

SEGUNDO COLOQUIO NACIONAL
SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

ANALISIS DEL DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS

OBRAS DE REBALSE DEL SISTEMA HIDRAULICO

CONSTITUIDO POR LAS ADUCCIONES DE LA CENTRAL ANTUCO

Por : Jorge Bravo Soissa
Oswaldo Richards Abans
Ingenieros Civiles

*

R E S U M E N

En este trabajo se dá a conocer el proceso de análisis y estudios realizados en la Endesa para definir y proyectar las obras de rebalse de las aducciones de la Central Hidráulica Antuco.

El estudio de los fenómenos transitorios de la Central ha obligado a proyectar obras especiales de evacuación de caudales de reflujos. Estas obras son consecuencia del complejo sistema de túneles que conforma el sistema hidráulico de la Central, de la existencia de puntos fijos en el trazado de las aducciones, de los distintos tipos de escurrimiento en los túneles (en presión, en acueducto), etc. El detalle de los problemas encontrados y los diversos enfoques dados para resolverlos, constituyen el contenido del presente trabajo.

* Ingenieros Proyectistas Coordinadores del Proyecto de la Central Antuco, del Departamento de Ingeniería Civil de la ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad S.A.)

1. GENERALIDADES

La central Antuco utilizará las aguas de los ríos Laja, Polcura y Pichipolcura. De estos recursos, los dos primeros se conducirán por medio de aducciones independientes que se juntarán aguas arriba del cruce del río Pichipolcura. Aguas abajo de este cruce, la aducción Común recibirá el aporte de los caudales captados en el río Pichipolcura. (Ver plano Al6-1d-24 "Central Antuco. Descriptivo General").

1.1 Aducción Laja

Los caudales del río Laja se captarán y conducirán mediante la aducción Laja. La bocatoma de la aducción Laja se encontrará ubicada aguas abajo de la descarga de la central Abanico. Por este motivo, Antuco podrá utilizar mediante esta aducción los caudales generados en esa central y los aportes al río Laja aguas abajo de la bocatoma de Abanico. El proyecto de Antuco consulta además captar, mediante pequeñas obras de toma, los esteros Malalcura, Cipreses y El Toro, todos afluentes al río Laja aguas abajo de la bocatoma Laja de Antuco, y conducirlos caudales de los dos primeros hasta la bocatoma de la aducción Laja y el del tercero hasta un punto intermedio de la aducción señalada.

La aducción Laja, cuya capacidad será de 50 m3/s, está compuesta por una serie de canales que varían de sección de acuerdo a las condiciones topográficas y geológicas de cada zona que atraviesa (canal trapecial, canal rectangular, canal cubierto, canoa o túnel acueducto) y que entregan su caudal al sifón Polcura, obra con la que esta aducción atraviesa el río del mismo nombre (cruza el río mediante un tubo de acero de 3,30 m de diámetro). A continuación del sifón Polcura se desarrolla un túnel en presión (Túnel Laja 2) de sección herradura normal de 4,0 m de diámetro que conduce las aguas de la aducción Laja hasta el punto en que ella empalma con la aducción Polcura.

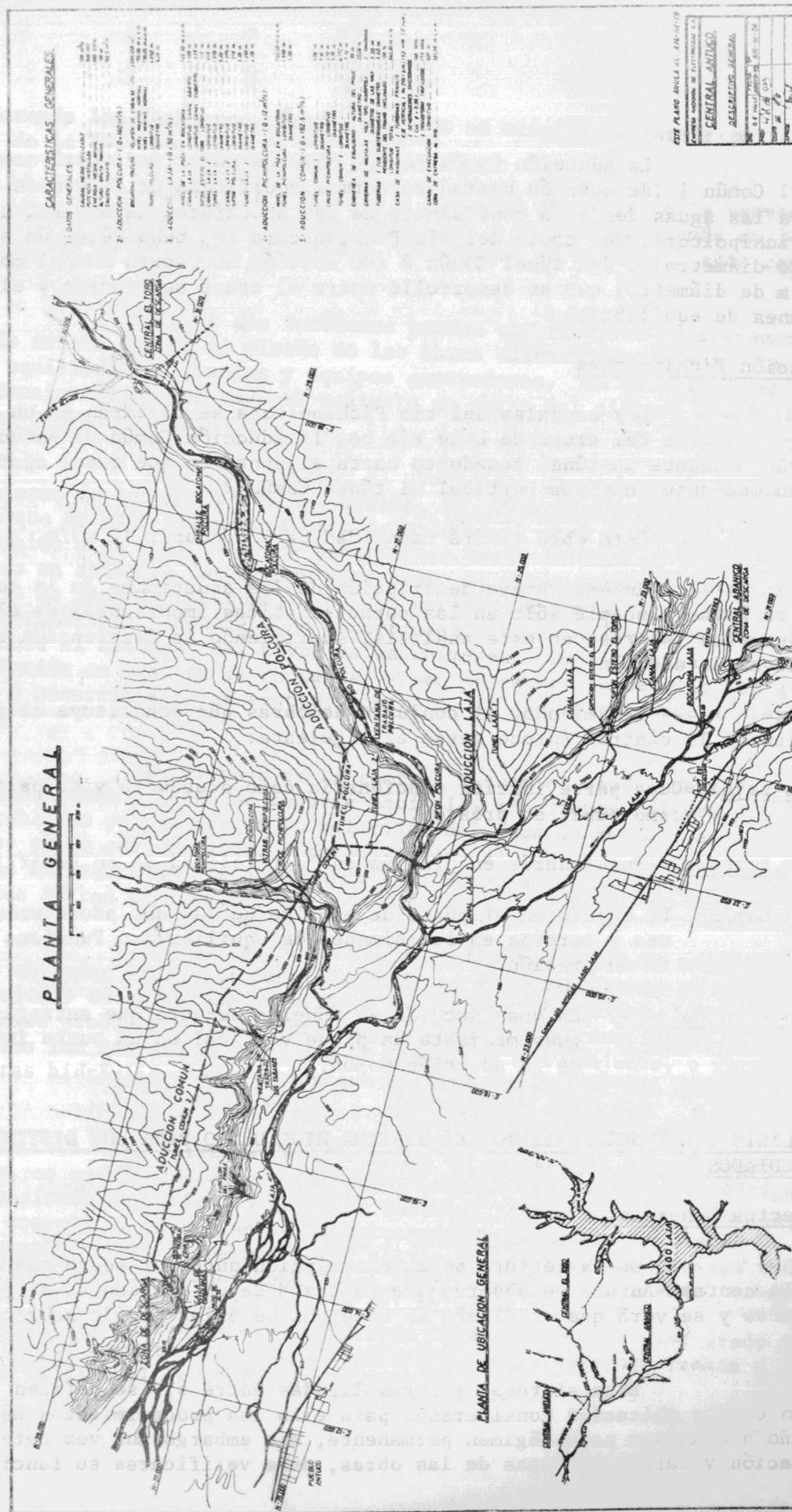
1.2 Aducción Polcura

Los caudales del río Polcura se captarán y conducirán mediante la aducción Polcura. La bocatoma de esta aducción se ubicará aguas abajo de la descarga de la central El Toro. Por lo tanto, Antuco podrá utilizar mediante la aducción Polcura tanto los caudales generados por la central El Toro, provenientes del lago Laja, como los aportes del río Polcura.

La aducción Polcura de 160 m3/s de capacidad, está compuesta por un túnel en presión de sección herradura normal modificada de 6,45 m de diámetro, que lleva las aguas directamente desde su bocatoma hasta el comienzo de la aducción Común, punto en el que recibe el aporte de la aducción Laja.

1.3 Aducción Común

Desde la confluencia de las aducciones Laja y Polcura se desarrolla la denominada aducción Común que entrega las aguas a las tuberías de presión de la central Antuco.



CARACTERISTICAS GENERALES

1. DATOS GENERALES	2. ADUCCION POLCURA (12.100 m³/s)	3. ADUCCION LAJA (10.100 m³/s)	4. ADUCCION COMUN (10.100 m³/s)	5. ADUCCION COMUN (10.100 m³/s)
Caudal de diseño: 12.100 m³/s Caudal máximo: 15.000 m³/s Caudal mínimo: 5.000 m³/s Caudal de reserva: 2.000 m³/s Caudal de mantenimiento: 1.000 m³/s Caudal de emergencia: 500 m³/s Caudal de prueba: 1.500 m³/s Caudal de arranque: 1.000 m³/s Caudal de parada: 1.000 m³/s Caudal de arranque de emergencia: 500 m³/s Caudal de parada de emergencia: 500 m³/s Caudal de arranque de prueba: 1.500 m³/s Caudal de parada de prueba: 1.500 m³/s Caudal de arranque de mantenimiento: 1.000 m³/s Caudal de parada de mantenimiento: 1.000 m³/s Caudal de arranque de emergencia de prueba: 500 m³/s Caudal de parada de emergencia de prueba: 500 m³/s Caudal de arranque de emergencia de mantenimiento: 500 m³/s Caudal de parada de emergencia de mantenimiento: 500 m³/s	Caudal de diseño: 10.100 m³/s Caudal máximo: 12.000 m³/s Caudal mínimo: 4.000 m³/s Caudal de reserva: 1.500 m³/s Caudal de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de emergencia: 375 m³/s Caudal de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque: 750 m³/s Caudal de parada: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia: 375 m³/s Caudal de arranque de prueba: 1.125 m³/s Caudal de parada de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de parada de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de arranque de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s	Caudal de diseño: 10.100 m³/s Caudal máximo: 12.000 m³/s Caudal mínimo: 4.000 m³/s Caudal de reserva: 1.500 m³/s Caudal de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de emergencia: 375 m³/s Caudal de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque: 750 m³/s Caudal de parada: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia: 375 m³/s Caudal de arranque de prueba: 1.125 m³/s Caudal de parada de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de parada de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de arranque de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s	Caudal de diseño: 10.100 m³/s Caudal máximo: 12.000 m³/s Caudal mínimo: 4.000 m³/s Caudal de reserva: 1.500 m³/s Caudal de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de emergencia: 375 m³/s Caudal de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque: 750 m³/s Caudal de parada: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia: 375 m³/s Caudal de arranque de prueba: 1.125 m³/s Caudal de parada de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de parada de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de arranque de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s	Caudal de diseño: 10.100 m³/s Caudal máximo: 12.000 m³/s Caudal mínimo: 4.000 m³/s Caudal de reserva: 1.500 m³/s Caudal de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de emergencia: 375 m³/s Caudal de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque: 750 m³/s Caudal de parada: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia: 375 m³/s Caudal de arranque de prueba: 1.125 m³/s Caudal de parada de prueba: 1.125 m³/s Caudal de arranque de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de parada de mantenimiento: 750 m³/s Caudal de arranque de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de prueba: 375 m³/s Caudal de arranque de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s Caudal de parada de emergencia de mantenimiento: 375 m³/s

ESTE PLANO ANELA AL: A16-1d-24

CENTRAL ANTUCO

DESGARDO GENERAL

NO. DE PLANOS: 16

FECHA: 1954

PROYECTO: 16

ESTADO: 16

PAIS: 16

REGION: 16

PROVINCIA: 16

CANTON: 16

MUNICIPIO: 16

PARISH: 16

SECTOR: 16

LOCALIDAD: 16

COORDENADAS: 16

ESCALA: 16

PROYECTADO POR: 16

REVISADO POR: 16

APROBADO POR: 16

La aducción Común de 190 m³/s de capacidad, está compuesta del túnel Común 1 (de sección herradura normal modificada de 7,10 m de diámetro) que lleva las aguas desde la confluencia de las aducciones Laja y Polcura hasta el río Pichipolcura; del cruce del río Pichipolcura (un tubo aéreo de acero de 6,30 m de diámetro) y del túnel Común 2 (de sección herradura normal modificada de 7,10 m de diámetro) que se desarrolla entre el cruce mencionado y el pie de la chimenea de equilibrio.

1.4 Aducción Pichipolcura

Los caudales del río Pichipolcura se captarán en un punto situado aguas arriba del cruce de este río con la aducción Común de Antuco, y se conducirán mediante un túnel acuoducto hasta el punto en que estos aportes se entreguen mediante un pique vertical al túnel Común 2.

Esta obra tendrá capacidad para conducir 12 m³/s.

En esta breve descripción de las aducciones de la central Antuco se ha hecho hincapié sólo en las características importantes de ellas para el problema que interesa en este análisis, suprimiendo la descripción de otras obras que no lo afectan.

Resumiendo, el conjunto de obras que constituye el sistema hidráulico de la central Antuco sería el siguiente:

Aducción Laja. Cuya parte inicial funcionaría como acuoducto y su parte final como túnel en presión.

Aducción Polcura. Funcionaría en presión en la totalidad de su recorrido.

Aducción Común. Se inicia en el punto de empalme de las dos aducciones anteriores y termina en la chimenea de equilibrio. Funciona totalmente en presión.

Aducción Pichipolcura. Es una aducción en túnel acuoducto que entrega sus aguas mediante un pique vertical en un punto intermedio de la aducción Común.

2. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRAULICO PARA LOS DISTINTOS CASOS ESTUDIADOS

2.1 Aspectos Generales

De la lectura de la descripción anterior sobre las aducciones de la central Antuco se observa que se trata de un sistema complejo de obras hidráulicas y se verá que el diseño de cada una de ellas incide sobre el de las otras.

Este sistema de obras ligadas entre sí, se definen inicialmente en cota y ubicación considerando para ello los procedimientos habituales de diseño hidráulico para régimen permanente, sin embargo una vez determinadas la ubicación y características de las obras, debe verificarse su funcionamiento

considerando los fenómenos transientes que se originan a partir de los órganos de cierre de la turbina.

Debido a las tomas o rechazos de carga de la central se originan golpes de ariete negativos o positivos y se produce además en la chimenea de equilibrio el fenómeno denominado "oscilación en masa" del agua contenida en ella.

Estos dos fenómenos pueden considerarse separadamente. El golpe de ariete afecta al diseño de las obras ubicadas aguas abajo de la chimenea de equilibrio: tuberías y equipos generadores. La oscilación en masa afecta al funcionamiento de todo el conjunto de obras del sistema hidráulico ubicado aguas arriba de ella.

Así por ejemplo, al producirse un rechazo de carga de la central, cierre de los álabes de la turbina, el nivel de la chimenea de equilibrio sube porque en esta estructura debe acumularse el agua conducida por el túnel y que debido a su inercia sigue escurriendo hacia la zona de caída. El nivel alcanzado en chimenea, supera en este caso al nivel estático determinado por el espejo de agua de bocatoma. En este momento se invierte la pendiente de la línea piezométrica produciéndose escurrimiento desde chimenea hacia bocatoma e iniciándose el descenso del nivel en la chimenea. De esta manera, se produce la oscilación en masa en la chimenea y como consecuencia de ello los gastos de refluo o escurrimiento de sentido contrario al que corresponde al régimen permanente.

En el caso de la central Antuco el caudal de refluo remonta la aducción Común y luego se reparte hacia las aducciones Polcura y Laja, originando problemas ya sea porque la velocidad del agua de refluo en algunas obras (sifones) puede ser excesiva, o porque el caudal que debe evacuarse a través de las obras de seguridad puede ser demasiado alto, o porque obras diseñadas como acuoductos entren en presión, etc.

Por lo tanto, el fenómeno transiente de la oscilación en masa de la chimenea afecta al funcionamiento, y en consecuencia al diseño, de todo el conjunto de obras que constituye el sistema hidráulico. Para solucionar los posibles problemas que se originan se puede actuar combinando de muy diversas maneras los diseños de cada una de las obras del conjunto, o intercalando estructuras hidráulicas especiales que permitan controlar los efectos del refluo.

El sistema de aducciones de la central Antuco descrito anteriormente, es en sí complejo, y el comportamiento del sistema de túneles durante un transiente es difícil y largo de calcular. Para ello se ha usado la ayuda de un computador al que se le ha entregado un programa que obedece a la simulación matemática de la operación del sistema. Este tema, elaborado y desarrollado por el ingeniero señor René Neger ha sido presentado a este Coloquio. Nuestro trabajo que es complementario del anterior trata de dar a conocer las condiciones particulares de diseño de cada obra, las que en alto grado son función del comportamiento del sistema hidráulico en su conjunto frente a los problemas que origina el escurrimiento de refluo.

2.2 Soluciones Estudiadas.

Del esquema de túneles de la central Antuco que se ha indicado, cuyas cotas y trazados se han definido a base del escurrimiento permanente, se desprende que al rechazar la central su caudal de generación, se produce un reflujo y el caudal remontará la aducción hacia aguas arriba hasta la confluencia de las aducciones Laja y Polcura. Una parte seguiría por la aducción Polcura hacia bocatoma y la otra por el túnel Laja N° 2 hacia el sifón Polcura de la Rama Laja.

Resulta, por lo tanto, que el diseño de las obras del conjunto hidráulico no sólo deben permitir adecuadamente el escurrimiento desde Bocatoma hacia la Casa de Máquinas, sino que también no debe producirse problemas de funcionamiento de las obras con el caudal de reflujo.

Para determinar finalmente la disposición general de las obras del conjunto hidráulico que cumpla con este doble objetivo se eligen alternativas de las cuales se efectúan anteproyectos que se comparan económicamente.

Para el caso de la central Antuco que nos preocupa, las posibilidades estudiadas fueron las siguientes :

- Los caudales de reflujo se eliminarían a través de la aducción Laja y bocatoma Polcura.
- Los caudales de reflujo deberían llegar sólo a la bocatoma Polcura, y
- Los caudales de reflujo se eliminarían en el río Pichipolcura y bocatoma Polcura.

2.2.1 Los Caudales de reflujo se eliminarían a través de obras en la aducción Laja y de la Bocatoma Polcura.

En este caso el caudal de reflujo que remonta los túneles se divide al llegar al punto de empalme de las Aducciones Laja y Polcura de la manera siguiente :

$$Q \text{ Laja} = 60 \text{ m}^3/\text{s.} \quad \text{y} \quad Q \text{ Polcura} = 50 \text{ m}^3/\text{s.}$$

El caudal de la aducción Polcura debe evacuarse a través de su bocatoma en el río del mismo nombre.

El caudal de la rama Laja debe evacuarse mediante una obra ubicada en el punto en que termina la parte de esta aducción con escurrimiento libre y se inicia el escurrimiento en presión. Es decir en la cámara de entrada del sifón de cruce del río Polcura.

Como a la entrada del sifón se deben colocar rejas de protección, en este punto debe existir de todos modos una obra evacuadora de caudal que como mínimo debería tener capacidad para evacuar el caudal máximo que puede escurrir por el canal de aducción y que alcanza a 50 m³/s.

Agregando a este caudal el de reflujo ella finalmente debe ser proyectada para un total de $Q = 110 \text{ m}^3/\text{s.}$

La captación de las aguas del río Pichipolcura, que se ha concebido como obra de escurrimiento libre entregando mediante un pique vertical en la aducción común, debe trazarse de modo que quede ubicado el túnel de conducción de las aguas más alto que la línea piezométrica máxima alcanzada durante el transiente originado por la oscilación en masa de la Chimenea de Equilibrio. La longitud de la aducción de esta obra resulta en este caso de 2.000 metros.

Finalmente el caudal de reflujo por la aducción Polcura debe evacuarse por su Bocatoma ubicada en el río Polcura.

Esta disposición general de las obras, definida inicialmente sólo por las condiciones del escurrimiento permanente, presenta los siguientes inconvenientes durante el escurrimiento de reflujo :

- La obra evacuadora del sifón de cruce del río Polcura debe diseñarse para 110 m³/s, resultando una obra complicada tanto por las condiciones geológicas y topográficas existentes para su trazado como por el elevado caudal de diseño de ella.
- El sifón de cruce del río Polcura que normalmente debe conducir como máximo 50 m³/s, cuando se produce el reflujo deben pasar a través de él 110 m³/s.

Aunque en este último caso se trata de una condición eventual de funcionamiento, pueden sin embargo producirse problemas debido a que la velocidad a través de él sería de 7.0 m/s.

- La aducción Pichipolcura resulta de gran longitud.

Resumiendo, el caudal de reflujo introduce condiciones de funcionamiento indeseables que podrían comprometer la seguridad de las obras. Además en la zona del cruce del Polcura las condiciones geológicas, de suelos y topográficas limitan considerablemente la construcción de una obra evacuadora de importancia.

2.2.2 Los caudales de reflujo deberían llegar sólo a la bocatoma Polcura.

Para cumplir con este esquema es necesario que el plano de carga de la Rama Laja aguas arriba del sifón Polcura sea permanentemente más alto que el de la confluencia de las aducciones Polcura y Laja 2 para el caso de la manobra de rechazo más desfavorable considerada (rechazo total posterior a una toma 50 - 100%). De esta manera, el caudal de reflujo no puede avanzar por el túnel Laja 2 y en consecuencia sólo es posible que remonte el túnel Polcura hacia bocatoma Polcura.

La condición impuesta a la aducción Laja para cumplir con la premisa anteriormente indicada es que toda la aducción debe peraltarse. Como conclusión se pudo verificar en este caso lo siguiente :

- La aducción Laja se alarga debido a que debe captarse en un punto de cota mayor.
- Los canales de la rama Laja deben desarrollarse a cotas más altas acercándose

se a los taludes más empinados de la ribera derecha del valle del río Laja cuyas características geotécnicas no son apropiadas.

- c) La Bocatoma Polcura no funciona adecuadamente al producirse el refluo, ya que el gasto total que debería evacuarse a través de ella ($Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$), en sentido inverso, es demasiado grande.
- d) La aducción Pichipolcura resulta de gran longitud.

Al realizar el estudio de las dos soluciones descritas se llegó a la conclusión de que ambas presentaban dificultades de importancia tanto debido al mal funcionamiento del sistema hidráulico al producirse el refluo, como por el elevado costo de algunas de las obras del esquema general.

Por las razones anteriores, se decidió estudiar una tercera solución consistente en el diseño de una estructura hidráulica ubicada en un punto intermedio de la aducción común que permitiera evitar los efectos del refluo actuando como rebalse, evacuando parte importante de este caudal a algún curso natural existente en la zona.

A continuación se describe esta tercera solución :

2.2.3 Los caudales de refluo se eliminarían en el río Pichipolcura y bocatoma Polcura.

De los posibles lugares aptos para la evacuación de caudales ubicados aguas abajo de la confluencia de las ramas Polcura y Laja (sólo así se limita el caudal de refluo por la rama Laja), el más apropiado resulta ser la zona en que la aducción Común corta el valle del río Pichipolcura.

Para poder evacuar en este punto se necesita disponer de una obra que por sus características se comporta como una segunda chimenea de equilibrio inserta en el centro de la aducción, lo que trae consigo un nuevo esquema hidráulico de la central y por consiguiente un reestudio de todo lo referente a planos piezométricos, frentes de trabajo en túneles, pendientes admisibles, etc.

Sin embargo, este estudio fue posible abordarlo con relativa rapidez ya que la ENDESA cuenta con un programa para el computador IBM-360 que permite calcular el transiente en el sistema complejo de túneles y chimeneas que se ha descrito. El detalle del uso, limitaciones y ventajas del método de cálculo empleado se indica en el trabajo entregado por el ingeniero señor René Neger Schanzer con el nombre de "Análisis de los fenómenos transitorios en el sistema complejo de túneles de la central Antuco".

A continuación enumeraremos las alternativas que se estudiaron considerando una obra evacuadora en el río Pichipolcura y analizaremos brevemente sus características básicas, sus ventajas y sus desventajas :

- a) La evacuación se haría a través de la aducción Pichipolcura, para lo cual esta aducción serviría como cámara de expansión y posteriormente entregaría los caudales del rechazo a la bocatoma Pichipolcura.

- b) La evacuación se haría directamente al río Pichipolcura mediante una obra vertedero seguida por un rápido en túnel.

Alternativa a)

Como se ha dicho anteriormente los caudales provenientes de la aducción Pichipolcura constituyen otro de los recursos de la central Antuco (ver punto 1). Esta aducción capta mediante una bocatoma en el río Pichipolcura hasta un máximo de $12 \text{ m}^3/\text{s}$ que los entrega directamente a la aducción común de la central mediante un pique vertical.

En esta alternativa se exige al túnel Pichipolcura que permita durante el transiente escurrir en sentido inverso al normal, vale decir, que sirva como evacuador de caudales.

De esta posibilidad surgen varias interrogantes, ya que era preciso determinar la cuantía del caudal de refluo, la velocidad que alcanzaría la onda ascendente y finalmente la zona del túnel que quedaría comprometida con esta situación.

Como se ha indicado, el caudal que aporta la aducción Pichipolcura es de pequeña magnitud ($12 \text{ m}^3/\text{s}$ máximo) por lo que se ha presupuestado excavar esta aducción con la sección mínima compatible con un equipo mecanizado de carguío.

Esta sección, cuyo diámetro se ha definido exclusivamente por razones constructivas, se ha proyectado del tipo herradura normal de $D = 2,60 \text{ m}$.

Del estudio de funcionamiento realizado, se concluyó que se producían fenómenos hidráulicos no deseados en la aducción Pichipolcura y cuyas consecuencias eran imprevisibles. Así por ejemplo, se producía una gran velocidad de la onda ascendente por el túnel Pichipolcura la que alcanzaba hasta valores del orden de los 25 m/s . La longitud de la aducción Pichipolcura, no era suficiente como para evitar que la onda ascendente se convirtiera en un émbolo de agua que pudiera comprometer toda la longitud de la aducción. La existencia de esta mezcla de aire y agua a presión hacía necesario idear piques o chimeneas aliviadoras de presión a lo largo del túnel Pichipolcura, lo cual hacía aumentar considerablemente los costos de estas alternativas.

Además se producía un gasto de refluo importante hacia la Aducción Laja.

Considerando estos graves problemas se estudió la posibilidad de disminuir sus efectos ubicando la aducción Pichipolcura, que actúa como cámara de expansión, a diferentes cotas. Se pudo constatar que con estas variaciones no se obtenían mayores ventajas de funcionamiento.

Como otra posibilidad para disminuir estos problemas, se estudió a continuación la influencia que tendría la variación de sección en el túnel Pichipolcura. Se aumentó el diámetro de la aducción a $4,0 \text{ m}$.

Como conclusión de esta modificación se podría decir que si bien es cierto se disminuye considerablemente la celeridad de la onda que remonta la

aducción, las velocidades del caudal de reflujos en el túnel aumentan llegando a 8,5 m/s y no se eliminan los caudales de reflujos por la obra de seguridad de la rama Laja.

Surge entonces como estudio final la alternativa de evacuar directamente al río Pichipolcura los caudales provenientes del rechazo de carga.

Alternativa b) (La evacuación se haría directamente al río Pichipolcura mediante una obra vertedero con un rebalse en túnel.)

Esta alternativa es la única que ha resuelto plenamente el problema de limitar a un mínimo la capacidad evacuadora de la obra de seguridad de la rama Laja y que hace que el sistema hidráulico en su conjunto funcione sin mayores problemas con los caudales de régimen y de reflujos.

Las características de estas obras de rebalse y su descripción se indicarán más adelante en el capítulo "Descripción de las soluciones elegidas" (ver punto 3).

A continuación se indicarán algunas de las ventajas y desventajas que le son propias a esta alternativa :

Desventajas.

La obra evacuadora principal de esta alternativa, ubicada en la ribera norte del río Pichipolcura, resulta ser de magnitudes considerables ya que el caudal máximo que evacuaría sería del orden de 150 m³/s.

Sin embargo, las prospecciones realizadas en el área permiten asegurar que las características geotécnicas de las rocas son compatibles con las calidades que una obra de estas características requiere.

Otro problema que aparentemente podría ser una desventaja lo constituye la barra o depósito de sedimento de río que se prevé causará el impacto del chorro evacuado por la cuchara de lanzamiento del rápido de descarga. Esta barra producirá un peralte del eje hidráulico del río Pichipolcura en una zona cercana a la ubicación en que se encuentra además el sifón de cruce de la aducción común de la central. Estudios realizados permiten asegurar que la influencia no compromete a las obras de cruce.

Ventajas.

Las desventajas enumeradas se ven claramente superadas por un gran número de hechos favorables que le son propios a esta alternativa. Entre estos podemos citar los siguientes :

a) Acorta la aducción Pichipolcura.

Ya ha quedado establecida la conveniencia de que la aducción Pichipolcura se independice del transiente de la central. Para lograr esto, ella debe

entregar su caudal a una cota superior a la del plano piezométrico que tenga el pique de unión de ambas aducciones en el instante más desfavorable del transiente.

Para deprimir lo más posible el plano piezométrico en el punto de unión de ambas aducciones (Pichipolcura y Común) se ha dispuesto que el umbral del vertedero de rebalse de esta obra se ubique a la mínima cota compatible con el resto de las obras de la central. Esta cota corresponde al nivel máximo normal en bocatoma Polcura. De esta ubicación del vertedero de rebalse resulta que la cota de captación en el río Pichipolcura es la menor posible y por lo tanto la longitud de la aducción Pichipolcura es la mínima.

b) Evita reflujos por la obra de seguridad de la rama Laja.

Con esta solución la obra de evacuación del sifón Polcura de la rama Laja es la de menor caudal. Ella debe dimensionarse sólo para el caudal propio de esa rama $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$.

c) Disminuye la altura necesaria de la chimenea de equilibrio.

Como consecuencia de la reducción de la onda positiva en el pique de unión del Pichipolcura con la aducción Común se produce a su vez una disminución de la onda ascendente en chimenea de equilibrio, lo que permite acortar la altura útil de oscilación en ella, con la consiguiente economía que este hecho significa.

d) Disminuye presiones interiores en las aducciones.

Como con la obra de evacuación la presión interior de las aducciones disminuye, se concluye que los techos de roca de los túneles en presión pueden ser menores, lo que permite desplazar los túneles más hacia el exterior del cerro con la consiguiente disminución de las longitudes de sus ventanas de trabajo y además de las aducciones mismas.

e) Además con esta solución se obtienen otras ventajas de menor importancia.

Así por ejemplo, para controlar que la línea piezométrica mínima no se deprima en exceso y corte los puntos altos o singularidades del trazado, debe considerarse en todas las alternativas estudiadas una cámara inferior de alimentación en la zona del cruce del río Pichipolcura.

En esta solución (alternativa b.) la cámara resulta de dimensiones mínimas y además ella se puede diseñar conectada al pique de la obra de rebalse, obteniéndose por ese motivo ventajas de tipo constructivo.

3. DESCRIPCION DE LA SOLUCION ELEGIDA.

Del análisis del funcionamiento hidráulico de las obras de la Central Antuco y de la comparación económica de las distintas alternativas, se llegó a la conclusión que la disposición general más conveniente sería aquella en que se intercala en la Aducción Común una Obra de Rebalse mediante la cual se evacúan al río Pichipolcura los caudales rechazados por la Central.

Esta Obra de Rebalse en el río Pichipolcura debería tener capacidad para verter 150 m³/s y ella permitiría limitar a 50 m³/s el caudal que se debe verter en la cámara del sifón de cruce del río Polcura.

3.1 Obra de Rebalse del Pichipolcura

La Obra de Rebalse del Pichipolcura que se muestra en los planos Al6-30d-10 láminas 1 y 2, consiste básicamente en un pique vertical de 5 m de diámetro, en cuyo extremo superior se ubica un vertedero de rebalse a continuación del cual se desarrolla un rápido de descarga que permite finalmente entregar los caudales rechazados por la central al cauce natural del río Pichipolcura.

Además se han combinado con esta obra de rebalse la entrega de la aducción Pichipolcura y la cámara inferior que permite controlar la línea piezométrica mínima.

En la cámara superior del pique vertical se ubica el vertedero frontal de la obra de rebalse, tipo Creager de 7.0 m de ancho y con capacidad para evacuar 150 m³/s.

Desde la cámara vertedero nace un pique inclinado a 45° de sección circular de 5.0 m de diámetro que termina en una cuchara de lanzamiento. Esta cuchara de lanzamiento empotrada en roca intrusiva de muy buenas características geotécnicas tiene 30 m de radio con un ángulo de deflexión del chorro de 23 grados centesimales.

Además a la cámara se conecta la aducción Pichipolcura de modo que los caudales captados por esta obra se entregan al Túnel Común mediante el pique de la Obra de Rebalse.

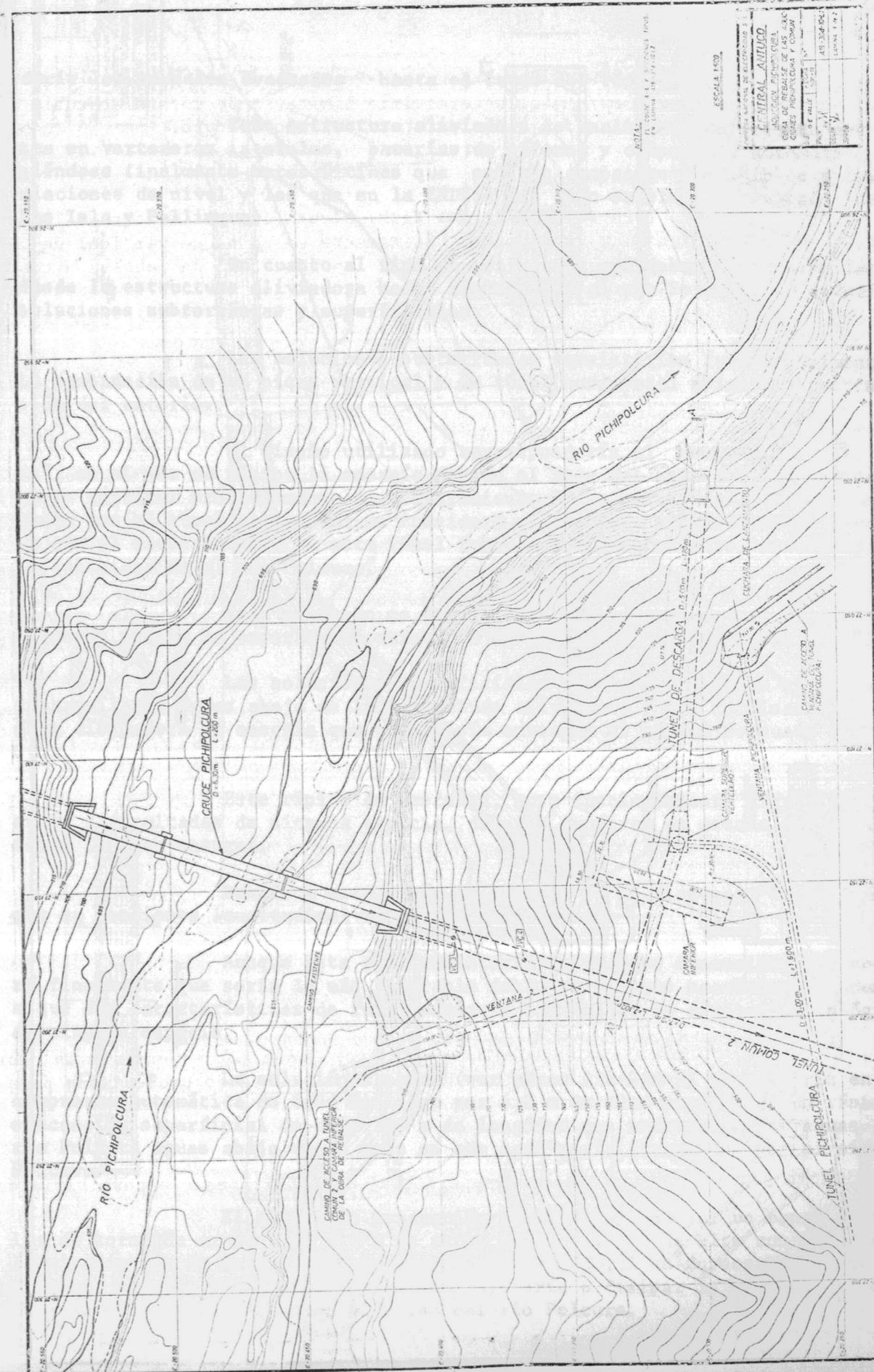
En la parte inferior del pique vertical de la Obra de Rebalse se encuentra ubicada la cámara de alimentación que evita que al tomar carga la central se deprima en exceso la línea piezométrica mínima.

Esta cámara en forma de cruz, tiene dos estocadas laterales de 25,00 m de largo y un cuerpo principal de 38,50 m. La sección de las ramas es circular y de 5 m de diámetro.

3.2 Obras de Rebalse del Polcura

Las obras de rebalse del Polcura, que corresponden a la obra de seguridad del sifón Polcura de la Aducción Laja, han sido proyectadas para un caudal de 50 m³/s que corresponde al gasto máximo de esta aducción.

La obra de seguridad estaría constituida por una estructura aliviadora seguida de una aducción superficial o subterránea que permitiría con



SEGUNDO COLOQUIO NACIONAL
 SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

ESTUDIO SOBRE LA ADAPTACION DE LAS PANTALLAS DE GASTO CONSTANTE A LOS MARCOS PARTIDORES

Bernardo Domínguez C. (*)

El presente trabajo muestra el avance del estudio experimental realizado por el Departamento de Obras Hidráulicas de la Universidad Católica de Chile, con el objeto de adaptar los dispositivos de distribución de agua denominados pantallas de gasto constante a los sistemas de partición utilizados en Chile.

* Ingeniero Civil UC. Jefe Departamento de Obras Hidráulicas, Escuela de Ingeniería, Universidad Católica de Chile.

