

Central y Sistema Hidroeléctrico “Pilmaiquén”

En el “Plan de Electrificación” del país, de la Corporación de Fomento de la Producción, la primera planta hidroeléctrica cuya construcción se consultó, fué la Central “Pilmaiquén”, tanto porque con ella se podía suministrar energía eléctrica a bajo precio a una extensa zona de gran importancia económica y de proveer industrial, como por las características especialmente favorables que ofrecía el Salto del mismo nombre. La región comprendida entre La Unión y Puerto Montt tiene el 4% de la población del país, el 4% de la superficie territorial; produce el 11,5% del trigo, el 13% del ganado, el 12 % de la molienda y cuenta con el 15% de los aserraderos.

La construcción de esta Central comprende dos fases. La primera ya terminada, aprovecha los caudales actuales del río y permite obtener 18.000 HP. La regulación del Lago Puyehue, del cual nace el Río Pilmaiquén, permitirá aumentar la potencia aprovechable a 48.000 HP.

Las obras hidráulicas —Bocatoma, Canal de Aducción, Vertederos, etc.— han sido construídos, desde luego, para la potencia total final de la Planta.

Las obras correspondientes a la primera fase de la construcción de esta Central, con sus características son: A) Barrera en el Río, b) Bocatoma, c) Canal de Aducción, d), Cámara de Carga, e) Tubería de Presión, f) Casa de Máquinas, g) Subestaciones y Líneas de Transmisión, h) Población y caminos de acceso.

a) **Barrera en el Río.**—Tiene por objeto fijar los niveles de captación, especialmente en los grandes gastos captados y aumentar la altura de caída.

La barrera está dividida en dos secciones; una de 100 m. de longitud que queda debajo del puente de acceso a la Central, en el brazo principal del Río Pilmaiquén; la otra sección de 35 m. de longitud queda en el brazo chico del Río, aprovechando como canal de descarga, el Canal de desviación del Río —canal proyectado para permitir la construcción en seco de la barrera y los muros de defensa.

El umbral de esta barrera, se proyectó a la cota 100.17 m. que es la que corresponde a un gasto de $130 \text{ m}^3/\text{sg.}$ de la curva actual de descarga del Río Pilmaiquén en la Bocatoma.

La barrera es de albañilería de piedra, con un coronamiento de concreto armado.

La cota del umbral de la barrera puede considerarse como el nivel de aguas mínimas del Río para cualquier gasto que demande la Central.

Desde la bocatoma del canal de aducción hasta el puente sobre el brazo principal del Río, se construyó un muro de albañilería de piedra, cuyo coronamiento va a la cota 102 m. Este muro tiene por objeto impedir inundaciones en las grandes creces del Río.

b) **Bocatoma.**—Consiste la bocatoma en una simple desviación del Río, normal a la ribera, de 20 m. de luz entre paredes verticales, provista de una barrera de entrada de albañilería de piedra recubierta de concreto y cuyo coronamiento queda en la cota 97.17. La Bocatoma queda totalmente en roca.

Sobre el coronamiento de esta barrera se ha dispuesto una rejilla formada por fierros platinos de $4'' \times 1/4''$, que tiene por objeto evitar la pasada al canal de ramas y otras materias en suspensión que arrastra el Río Pilmaiquén en ciertas épocas del año.

El apoyo de la rejilla se ha hecho sobre vigas horizontales de concreto armado, las que a su vez se apoyan sobre 4 machones intermedios y las paredes laterales del canal.

Sobre los machones va una pasarela, para la limpia de la rejilla.

En casos de derrumbes o accidentes en el canal, se ha previsto un cierre de emergencia mediante la colocación de tablonces que resbalan entre correderas especiales y se apoyan sobre la rejilla. Los tablonces son de $2'' \times 12''$ y van en paquetes de tres tablonces.

c) **Canal de Aducción.**—A 4.5 m. aguas abajo de la rejilla comienza un embudo que disminuye la sección del canal a 8.5 m. de ancho, para ubicar, en esta sección reducida, un puente de acceso a la Población. Después del puente el canal se ensancha, por medio de un embudo de salida, para pasar de la sección rectangular de 8.5 m. de ancho por 8 m. de alto a la sección trapezoidal de 8.5 m. de ancho en la base y 16.5 m. en su parte superior por 8 m. de alto.

La cota del canal es 94 m. en el radier y 102 m. en su coronamiento.

El canal va revestido en concreto armado de 0.15 m. de espesor en toda su sección en tierra, con juntas de dilatación cada 20 m. y en concreto sin armadura, de espesor variable en toda su sección en roca.

Para evitar las subpresiones sobre el revestimiento se construyó un drenaje por ambos lados del canal, el cual queda inmediatamente debajo del terreno permeable —cota aproximada 94,40 m. Los drenes de ambos lados del canal van comunicados entre sí, frente a las cámaras de inspección, por medio de sifones, con el objeto de evitar que el dren entre en presión si se produce una obstrucción en algún sector de cualquiera de ellos.

En el cerro, al borde del corte del canal, corre una cuneta de guardia para recibir las aguas lluvias.

d) **Cámara de carga.**—Fué calculada como una pieza "L" de concreto armado compuesta del muro frontal y del radier. Se verificó la estabilidad al deslizamiento y al volcamiento, considerando las condiciones más desfavorables del servicio y la acción del temblor, pero no se consideró subpresión. Para eliminar ésta se colocó un drenaje.

El muro frontal consiste en un macizo inferior de fundación del que arrancan las tuberías y sobre éste va dispuesta una cortina formada por contrafuertes y losas. El radier se calculó como losa encastrada en la fundación. Las fatigas del terreno se mantuvieron bajas, no superiores a 3 Kg/cm^2 , por tratarse de suelos fluvio-glaciales relativamente arcillosos.

Por el lado del cerro, la cámara de carga sigue igual al canal, como simple revestimiento de concreto armado en talud $1/2$.

El muro de término de la cámara de carga, que es normal a la dirección del canal de aducción, está también proyectado en concreto armado con contrafuertes.

Este muro está concebido para hacerlo desaparecer al hacer el ensanche futuro de la Central, alargando la Cámara de Carga.

La cámara de carga lleva un desagüe en cañería de concreto armado de 60 cm. de diámetro interior provista de válvula de cierre.

e) **Tubería de Presión.**—Del muro exterior de la Cámara de Carga arrancan, en la primera fase de la construcción de la Central, tres tubos de concreto armado (doble armadura) de 2,30 m. de diámetro interior. Después de un trozo recto horizontal de 7 m. de longitud viene un codo anclado a un macizo de concreto armado.

En ambos extremos de este codo hay previstas juntas de dilatación, cuya impermeabilidad se logra con una placa de cobre electrolítico en forma de asa.

Sigue, después del codo, otro trozo recto inclinado en 48.5° de una longitud de 31 m. y a continuación de éste viene otra curva para entrar en horizontal a la Casa de Máquinas. Otro anclaje de la cañería de presión va en la parte inferior embobiendo la curva final, la fundación de la Casa de Máquinas y la de la tubería misma en un solo bloque.

Para calcular las tuberías de concreto armado se determinó la sollicitación tomando en cuenta el golpe de ariete y demás fuerzas hidráulicas y considerando especialmente la gradiente termométrica a través de la pared del tubo, que se produce por diferencias de temperatura entre el ambiente y el agua. La presión estática máxima es de 30.70 m.

Como fatigas límite del concreto a la tracción se aceptó 12 Kg/cm^2 y para n el valor 15.

El espesor del tubo es variable desde 46 a 26 cm.

Para calcular la armadura longitudinal se consideró la sollicitación producida por acciones térmicas y por efectos de contracción de fraguado.

f) **Casa de Máquinas.**—Se ubicó en la misma ribera del Río y ocupa una extensión de 17.10×40.50 m. El edificio se diseñó en miras a la futura ampliación de modo que el ancho libre de la sala de máquinas de 12.20 corresponde al espacio que ocuparán los dos grupos de 15.000 HP c/u. que se instalarán en el futuro. El edificio actualmente construído contiene las fundaciones para tres unidades de 6.000 HP c/u., de las cuales se han instalado por el momento sólo dos.

La característica del proyecto de esta Casa de Máquinas, consiste en que se diseñó la fundación con todos sus elementos (edificio, fundaciones de las máquinas, anclaje de tuberías), rígidamente unidos por una losa de concreto armado, en vista de que los informes geológicos indicaban morrena como terreno de fundación. La cota de fundación prevista era la 63.20 m., pero fué necesario modificarla, como se verá más adelante. La fundación alcanza hasta la cota 72.84, piso de generadores; la cota de fondo de los difusores de las turbinas es 64.43; los niveles máximos y mínimos del Río son 69.60 y 66.50 m.

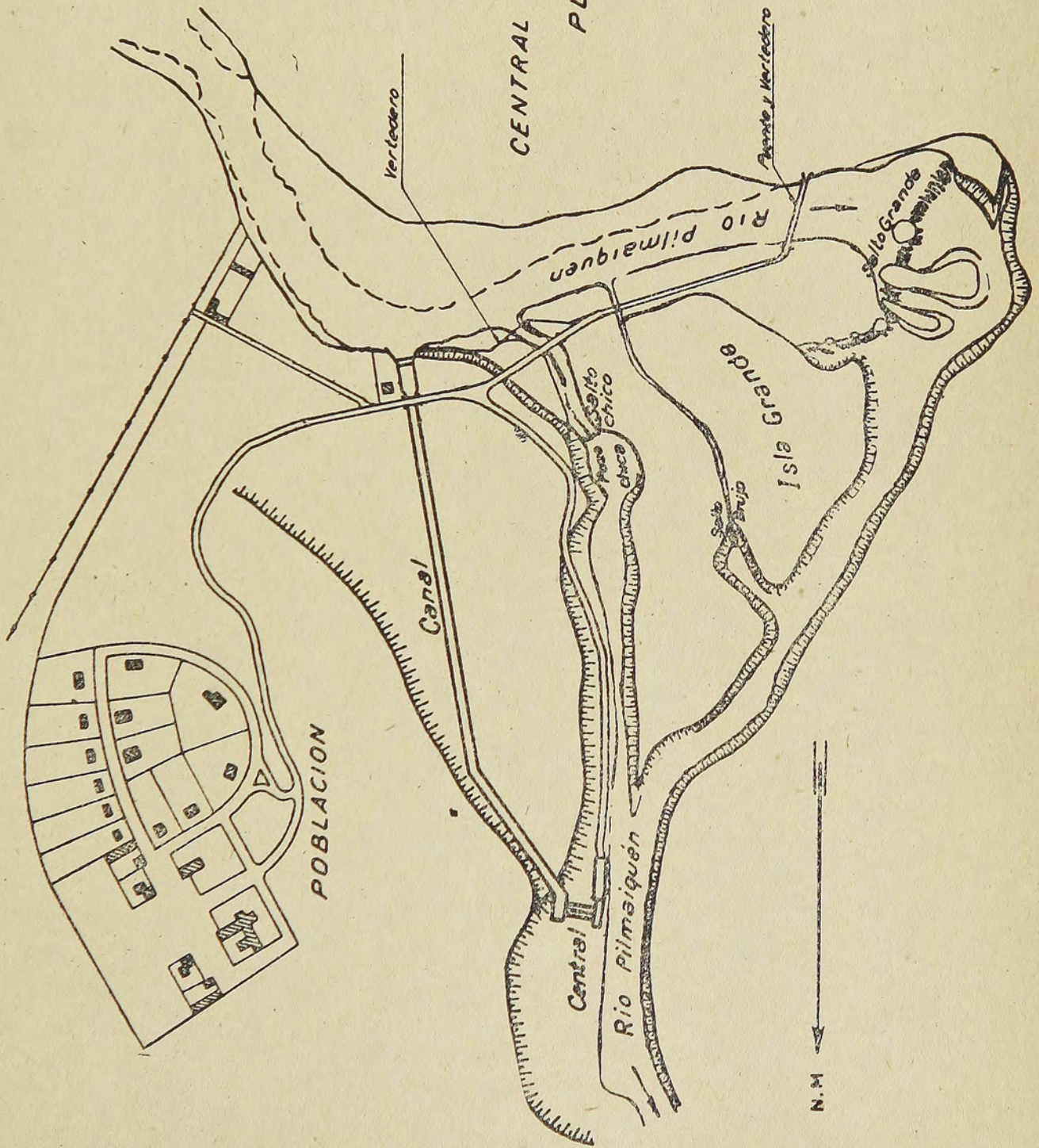
La superestructura consiste en marcos rígidamente transversales de concreto armado de 12.20 m. de luz libre y de 13.50 m. de altura sobre el piso de generadores, atiesados longitudinalmente por vigas. Los muros y la cubierta son losas de concreto armado.

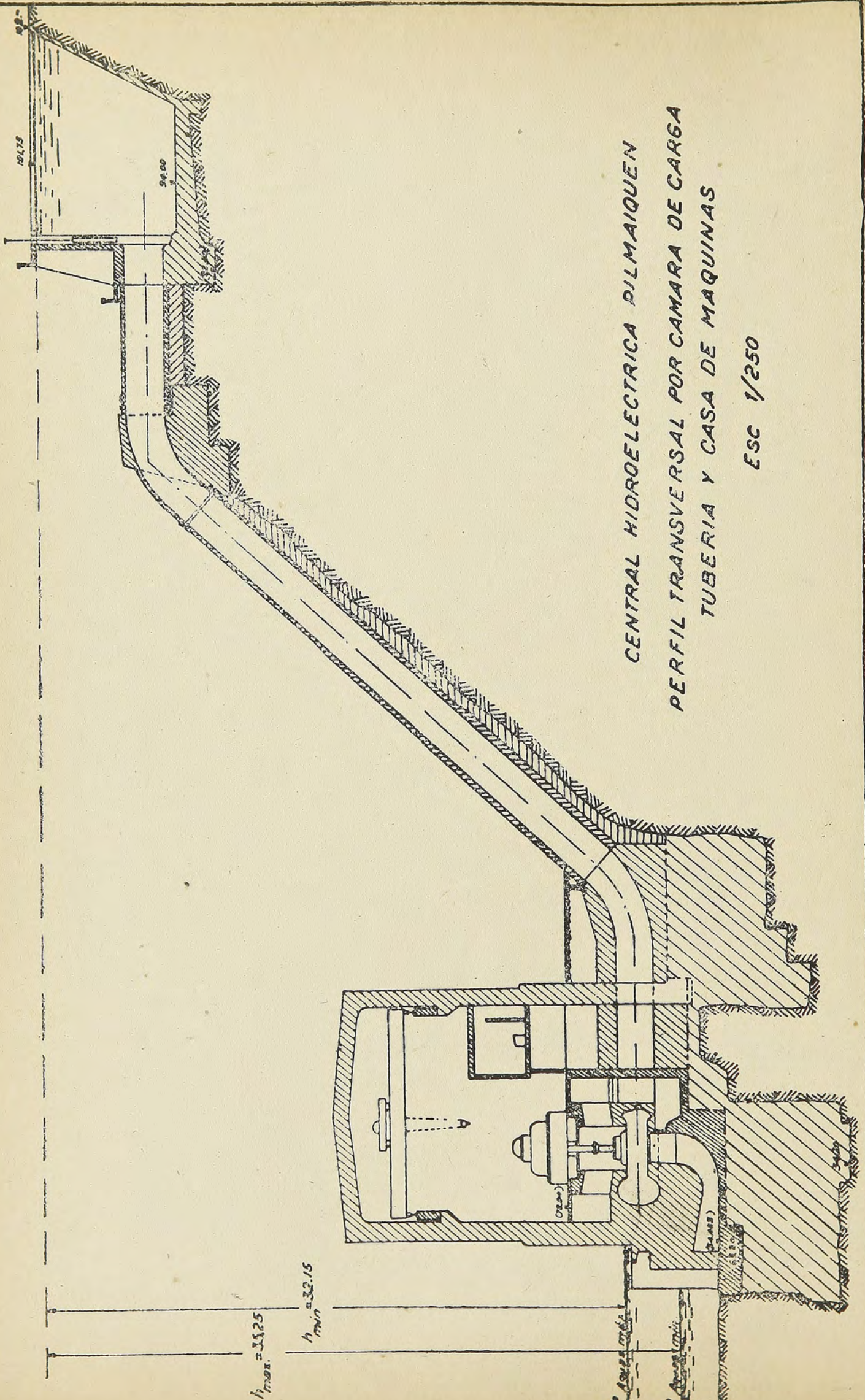
La viga portante de la grúa, también de concreto armado, se apoya sobre consolas de los marcos rígidamente. Se dimensionó previendo las cargas que se producirán en el futuro cuando se instalen las unidades de 15.000 HP, que tienen piezas de 90 tons. de peso.

CENTRAL HIDROELECTRICA PILMAIQUEN

PLANO DE SITUACION

ESC 1/5.000





CENTRAL HIDROELECTRICA PILMAIQUEN
 PERFIL TRANSVERSAL POR CAMARA DE CARGA
 TUBERIA Y CASA DE MAQUINAS

ESC 1/250

Para calcular el edificio se determinaron las solicitaciones permanentes y las accidentales, por carga de la grúa y por efectos de un temblor de aceleración $1/10$ g. Pero no se superpusieron las cargas accidentales máximas con temblor. El concreto armado se calculó con fatigas 60 y 1.500 Kg/cm² al considerar solicitaciones de temblor y con 50 y 1.200 Kg/cm² al no considerarlo. Los ensayos de ruptura a la compresión de las muestras de concreto hechas durante la construcción, dieron fatigas de ruptura superiores a 300 Kg/cm² en todas las muestras.

g) **Subestaciones y Líneas de Transmisión.**—Las instalaciones eléctricas iniciales en la Central comprenden los generadores verticales, directamente acoplados a las turbinas, cada uno de 5.600 KVA (generando a 6.900 V) con los interruptores de baja, desconectores y tableros de comando correspondientes.

En la primera fase, ya construída, se consultan tres unidades, turbina de 6.000 HP-Generador de 5.600 KVA c/u; de estas tres unidades, dos han quedado instaladas y la tercera se instalará en poco tiempo más, cuando aumente el consumo de la zona. La ampliación futura comprende dos nuevas unidades, turbina de 15.000 HP- Generador de 13.800 KVA c/u.

Para servir la región Valdivia-Puerto Montt, se construyó la subestación elevadora de voltaje (tipo a la intemperie) ubicada al sur de la Casa de Máquinas.

Se consultan tres transformadores de 5.600 KVA c/u, de los cuales dos han quedado colocados. El tercero se colocará cuando se instale la tercera unidad. Para la ampliación futura se consultan los respectivos transformadores.

Esta subestación eleva el voltaje de 6.900 V a 66.000 V que es el voltaje al cual se transmite, por una línea de doble circuito, a Osorno.

La línea está construída sobre portales formados por dos postes de concreto armado de 11.50 m. de altura separados entre sí 5.76 m. Los portales van a distancias medias de 135 m. En los anclajes (cada 1.250 m.), en los vértices y en las distancias entre portales superiores a 180 m., los portales están formados por tres postes afianzados con tirantes o vientos de cable de acero de $3/8''$.

Para la distribución secundaria, en los centros de consumo, se han construído las siguientes subestaciones, para bajar el voltaje de 66.000 V a 13.200 V:

Osorno, con dos transformadores de 4.000 KVA c/u, dejándose espacio para el ensanche futuro.

Purranque, con un transformador de 500 KVA.

Frutillar, con un transformador de 500 KVA.

Puerto Varas, con un transformador de 500 KVA.

Puerto Montt, con un transformador de 2.000 KVA.

Río Bueno, con un transformador de 500 KVA.

La Unión con un transformador de 2.000 KVA.

Corral, con dos transformadores de 2000 KVA c/u. y además una subestación de 66.000 a 380 V en Desagüe, Lago Puyehue, para la Sociedad Maderera del Sur (Somasur). Esta subestación tiene un transformador de 1.000 KVA.

Todas las subestaciones son "a la intemperie".

h) **Obras Anexas.**—Para el acceso a la Central se ha construído un camino con un puente de concreto armado de 100 m. de luz viga continua de 7 tramos, a 75 m. aguas arriba del salto principal del Río Pilmaiquén. Otro puente también de concreto armado de 9 m. de luz sobre el canal de desviación del Brazo Chico, finalmente otro puente de concreto armado de 8.5 m. de luz sobre el canal de aducción, permite el acceso a la Población de la Central.

Se edificó una Población para empleados y obreros. Las construcciones, en general, son de madera con dispositivo aislante. Las casas habitación tienen un mínimo de tres dormitorios. La Población cuenta con servicio de alcantarillado, sistema separado; red de agua potable, red para servicio contra incendio; red de alumbrado público y privado.

CONSTRUCCION DE LAS OBRAS

En el mes de Enero del año 1941 se inició la construcción de la Central Pilmaiquén, habiéndose contratado la ejecución de las siguientes obras, con sus detalles anexos: Canal de Aducción, Cámara de Carga, Barrera y Muro de Defensa y Camino a Casa de Máquinas.

Posteriormente se contrató también, la construcción de la Población, sin incluir sus obras anexas, agua potable, alcantarillado, red de alumbrado, público y privado, caninos y calles, canchas de juegos, etc.

Por diversas consideraciones, se estimó conveniente hacer el resto de las obras por Administración, especialmente: Casa de Máquinas, Tubería de Presión, Puente sobre el Río, Camino de Acceso a la Central, Líneas de Transmisión, Subestaciones y varios detalles de las obras contratadas, los cuales se desglosaron de los Contratos.

Del valor total de las obras, según el presupuesto oficial del año 1942, el 7,4% corresponde al contrato de obras hidráulicas, el 5,1% al contrato de la Población, el 24,8% al valor de la maquinaria y el 55,1% al valor del resto de las obras, las cuales fueron ejecutadas por Administración. El costo efectivo fué un 30% superior al presupuesto primitivo, aumento que se justifica, en exceso, con el mayor costo de los materiales, mano de obra y dificultades inherentes a la situación actual.

RESEÑA DE LOS TRABAJOS.

a) **Barrera en el Río.**—Esta fué construída simultáneamente con el puente sobre el brazo principal del Río, bajo el cual queda la mayor parte de la barrera (100 m., en un total de 135 m.) Con el fin de construir en seco este tramo de la barrera y las fundaciones de los machones y estribos del puente, se hizo un canal de desviación del Río, en el brazo chico de éste; el canal tiene una sección de 7 m. de ancho por 6 m. de profundidad con una pendiente de 1 %. Permitiría este canal un escurrimiento de 100 m³/sg. con un nivel de eje hidráulico en el Río de 98,0 m.; lo suficiente para dejar prácticamente en seco la fundación de la barrera y del puente durante unos 70 días (tiempo probable en el cual el gasto indicado no sería sobrepasado).

Desgraciadamente, por una parte, el canal de desviación no pudo ser puesto en servicio antes de Febrero y por otra, el invierno del año 1942, que se presentó demasiado temprano y riguroso, fueron motivos de que no se pudiera trabajar en seco, en la forma prevista y que por el contrario se tuviera un gran caudal de agua en el brazo grande del Río.

La cantidad de agua que escurría por el río; la intensidad de la lluvia y la rugosidad de la roca en el lecho del Río, que no permitía sentar bien las ataguías de tierra hechas para desviar el Río y dejar en seco las secciones correspondientes a las fundaciones de los machones del puente, dificultaron grandemente la ejecución de esta obra.

Sin embargo, el plazo total de construcción fué de 192 días, de los cuales menos de 50 corresponden a la superestructura (incluso andamiaje).

b) **Bocatoma.**—Para poder construir en seco las obras de la Bocatoma, fué necesario dejar, hasta el final de los trabajos, un muro de roca sin excavar en el canal, en su punto de arranque del Río. Para abrir este muro, se construyó una ataguía en el Río, cerrando la entrada hacia el canal. La carga de agua sobre esta ataguía sobrepasó los 5 m.

La ataguía se construyó con doble tablaestacado de madera; rellenando entre ambos con tierra empajada. Las tablaestacas eran de tepa de 2" \times 10" con escoladura de $\frac{3}{4}$ " \times 1" en sus 2 cantos y unidas una con otra por lengüetas de roble de $\frac{3}{4}$ " \times 2". Cada 2 a 3 metros (según las condiciones que se presentaran) se colocaron maestras de 4" \times 4" sobre las cuales se apoyaban las guías horizontales, puesta cada una a 1.5 m. Posteriormente, antes de agotar al lado del canal, se afianzó la ataguía con escuadras armadas de palos rollizos.

c) **Canal de Aducción.**—Para la excavación del canal se empleó una pala mecánica a vapor de una capacidad de 1 m³.

Dos dificultades principales se presentaron en el empleo de esta pala: El gran cubo de roca y la excesiva dureza de gran parte del terreno por excavar.

De los 110,250 m³ de excavación del canal 19.050 eran roca y 91.200 tierra; cerca del 50 % de esta última era de una dureza tal, que obligó el uso de explosivo previo, para aflojar el terreno y poder trabajar con la pala mecánica. Los piques y galerías hechos para el aflojamiento del terreno con explosivo, se dificultaron por la gran cantidad de agua subterránea.

Para el revestimiento del canal se usaron tableros de tablones de 1.2 m. de alto por 3.50 m de largo; los tableros se ajustaron por medio de cuñas a las guías constituídas por palos rollizos de 9 m. de largo, colocados cada 0,70 m.

El cubo de concreto del revestimiento de muros, y radier, fué de 3.490 m³. El revestimiento del canal fué ejecutado en un plazo de 40 días.

d) **Cámara de Carga.**—La ejecución de esta obra no presentó dificultades de mayor importancia. El cubo de concreto colocado es 985 m² y la cantidad de fierro 66.400 kg.

e) **Tubería de Presión.**—La tubería de presión va apoyada en toda su longitud, salvo en la parte correspondiente al anclaje superior, sobre una cama de concreto sin armar que la abraza en 120° y que sirve en esa parte de molde exterior de la cañería. Dicha cama, tiene tres secciones diferentes que corresponden a los espesores 0,46, 0.36 y 0.26 de la tubería. Para que las contracciones o dilataciones pudieran efectuarse sin entorpecimiento alguno, se colocaron entre la cama y el concreto de la tubería, chapas de madera de 1 mm. de espesor, quedando así ambas superficies perfectamente separadas y lisas. La concretadura de cada uno de los tubos se efectuó sin interrupción evitando pegadas defectuosas que pudieran ocasionar filtraciones. Para ello fué necesario colocar todo el moldaje interior y enfierrar con su doble armadura toda la cañería; el moldaje exterior hecho en trozos pequeños se iba colocando a medida que se avanzaba con el concreto. Se usó una mezcla de 425 Kg./cm³ controlándose rigurosamente la cantidad de agua. El cubo de concreto por tubería es de 130 m³ con 14.000 Kg. de fierro.

Se ocuparon alrededor de 100 operarios durante dos meses y medio, lo que da un término medio de 25 días por tubo. De estos 25 días, 5 correspondieron a concretadura y el resto a preparación del terreno, confección de la cama de concreto, moldajes y enfierradura del tubo.

Puestas en servicio las tuberías, han dado resultados muy halagadores, no

observándose grietas ni filtraciones. Esto era de prever ya que se usó concreto de 425 Kg. de cemento por m³ de concreto y su confección se controló meticulosamente. Los bloques de muestra sacados durante la construcción y ensayados a la compresión, dieron una fatiga de ruptura, a los 28 días, entre 380 y 490 Kg./cm².

f) **Casa de Máquinas.**—Como se ha dicho, los informes geológicos indicaban morrena como terreno de fundación de la Casa de Máquinas. Al ejecutarse las obras se vió que desgraciadamente, en el mismo sitio, de la Casa de Fuerza, la morrena estaba cruzada diagonalmente por un antiguo y profundo cauce del río, que posteriormente se había rellenado con aluviones de origen fluvio-glaciales y que presentaba la característica de contener capas sucesivas horizontales de arcilla, hasta de 0.80 m. de espesor. Fué, pues necesario extraer todo este volumen de suelo inapropiado, que abarcaba casi el 60% de la superficie de la Casa de Fuerza, para poder fundar. Esto significó hacer excavaciones hasta de 13.50 m. de profundidad (bajo la cota media de agua del Río); en algunos puntos se alcanzó la cota 54.20. El exceso de excavación se relleno hasta la cota 63.20 (cota original de fundación) con concreto pobre de 170 Kg. de cemento por m³ y con el máximo de bolón desplazador. En vista que el edificio quedaba fundado sobre un bloque rígido, fué posible obtener una fuerte economía en la fundación, eliminando la mayor parte del fierro consultado en la losa de base, prevista sobre terreno elástico.

Para trabajar en la excavación para fundar el edificio, fué necesario desviar el Río, lo que se hizo con los desmontes del corte de la Cámara de Carga, tubería y la misma Casa de Máquinas, corriendo paulatinamente la corriente hacia el barranco del lado opuesto; delante de los desmontes se hicieron defensas con pies de cabra y tablaestacado. Entre los desmontes y la Casa de Máquinas se construyó un doble tablaestacado que se hizo penetrar hasta las capas impermeables del terreno; estas tablaestacas se hicieron en la misma forma que las de la Bocatoma del Canal.

Para el agotamiento de las filtraciones dentro de la excavación, se empleó un gran número de grupos motor bomba de 1½" hasta 8" de diámetro de aspiración.

g) **Sub-Estaciones y Líneas de Transmisión.**—Desde un principio se presentaron inconvenientes en la construcción de las líneas de transmisión. Fué necesario iniciar su construcción antes de recibirse de Estados Unidos algunos elementos especiales que para el objeto se habían encargado, entre ellos un camión con semi-trailer en el cual se podrían transportar fácilmente los postes de concreto armado de 11.50 m. de largo y 1.800 Kg. de peso, un tractor con pluma y winche para levantar los postes en el terreno, etc.

En estas condiciones, se procedió a hacer el transporte de los postes en un camión corriente de 4 ton.; para evitar las deformaciones de los postes y por lo tanto las agrietaduras, se armaron unas plataformas de tablonés de 3" X 10" que fueron colocadas en los costados de los camiones.

Para la erección de los postes en el terreno se empleó una pluma de alerce de 6,5 m. de altura de 8" de diámetro. Una yunta de bueyes tirando del extremo libre del cable que pasa por patecas triples, levanta y coloca en sitio el poste.

Nueve operarios para las faenas de levantar la pluma, colocar los vientos, presentar el poste, rellenar el hoyo, etc., es lo que se necesita para una faena de esta naturaleza. Se llegó en esta forma a levantar hasta 11 postes en un día de trabajo.

Las faenas de encrucetadura y tendido de cables no han tenido mayores dificultades.

Se construyeron las siguientes líneas de transmisión:

Pilmaiquén-Osorno	43 Km. doble circuito.
Osorno-Puerto Montt	106 » (Puerto Varas, Puerto Montt, doble circuito).
Osorno-La Unión	37 » doble circuito.
La Unión-Corral	69 » simple circuito, postación de alerce.
Pilmaiquén-Somasur	6,5 » simple circuito.

El montaje de la Central, supervisado por un técnico de Morgan Smith y otro de General Electric fué hecho por técnicos y operarios chilenos.

El montaje propiamente tal, se inició a principios de Enero de 1944. En junio se hacían las primeras pruebas de las dos unidades instaladas y en Julio trabajaban en condiciones normales y el primero de Agosto se conectaban las líneas a Osorno y Puerto Montt y las respectivas subestaciones, y comenzó a suministrar corriente.

El día 4 de Noviembre se ha inaugurado oficialmente esta Central, ya totalmente terminada en su primera fase.

El proyecto de la Central tanto las obras civiles como la parte eléctrica y la construcción de la obra, fué realizado por los Ingenieros de la Empresa Nacional de Electricidad, siendo todos ellos de nacionalidad chilena.
