APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO MAULE

Augusto Matte G.

1974

1. DESCRIPCION DE LA HOYA DEL RIO MAULE

El río Maule desemboca en el mar a los 35°25' de latitud sur y drena las aguas que recibe en todo lo ancho del país entre los 35°05' y los 36°30' de latitud. Esta cuenca limita al norte con la del río Mataquito y por el sur con la hoya del río Itata. Cubre una superficie de 19 040 Km2. Figura VI-1 (hoya del Maule).

La circunstancia de que el cordón más importante de la cordillera de la costa, al sur del río Maule, se encuentre ubicado en las inmediaciones del litoral, ha hecho que los cursos que se forman en su seno escurran hacia el Valle Longitudinal y viertan al mar a través del río Maule. En este sentido es interesante hacer resaltar que el río Purapel, que nace en las cercanías de Constitución, tributa al río Loncomilla corriendo de mar a cordillera. El río Cauquenes presenta una característica similar, puesto que nace en las inmediaciones del curso inferior del río Itata.

El río Maule nace en la laguna del mismo nombre en la alta cordillera a la altitud de 2 200 m s.n.m. Esta laguna, de origen volcánico tiene una superficie de 86 Km2 aproximadamente.

En su primera parte el Maule corre en dirección NW. A los 12 Km de su nacimiento recibe las aguas del río Campanario, a los 27 Km al río Puelche; a los 40 Km al río Cipreses que nace en la laguna Invernada.

En la parte baja de la cordillera de Los Andes, el río Maule obtiene los aportes de su principal afluente cordillerano, el río Melado, que nace en la laguna del Dial y que le entrega los tributos cordilleranos de toda la región alta situada al sur del Maule. Estos son poco inferiores a los del propio Maule en su confluencia.

Poco aguas abajo de la junta de los ríos Maule y Melado, desemboca en el Maule por la ribera Norte el río Claro, que colecta las aguas desde el volcán Descabezado Grande.

FIG. VI-1

HOYA DEL RIO MAULE

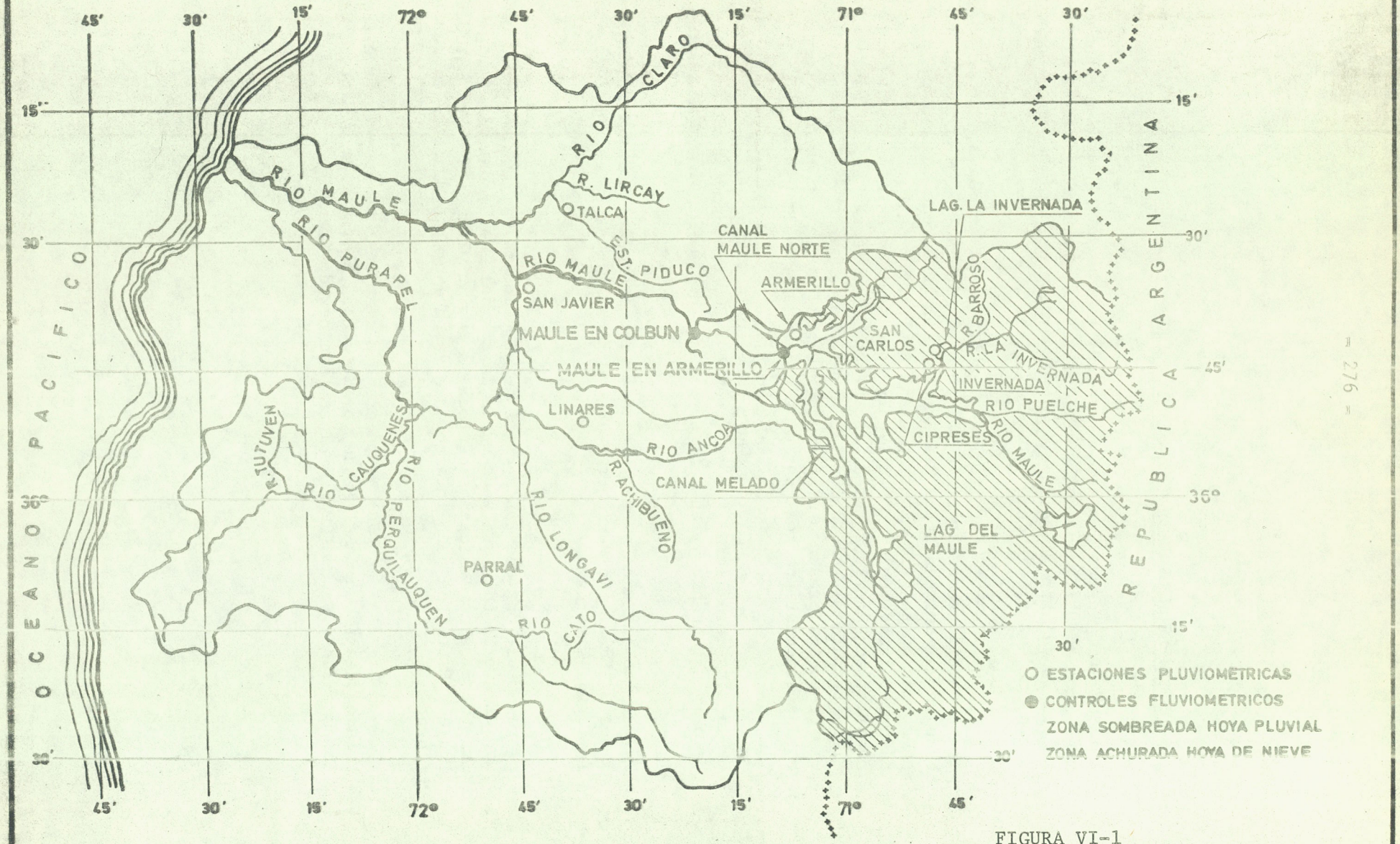

FIGURA VI-1

Ya en el Valle Longitudinal, el río Maule recibe el aporte del río Loncomilla, colector de todas las aguas que vienen por el Sur. Este río se forma por la unión de los ríos Longaví y Perquilauquén. Este último es el más meridional de los ríos que nacen en la cordillera de Los Andes y que concurren con sus aguas al Maule. De este río son afluentes los ríos Cauquenes y Purapel. Al Loncomilla llegan más abajo los aportes de los ríos Achibueno y Putagán. El río Achibueno recibe las aguas del río Ancoa que nace en las estribaciones exteriores de la cordillera de Los Andes.

Aguas abajo del río Loncomilla, desemboca en el Río Maule por el norte el Río Claro, que nace a los piés del Alto del Pelado y que se alimenta de las nieves invernales, las que se derriten en plena primavera y sólo en años lluviosos logran perdurar parte del verano. El Claro en su curso inferior recibe las aguas del Río Lircay, de hidrología similar a la de su receptor.

Constituído definitivamente el Maule, en la forma descrita, corre por un valle desfiladero que corta la Cordillera de la Costa, dejando márgenes de muy diversa extensión a ambos lados. A medida que avanza hacia el mar, el valle se hace cada vez más estrecho. La parte inferior de su curso es navegable por embarcaciones de hasta 40 toneladas, pero ya a unos pocos kilómetros de su desembocadura, ello se hace imposible por los rápidos y correntadas que allí existen.

Se puede apreciar por la descripción de las cuencas, que el Río Maule es un ejemplo notable de gran río colector.

Como se ha dicho anteriormente el Río Maule nace en la Laguna del Maule, Laguna natural de origen volcánico en cuyo desague natural, ENDESA, en 1957 terminó la construcción de un muro de presa con la finalidad de aumentar su poder regulador. El muro, de materiales graduados, tiene 47 m de altura máxima, contados desde su fundación, con lo que se obtuvo un volumen de embalse total de aproximadamente 2 000 millones de m3 y de los cuales 1 570 x 10^6 m3 son de regulación útil. Como el caudal medio anual afluente a la Laguna es del orden de 12,5 m3/seg, lo que equivale a un volumen anual de 405 x 10^6 m3, la regulación obtenida con este embalse es interanual, ya que su volumen de regulación es aproximadamente 3,9 veces su volumen afluente anual promedio. Figura VI-2 (Sistema General de Riego y Energía).

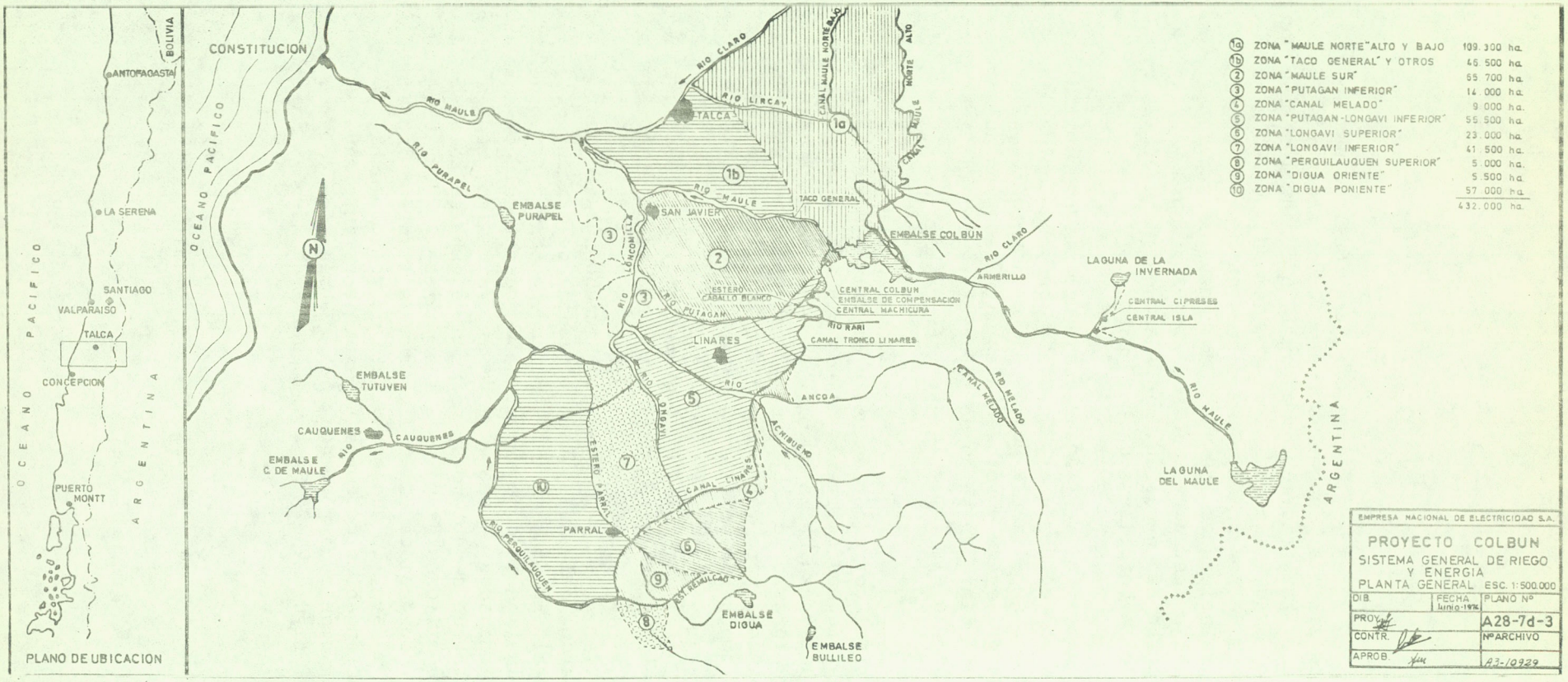
BOLIVIA
ANTOFAGASTA
LA SERENA
SANTIAGO
VALPARAISO
TALCA
CONCEPCION
PUERTO MONTT
OCEANO PACIFICO
ARGENTINA
PLANO DE UBICACION
CONSTITUCION
RIO CLARO
RIO LIRCAY
CANAL MAULE NORTE ALTO
RIO MAULE
RIO PURAPEL
EMBALSE PURAPEL
SAN JAVIER
TACO GENERAL
EMBALSE COLBUN
RIO LONCOMILLA
ESTERO CABALLO BLANCO
RIO PUTAGAN
CENTRAL COLBUN
EMBALSE DE COMPENSACION
CENTRAL MACHICURA
RIO RARI
CANAL TRONCO LINARES
LINARES
RIO ARMERILLO
LAGUNA DE LA INVERNADA
CENTRAL CIPRESES
CENTRAL ISLA
RIO MAULE
EMBALSE TUTUVEN
CAUQUENES
RIO CAUQUENES
EMBALSE C. DE MAULE
RIO LONGAVI
ESTERO PARRAL
CANAL LINARES
ANCOA
ACHIBUENO
CANAL MELADO
RIO MELADO
LAGUNA DEL MAULE
PARRAL
RIO PERQUILAUQUEN
CANAL PERQUILAUQUEN
EMBALSE DIGUA
EMBALSE BULLILEO
ARGENTINA
1a ZONA "MAULE NORTE" ALTO Y BAJO 109.300 ha.
1b ZONA "TACO GENERAL" Y OTROS 46.500 ha.
2 ZONA "MAULE SUR" 65.700 ha.
3 ZONA "PUTAGAN INFERIOR" 14.000 ha.
4 ZONA "CANAL MELADO" 9.000 ha.
5 ZONA "PUTAGAN-LONGAVI INFERIOR" 55.500 ha.
6 ZONA "LONGAVI SUPERIOR" 23.000 ha.
7 ZONA "LONGAVI INFERIOR" 41.500 ha.
8 ZONA "PERQUILAUQUEN SUPERIOR" 5.000 ha.
9 ZONA "DIGUA ORIENTE" 5.500 ha.
10 ZONA "DIGUA PONIENTE" 57.000 ha.
432.000 ha.
EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A.
PROYECTO COLBUN
SISTEMA GENERAL DE RIEGO Y ENERGIA
PLANTA GENERAL ESC. 1:500.000
DIB.
FECHA Junio-1974
PLANO Nº
PROY.
A28-7d-3
CONTR.
Nº ARCHIVO
APROB.
A3-10929

FIGURA VI-2

El río Cipreses nace en Laguna Invernada. Esta laguna de origen volcánico tiene un caudal afluente promedio de 34 m3/seg que equivale a un volumen anual promedio de 1 070 x 10^6 m3. ENDESA, en el año 1958 terminó la construcción de una presa de materiales graduados de 28 m de altura máxima sobre el desague natural de la laguna, obteniendose un volumen de regulación 170 x 10^6 m3. Estos valores indican que la laguna sólo tiene influencia estacional sobre el régimen hidrológico de su cuenca afluente, traspasando caudales de deshielo a verano y otoño.

En el río Bullileo, afluente del río Longaví, la Dirección de Riego puso en servicio en el año 1949 el embalse Bullileo con un volumen de regulación de 60 x 10^6 m3. Este embalse de regulación estacional está formado por un muro de enrocado con núcleo impermeable de 70 m de altura máxima y 260 m de longitud en el coronamiento.

En el río Cato, afluente del río Perquilauquén, la Dirección de Riego del M.O.P., puso en servicio en el año 1968 el embalse Digua con 220 x 10^6 m3. El muro de este embalse es de materiales graduados de 89 m de altura máxima y 420 m de longitud en el coronamiento. Este embalse cuenta con los recursos del río Cato, y con los caudales que se traspasan desde el río Longaví a este embalse por medio de un canal alimentador. La regulación de este embalse sólo tiene influencias estacionales traspasando aguas de invierno y deshielo a la temporada de regadío.

En el río Tutuvén, afluente del río Cauquenes, la Dirección de Riego puso en servicio en el año 1942 el embalse Tutuvén. Este embalse, cuyo muro de presa es de materiales graduados de 32 m de altura máxima y 152 m de longitud en el coronamiento, tiene un volumen de regulación de 16 x 10^6 m3 y produce solo una regulación estacional, ya que su volumen afluente promedio anual alcanza a 30 x 10^6 m3.

En la cuenca del río Maule, ENDESA ha construído dos centrales hidroeléctricas : las centrales Cipreses e Isla.

La central Cipreses capta sus aguas en la Laguna Invernada, la que fluctúa entre las cotas 1 280 y 1 318, y las entrega al río Cipreses a la cota 942. La captación de esta central está constituida por 2 tomas paralelas de tipo profundas, ubicadas en el costado oriente de la laguna. Las tomas entregan sus aguas al túnel de aducción que tiene una longitud total de 8 635 m, de sección circular de 3,6 m y que trabaja a presión. En el extremo de aguas abajo se ubica una Chimenea de Equilibrio de tipo diferencial. El túnel de aducción termina en la cámara de válvulas donde se ubican la pieza de trifurcación y las válvulas de entrada a las tuberías de presión. Las tuberías de presión son 3 : cada

una de ellas tiene 535 m de longitud y sus diámetros varían entre 1,90 y 1,20 m. La Casa de Máquinas alberga 3 equipos turbinas-genradoras y todos sus equipos auxiliares.

El canal de desague recibe el caudal que pasa por las turbinas y lo puede entregar ya sea al río Cipreses o al canal de aducción de la rama Cipreses de la central Isla.

El caudal máximo que utiliza la central Cipreses es de 36 m3/seg. La potencia instalada en la central Cipreses es de 103 000 kW y produce una energía media anual de 440 x 10^6 kWh.

La central Isla, cuya casa de máquinas se ubica a 3Km de la planta Cipreses, utiliza las aguas de los ríos Cipreses y Maule que las capta y conduce por medio de dos aducciones separadas que, como ramas de una espuela, convergen en un túnel y chimenea de equilibrio comunes. Las aguas del río Cipreses, reguladas en la laguna de la Invernada, la central Isla las toma del desague de la central Cipreses, lugar donde existe además una bocatoma adicional que le permite captar las filtraciones de la laguna de la Invernada, que escurren por el lecho del río Cipreses. Estas filtraciones, que no son aprovechables por la central Cipreses, fluctúan con la cota de la Laguna alcanzando al máximo de 22 m3/seg.

La rama Cipreses diseñada para conducir 42 m3/seg consta de la captación, un canal de 1 636 m de longitud, una obra de descarga y un túnel de 623 m de largo.

La rama Maule diseñada también para un caudal de 42 m3/seg está constituida por una captación, un túnel con escurrimiento libre de 160 m de largo, un canal de 130 m de longitud, un desarenador, un canal cubierto de 26 m de largo, un túnel de 3 934 m de longitud.

Tanto el túnel Cipreses como el túnel Maule convergen en un punto ubicado en el interior de la montaña desde el cual nace el túnel Común que termina en la chimenea de equilibrio. Este túnel con capacidad para conducir 84 m3/seg tiene una longitud total de 912 m.

Las tuberías de presión son 2 conductos paralelos de acero de diámetros variables entre 3,60 y 3,30 y cada una tiene una longitud total de 934 m cada una.

La casa de máquinas alberga 2 equipos turbinas-generador, que entregan las aguas al canal de evacuación de 200 m de largo, el cual las devuelve al río Maule a la cota 841. La potencia instalada en esta central es de 68 000 kW y produce una energía media anual de 450 x 10^6 kWh.

En la actualidad se riegan 330 000 há con aguas provenientes de la cuenca del río Maule de las cuales solamente 80 000 há tienen una seguridad de riego aceptable. De las 330 000 há indicadas se riegan con aguas captadas directamente del río Maule 220 000 há a las que hay que agregar 20 000 há que se riegan con aguas captadas del río Melado. Las restantes se riegan con recursos provenientes de los tributarios del río Loncomilla.

Con la puesta en servicio del embalse de la Laguna del Maule, cuya operación actual se efectúa de acuerdo a las necesidades del regadío, se ha podido mejorar la seguridad de riego de zonas cuyos canales captan directamente del río Maule.

2. RESEÑA HISTORICA DEL PROYECTO COLBUN

A fines de 1963 el Programa de Cooperación técnica Chile-California propuso la formulación de un plan de asistencia técnica para estudios sobre desarrollos de recursos de agua. Las posibilidades de llevar adelante un proyecto de ayuda de este tipo fueron analizados por el ingeniero del Departamento de Recursos de agua del Estado de California, Mr. William L. Berry.

De acuerdo a esta idea, a mediados de 1964 se desarrolló un Proyecto de Planificación Regional de la cuenca del río Maule. Jefe de este Proyecto fue designado el ingeniero señor William L. Berry de California y el ingeniero señor Ricardo Edwards G. como contraparte de Chile. Los objetivos principales perseguidos por el Proyecto fueron reunir la información existente y presentar a través de los estudios necesarios, un programa de proyectos concretos de utilización de aguas de la hoya del Maule, con las justificaciones económicas necesarias para su correspondiente financiamiento.

La primera labor que correspondió a los ingenieros del Proyecto fue la de ponerse en contacto con las Instituciones u Organismos interesados en la utilización racional de los recursos de agua, Corporación de Fomento, Departamento de Conservación de Suelos, Fomento Agropecuario y principalmente Dirección de Riego y Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA).

En su primera fase de estudios la labor del Proyecto Chile-California se limitó a una evaluación preliminar de los recursos de suelos, a indicar algunos proyectos específicos cuya factibilidad técnica y económica podría ser conveniente estudiar y a sintetizar los planes de regadío y desarrollos hidroeléctricos existentes en la zona. No se llegó al análisis de proyectos de usos múltiples debido principalmente a falta de tiempo.

A través del examen de los antecedentes cartográficos y de las exploraciones realizadas para cumplir la labor señalada en el párrafo anterior, se pudo comprobar la existencia en la zona de los cerros de Colbún de un lugar de características muy favorables para la construcción de una presa que permitiese embalsar agua para usos múltiples, especialmente Riego y Energía Eléctrica.

En Mayo de 1965, los ingenieros del Programa Sres. Ricardo Edwards y Emilio Donoso con los antecedentes disponibles en esa época emitieron el informe "Reconocimiento Preliminar de un embalse de uso múltiple en el río Maule en la zona de Colbún". En el se planteó que parecería factible y muy atractivo la construcción de un embalse en la angostura de Colbún de 110 m de altura con fines de regadío y energía.

Proponía regar con dicho proyecto los terrenos ubicados al sur del estero Machicura hasta limitar con los que se rieguen con el proyecto Digua. Se contabilizó una extensión de 97 600 há de nuevo riego.

El desarrollo hidroeléctrico lo hacía posible dejando un colchón de aguas muertas de 70 m y ubicando la central al pié de la presa.

Un punto importante de ese informe es que se indicó que con la formación de este lago con gran poder de regulación podría dejarse la laguna del Maule para uso exclusivo del sector energía.

En las recomendaciones propone que se realicen los estudios conducentes a determinar la factibilidad técnica y económica del proyecto, para lo cual sugería la formación de una comisión de trabajo integrada por personal de la Dirección de Riego del M.O.P., de la ENDESA y del Programa Chile-California.

Esta sugerencia fue aceptada con modificaciones y se formó un comité integrado por ENDESA, Dirección de Riego y CORFO para que con la asesoría del programa Chile-California coordinara la labor destinada a estudiar los usos del agua del río Maule para riego y energía eléctrica. A la ENDESA, se le entregó la responsabilidad de los estudios hidrológicos destinados a determinar las disponibilidades de agua y los anteproyectos necesarios para fijar las características de las obras de embalse y de la Central Hidroeléctrica propiamente tal. A la Dirección de Riego se le asignaron los estudios referentes a necesidades de agua para riego, clasificación de suelos, proyectos de obras de distribución de caudales para riego y beneficios previsibles del aprovechamiento agropecuario. La CORFO se encargó de prever la asistencia técnica del Programa Chile-California en el caso que el Comité Mixto lo estimare conveniente. A la vez se le asignó la elaboración de

los estudios económicos generales y de factibilidad del proyecto así como el estudio de los recursos subterráneos. También se le encomendó la coordinación del proyecto Colbún con los planos regionales y nacionales del desarrollo económico.

En Noviembre de 1965, ENDESA emitió un informe preliminar sobre el anteproyecto central Colbún en el cual se presentó un cuadro resumido de los antecedentes que se disponían respecto al embalse Colbún y su aprovechamiento principalmente para generación eléctrica, regadío y control de crecidas.

Fundamentalmente las obras consistían en una presa de 115 m de altura, una aducción de 3 Km para atravesar los cordones de cerros que existen en el lado sur de la garganta de Colbún para obtener una caída de 175 m aprovechando el desnivel existente entre el río Maule y el Valle del estero Machicura. La descarga de la central entregaría los caudales a un estanque de compensación para luego conducirlos a la red de canales de riego durante el período de verano y en invierno las restituiría al río mediante un canal de 12 Km de longitud. El embalse permitía regar, según dicho informe 120 000 há nuevas actualmente no regadas, mediante el canal Linares y aumentar la seguridad de riego de 300 000 há que hoy se riegan con baja seguridad.

Según el informe, el desarrollo hidroeléctrico permitiría instalar 500 000 kW y produciría una generación media anual de 3 000 GWh.

Se recomendó continuar con los estudios de terreno para determinar la factibilidad técnica, ya que los estudios económicos preliminares daban resultados muy favorables.

Con los resultados del estudio indicado, ENDESA incorporó el proyecto Colbún entre las obras futuras de su plan de instalaciones, responsabilizándose de la realización de los estudios y proyectos de las obras de embalse y de las obras del desarrollo hidroeléctrico y la Dirección de Riego quedó a cargo de las obras de riego futuro.

A medida que se obtenían mayores y mejores antecedentes de terreno, se estudiaron diversas soluciones de disposición general de las obras que constituirían el proyecto.

La necesidad de contar con un estanque de compensación que regulara los caudales que entregaría la central Colbún a los canales de regadío, por exigencias de su funcionamiento, hizo atractivo la instalación de una nueva central al pié de este embalse de compensación. Así nació la central Machicura.

ENDESA ha continuado los estudios, encontrándose el proyecto en estado de haber definido la solución general y la disposición general de las obras que son de su responsabilidad. Se cuenta con anteproyecto avanzado de las obras de embalse, del desarrollo hidroeléctrico y de las obras de reposición de caudales a los sistemas de riego que son interferidas por las anteriores.

La Dirección de Riego del M.O.P. ha ejecutado estudios generales de factibilidad de los nuevos riegos que aportaría el proyecto Colbún. Estos estudios se encuentran en los informes que ha emitido esa Dirección en el año 1967 "Alternativa óptima de riego". Los estudios analizan diversas soluciones para el riego de los terrenos agrícolas ubicados en la cuenca del Maule utilizados todos los recursos de dicha hoya hidrográfica. Se llegó a la conclusión que el sistema óptimo de riego de la zona del Valle Central de la cuenca del Maule estaría constituido por el embalse Colbún, el canal Linares y los embalses y canales ya construidos o en actual construcción.

El desarrollo de los estudios y proyectos se han llevado a cabo en una perfecta coordinación entre ENDESA y la Dirección de Riego.

3. DESCRIPCION DEL PROYECTO ACTUAL

3.1 Antecedentes Generales

El proyecto Colbún consulta el aprovechamiento del tramo inferior del valle andino del río Maule siendo su obra fundamental una presa que cerraría el cauce de este río en una angostura designada con el nombre Colbún, debido a su cercanía al pueblo del mismo nombre, la que se encuentra a unos 60 Km al suroriente de la ciudad de Talca. El embalse así creado regularía los caudales aportados por una hoya hidrográfica de 5 710 Km2 y tendría uso múltiple para energía y riego.

El volumen total del embalse Colbún alcanza a 1 490 millones de m3 (de los cuales 832 millones corresponden al volumen de regulación normal, 276 millones a un Colchón de reserva y 382 millones de volumen muerto), posibilitará la generación anual de 3 200 millones de kWh mediante una potencia instalada total de 740 000 kW en dos centrales hidroeléctricas. También hará posible el mejoramiento del regadío de 330 000 há actualmente regadas con menor seguridad y dejar bajo riego 100 000 há actualmente de secano. (Fig. VI-3)

3.2 Descripción del desarrollo hidroeléctrico

Como se ha indicado anteriormente la obra fundamental del Proyecto Colbún en el embalse que le dá el nombre a este desarrollo de uso múltiple.

Para formar el embalse se dispondrá en la angostura de Colbún un muro de tierra de 110 m de altura máxima, 540 m de longitud de coronamiento y con un volumen de alrededor de 13 400 000 m3. Será necesario también construir dos pretiles ubicados en portezuelos existentes en los costados norte y sur de la angostura principal. El pretil norte se extiende a lo ancho de la terraza El Colorado y tiene una longitud de 2 900 m dividido en 2 tramos de 2 600 m (Pretil El Colorado) y el otro de 300 m (Pretil Centinela). La altura máxima de este muro será de 27 m. El Pretil Sur, que cerrará el portezuelo donde nace el estero Caballo Blanco, será un muro de 10 m de altura máxima y 140 m de longitud de coronamiento. El volumen total de estos pretiles

N
N. 25.000
N. 20.000
N. 15.000
N. 10.000
N. 5.000
RIO MAULE
STA. ANA DE QUERI
CANAL 3
CANAL 2
CANAL 1
TUNEL GENERAL
ESTERO PERQUIN
ESTERO VILCHES
PRETIL EL COLORADO
PRETIL CENTINELA
PRESA PRINCIPAL
VERTEDERO
TUNELES DE DESVIACION PROVISIONAL
PLANTA DE BOMBEO
CASA DE MAQUINAS
CASA DE VALV.
CENTRAL COLBUN
CANAL DE EVACUACION COLBUN
COLBUN
TUNEL DE ADUCC.
CHIMENEA DE EQUILIBRIO
EMBALSE COLBUN
PRETIL PONIENTE
PRETIL SUR
EMBALSE MACHICURA
PRESA MACHICURA
PRESA SECUNDARIA
CENTRAL MACHICURA
CANAL EVACUACION MACHICURA
CANAL TRONCO LINARES
PANIMAVIDA
RIO PANI
OBRAS DE ENTREGA A RIEGO
OBRAS DE ENTREGA A LOS CAUCES NATURALES

FIGURA VI-3

será de alrededor de 4 000 000 m3 con lo cual el movimiento de tierras total de los muros del embalse Colbún será de 17 400 000 m3.

El desarrollo hidroeléctrico propiamente tal se efectuará a través de dos centrales generadoras, la central Colbún y la central Machicura.

La central Colbún utilizará las aguas del embalse Colbún y las desviará hacia el valle que existe al surponiente del valle del río Maule, el cual tiene una cota media 65 m más baja que el lecho del río en la angostura donde se ubicará la presa. Esta característica topográfica permitirá que con una presa de 110 m de altura se logre un salto aprovechable del orden de 170 m .

Las aguas serán captadas en el embalse Colbún mediante dos bocatomas profundas ubicadas unos 300 m aguas arriba del eje de la presa en la ladera sur del río Maule. La aducción estará constituida por 2 túneles en presión paralelos, que atravesarán el macizo de cerros ubicados al sur del río Maule para conducir los caudales captados del embalse hasta la zona de caída. Cada túnel será de 50 m2 de sección útil y sus longitudes serán de 2 690 y 2 750 m respectivamente. Cada túnel de aducción rematará en su respectiva Chimenea de Equilibrio, la que consistirá en un pique de 18 m de diámetro y 90 m de altura.

De cada Chimenea de Equilibrio partirá un túnel blindado con palastro de 6,5 m de diámetro y 230 m de longitud, el cual se prolongará en una tubería de presión de igual diámetro y 120 m de longitud.

Al llegar a casa de máquinas cada tubería se bifurcará en otras 2 de 4,50 m diámetro para alimentar así a los 4 grupos turbina-generador de que dispondrá la central.

La casa de máquinas albergará en su interior a 4 grupos generadores de 150 000 kW cada uno, así como también a todos los equipos auxiliares y de control. Las turbinas serán del tipo Francis de eje vertical de 204 000 CV, para un caudal máximo de 112,5 m3/seg cada una, operando con una altura neta media de 160 m. Los generadores serán sincrónicos de 167 MVA cada uno, 13,8 kV de voltaje de generación y 0,90 de factor de potencia.

Mediante un canal de evacuación de 1 670 m de longitud las aguas utilizadas por la central Colbún serán conducidas hasta el embalse Machicura que servirá de estanque de compensación. Este embalse de 7 millones de m3 de volumen de regulación útil, tendrá por finalidad regularizar las aguas generadas por la central en las horas de punta de la demanda, para entregar a los canales de regadío caudales constantes a lo largo del día en las temporadas de riego.

Para formar el embalse Machicura será necesario construir la presa del mismo nombre, así como también una presa secundaria y un largo pretil llamado Pretil Poniente. La presa Machicura, que cerrará el cauce del estero Caballo Blanco, será de tierra, de 31 m de altura, 530 m de longitud de coronamiento, y con un volumen total de 1 255 000m3. La presa secundaria cerrará una pequeña hondonada existente entre los cerros que limitan en futuro embalse por el oriente. Tendrá una altura máxima de 15 m y 180 m de longitud de coronamiento. El Pretil Poniente, que cerrará el embalse en esa dirección, tendrá una longitud de coronamiento de 2 670 m y una altura máxima de sólo 6 m.

Adyacentes al muro principal del embalse Machicura se encontrarán las obras de la central hidroeléctrica del mismo nombre, la que constituiría el segundo escalón del desarrollo hidroeléctrico del Proyecto Colbún.

La central Machicura será una central del tipo de pié de tranque y tendrá una potencia total instalada de 140 000 kW. Captará sus aguas directamente del embalse Machicura mediante una bocatoma superficial, desde la cual partirán 3 tuberías de presión de acero de 5,3 m de diámetro y 127 m de longitud cada una.

La casa de máquinas será exterior y estará situada en una excavación al pié de los cerros que cierran el embalse por el suroriente. En su interior se ubicarán 3 grupos generadores de 46 600 kW cada uno. Las turbinas serán Francis de eje vertical de 63 500 CV cada una, para operar bajo una altura neta del orden de 38 m. Los generadores serán sincrónicos de 52 MVA, voltaje de generación de 13,8 kV y 0,90 de factor de potencia.

Las aguas utilizadas por la central Machicura o las descargadas por el vertedero de la presa, serán conducidas por un canal de evacuación de 2 800 m de largo hasta el cauce del estero Caballo Blanco. Seguirán estas aguas a lo largo de todo el cauce de este estero hasta caer al río Rari y seguir por éste hasta el río Putagán, el que a su vez las descargará al río Loncomilla, afluente del río Maule. Es así como las aguas del río Maule captadas en el embalse Colbún serán devueltas a este río en la confluencia con el Loncomilla, en las cercanías de la ciudad de San Javier, a unos 40 Km aguas abajo de la presa Colbún.

Junto a las centrales Machicura y Colbún se dispondrán sendas subestaciones, la última de las cuales permitirá enlazarse con el sistema troncal de transmisión que une la zona central y sur a todo lo largo. La puesta en marcha de este desarrollo hidroeléctrico hará necesario ampliar este sistema troncal desde Colbún hacia el Norte, transformando la línea de doble circuito de 220 kV en una de 400 kV y agregando una segunda en 400 kV. En esta forma la energía generada por las centrales del proyecto Colbún podrá llegar a cualquier zona del Sistema Interconectado del país. (Fig. VI-4).

3.3 El sector riego

En relación con el sector Riego dentro del Proyecto Colbún, debe distinguirse 2 aspectos :

- La interferencia del proyecto de las obras de embalse e hidroeléctricas con las obras de regadío existentes en la zona y

- El Proyecto de habilitación de nuevas superficies al regadío y el mejoramiento de la seguridad de las área actualmente regadas.

3.3.1 Interferencias con el Sistema actual de regadío

Los canales que tienen bocatoma en el río Maule pueden dividirse en :

- Canales que tienen su bocatoma aguas arriba del embalse Colbún.

- Canales que tienen su bocatoma aguas abajo del embalse Colbún.

RIO MAULE
EMBALSE COLBUN
PRETIL EL COLORADO
PRESA
TUNELES DE ADUCCION
CASA DE MAQUINAS
RIO MAULE
EVACUACION
EMBALSE MACHICURA
CENTRAL MACHICURA
CANAL DE EVACUACION
COLBUN
PRETIL PONIENTE
PRESA
CANAL DE RIEGO
CANAL DE RIEGO

FIGURA VI-4

Aguas arriba de la presa Colbún captan sus aguas dos canales de regadío, ellos son el Canal Melado y el Canal Maule Norte.

3.3.1.1 Canales que tienen su bocatoma aguas arriba del embalse Colbún.

Canal Melado

La bocatoma del canal Melado está ubicada en la parte alta del río Melado, tributario del río Maule por su ribera izquierda. Este canal tiene una capacidad máxima de 20 m3/s y atraviesa mediante un túnel hacia la hoya del río Ancoa a una cota muy superior a la de aguas máxima del embalse, razón por la cual no se vería afectado por el proyecto Colbún.

Canal Maule Norte

El canal Maule Norte tiene su bocatoma en la zona de Armerillo en la ribera norte del río Maule y a una cota superior a la de aguas máximas del embalse Colbún. Luego de un recorrido de cerca de 8 Km este canal se bifurca en dos : Canal Maule Norte Alto y Canal Maule Norte Bajo.

El canal alto tiene una capacidad de 27 m3/s y un trazado por ladera cerro a una cota siempre más alta que la del embalse Colbún, por lo que no se producen interferencias con éste.

El canal bajo con una capacidad de 41 m3/seg tiene su trazado en la terraza del Colorado a una cota 40 m más abajo que el canal alto y en buena parte quedará inundado por el futuro embalse, por lo que deberá ser alimentado de una nueva forma. Para este efecto se contempla ensanchar el canal alto para una capacidad de 68 m3/seg en sus primeros 16 Km y aguas abajo del pretil El Colorado por medio de un rápido con sus sistemas de compuertas, y colchón amortiguador de energía entregar los caudales correspondientes al canal Maule Norte Bajo existente.

3.3.1.2 Canales que tiene sus bocatomas aguas abajo del Embalse Colbún

La concepción del aprovechamiento hidroeléctrico Colbún-Machicura que considera su desarrollo fuera del río Maule afectará el regadío actual de la zona situada entre el sitio de la presa Colbún y el

punto de restitución de las aguas al río Maule, puesto que todas las bocatomas de los canales de regadío ubicadas entre esos puntos quedarán sin recursos.

Los canales que tienen bocatoma en esa zona son :

Canal Maule Sur

Su capacidad es de 45 m3/s y posee dos bocatomas. La primera ubicada aproximadamente 1.5 Km aguas abajo de la presa del embalse Colbún (cota 325 m s.n.m.) y la otra situada en el cerro El Morro, unos 4 Km aguas abajo de la presa (cota 310 m s.n.m.). Este canal alimenta una gran cantidad de canales menores.

Taco General

Constituye una toma en el río Maule, en la ribera norte aproximadamente a la cota 270 m s.n.m. Su capacidad es de 24 m3/s y alimenta a 17 canales que abastecen parte de la zona ubicada al norte del río Maule hasta el estero Perquin.

Canales Menores

Entre el sitio de la presa y el lugar de confluencia del río Maule con el Loncomilla existe un gran número de canales de pequeña capacidad que junto con los canales Maule Norte, Maule Sur y Taco General sirven toda la zona cuyo regadío queda interferido con la construcción del embalse Colbún.

En la figura N° VI-5 se muestra una planta general donde se visualiza la interferencia del embalse con el sistema de riego.

Del estudio de las diversas soluciones posibles para reponer los caudales de regadío a estos canales se ha obtenido que la que presenta mayores ventajas es la que se describe a continuación :

Estaría constituida por tres canales ubicados a distintas cotas.

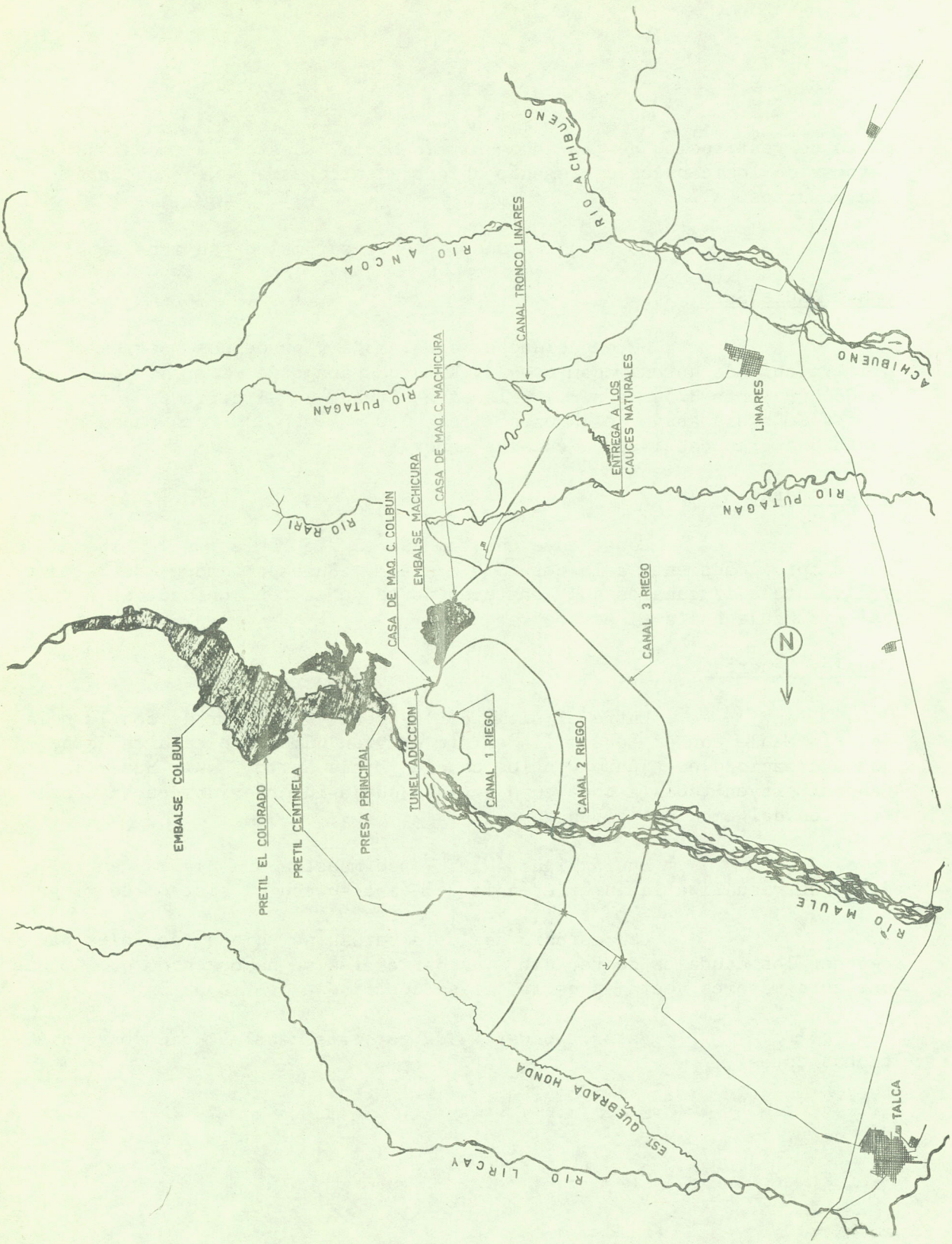
RIO ACHIBUENO
RIO ANCOA
CANAL TRONCO LINARES
RIO PUTAGAN
CASA DE MAQ. C. MACHICURA
ENTREGA A LOS CAUCES NATURALES
LINARES
ACHIBUENO
RIO RARI
CASA DE MAQ. C. COLBUN
EMBALSE MACHICURA
RIO PUTAGAN
CANAL 3 RIEGO
N
EMBALSE COLBUN
PRETIL EL COLORADO
PRETIL CENTINELA
PRESA PRINCIPAL
TUNEL ADUCCION
CANAL 1 RIEGO
CANAL 2 RIEGO
RIO MAULE
EST. QUEBRADA HONDA
TALCA
RIO LIRCAY

FIGURA VI-5

Canal de Riego N° 1

Captaría sus aguas del canal de evacuación de la central Colbún por medio de una planta elevadora que los subiría de cota en 58 m. Su caudal máximo alcanzaría a 5,9 m3/seg. La longitud de este canal sería de 10 Km y entregaría sus aguas al canal Maule Sur en el punto donde se encuentran las primeras entregas de este último a canales secundarios.

Canal de Riego N° 2

Captaría sus aguas del embalse Machicura en forma gravitacional a la cota de aguas mínimas de este embalse. La capacidad inicial de este canal sería de 12,4 m3/seg y su longitud total sería de 20 Km. Este canal alimentaría los canales de regadío a medida que estos lo cruzaran tanto en la zona sur como al norte del río Maule. Para cruzar el río, lo haría por medio de un sifón.

Canal de Riego N° 3

Captaría sus aguas en forma gravitacional en la descarga de la central Machicura. Tendría una capacidad inicial de 76 m3/seg y una longitud total de 42 Km. Al igual que el canal de riego N° 2, este canal iría entregando los caudales a los canales existentes a medida que lo corten tanto en el lado sur como en el lado norte. Además este canal entregaría al río Maule, aguas arriba del sifón con que lo cruza, los caudales para abastecer los canales menores de riego que tienen sus bocatomas en el río aguas abajo del sifón indicado.

El canal N° 1 abastecerá el agua de riego para la zona ubicada al sur del río Maule entre el canal N° 2 y el estero Caballo Blanco.

El canal N° 2 abastecerá la zona entre este canal y el canal N° 3 tanto al sur como al norte del río Maule y que actualmente es abastecida por los sistemas del Maule Sur y del Taco General.

El canal N° 3 entregará las aguas de riego de la zona ubicada al poniente de este Canal y comprendida entre los ríos Putagán, Loncomilla y Claro.

3.3.2 Proyecto de habilitación de nuevas superficies al riego y mejoramiento de la seguridad de áreas actualmente regadas

La zona ubicada entre los ríos Putagán y Perquilauquén se riega con los recursos de los ríos afluentes al Loncomilla, los que tienen caudales escasos para todos los terrenos agrícolas regables que allí existen. Por esta razón, la Dirección de Riego del M.O.P. ha estudiado la forma de mejorar la seguridad de riego de las áreas de esa zona actualmente regadas y poner en riego 100 000 há que hoy son de secano.

El canal Linares ha sido considerado como la mejor solución para resolver el problema indicado anteriormente.

Este canal tiene en su comienzo una capacidad de 88 m3/seg y una longitud total de 115 Km aproximadamente. Su trazado se desarrolla de norte a sur, captando sus aguas del canal de evacuación de la central Machicura en la zona de Panimávida para dirigirse hacia los faldeos sur poniente del cerro Meramávida para luego ir a cruzar el río Longaví a unos 8 Km aguas arriba del camino Longitudinal Sur.

Desde allí el canal Linares continúa paralelo a ese camino hasta la zona de Parral y luego se dirige hacia el río Perquilauquén, donde entrega los caudales correspondientes a esa zona, a unos 2 Km al oriente de la Carretera Panamericana.

El canal Linares va entregando los caudales de riego en cada uno de los sistemas que cruza, ya sea a través de cauces naturales o de sistemas de canales troncales. (Fig. VI-6).

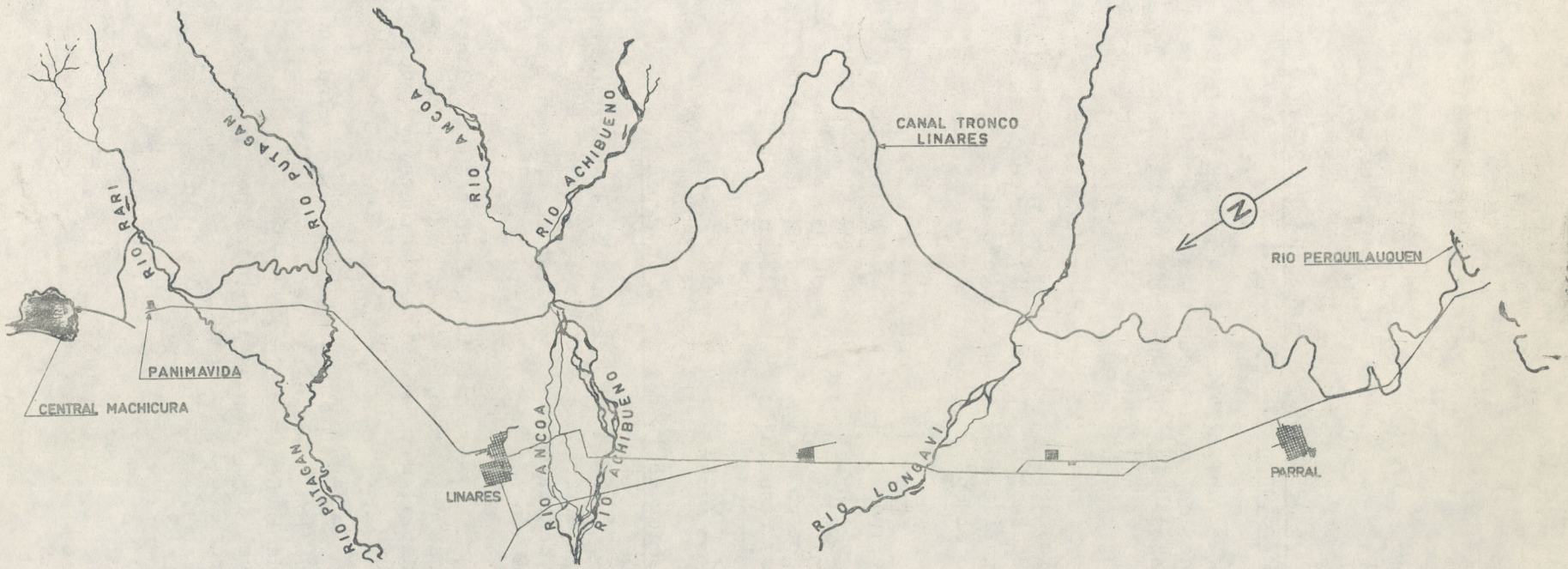
RIO RARI
RIO PUTAGAN
RIO ANCOA
RIO ACHIBUENO
CANAL TRONCO LINARES
N
RIO PERQUILAUQUEN
PANIMAVIDA
CENTRAL MACHICURA
RIO PUTAGAN
LINARES
RIO ANCOA
RIO ACHIBUENO
RIO LONGAVI
PARRAL

FIGURA VI-6

4. FORMA DE OPERACION DE LOS RECURSOS DEL RIO MAULE UNA VEZ QUE ENTRE EN SERVICIO EL EMBALSE COLBUN.

La hoya alta del río Maule abastecerá las demandas de riego de los canales que tienen sus bocatomas en ese río, las del canal Linares y las de las centrales Cipreses, Isla, Colbún y Machicura.

Los recursos de este río se podrán controlar por medio de los embalses Laguna de la Invernada, Laguna del Maule y Colbún. La operación de ellos deberá hacerse en forma tal de obtener la máxima seguridad de abastecimiento de las demandas de riego y energía y buscando el óptimo económico en la utilización de estos recursos.

Los estudios realizados hasta la fecha han proporcionado las bases de operación de este sistema, las que se exponen más adelante. Es necesario indicar que en el presente se están revisando estos estudios con nuevos y mejores antecedentes hidrológicos y con demandas de riego recientemente estudiadas por la Dirección de Riego del M.O.P. Los resultados que se obtengan de esta revisión servirán de base para la confección de un proyecto de convenio de utilización de los recursos del Maule entre energía y riego.

4.1 Operación de la Laguna la Invernada

Esta Laguna regula recursos que utiliza la central Cipreses y la rama Cipreses de la Central Isla. Las aguas generadas por estas centrales son devueltas al río Maule aguas arriba de toda otra captación.

La central Cipreses deberá operarse en forma tal que se trate de mantener la Laguna La Invernada lo más bajo posible para disminuir al máximo sus filtraciones, ya que estas no pueden ser generadas por la Central Cipreses.

De lo anterior se desprende que su operación va a depender de los caudales afluentes a la Laguna, de la capacidad de la aducción de la Central Cipreses y de las restricciones de subida y bajada del nivel de la laguna impuestas por condiciones de estabilidad del muro de presa de la Invernada.

Por otra parte, la generación de la central Cipreses debe cuidar que la Rama Cipreses de la central Isla, tenga capacidad para captar el total de los caudales que aporte el río Cipreses en la bocatoma de esa Rama.

4.2 Operación de la Laguna del Maule

Con los recursos regulados por este embalse se pueden satisfacer defícit de abastecimiento de demandas de :

- Riego exigidas aguas arriba del embalse Colbún.
- Riego exigidas aguas abajo del embalse Colbún.
- Riego del futuro canal Linares.
- Rama Maule de Central Isla.
- Energía en Central Colbún.

Las prioridades con que se entregarán los caudales desde la Laguna del Maule para abastecer los defícit de las demandas indicadas serán las siguientes :

Primera prioridad	Se entregarán los caudales deficitarios del río Maule para abastecer las demandas del Canal Maule Norte.
Segunda prioridad	Se entregarán los caudales deficitarios del embalse Colbún para abastecer las demandas de riego generable en Colbún y/o Machicura.
Tercera prioridad	Se entregarán los caudales deficitarios del embalse Colbún para abastecer las demandas de energía de la central Colbún.
Cuarta prioridad	Se entregarán los caudales necesarios para completar el volumen del colchón de reserva del embalse Colbún.

4.3 Operación del Embalse Colbún

El volumen de regulación útil del embalse Colbún será de 1 108 millones de m3 de los cuales 832 millones se usarán como volumen normal de regulación dejando un colchón de reserva de 276 millones de m3.

Desde este embalse se abastecerán las demandas de riego generables solamente en Colbún por medio de los canales de riego N° 1 y N° 2 descritos anteriormente; las demandas de riego generables en las centrales Colbún y Machicura por medio de los canales N° 3 y Linares y por último las demandas de energía que se generarán por ambas centrales.

Las prioridades con que se entregarán los caudales regulados por el embalse Colbún serán los siguientes :

Primera prioridad	Abastecimiento de las demandas de riego generables solo en Colbún.
Segunda prioridad	Abastecimiento de las demandas de riego generables en Colbún y Machicura.
Tercera prioridad	Abastecimiento de las demandas sólo por energías.

De acuerdo a lo anterior, los volúmenes de regulación disponibles en Colbún y Laguna del Maule se usarían con la siguiente secuencia para abastecer las demandas aguas abajo del embalse Colbún.

Primero se utiliza el volumen de regulación normal del embalse Colbún; cuando éste llega a la cota que corresponde al colchón de reserva se extraen los caudales necesarios de la Laguna del Maule y cuando esta última se agota, se usa el colchón de reserva de Colbún.

Esta forma de operar los embalses da las siguientes seguridades de abastecimiento de las demandas :

demandas de riego no generables	:	100 % de seguridad
demandas de riego generables	:	96.3 % de seguridad
demandas de energía	:	99.4 % de seguridad

Se definió como falla en el abastecimiento de las demandas de riego cuando los recursos no abastecen las demandas de cualquier mes de la temporada de riego, por lo tanto la seguridad de riego es anual, considerándose año fallado si existe falla en un mes de esa temporada.

De lo anterior se desprende que la seguridad de riego es el porcentaje de años no fallados en relación a la totalidad de años considerados en la estadística.

Se definió como falla en el abastecimiento de energía cuando los recursos no son capaces de abastecer los caudales exigidos por la central Colbún en cada uno de los meses. Esto indica que la seguridad en energía es mensual y se obtiene como el porcentaje de meses no fallados en relación a la totalidad de los meses de la estadística considerada.

El presente trabajo ha pretendido dar una visión general de los desarrollos existentes y del proyecto Colbún. En la hoya del río Maule existen posibilidades de otros desarrollos que en el plan de ENDESA se ubican más a futuro entre los que se cuentan los desarrollos de Maule - Melado y Constitución. Esos proyectos serán abordados en otro trabajo por el Ingeniero Sr. Rodolfo von Bennewitz.