

ANDREW EBERHARDT
y JAN A. VELTROP,
ingenieros

compuertas de sector para aliviadero de superficie U. S. A.

sinopsis

El aliviadero de superficie de la presa Wanapum, sobre el río Columbia (Estados Unidos), se compone de doce compuertas de sector, proyectadas por la casa Harza Engineering Company, cerrando cada una un hueco de 15×20 metros.

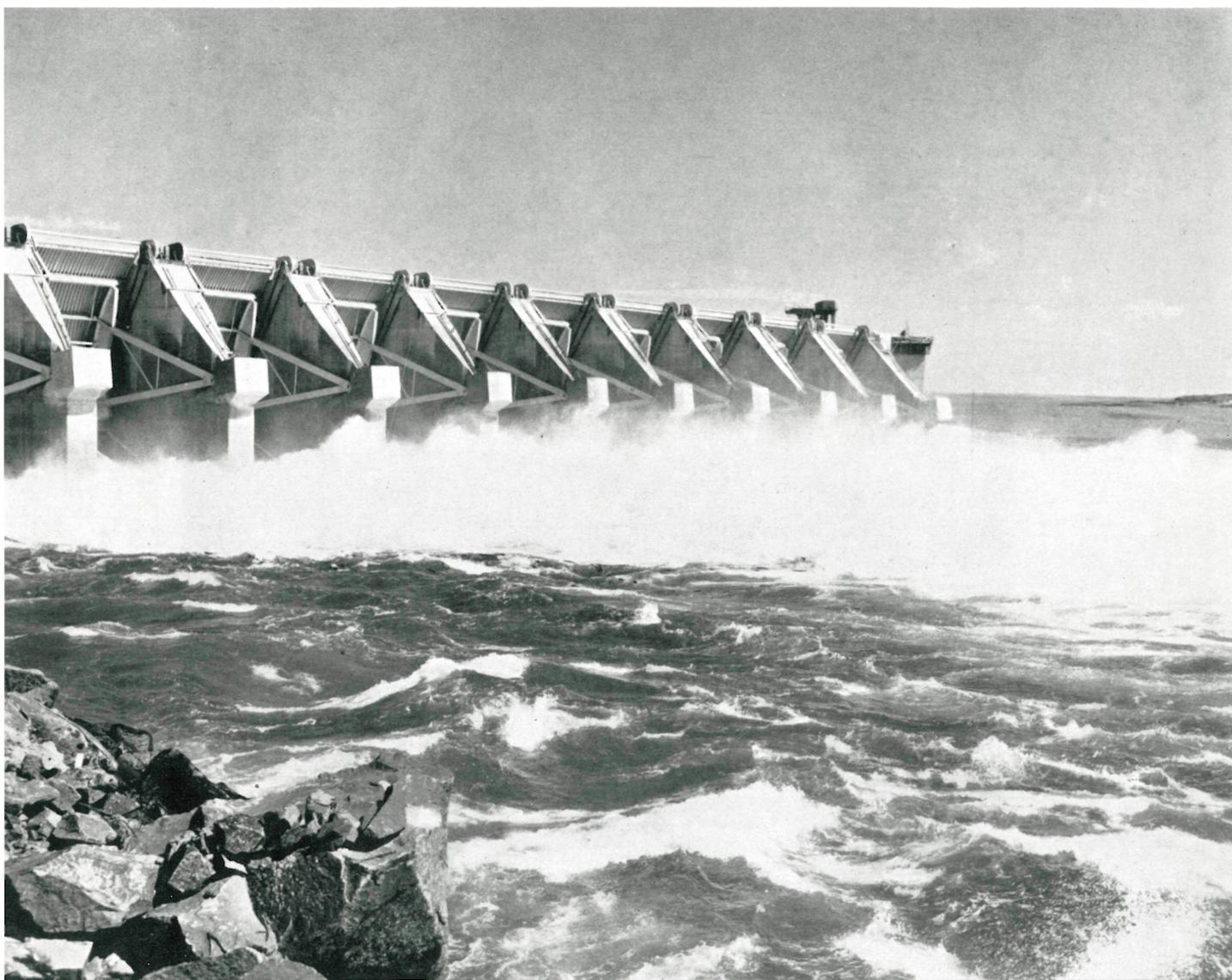
El muñón de estas compuertas se ha instalado delante de un bloque de hormigón armado—convenientemente anclado en el paramento de aguas arriba, con 14 cables de 90 alambres y 6,35 mm de diámetro, cada uno—, en el cuerpo de cada pila. Con ello se evita el empleo de pesadas estructuras metálicas para absorber el empuje de las compuertas.

Entre el bloque de anclaje y el cuerpo de la pila se ha dejado una estrangulación en el hormigón, de 1,20 m de espesor, que tiene por objeto dejar espacio libre para la colocación del muñón de cada una de las dos compuertas adyacentes a la pila.

La determinación del estado tensional en tres dimensiones se llevó a cabo realizando ensayos sobre modelos reducidos de aluminio y ensayos fotoelásticos, a partir de cuyos resultados se pudieron fijar las bases que servirían para el dimensionado, forma y disposición del bloque de anclaje y cables del pretensado.

La divergencia entre los resultados obtenidos con los modelos de aluminio y los procedimientos fotoelásticos fue de la menor cuantía.

531 - 63



Las aplicaciones del tipo de compuertas, llamadas de sector, son múltiples y variadas, pero en este artículo se describen únicamente las utilizadas en el aliviadero de superficie de la presa Wanapum sobre el río Columbia (EE. UU.).

En esta obra se han instalado doce de este tipo de compuertas, cada una de las cuales tiene unas dimensiones aproximadas de 15×20 m; su muñón es soportado directamente por el hormigón de las pilas entre las que se ha instalado.

La solución adoptada tiene la ventaja de poder prescindir de las estructuras metálicas especiales que, generalmente, se necesitan para fijar sólidamente el referido muñón. El bloque de hormigón armado, postesado, se solidariza al cuerpo de la pila mediante cables que la atraviesan y que se anclan en el paramento de aguas arriba de la pila.

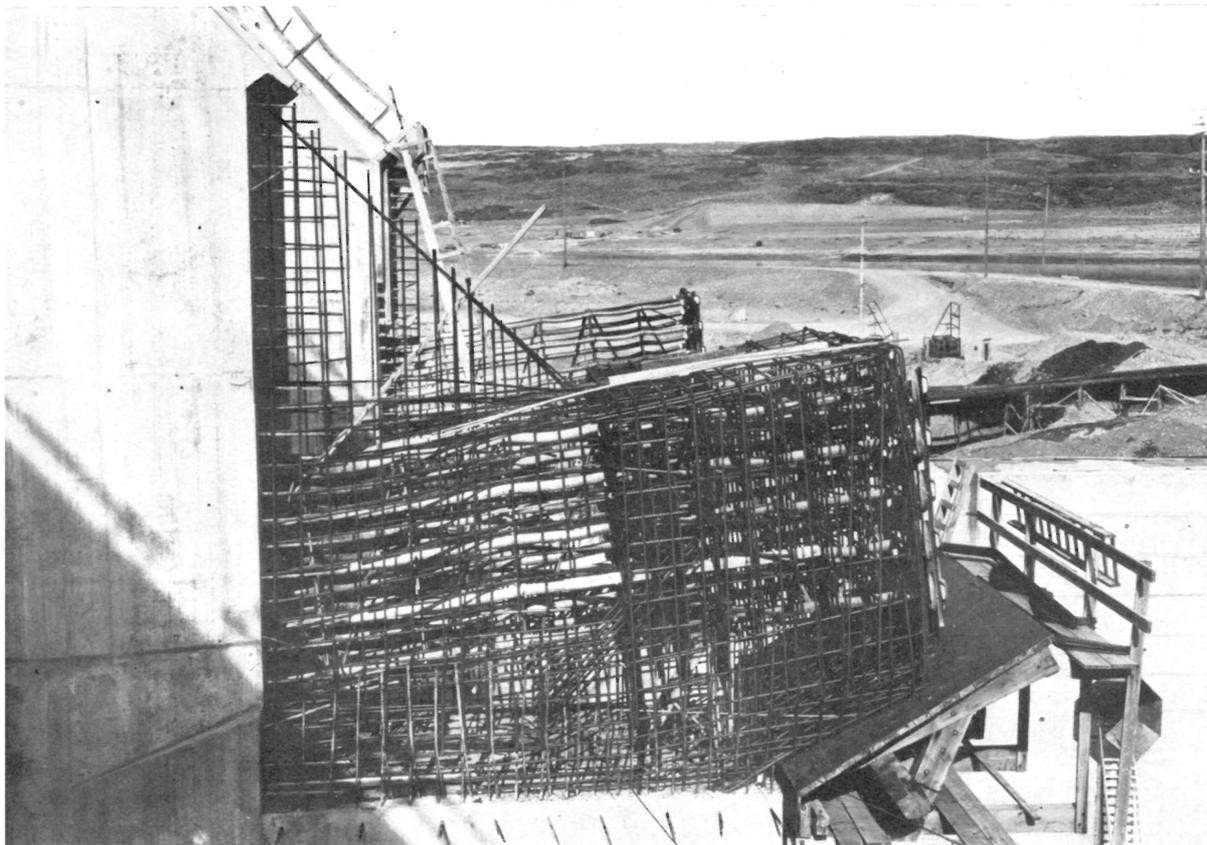
En cada una de las pilas intermedias se han colocado catorce cables, mientras que las dos correspondientes a las extremidades de la presa sólo llevan ocho. Cada uno de ellos se compone de 90 alambres, paralelos, de 6,35 mm de diámetro, de acero de gran resistencia, libre de tensiones y que reúne las condiciones impuestas en la norma A-421 de ASTM. La resistencia mínima garantizada de este acero es de aproximadamente 16.875 kg/cm^2 . En el proyecto sólo se ha tomado el 0,6 de su total resistencia como carga efectiva de trabajo, que corresponde a 10.125 kg/cm^2 . Con esta tensión, cada cable ejerce una fuerza de 29.000 kg en el bloque de anclaje de cada muñón y, por tanto, la de los 14 cables será de 400.000 kilogramos.

Con objeto de conseguir una buena distribución de tensiones en el interior del bloque se han espaciado convenientemente los cables. Estos, aguas arriba de cada uno de los bloques de anclaje, y a través de la estrangulación formada entre dos muñones consecutivos, convergen hacia dicha estrangulación de 1,20 m de espesor mínimo.

A partir del eje del muñón y en dirección de aguas arriba, los cables se extienden en una longitud de 16,50 m; para mejorar la distribución de esfuerzos tienen, alternativamente, 2,50 m menos de longitud y, con este mismo objeto, se abren en abanico en un plano horizontal.

Los anclajes son del tipo patentado BBRV. Cada una de las extremidades de los alambres van provistas de una bolita que se retiene delante de los agujeros practicados en un disco plano que se apoya en la cabeza del anclaje. La cabeza de anclaje que retiene los 90 alambres de cada cable tiene 20 cm de diámetro y se apoya en otro disco de 47 cm de diámetro y 75 mm de espesor. La tensión calculada para este último disco es de 165 kg/cm^2 . Cada uno de los cables se aloja en una vaina metálica flexible de 13 cm de diámetro y, después de tesarlos, las vainas se inyectaron con una lechada de cemento.

Armaduras del bloque de anclaje.



En el interior de la pila y en la zona inferior a los anclajes de aguas arriba se colocaron barras de acero formando reticulados que trabajan como armaduras. Los bloques de anclaje también se reforzaron con armaduras colocadas espesamente.

Ensayos

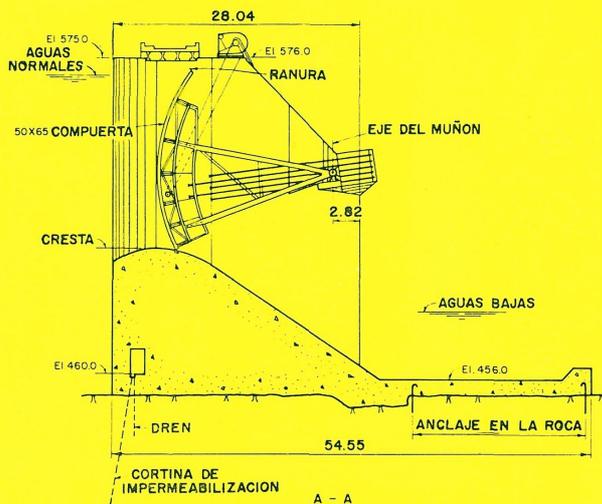
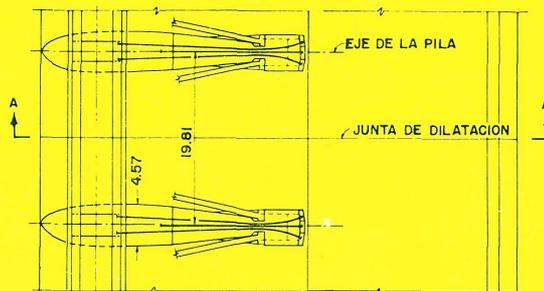
Al proyectar los anclajes ya se podía anticipar que el complicado estado tensional en tres dimensiones dentro de los bloques de anclaje formando monolito con las pilas tendría que determinarse analizando los resultados de los ensayos con modelos reducidos, dirigidos hacia la determinación de tensiones en el bloque de anclaje y en las pilas sometidas a las cargas de los cables y las combinaciones de dichas cargas con las de las compuertas, estando una de éstas y las adyacentes cerradas. Los citados ensayos sirvieron para el cálculo de cargas de los cables, dirección de las mismas y su posición.

Uno de los modelos, de aluminio, se utilizó para determinar la forma de los bloques de anclaje, dirección y número de cables.

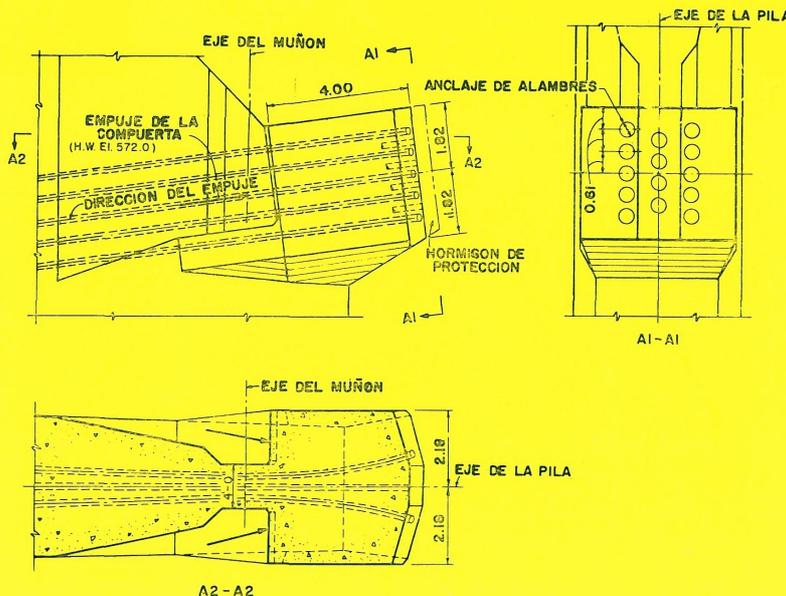
Otro modelo, de materiales plásticos, sirvió para el estudio de tensiones en los bloques de anclaje, utilizando la forma que finalmente se eligió y la disposición prevista para los cables.

Los ensayos sobre modelo reducido de aluminio dieron por resultado que el número de cables por pila sería de 14, colocados simétricamente y con la resultante opuesta al empuje de la compuerta. La forma y dimensiones de los bloques de anclaje serían las que se pueden apreciar en una de las figuras adjuntas. Finalmente se pudo apreciar que las tensiones exteriores a los bloques se podían considerar despreciables.

Como complemento se hicieron análisis tridimensionales fotoelásticos, cuyo fin primordial era el estudio del complejo estado de tensiones en el interior de los bloques de hormigón.



Planta y alzado de pilas y compuertas



Bloque de anclaje y cables de pretensado



Pilas y bloques de anclaje.

Los resultados de estos últimos permitieron verificar las dimensiones de los bloques de anclaje, módulo de las cargas deducidas en los ensayos con modelos reducidos de aluminio, así como los valores de las tensiones, en direcciones horizontal y vertical, perpendiculares a la dirección del empuje de las compuertas, valores que se consideran aceptables y se utilizaron como base para el cálculo de las armaduras del hormigón. En general, la correspondencia entre dos fases de ensayos relativos a modelos de aluminio y procedimientos fotoelásticos no presentó dispersión inaceptable.

Del conjunto de ensayos se llegó a la conclusión de que la carga de una simple compuerta daba lugar a flexiones; que se podía admitir la superposición de tensiones en el caso de actuar las cargas simultáneas de dos compuertas y, finalmente, se obtuvo suficiente información respecto a las tensiones locales en las proximidades del paramento vertical del morro de la pila, así como en la estrangulación aguas arriba de los bloques de anclaje, zona próxima a la posición de los muñones de las compuertas.

Advertiremos que los ensayos sobre modelo reducido no reproducen completamente el comportamiento del prototipo, por lo menos en lo que respecta al caso de aplicación de la carga de la compuerta después de haber tesado los cables, ya que, en estas condiciones, la pila experimenta un alargamiento y los cables se someten a un alargamiento adicional. La inyección de las vainas de los cables complica aún más el proceso. La tensión adicional en los cables fue objeto de una investigación analítica, empleando supuestos simplificados, pero de contenido real, resultando ser despreciable.

D. P. Roberts se encargó de la dirección del proyecto, en Chicago, por cuenta de la Harza Engineering Company. Este trabajo se publicó en el «Journal of the Structural Division», Proceedings of the American Society of Civil Engineers del mes de diciembre de 1964.

résumé ● summary ● zusammenfassung

Vanne secteur pour déversoir de surface - U.S.A.

Andrew Eberhardt et Jan A. Veltrop, ingénieurs

Le déversoir de surface du barrage Wanapun, sur le Columbia (États-Unis), se compose de douze vannes secteur, projetées par la Harza Engineering Company. Chacune de ces vannes bouche une ouverture de 15×20 mètres.

Le tourillon de ces vannes a été installé devant un bloc de béton armé—dûment scellé au parement amont, avec 14 câbles de 90 fils et 6,35 mm de diamètre chacun—, dans le corps de chaque pile. Ainsi est évité l'emploi de lourdes structures métalliques pour absorber la poussée des vannes.

Entre le bloc d'ancrage et le corps de la pile un étranglement dans le béton, de 1,20 m d'épaisseur, a été laissé afin de prévoir un espace libre pour l'installation du tourillon de chacune des deux vannes adjacentes à la pile.

Pour procéder à la détermination de l'état tensionnel en trois dimensions, on a exécuté des essais sur modèles réduits en aluminium et des essais photoélastiques. Grâce aux résultats obtenus, on a pu établir les bases qui serviraient au dimensionnement, forme et disposition du bloc d'ancrage et des câbles de la précontrainte.

La divergence entre les résultats obtenus avec les modèles en aluminium et les procédés photoélastiques a été insignifiante.

Sector gates for spillway in U.S.A.

Andrew Eberhardt & Jan A. Veltrop, engineers

The spillway of the Wanapum dam, on the Columbia (U. S. A.), includes 12 sector gates, designed by the Harza Engineering Company. Each gate closes an opening of 15×20 m.

The hinges of the gates are supported by reinforced concrete blocks, suitably anchored on the top side of the dam, by means of 14 cables, each made up of 90 wires of 6.35 mm diameter. This avoids the use of heavy metal structures, normally necessary to withstand the thrust of the gates.

The anchorage blocks and the main supporting piles contain grooves, into which the gate hinges, one on each side of each anchorage block, are located.

The determination of the three dimensional stress distribution in these anchorage blocks was carried out on reduced scale models, in which aluminium was used. Other models were studied by photoelastic methods. These analyses enabled to decide the best shape and internal distributed of the reinforcement.

The disparity between the results obtained on the aluminium models and in the photoelasticity investigations were negligible.

Sektorenschütze für freien Überfall - U.S.A.

Andrew Eberhardt und Jan A. Veltrop, Ingenieure

Der freie Überfall des Staudamms Wanapum im Columbiafluss (Vereinigte Staaten) setzt sich aus 12 Sektorenschützen zusammen, die von der Firma Harza Engineering Company entworfen wurden und jeweils eine Öffnung von 15×20 m schliessen.

Die Klappenwelle dieser Schützen wurde vor einen Spannbetonblock gebaut, der entsprechend in der Wasserseite mit 14 Stahlseilen, bestehend aus 90 Kabeln und mit 6,35 mm Durchmesser im Block jedes Pfeilers verankert wurde. Damit vermied man die Verwendung von schwerfälligen Metallkonstruktionen zur Aufnahme der Schubkräfte.

Zwischen dem Verankerungsblock und dem Pfeilerblock hat man eine Einschnürung von 1,20 m Dicke im Beton gelassen, die den Zweck hat, Raum für die Klappenwelle der einzelnen Schützen zu schaffen.

Die Bestimmung des Spannungszustandes in den drei Dimensionen wurde an Hand von photoelastischen Versuchen und mittels Versuchen an Aluminiummodellen durchgeführt. Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse konnten die Grundlagen für die Bemessung, Form und Lage des Ankerblocks und der Vorspannkabel festgesetzt werden.

Die Differenz zwischen den Ergebnissen der photoelastischen Versuche und der Modellversuche war von geringer Bedeutung.