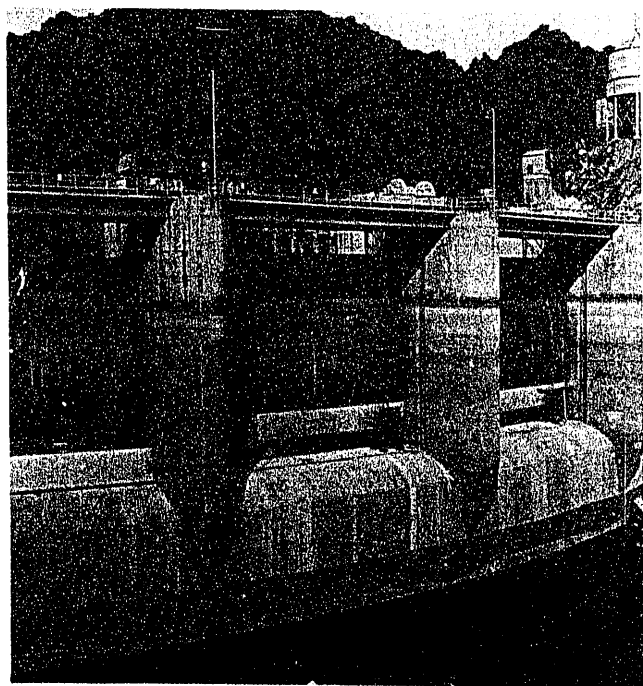


Fig. 9.—Salto de Castro. Recrecimiento de compuertas. Vigas cajón y caballetes auxiliares de montaje.

Se diseñaron unos nervios especiales para unir los nuevos brazos con las bisagras de los ejes de giro de las compuertas (fig. 11).

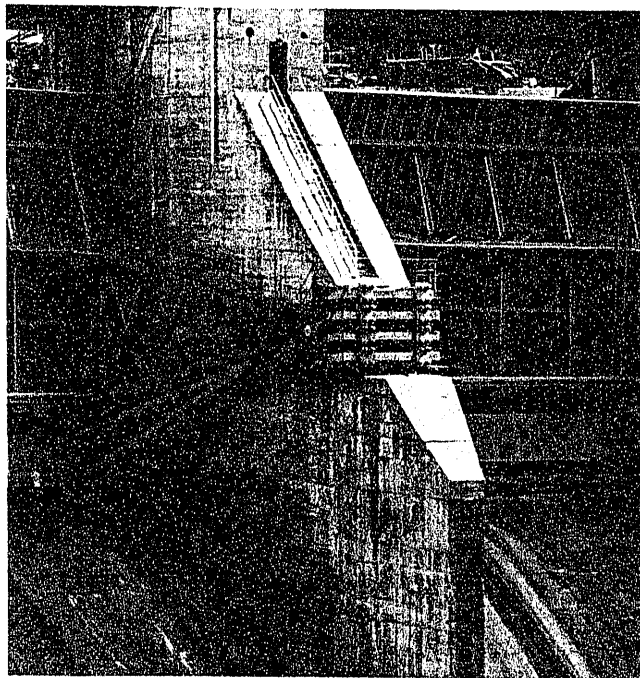


Fig. 10.—Salto de Castro. Brazos de la viga cajón y viga soporte de los cojinetes de giro.

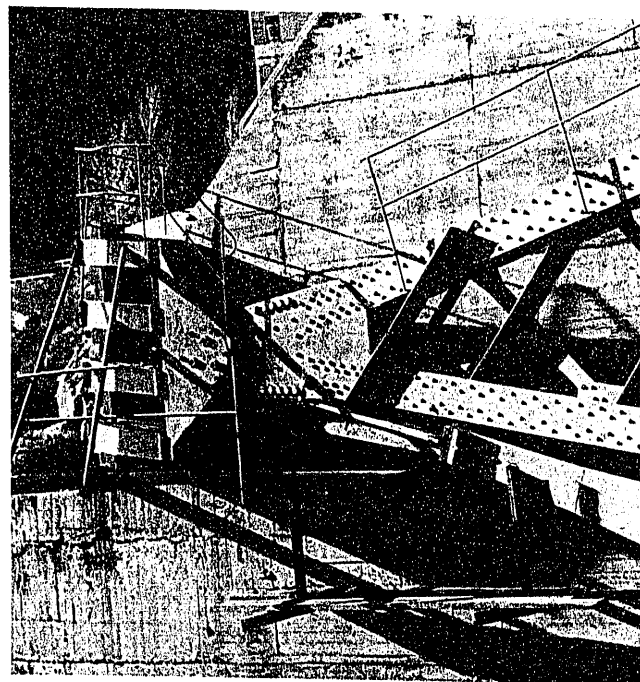


Fig. 11.—Salto de Castro. Unión de los brazos de las vigas cajón con las bisagras.

# RECRECIMIENTO DE LAS PRESAS DE VILLALCAMPO Y CASTRO

La comprobación de estos y de los cojinetes de bronce condujo a la sustitución de los últimos por otros autolubricados, lo que obligó a fabricar ejes nuevos adaptados a sus dimensiones.

Los cabrestantes de accionamiento existentes eran suficientes para los nuevos esfuerzos y no fue necesario sustituirlos ni modificarlos.

Respecto a la comprobación de los anclajes y las pilas de la presa, los cálculos demostraron la necesidad de pretensar los anclajes existentes y colocar otros adicionales. Como consecuencia, hubo que reforzar las vigas metálicas soporte.

## 4.3. Montaje.

Una vez construidos en taller y transportados a obra todos los elementos del recrecido, el montaje se desarrolló siguiendo cuatro fases que correspondían fundamentalmente a: colocación de las vigas cajón, colocación de los brazos nuevos, extracción y mecanización en taller, y posterior

colocación de las bisagras, ejes de giro y casquillos, y retirada de los elementos auxiliares.

Cada una de estas fases, a su vez, se descomponía en varias etapas que describimos a continuación.

Fase I (fig. 12).

a) Se soldaron en la viga cajón del recrecido, antes de su introducción, unos perfiles guía con la misma curvatura que las compuertas.

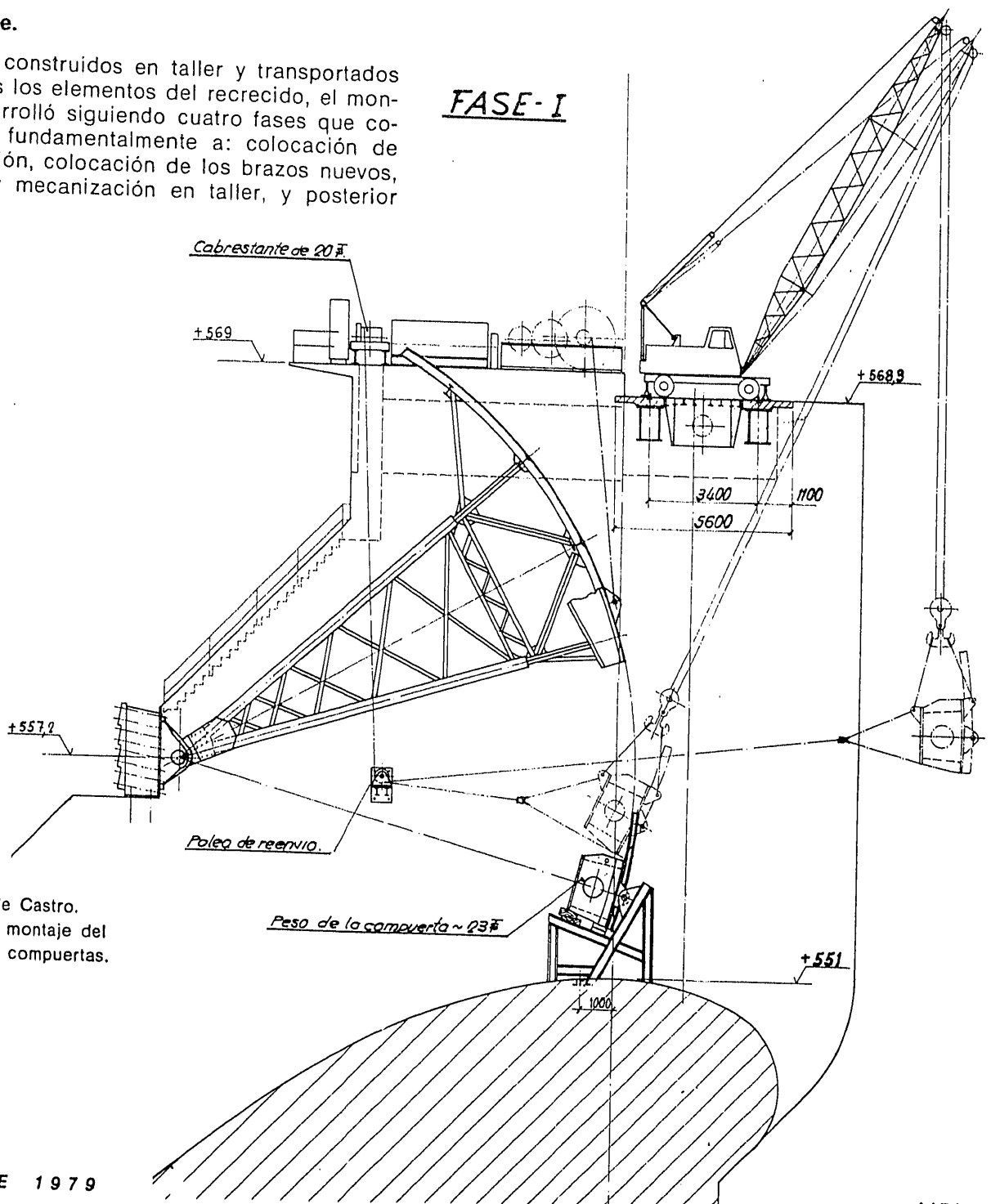


Fig. 12.—Salto de Castro.  
Primera fase del montaje del  
recrecido de las compuertas.

## RECRECIMIENTO DE LAS PRESAS DE VILLALCAMPO Y CASTRO

b) Se elevó la compuerta existente con sus propios mecanismos.

c) Se anclaron en el labio de la presa donde apoya la compuerta unos caballetes metálicos auxiliares para el posicionado de la viga del recrecido.

d) Se bajó la viga cajón mediante dos grúas autopropulsadas y dos cabrestantes, hasta apoyarla sobre unos tacos de madera en los caballetes.

e) Una vez posicionada la viga correctamente, se atornilló ésta a unas orejas soldadas "in situ" a los caballetes, para descorrecciones en su posición.

*Fase II* (fig. 13).

a) Se descendió la compuerta hasta ponerla en contacto con la viga del recrecido.

b) Se puntearon los perfiles guía en la compuerta existente, con lo que quedaban unidas provisionalmente, pero en su posición correcta, las pantallas y las estructuras resistentes de ambos elementos del recrecido.

c) Se descendieron y soldaron los brazos nuevos, previa presentación y punteado de los nervios que iban unidos a la bisagra de giro existente.

d) Se soldaron una serie de perfiles entre los brazos nuevos y existentes para fijarlos provisionalmente entre sí.

e) Se soldaron unas orejas de elevación en los brazos de la compuerta existente para las maniobras de la fase III.

*Fase III* (fig. 14).

a) Se extrajeron los bulones de giro de la compuerta.

b) Se soltaron las cartelas que unen los brazos a las bisagras.

c) Se elevaron mediante unos cabrestantes auxiliares las compuertas, tomando como punto de enganche las orejas de elevación soldadas a los brazos (ver fase II, e)) y como punto de giro las orejas soldadas en la pantalla de la viga del recrecido (ver fase I, e)).

d) Se desmontaron los conjuntos formados por las bisagras existentes y los nervios de los nuevos brazos punteados en ellas y, junto con los

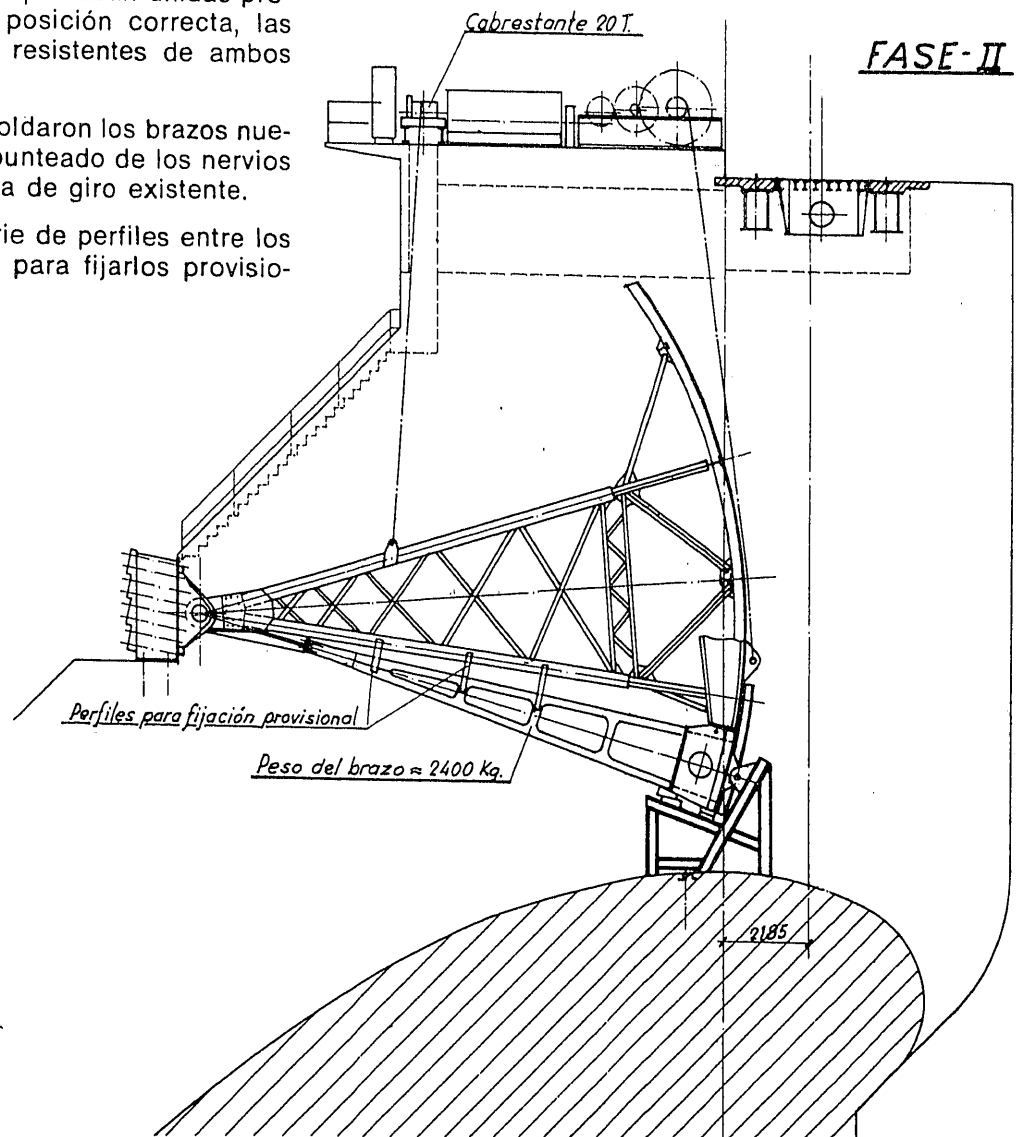


Fig. 13.—Salto de Castro. Segunda fase del montaje del recrecido.



## FASE-III

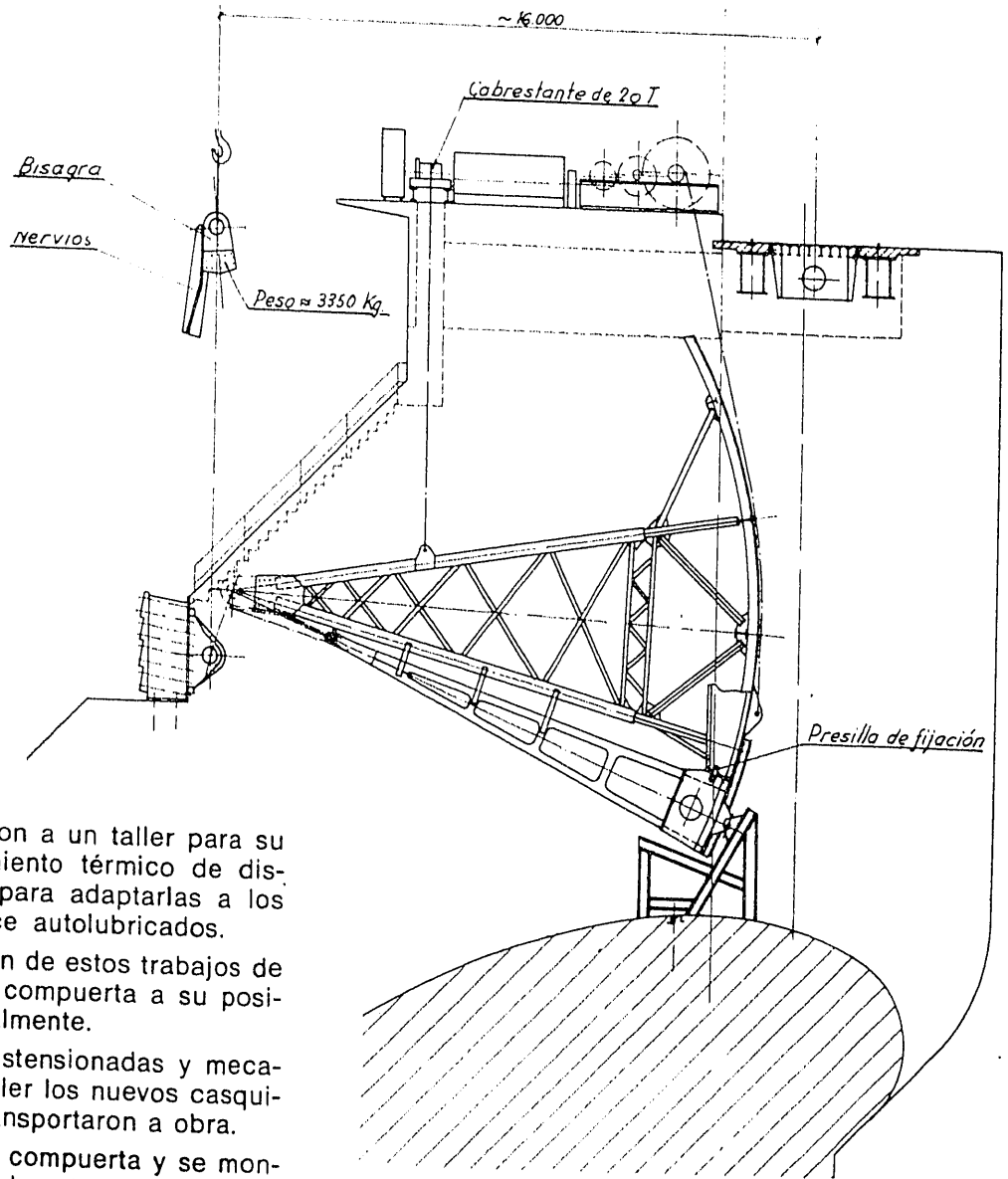


Fig. 14.—Salto de Castro.  
Tercera fase del montaje  
del recrecido.

ejes de giro, se transportaron a un taller para su soldadura completa, tratamiento térmico de distensionado, y mecanizado para adaptarlas a los nuevos casquillos de bronce autolubricados.

e) Durante la realización de estos trabajos de taller, se bajó de nuevo la compuerta a su posición y se sujetó provisionalmente.

f) Una vez soldadas, distensionadas y mecanizadas, se colocaron en taller los nuevos casquillos en las bisagras, y se transportaron a obra.

g) Se volvió a elevar la compuerta y se montaron las bisagras provisionalmente.

h) Se bajó el punto de giro de la compuerta a su posición definitiva, y después de colocar los ejes nuevos se soldaron y atornillaron definitivamente, según correspondiera, las bisagras a los brazos.

i) Se volvieron a colocar las cartelas de unión entre brazos y bisagras.

### Fase IV (fig. 15).

a) Se elevó la compuerta y se retiraron los caballetes auxiliares. También se eliminaron los perfiles guías, orejas de cuelgue provisionales, etcétera.

b) Se bajó la compuerta.

c) Se soltaron las cadenas de sus puntos de amarre anteriores y se sujetaron a sus nuevos cuelgues en la viga cajón.

La descripción anterior corresponde al recrecido de una sola compuerta, aunque en la práctica se simultanearon varios de los trabajos en las cuatro compuertas.

El montaje duró en total unos cuatro meses y medio, durante los cuales hubo que mantener el embalse bajo.

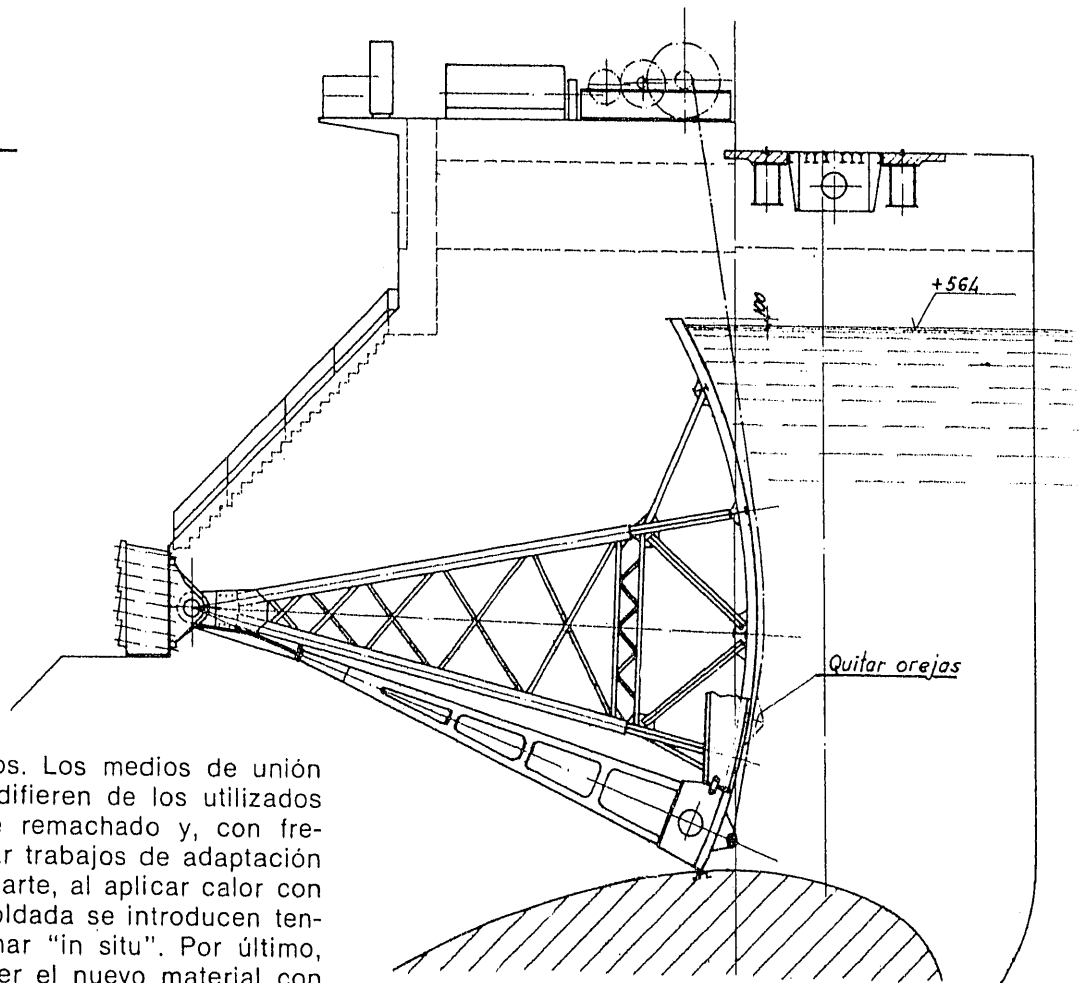
## 5. ANALISIS COMPARATIVO

Un aspecto importante que surge de la comparación entre los dos sistemas de recrecido experimentados, gira en torno al hecho de que en uno de ellos es necesario reformar una estructura construida hace bastantes años, con los problemas que esto conlleva.

En el recrecido superior es necesario reforzar parte de la compuerta existente e incluso sustituir

## FASE - IV

Fig. 15.—Salto de Castro.  
Cuarta fase del montaje  
del recrecido.



algunos de sus elementos. Los medios de unión actualmente empleados difieren de los utilizados hace años, normalmente remachado y, con frecuencia, hay que efectuar trabajos de adaptación en nudos, etc. Por otra parte, al aplicar calor con el empleo de la unión soldada se introducen tensiones difíciles de eliminar "in situ". Por último, parece aconsejable prever el nuevo material con ciertas tolerancias para ajustar sus dimensiones finales en la obra, ya que las cotas de los planos suelen diferir con frecuencia ligeramente de las cotas reales.

En el recrecido inferior, la estructura nueva es independiente de la existente, la cual trabaja en las mismas condiciones que antes del recrecido y no es necesario reforzarla. Únicamente existen entre ellas unas conexiones mecánicas en forma de articulaciones.

Si se analiza el tiempo invertido en los trabajos de montaje, y se supone que las condiciones en lo que se refiere al número de operarios, medios auxiliares empleados, etc., son similares en ambos casos, se observa que el recrecido por la parte inferior requiere menos horas, lo que repercute notablemente en el coste total.

Esta circunstancia tiene cada vez más importancia, debido a los continuos aumentos del coste de la mano de obra.

El último aspecto comparativo que se va a comentar es el relativo al coste del material de calderería. El peso es similar en ambos recrecidos, pero el precio por kilogramo para el material puesto sobre camión en taller es algo más elevado en el recrecido inferior, ya que hay que realizar más soldaduras. El transporte hasta obra también es

más caro en este caso, pues normalmente las vigas de recrecido sobrepasan las dimensiones de un transporte normal y precisan de permisos especiales, etc.

El análisis global económico, no obstante, es favorable al recrecido inferior, por la mayor incidencia sobre el coste de los trabajos realizados en obra respecto a los realizados en taller.

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

A la luz de las experiencias de Castro y Villalcampo, y como criterio general, se considera que el recrecido por la parte inferior es más ventajoso, tanto desde el punto de vista técnico como económico, que el recrecido superior.

El recrecido mixto tiene los mismos inconvenientes técnicos que el recrecido superior, y, por lo tanto, se le puede aplicar todo lo expuesto en el análisis precedente.

En cada caso de recrecimiento que se plantee, es necesario estudiar las circunstancias particulares que en él concurren, dado que pueden llegar a orientar el proyecto en una dirección determinada.