



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FISICAS Y MATEMATICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

150  
*años*

INGENIERIA CIVIL  
UNIVERSIDAD DE CHILE



## CONTENIDO

<b>P</b> resentación	7
<b>C</b> apítulo I. Reseña Histórica	9
<b>C</b> apítulo II. Obras Civiles Contemporáneas	57
<i>Construcción de la red del Metro</i>	59
<i>Edificio Corporativo Telefónica CTC Chile</i>	79
<i>Embalse Puclaro "Intendente Fuentealba", MOPTT</i>	99
<i>Complejo Portuario Mejillones</i>	117
<i>Central Ralco, ENDESA Chile</i>	139
<i>Autopista Costanera Norte</i>	159
<b>C</b> apítulo III. La Carrera de Ingeniería Civil	177

## Presentación del libro

### 150 AÑOS DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD DE CHILE

#### "La Obra Gruesa"

Con gran satisfacción presentamos este libro que esperamos constituya un documento histórico para conmemorar el hito de cumplir 150 años desde la creación de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Chile. Siendo ésta la más antigua de nuestro país, sus profesionales han construido gran parte de la "Obra Gruesa" de Chile, la que presentamos a través de estas páginas, con la intención de entregar un merecido homenaje a quienes han contribuido al prestigio de nuestra profesión.

Desde su creación, el 7 de diciembre de 1853, la carrera de Ingeniería Civil fue concebida para fortalecer el sistema educacional, que en aquellos años necesitaba un salto cualitativo para alcanzar un nivel profesional. Esto impulsaría un gran desarrollo tecnológico, motivado por los efectos de la Revolución Industrial en nuestro país. Así, la principal finalidad era aplicar disciplinas a una industria naciente que, según cuenta el historiador Sergio Villalobos, en opinión de don Andrés Bello, "*apenas tenía en ejercicio algunas artes simples, groseras y sin proceder bien entendidos*", es decir, veía con angustia que unos malos artesanos desafiaran una difícil obra en una loca e inestable geografía.

Han pasado 150 años desde aquel magistral episodio histórico, período en el que hemos insistido en mantener ese espíritu que en esencia nos define como ingenieros de tradición.

Aquellos que leemos la realidad con el lenguaje de la ciencia, que aplicamos sus conocimientos para el desarrollo de las obras y sistemas que requiere la sociedad, y que constantemente creamos nuevos métodos para enfrentar los desafíos de nuestra disciplina.

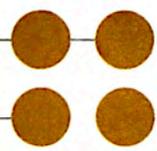
8 Así, tal como superamos los retos de la Revolución Industrial, hoy, un siglo y medio después, participamos con entusiasmo en la tarea de enfrentar los desafíos de la revolución tecnológica e informática y de la globalización. En esta nueva fase, que podemos imaginar como de "las terminaciones de la obra", el objeto requiere encontrarse armónicamente con su uso, integrarse en los procesos participando de la dinámica física y social de la cual forma parte, invitándonos con ello al análisis cada vez más detallado de los impactos generados sobre la naturaleza y la sociedad. Es la etapa en que la obtención de los recursos es acompañada de la preocupación por la calidad de vida de hoy, mañana y de Chile. Se trata de hacer ingeniería para el mundo.

En este libro se expone parte de esta "Obra Gruesa", mediante un relato histórico que nos ha aportado don Elías Arze Loyer. Le sigue un conjunto de obras destacadas, presentadas por las empresas e instituciones que las han desarrollado: Metro S.A., Telefónica CTC Chile, Costanera Norte, Puerto Mejillones, Endesa y Ministerio de Obras Públicas. Termina como lo hemos querido, con una mirada a la propia evolución de la carrera, en un texto preparado por don Jaime Gibson Aldunate. A todos ellos, así como a los editores Elena Loyola y Dieter Langer, les debemos nuestra gratitud por haber hecho realidad nuestros deseos.

Les invitamos a recorrer estas páginas, en las que encontrarán un croquis de historia junto a grandes obras. Esperamos que sea ameno pero también sustantivo de nuestro aporte a la cultura nacional, de nuestra obra, la Obra Gruesa.

*Francisco Martínez C.*  
Director  
Departamento de Ingeniería Civil

Santiago, noviembre de 2003



Capítulo I

# 150

Reseña  
Histórica

*años*

INGENIERIA CIVIL  
UNIVERSIDAD DE CHILE

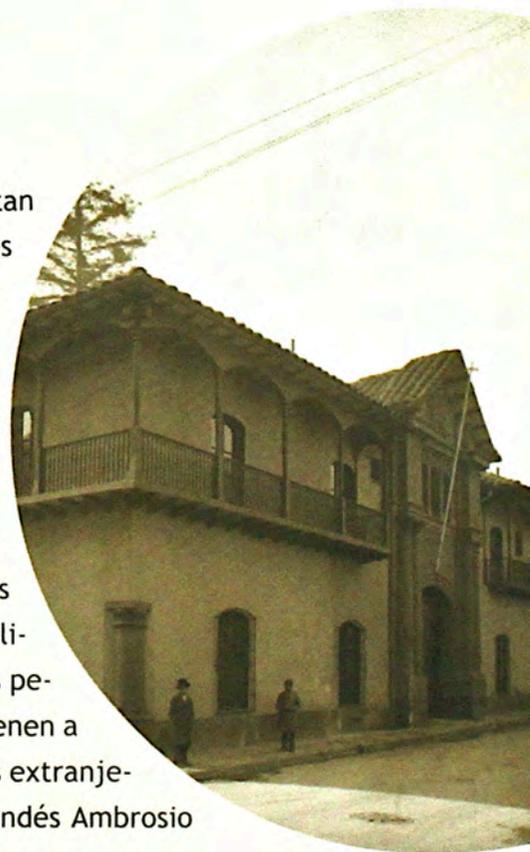


## RESEÑA HISTÓRICA

## LA COLONIA

**D**urante los casi tres siglos de la Colonia, los españoles conquistan el territorio, con excepción de la Araucanía, fundan las principales ciudades y construyen la infraestructura necesaria para su defensa y supervivencia.

El desarrollo de la ingeniería es modesto y adecuado a las necesidades de la época. Desde el punto de vista profesional, la mayor importancia la tiene la Ingeniería Militar, que es una rama antigua de la carrera de las armas, con estudios formales en el Real Cuerpo de Ingenieros Militares. Son ingenieros militares los que además de la construcción de fuertes, caminos y puentes, realizan los proyectos de las obras civiles más importantes durante los periodos de paz. Se sabe de 50 ingenieros militares españoles que vienen a Chile en los siglos XVI a XVIII, pero también lo hacen profesionales extranjeros contratados por la corona, siendo los más importantes el irlandés Ambrosio O'Higgins y el italiano Joaquín Toesca.





El primer "ingeniero" parece haber sido don Pedro de Valdivia, quien hace personalmente el trazado de Santiago, divide las tierras, reparte las aguas y dirige la construcción de casas. En carta al emperador se queja de que sus muchas funciones incluyen las de "Capitán para los animar en la guerra, padre para los favorecer, zumétrico (geométrico) en trazar y poblar, alarife en hacer acequias y repartir aguas etc." (Greve, *Historia de la Ingeniería en Chile*).

Por estas razones, el Cabildo en 1541 nombra Alarife de la Ciudad a Pedro de Gamboa, quien es considerado como el primer ingeniero. Relata Greve que sus labores aumentan progresivamente, a medida que su renta anual de \$ 500 de buen oro disminuye, hasta el punto que en 1548, "impago, enfermo, sordo y privado de un ojo en las guerras con los indios, pedía de rodillas que se le dejara regresar al Perú". Bajo tan poco auspiciosas circunstancias parece haber nacido esta profesión.

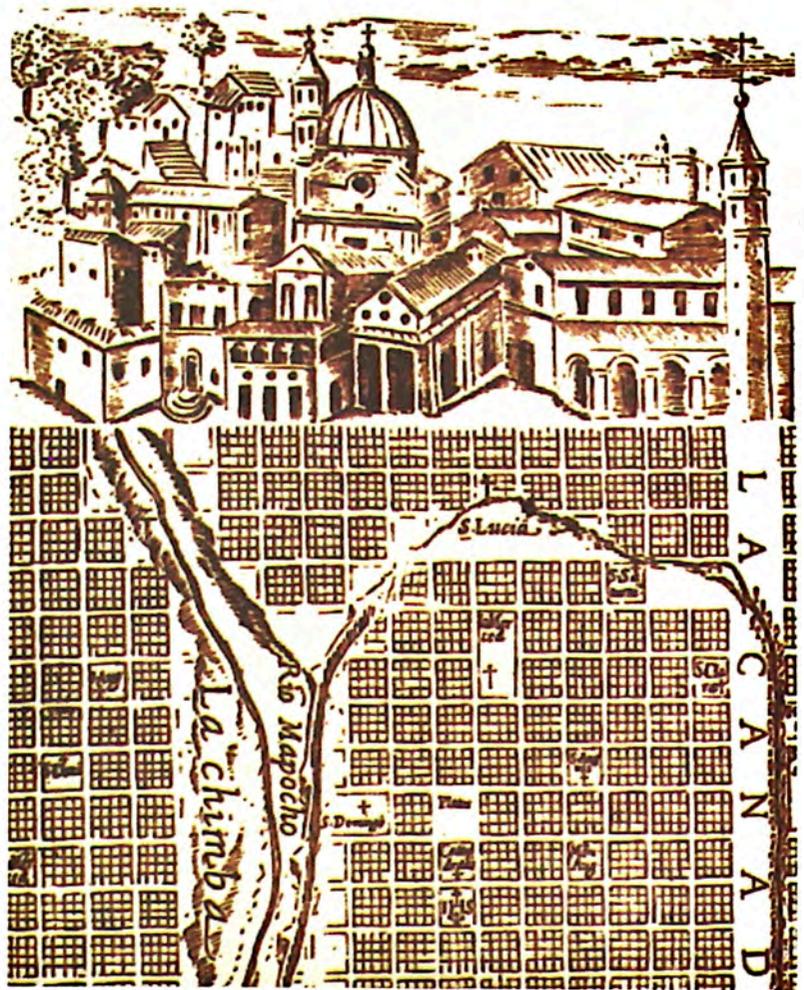
Durante la larga época colonial no hay enseñanza de la ingeniería en el país. En la Universidad de San Felipe, fundada en 1713, hay 8 cátedras religiosas y humanísticas y 2 técnicas: medicina y matemáticas. La juventud no se interesa en la última, que tiene solo una veintena de estudiantes, ninguno de los cuales se gradúa en los 54 años de existencia de la Universidad.

Mejor suerte tiene la Academia de San Luis, fundada por don Manuel de Salas en 1796, que tiene como profesor al ilustre ingeniero militar español Agustín Caballero, quien da clases de Estática, Hidráulica, Agrimensura, Arquitectura y Máquinas. Tiene una decena de discípulos, uno de los cuales, Vicente Caballero, que se gradúa en 1803, puede considerarse como el primer ingeniero chileno con estudios formales. La Academia se fusiona en 1813 con el Instituto Nacional.

Además de los nombrados, se destacan durante la Colonia por sus trabajos como ingenieros el Corregidor Manuel Zañartu, don Ambrosio O'Higgins y el arquitecto Joaquín Toesca.

En los párrafos siguientes se resumen las principales obras construidas durante la Colonia.



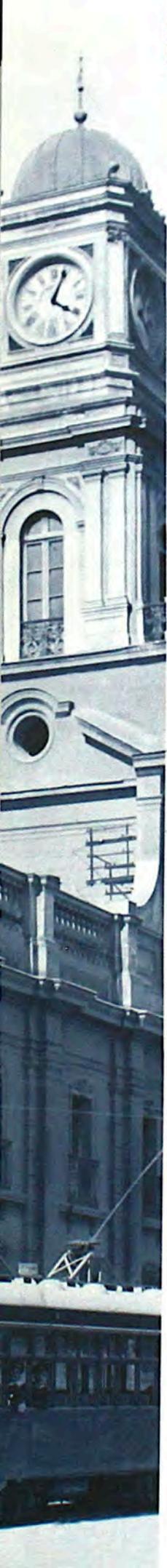


### Ciudades

Se construyen 15 ciudades a lo largo del territorio. Las más importantes son La Serena, Valparaíso, Santiago, Talca, Los Angeles, Concepción, Nacimiento, Angol, Nueva Imperial (Carahue), Villarrica, Valdivia y Osorno. En estas ciudades se construyen edificios importantes, de albañilería y adobe, como las iglesias de San Francisco, en 1591, la Catedral de Santiago, en 1747, la de Santo Domingo, el mismo año, y la Recoleta, en 1754.

Entre los edificios están la Casa Consistorial de 1780, hoy Correo, la Real Audiencia de 1808, hoy Museo Histórico, la Real Aduana de 1807 (hoy Museo Precolombino), la Casa Colorada y la Posada Santo Domingo. Pero, sin duda, el más importante es La Moneda, cuyo proyecto y construcción desde 1781 a 1790 estuvo a cargo de Joaquín Toesca.

La resistencia de estas obras de albañilería y adobe, en un país tan sísmico como Chile, se debe al buen sentido estructural innato de sus constructores.



## **Caminos y puentes**

Los españoles aprovechan los caminos de los incas, 30.000 km en todo el imperio, de los cuales 3.000, hasta el Maule, están en Chile. Se construyen "senderos" de 2 varas (1,7 m), "caminos" de 10 varas ( 8,3 m) y "cañadas" de 25 varas (20,8 m) para caballos, coches y carretas. Siguiendo la tradición incaica, cada 30 km hay "tambos" o posadas para los viajeros.

Los principales caminos longitudinales son los de La Frontera, de Santiago al Bío Bío por el valle central, el Real de Santiago a Concepción por la costa y dos de Concepción a Nueva Imperial, por la costa y el valle central. Los principales caminos transversales son los de Santiago a Valparaíso y dos a Argentina, por Uspallata y Lonquimay.

Greve cita un "Leguario de Chile", que muestra, a fines del siglo XVIII, 26 caminos entre Copiapó y Castro, con un total de 1.778 leguas, o sea, 8.000 km.

Los numerosos ríos se atraviesan principalmente por vados y balseaderos. Las balsas son de ciprés o de cuero inflado, que se mueven con "palancas" apoyadas en el fondo o se arrastran con caballos desde la orilla.

Los puentes son relativamente pocos. En los ríos angostos son colgantes o de cimbra con lianas llamadas "voquis" por los araucanos. En los ríos Maipo, Claro, Cachapoal y Laja se construyen puentes de madera entre 1551 y 1760, y en el Maipo y Aconcagua, de albañilería entre 1556 y 1789, todos destruidos en las grandes creces.

Los puentes sobre el Mapocho son una vieja aspiración en Santiago. El más antiguo, con 22 arcos de cal y ladrillo, es arrasado en la crecida de 1748. Es reemplazado por el Puente de Palo, destruido en la inundación de 1764. Ese año, el Cabildo encarga al corregidor Manuel Zañartu la construcción de un puente que pudiera resistir las creces: el Puente Cal y Canto, considerada la obra más importante de la Colonia. Zañartu trabaja en él 15 años y muere uno antes de terminarlo. El puente, de 200 m de largo y 9 de ancho, con 11 arcos de cal y ladrillo y pavimento de piedra, se termina en 1789 y dura 100 años.

## **Obras hidráulicas**

Las principales obras hidráulicas fueron para el abastecimiento de agua de las ciudades. En Santiago, debido a la malsana calidad del Mapocho, se construye en 1578 una zanja de dos leguas desde la quebrada de Ramón a las "Cajitas de Agua" del Santa Lucía, el primer sistema público de abastecimiento. La zanja fue reemplazada en 1671 por una cañería de cal y ladrillo, destruida en la inundación de 1783.

Se llega entonces a la conclusión de que Santiago debe alimentarse con aguas claras del río Maipo y para traerlas, se decide construir una canal de 49 km, que se denominaría San Carlos. Se encarga el proyecto al ingeniero Agustín Caballero, quien tiene como alarife al arquitecto Joaquín Toesca. La construcción se inicia en 1799, es interrumpida por las guerras de la Independencia y reanudada en 1818 por Domingo Eyzaguirre, quien inaugura el canal en 1820, habiendo usado como obreros a 200 prisioneros realistas.

### Minería

Hay durante la Colonia actividad minera en el Norte Chico y el Cajón del Maipo. Hacia 1800, Chile es el tercer país minero de Hispanoamérica, después de México y Perú, con una producción anual de 55.000 toneladas de cobre, 120 de plata y 25 de oro.

### Los tajamares

La protección de Santiago contra las creces del Mapocho es un problema permanente durante la Colonia. En 1610 se construyen "patas de cabra" de madera y piedra, que no son efectivas, y se reemplazan en 1765 por muros de piedra que son destruidos en la crecida de 1783. En 1792, Ambrosio O'Higgins encarga a Manuel de Salas una solución definitiva: tajamares de ladrillo y cal de 3 varas de alto, 2 de ancho y 30 cuerdas de longitud. La construcción dura 16 años. Los tajamares protegen a Santiago hasta la canalización del río en 1878.

### Los fuertes

El Real Cuerpo de Ingenieros Militares construye entre 1645 y 1793 numerosos fuertes de dos tipos: en la costa, para protección contra los piratas, y tierra adentro, para protección contra los araucanos. Entre los primeros están los de Valparaíso, Penco y los 5 de Valdivia: Corral, Mancera, Niebla, Cruces y Amargos. Los segundos, más pequeños, están en todos los pueblos de la Araucanía, siendo los principales los de Los Angeles, Yumbel, Nacimiento, Tucapel y Villarrica. En la construcción se utilizan obreros, presidiarios y, ocasionalmente, araucanos.





## LA REPÚBLICA

**E**ste segundo período, de 69 años, desde la Independencia hasta la creación del Ministerio de Obras Públicas en 1887, se caracteriza por problemas difíciles para la joven república nacida en 1818. Debe hacer frente a 12 años de anarquía, hasta el advenimiento de Diego Portales en 1830, una revolución en 1851 y 3 guerras: contra la Confederación Peruano-Boliviana en 1836, España en 1866 y nuevamente Perú y Bolivia en 1879. Tiene, además, una guerra interna de 21 años con el pueblo araucano, al que derrota finalmente en 1883.

A pesar de estas vicisitudes, unifica al país, establece una democracia sólida y permanente, organiza las instituciones de enseñanza profesional y técnica, y crea la profesión de ingeniero en Chile.

## La ingeniería

La República nace con un enorme atraso tecnológico y científico, y recibe tardíamente los adelantos de la revolución industrial del siglo XVIII. Poco o nada se hace hasta 1830, pero la necesidad de contar con profesionales capacitados para el desarrollo del país es reconocida desde los primeros tiempos. En 1813 se forma el Instituto Nacional, donde el ingeniero vasco Andrés Antonio de Gorbea, contratado en 1826, organiza cátedras de matemáticas y geometría para formar agrimensores.

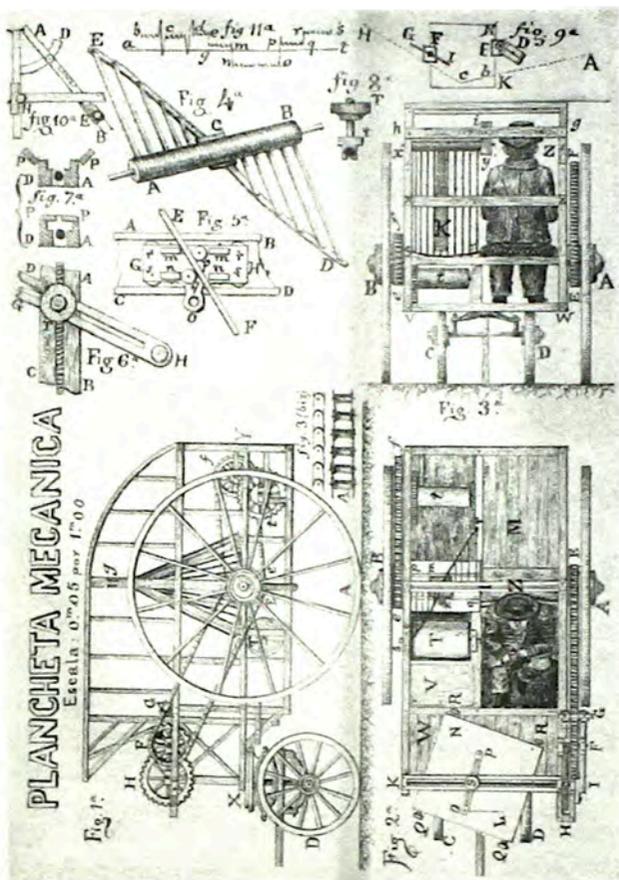
En 1842, el presidente Manuel Bulnes crea simultáneamente la Universidad de Chile y el "Cuerpo de Ingenieros" en el Ministerio del Interior. Las responsabilidades del cuerpo son ambiciosas: la dirección de todas las obras públicas del Estado, así como "el desarrollo de las minas en Chile". Para llevar a cabo este plan, cuenta con 10 profesionales: 6 ingenieros civiles, 2 ingenieros de minas y 2 arquitectos. Su primer Director es Antonio de Gorbea quien, ante la urgente necesidad de profesionales, principalmente agrimensores, organiza dentro del cuerpo clases de cálculo, mecánica racional, geodesia, arquitectura, construcción, hidráulica y puertos.

El Cuerpo de Ingenieros es así el embrión de la Escuela de Ingeniería, hasta la formación, en 1852, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, cuyo primer Decano es también Andrés Antonio de Gorbea. El plan de estudios de la Facultad incluye las carreras de Ingenieros Civiles, Ingenieros de Minas, Ingenieros Geógrafos y Arquitectos.

Para suplir la escasez de talento local se contratan profesores europeos, entre los que sobresalen, además de Gorbea, Claudio Gay, Ignacio Domeyko y Amadeo Pissis, quien hace el primer levantamiento topográfico y geológico del país.

El 7 de diciembre de 1853 se promulga el Decreto Supremo por medio del cual se aprueba el Plan de Estudios para las carreras de Ingenieros Geógrafos, Ingenieros Civiles, Ingenieros de Minas, Ensayadores Generales y Arquitectos, todas las cuales se ofrecen en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. El decreto especifica que los aspirantes a ingenieros civiles deben estudiar, durante los tres primeros años, entre otras materias, álgebra superior, trigonometría esférica, geometría de las tres dimensiones, geometría descriptiva, física superior, química general, cálculo diferencial, topografía y geodesia. En el último año deben seguir un curso de puentes y caminos, dibujo de máquinas, arquitectura y geología.

Sergio Villalobos cita en su *Historia de la Ingeniería en Chile* que entre 1857 y 1880, la Facultad gradúa 112 ingenieros.



La Ingeniería de Minas es la más antigua de Chile. Su desarrollo se inicia en 1821, con la llegada del ingeniero francés Carlos Lambert, quien forma el "Colegio de Coquimbo" y en 1837 recibe el encargo de organizar el "Curso de Minas", para lo cual contrata al ilustre polaco Ignacio Domeyko, quien llega a Coquimbo en 1838, donde permanece hasta su traslado a Santiago en 1846. Como parte de su programa, Domeyko envía a sus mejores alumnos a perfeccionarse en Francia.

La República se preocupa también de formar obreros especializados. La Sociedad Nacional de Agricultura, fundada en 1838, sugiere al gobierno de Manuel Montt y Antonio Varas la creación de una Escuela de Artes y Oficios, que se organiza en 1849, con talleres y cursos de carpintería, herrería, mecánica y fundición. Hacia fines de siglo, la Escuela de Artes y Oficios es considerada un modelo en el continente y recibe numerosos alumnos extranjeros.

Además de los ingenieros que se han nombrado, se destacan en este período Teodoro Schmidt, colonizador de la Araucanía, Guillermo Harnecker, constructor de caminos en el sur, Patricio Larraín Alcalde, hidráulico, Guillermo Stephenson, ingeniero del carbón, Guillermo Wheelwright y Enrique Meiggs, ferroviarios, y Manuel Valdés Vigil y Enrique Jequier, pontoneros.

## Las obras

Las obras de ingeniería del período tienen relación con dos desarrollos igualmente importantes, la unificación territorial en el sur y la minería en el norte.

## Ciudades

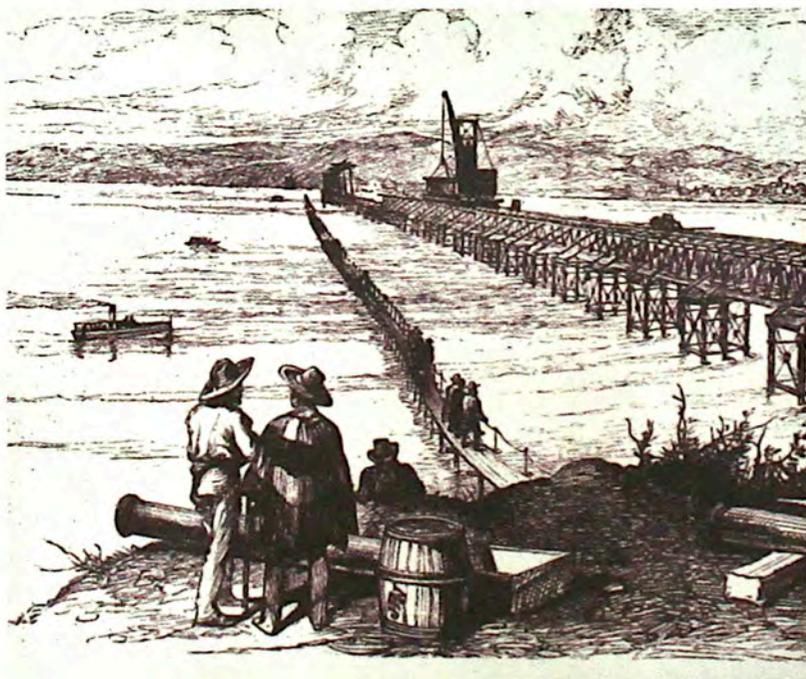
En 1823, el Gobierno reconoce la necesidad de incorporar al país los territorios de la Araucanía, entre el Bío Bío y el Toltén. Se inicia el avance del ejército, que reconstruye antiguos fuertes y construye nuevos, seguido por los caminos, el ferrocarril y la transformación de los fuertes y ciudades. Es así como, entre 1840 y 1890, se fundan las ciudades de Lebu, Arauco, Ercilla, Victoria, Lautaro, Curacautín, Temuco, Puerto Saavedra, Freire, Gorbea y Pucón, y se reconstruyen Angol, Imperial y Villarrica, que habían sido destruidas por los mapuches.

## Caminos y puentes

El Cuerpo de Ingenieros repara el longitudinal sur, lo completa en la Araucanía y construye los nuevos caminos Santiago, San Felipe, Putaendo, Valparaíso por Lo Prado, Tomé-Chillán y Curicó-Llico-San Fernando. Los colonos alemanes del sur construyen, sin intervención del Estado, los caminos entre Villarrica, Valdivia y Puerto Montt.

Los puentes más importantes, todos de madera, son los de Los Morros, sobre el Maipo, en 1857, Cachapoal en 1861 y Andalién en 1853.

La construcción de caminos se hace por contratos a suma alzada y la mantención está a cargo de concesionarios que cobran peaje. Los puentes se financian con peajes, el "pontazgo", que es cobrado por los "puenteros".



## Obras hidráulicas

En 1859 se funda la Empresa de Agua Potable de Santiago y en 1890, Luis Lagarrigue construye el acueducto desde Laguna Negra, de 87 km y 4 m<sup>3</sup>/seg, obra señera que todavía está en servicio.

Entre 1878 y 1888 se reemplazan los tajamares por la canalización del Mapocho, obra definitiva con muros de piedra y rieles que reduce el ancho del río a 50 m y elimina definitivamente el riesgo de inundaciones. Para ejecutarlo se traen obreros especializados de Cataluña, se tiende una vía férrea y, con los terrenos ganados, se construye el parque Gran Bretaña.

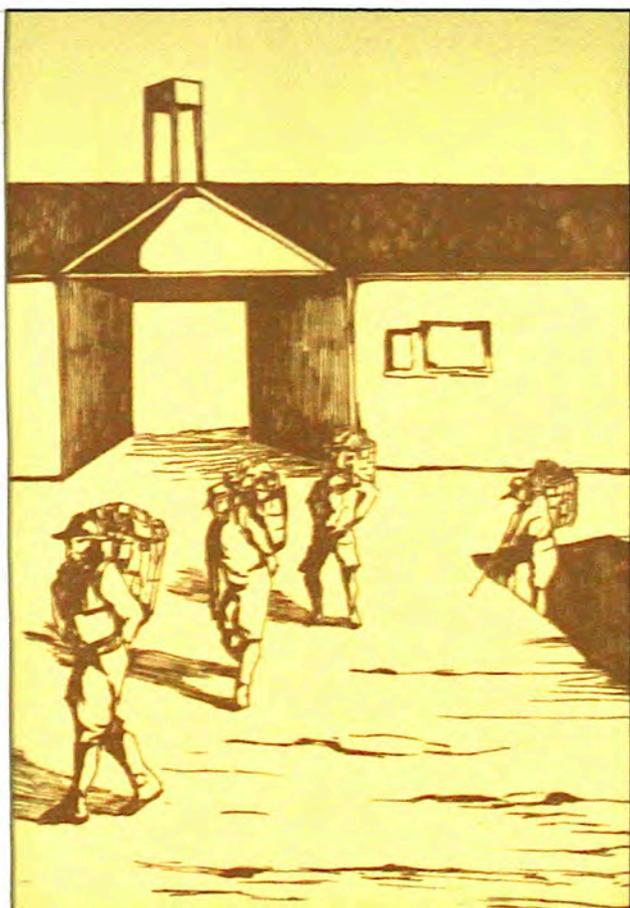
Para apoyar la agricultura se construyen, desde 1827, 27 grandes canales con más de 1.000 km de longitud, y 8 embalses. Entre los canales más importantes pueden citarse Las Mercedes, de 120 km y 6 m<sup>3</sup>/seg, con tres túneles, y Mallarauco, de igual capacidad, con un túnel de 3,8 km, en el que se usan perforadoras de aire traídas del túnel San Gotardo, Suiza.

## Minería

La producción minera se inicia en 1832 con el descubrimiento de Chañarcillo, en Copiapó, aumenta explosivamente en plata, cobre, oro, carbón y salitre y se transforma en la principal fuente de entradas del país en el siglo XIX. Chañarcillo crece rápidamente; llega a tener más de 500 piques y 19 fundiciones en Copiapó y da origen a obras tan importantes como el primer ferrocarril de América Latina, de Copiapó a Caldera. Cuando se agota, en 1870, había producido 307 t de plata.

Otras minas importantes son "Brillador", de cobre, donde Carlos Lambert construye el primer horno de reverbero del país, y "Tamaya", en Ovalle, de José Tomás Urmeneta, con minerales de 18% a 20% de ley de cobre y vetas pobres de 4% a 6%.

En 1853, Enrique Sewell mezcla carbón de Lota con carbón inglés en su fundición de Coquimbo, lo que es decisivo para el desarrollo de las minas de





carbón de Lota, abiertas en 1852. Matías Cousiño, a su vez, construye una gran fundición de cobre en Lota, a la que trae mineral del norte como lastre de sus barcos carboneros. En 1856 Enrique Schwager abre las minas de carbón de Coronel y se forma la Compañía Explotadora de Lota y Coronel, que mecaniza las minas, construye 5 ciudades y 2 puertos en la zona y llega a tener 2.200 obreros en 7 minas con una producción anual de 252.000 t.

En 1850, Chile produce el 20% del cobre del mundo y es el segundo productor después de Inglaterra y, en 1870, el primero, con 40%, seguido por los EE.UU.

La exportación de salitre a Europa se inicia en 1810 por industriales peruanos, ingleses y chilenos de Iquique y Tarapacá, En 1850 se mecaniza la extracción, reemplazando el fuego directo por calderas y se extrae el yodo, y en 1876 el ingeniero inglés Santiago Humberstone, en Pisagua, introduce la tecnología de lixiviación que James Shank había desarrollado en Inglaterra para el carbonato de soda. Se origina así una gran industria salitrera, con una multiplicidad de "Oficinas Shank", caletas, muelles, andariveles, caminos y ferrocarriles, que domina el mercado mundial hasta la década de 1920. Los capitales y tecnología son ingleses y la administración, chilena.

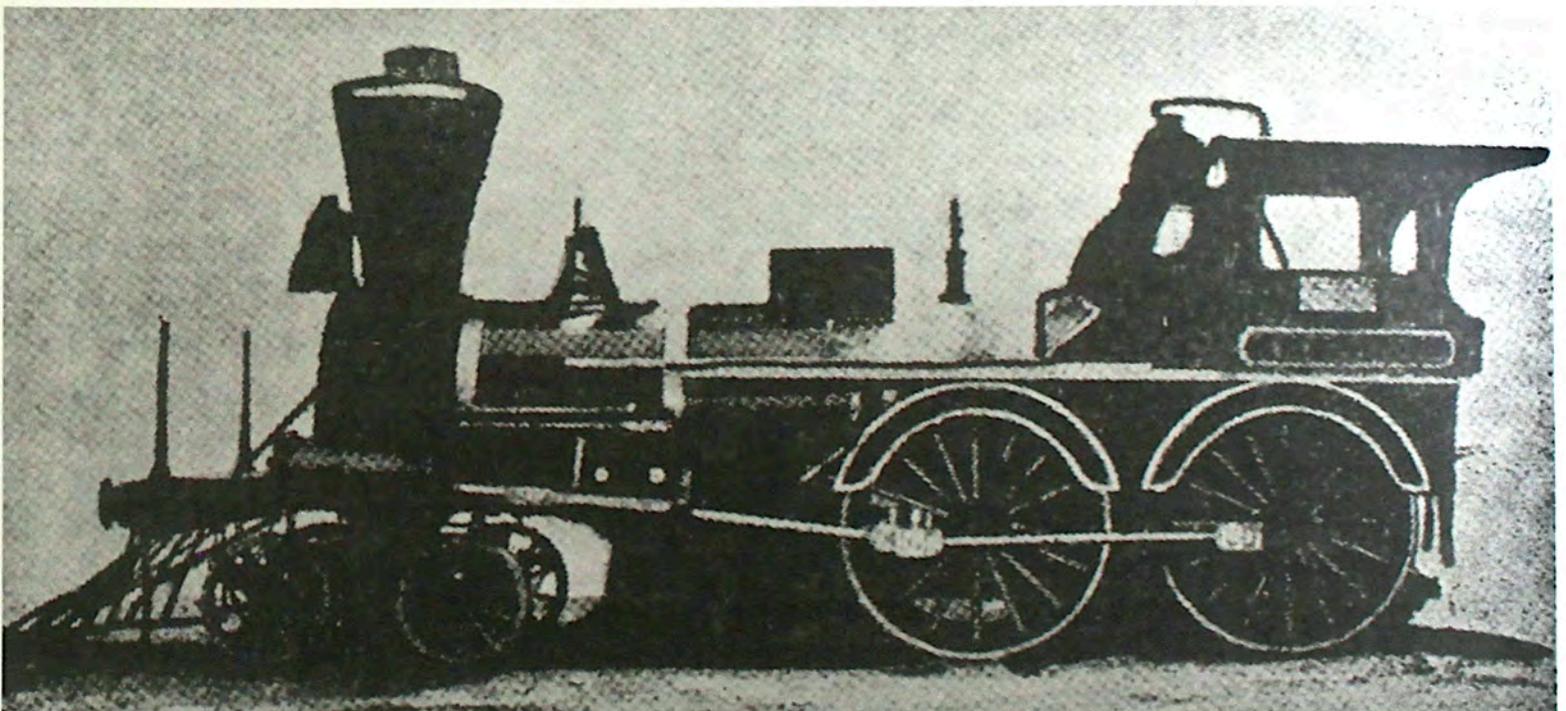




## Ferrocarriles

La fiebre ferroviaria, que se inició en Europa y los EE.UU. después del descubrimiento de la máquina a vapor, llega a Chile en 1841 con Guillermo Wheelwright, ingeniero norteamericano de Massachusetts, quien después de un fracasado proyecto para construir un ferrocarril a Valparaíso, obtiene el contrato del ferrocarril de Caldera a Copiapó, el primero de América Latina, de 85 km, inaugurado en 1851.

El viejo proyecto del ferrocarril a Valparaíso se inicia en 1852, cuando se otorga un contrato a una empresa mixta del Estado y la familia Cousiño, el que queda paralizado en Quillota cinco años más tarde. La obra permanece detenida hasta 1861, cuando toma un contrato a suma alzada otro ingeniero norteamericano, Enrique Meiggs, con un plazo de 36 meses, con fuertes multas y premios. El primer mes, Meiggs organiza 4 equipos con 4.000 obreros, y en 19 meses, a través de 187 km de montañas, túneles, puentes y otras obras de arte, logra correr la primera locomotora. Meiggs, en sus memorias, atribuye el éxito al "roto chileno, que si recibe tres cosas, justicia, porotos y paga, es el mejor trabajador del mundo".





La Sociedad para el Ferrocarril Santiago-Talca inicia la construcción de la línea central en 1855, llega a San Fernando en 1862 y continúa en forma tan lenta que el Estado toma su control en 1877. Hacia 1890 se han completado 1.172 km hasta Victoria, incluyendo los ramales intermedios.

La red norte es construida por el sector privado. Entre 1851 y 1888 se construyen 1.512 km, que incluyen Tacna a Arica, Pisagua a Iquique, Carrizal a Yervas Buena y la parte chilena de Antofagasta a Bolivia.

Resumiendo, en el período se construyen 2.871 km de ferrocarriles, 47% por el Estado en la red sur y 53% por el sector privado en el norte.

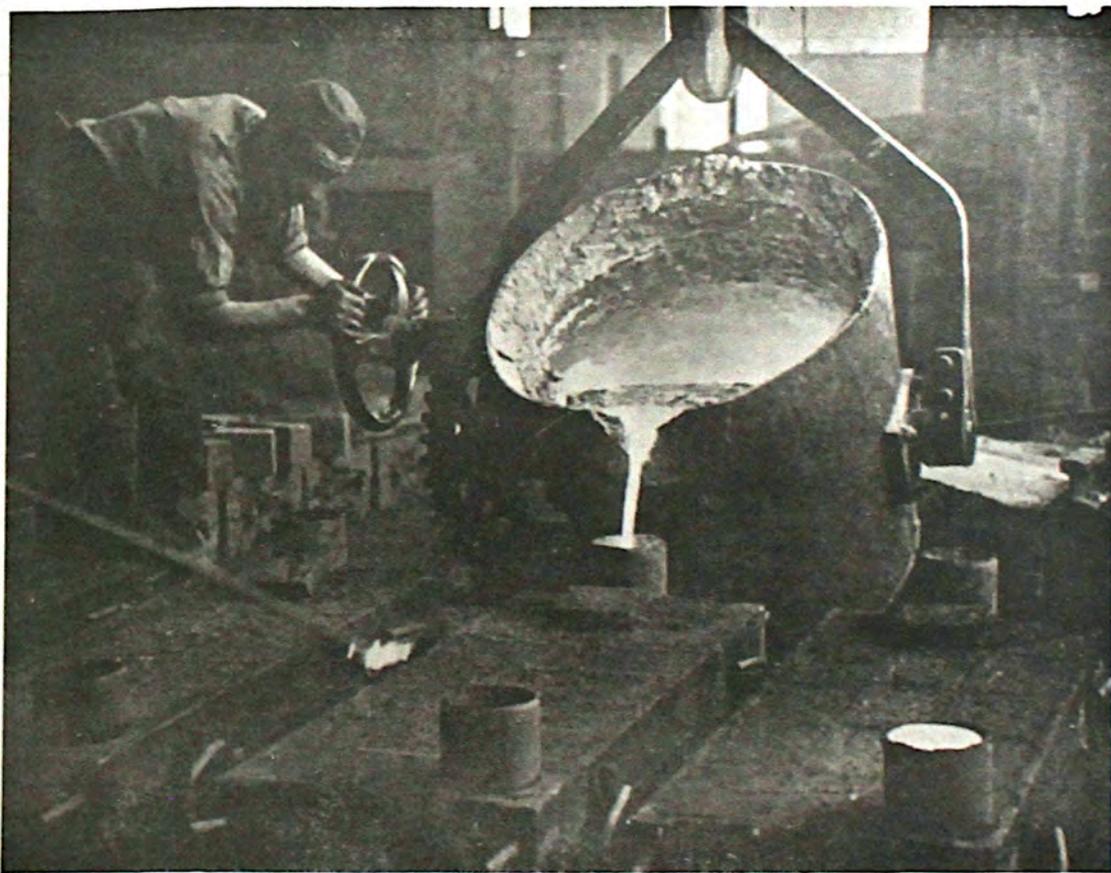
Especial mención merecen los grandes puentes ferroviarios, principalmente de la red sur. Debido a las características de nuestros ríos, todos estos puentes son de acero, con fundaciones profundas, diseñados y contruidos con excelente ingeniería. Durante más de 100 años han sido reforzados, sin interrumpir el tránsito, para trenes cada vez más rápidos y pesados. En nuestros grandes terremotos, cuando hay colapso de puentes carreteros, algunos modernos, son los viejos puentes ferroviarios, que nunca han fallado a pesar de su mala mantención, los que mantienen unido al país.

Los primeros puentes se diseñan y fabrican en Francia, pero gradualmente la ingeniería primero y la fabricación después se trasladan a Chile. Entre 1859 y 1878 se construyen 33, desde el Maipo, en 1859, hasta el Renaico, en 1878.

### Industrias

En esta tercera etapa se inicia la industrialización del país. La principal industria es la metalmecánica, cuyas plantas principales están en Valparaíso, con talleres en Santiago, Concepción y otras ciudades. La mayoría son privadas y son iniciativa de extranjeros, como Richard Lever y William Murphy, cuya maestría es comparable a las más grandes de la actualidad. La industria fabrica embarcaciones menores, equipos mineros y agrícolas, carros de ferrocarril, calderas y estanques y puentes. Durante la guerra del Pacífico tiene un rol importante en el suministro de elementos bélicos. Además de satisfacer las necesidades nacionales, la industria es un exportador importante a los países vecinos.

Se forman también otras industrias, siendo las principales Paños de Tomé, en 1868, y la Refinería de Azúcar, en 1870. Ese año existen 125 industrias que emplean a 6.000 personas.



## LA INFRAESTRUCTURA

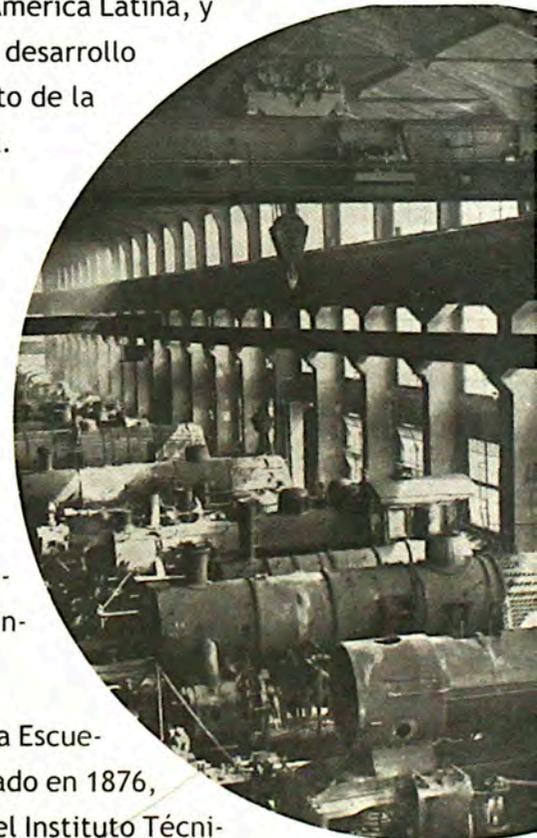
**D**urante los 52 años que van entre la creación del Ministerio de Obras Públicas en 1887 y de la Corporación de Fomento en 1939, el país tiene un desarrollo complejo. A la cruenta guerra civil que depuso a Balmaceda en 1891 siguen 29 años de gobiernos democráticos, 12 de inestabilidad política, entre 1920 y 1932, y un régimen presidencial estable de Arturo Alessandri que dura hasta la elección del Frente Popular en 1938, que es una coalición de izquierda encabezada por Pedro Aguirre Cerda. El desarrollo es seriamente afectado por la primera guerra mundial de 1914 y la gran crisis universal de 1930.

A pesar de lo anterior hay importantes avances tecnológicos, cuyos hechos más destacados son los siguientes: El crecimiento de la ingeniería con la creación de nuevas universidades y de importantes organizaciones gremiales; la gigantesca labor del Ministerio de Obras Públicas, que construye la infraestructura del país, que a fines del siglo XIX tiene una posición de liderazgo en América Latina, y más ferrocarriles que cualquier nación europea; el desarrollo del salitre y la gran minería del cobre, el advenimiento de la electricidad y la industrialización mediana y pequeña.

### La ingeniería

Se crean 3 nuevas universidades: la Universidad Católica, en 1895, la Universidad de Concepción, en 1919, y la Universidad Técnica Federico Santa María, en 1931. A las especialidades tradicionales de Ingeniería Civil, de Minas y Arquitectura se empiezan a agregar otras necesarias para la industrialización, principalmente Ingeniería Química, Mecánica, Eléctrica, Industrial, Metalúrgica, Agronómica y Comercial.

En el campo técnico se complementa la labor de la Escuela de Artes y Oficios con la del Instituto Agrario, formado en 1876, la Escuela de Artes y Oficios para Mujeres, en 1888, y el Instituto Técnico Comercial, en 1897.



Se forman, además, dos instituciones gremiales que, junto con la Sociedad Nacional de Agricultura de 1838, tienen una influencia decisiva en el desarrollo posterior del país: la Sociedad de Fomento Fabril, fundada en 1883, y el Instituto de Ingenieros de Chile, en 1888.

En este período, después del desastroso terremoto de Talca de 1938, el gobierno nombra una comisión, en que participan los ingenieros Ramón Salas, Gustavo Lira y Julio Ibáñez, que redacta las primeras ordenanzas del país. Se inicia así en Chile una práctica de ingeniería sismorresistente que es reconocida como una de las más exitosas del mundo.

26

Entre los ingenieros que se destacan en la época es justo mencionar a los siguientes: Domingo Santa María, Valentín Martínez, Luis Lagarrigue y Rodolfo Wedeles, en Ingeniería Hidráulica y Portuaria; Belisario Díaz, Arturo Cortés y Guillermo Díaz Ossa, en Ingeniería Vial; Jacobo Krauss, Alfredo Leveque, Domingo Casanova y Jorge Lira, en Puertos; José Victorino Lastarria, Gustavo Verniori, Jorge Court, Julio Tapia y Jorge del Río, en Ferrocarriles y Puentes; Vicente Izquierdo, Walter Müller, Fernando Palma, Raúl Simon, Rodolfo Jaramillo y Hernán Edwards, en la planificación industrial y eléctrica del país hecha en el Instituto de Ingenieros.



## OBRAS PÚBLICAS

### El Ministerio de Obras Públicas (MOP)

**D**urante el gobierno de José Manuel Balmaceda se hace evidente que se requiere una organización mucho más amplia que el Cuerpo de Ingenieros para realizar las "gigantescas obras" necesarias para la consolidación territorial y el desarrollo del país. En 1887, Balmaceda crea el Ministerio de Industrias y Obras Públicas, y nombra Ministro a Manuel Montt, quien un año más tarde forma la Dirección de Obras Públicas. El mismo año se organiza en Santiago el Instituto de Ingenieros de Chile. Estas dos centenarias instituciones tienen un rol fundamental en el desarrollo nacional.

El Ministerio lleva a cabo un enorme plan de construcción de infraestructura para unir físicamente al país y terminar la conquista de las zonas aún indómitas de la Araucanía. El plan, que es financiado inicialmente con los fondos de la floreciente industria del salitre, se lleva a cabo en forma decidida y eficiente por un grupo de ingenieros ilustres, gracias a los cuales, en pocos años, Chile llegó a ser el país con mejor infraestructura de América Latina.

Tomando como base las memorias publicadas por el MOP al cumplir 90 años, se describe a continuación parte de la labor desarrollada por esta institución en el período.

### Ciudades

La Dirección de Arquitectura prepara Planos Reguladores de todas las ciudades del país y construye en ellas las escuelas, hospitales, cárceles, cuarteles y edificios públicos y universitarios que se necesitan.





La Dirección de Obras Sanitarias construye los sistemas de agua potable de 22 ciudades, amplía los de 10 y dota a 8 de alcantarillado. Además, entre 1905 y 1908 se construyen las redes de agua potable y alcantarillado de Santiago, este último del tipo francés "todo a la cloaca", que ha protegido a la ciudad de inundaciones hasta el día de hoy. En 1897 se inician las obras del agua potable de Valparaíso con la construcción del embalse Peñuelas y una red completa de acueductos, estanques y filtros.

Más tarde se construye la red de aeropuertos, con 7 internacionales, 24 nacionales y gran cantidad de unidades menores.

### **Caminos y puentes**

Debido a la guerra civil de 1891, a la crisis de 1896 y a la preferencia dada a los ferrocarriles, la construcción organizada de caminos y puentes, a cargo de la Dirección de Vialidad, no comienza sino hasta 1920, cuando se dicta la Ley de Caminos.

La primera obra de importancia es la pavimentación de Valparaíso a Viña del Mar en 1920, hecha por concesión y peaje, que es un éxito. Entre 1926 y 1927 se pavimentan Santiago a Valparaíso, San Bernardo y San Antonio, Concepción a Bulnes y Viña a Concón. El ritmo disminuye debido a la crisis de 1930, pero se recupera entre 1933 y 1939, con la construcción y pavimentación de numerosos caminos en el norte, centro y sur del país.

En 1925 se lanza un programa de construcción de 240 puentes, que se cumple a razón de 60 por año. Algunos, como los del Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Andalién y Toltén son obras mayores de hormigón armado.

En 1939, la red tiene 39.200 km, de los cuales 560 están pavimentados.

### **Obras hidráulicas**

La Dirección de Riego inicia en 1914 un programa de regadío desde el Norte Chico hasta el río Laja, que se completa con la construcción de 4 grandes embalses y 567 km de canales mayores, hasta 45 m<sup>3</sup>/seg, con capacidad para regar 200.000 hectáreas.

## Puertos

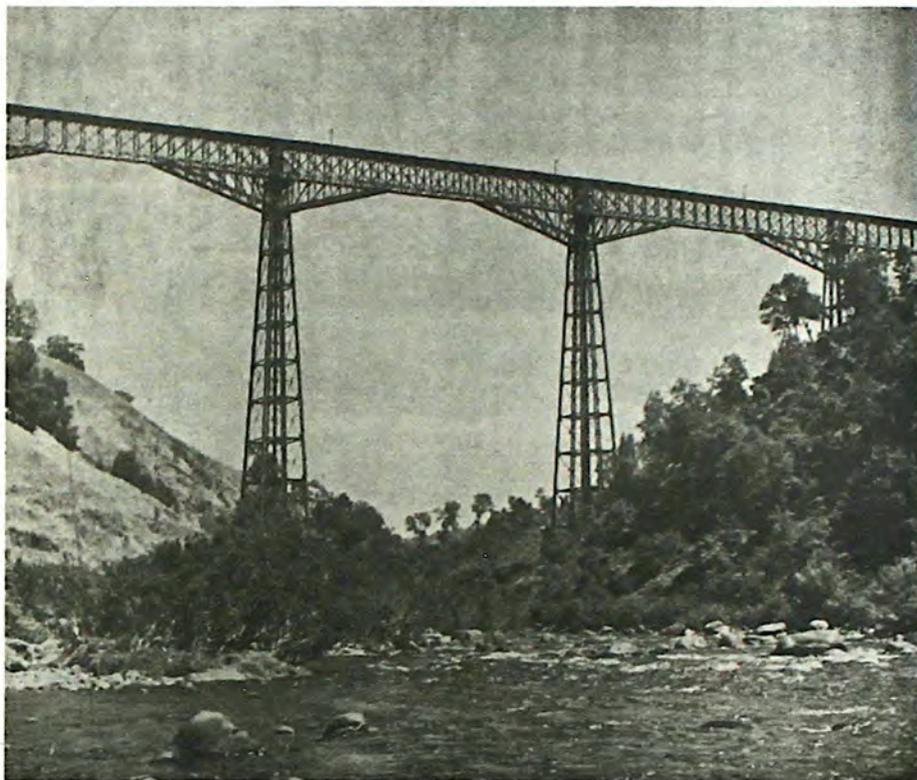
A fines del siglo XIX hay en el país solo dos muelles para barcos mayores, en Valparaíso y Lota, problema que la Dirección de Obra Portuarias resuelve con la gigantesca labor de construir 9 grandes puertos en las principales ciudades marítimas, entre 1910 y 1931. Debido a las características de la costa chilena, con bahías abiertas y profundas, expuestas a las grandes olas y vientos del norte, todas las obras son difíciles y algunas despiertan interés mundial.

Valparaíso, construido entre 1912 y 1923, tiene un rompeolas enrocado de 1.000 m de longitud, en profundidades hasta 50 m, las mayores del mundo. El diseño se hace para olas de 9 m de altura y 12 m/seg. de velocidad, que están también entre las más violentas de proyectos portuarios.

Los puertos de Antofagasta, construido entre 1918 y 1930, con un enrocado de 1.468 m y 28 m de profundidad, y San Antonio, entre 1910 y 1920, con enrocado de 1.620 m y 20 m de agua, son también obras mayores de características similares a Valparaíso. En 1924 se inicia la construcción del puerto de Constitución, con un proyecto criticado por varios ingenieros que predicen que el enrocado iba a causar el embancamiento de la bahía por las aguas del río Maule. Desgraciadamente las predicciones resultan ciertas y el proyecto es abandonado en 1926. Es uno de los grandes fracasos de la ingeniería nacional.

Otra obra marítima importante es la construcción, durante la primera década del siglo, de 40 faros a lo largo de la costa, algunos tan impresionantes como el Evangelistas en el Estrecho de Magallanes, de piedra y acero, de 61 m de altura.



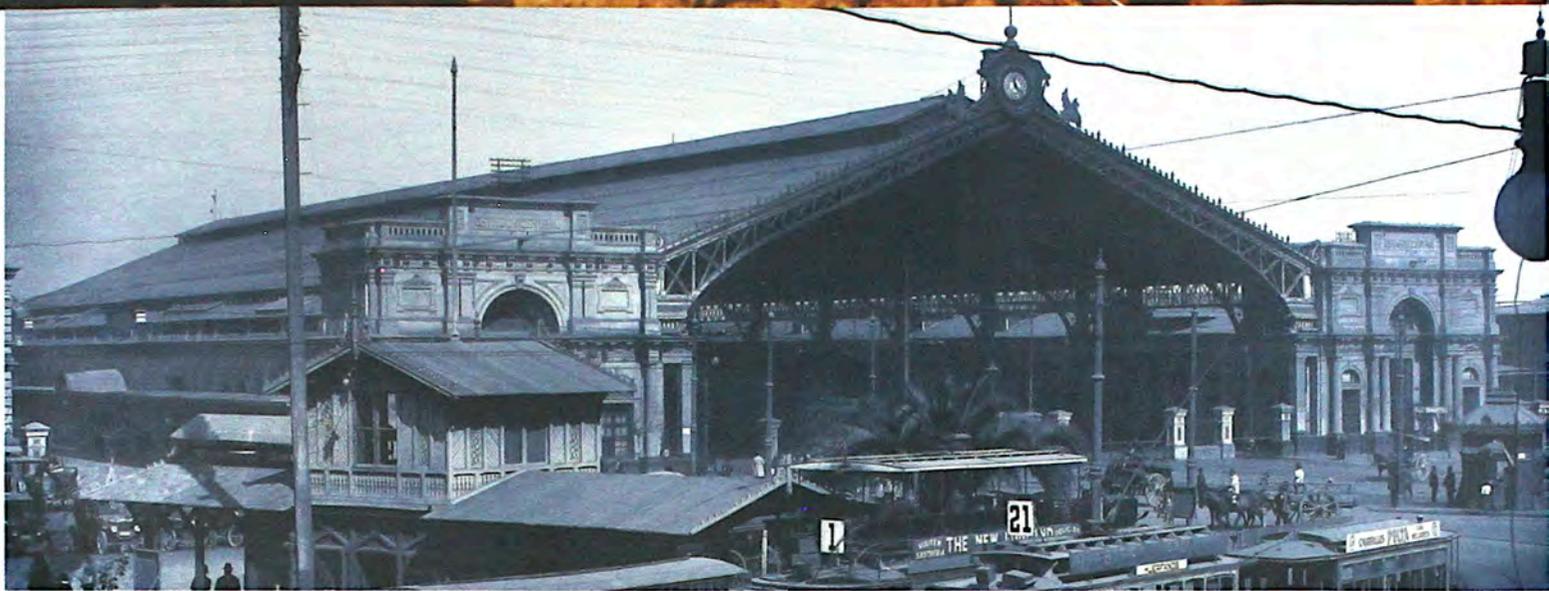


## Ferrocarriles

La construcción de ferrocarriles, paralizada durante 11 años debido a la guerra del Pacífico, es reanudada en 1888 por la Dirección de Ferrocarriles del MOP, con un plan de 863 km en la red sur, hasta Valdivia, y 312 km en el norte, hasta Ovalle. La construcción de la red sur tiene caracteres de epopeya, magistralmente descrita en la obra "Diez Años en la Araucanía" del ingeniero belga Gustavo de Verniory, contratado por el MOP en 1889 cuando tenía 24 años de edad.

La construcción del ferrocarril forma parte de la conquista de la Araucanía. Además de las dificultades propias del trabajo en la selva virgen, los ingenieros deben hacer frente a los araucanos, frecuentes asaltos de bandidos, ataques de pumas y según Verniory, a una no menos difícil burocracia estatal. La construcción se inicia en 1888, con un contrato a suma alzada por 10 líneas y 1175 km, ganado por la empresa North and South American Construction Co., de Nueva York, que quiebra en 1890, cuando el Estado toma control y contrata a la empresa chilena Albarracín y Urrutia.

La obra más importante es el puente Malleco, de 348 m de longitud y 102 m de altura, construido entre 1885 y 1890. El diseño y la construcción de la infraestructura son hechos por el ingeniero chileno José Victorino Lastarria y la fabricación y montaje, por la empresa francesa Schneider Creusot.



En 1891, la construcción del ferrocarril se paraliza debido a la guerra civil. Albarracín, que es balmacedista, es requerido por el gobierno, y Urrutia, que es congresista, es hecho prisionero. Terminada la guerra, la empresa se reorganiza y continúa las obras hasta el puente Toltén, que se inaugura en 1898.

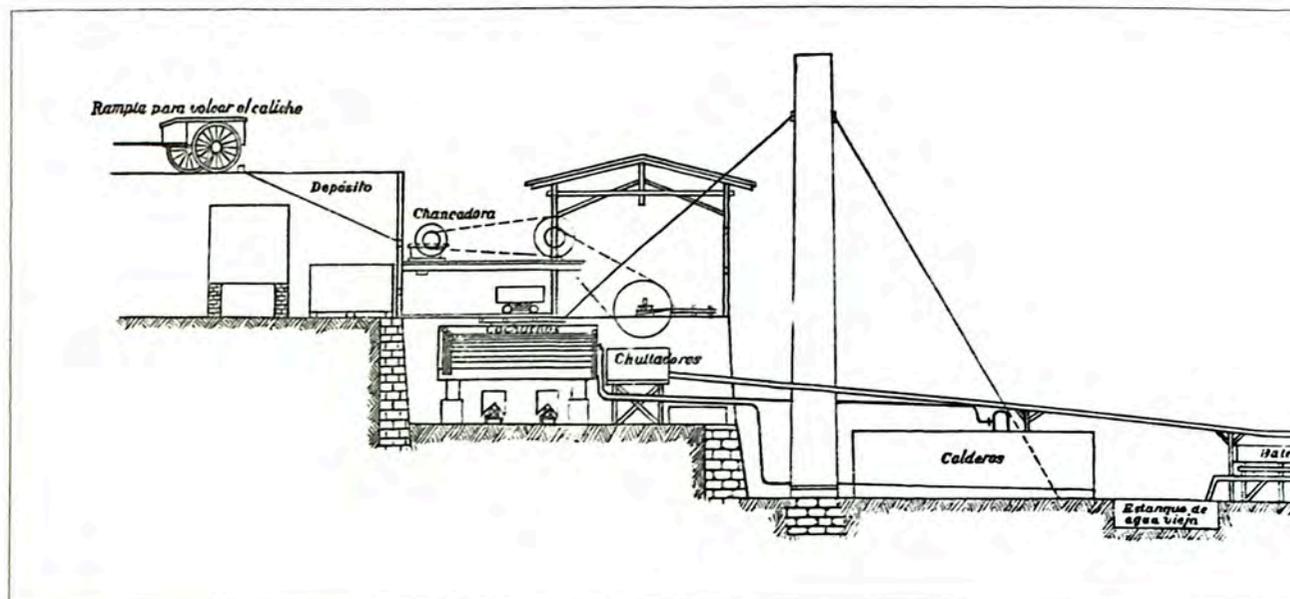
La construcción continúa bajo el MOP, y alcanza Osorno en 1906 y Puerto Montt en 1909.

La construcción del ferrocarril sur es decisiva en la derrota del pueblo araucano, que defendió heroicamente su tierra durante 350 años, primero contra los españoles y después contra los chilenos. Un hecho poco conocido es que los pehuenches, indios de la cordillera, cuando son derrotados en Chile, organizan regimientos de hasta 6.000 "conas" (lanzas) en Argentina, alzan a los indios pampas y, bajo los caciques Namuncura, Catriel y Saihueque, conquistan 600.000 km<sup>2</sup> de pampa, derrotan los ejércitos argentinos y avanzan hacia el norte, llegando a las ciudades de Tandil y El Azul, a 40 leguas de Buenos Aires, que ocupan y queman. La situación es tan seria, que el ejército argentino se organiza bajo el general Rocca y gracias al Remington y al cañón de retrocarga los aniquila finalmente en 1878, en el lago Nahuel Huapi, en Bariloche. El pueblo araucano, ciertamente, merece que alguien, después de Ercilla, escriba su historia.

Después de la guerra del Pacífico, el gobierno, por razones estratégicas, decide unir el sistema ferroviario estatal del centro con el privado del Norte Grande. El MOP da contratos a una empresa chilena hasta La Ligua y a dos inglesas hasta Pueblo Hundido y Pintados, respectivamente. Con ellos, en 1915 se termina la red norte de 1.775 km.

En 1932 se llega a un acuerdo con Argentina para unir los ferrocarriles de ambos países que tienen la misma trocha de 1,676 m. La Dirección de Ferrocarriles del MOP proyecta la línea por Lonquimay y construye el túnel Las Raíces, de 4,5 km de longitud, el más largo de Sudamérica. La unión ferroviaria de los dos países todavía no se materializa.

La Empresa de los Ferrocarriles del Estado, creada por el MOP el siglo XIX, tiene en 1941, además de 5.925 km de vías, una gran maestranza en San Bernardo, dos talleres de puentes y dos grandes hoteles en Pucón y Puerto Varas. Con 6.800 empleados llega a ser una de las organizaciones más grandes del país.



## Minería

El período histórico se caracteriza por dos hechos fundamentales: el auge y decadencia del salitre y la aparición de la gran minería del cobre.

## Salitre

Después de la introducción del sistema Shanks por Humberstone, en 1876, la industria crece, se transforma en la primera fuente de entradas del país y llega a tener más de 150 oficinas en operación a fines del siglo. A principios del siglo XX empiezan a agotarse los minerales con 15% de nitrato, mínimo económico del sistema, y después de la primera guerra, Alemania desarrolla el salitre sintético con el que es difícil competir. En esas circunstancias, las dos empresas salitreras más importantes, Anglo Chilena y Lautaro Nitrate, introducen el sistema norteamericano Guggenheim, basado en una alta mecanización y tecnologías avanzadas, que requiere de grandes inversiones, pero reduce la obra de mano en 10 veces, trata minerales de 8% de ley, y hace posible recuperar subproductos valiosos como el yodo y el sulfato de sodio. En 1930 se construyen las dos grandes plantas Guggenheim de Pedro de Valdivia y María Elena; en 1933 el Gobierno forma la Corporación de Ventas del Salitre y Yodo que toma el control de las ventas, y la industria recupera en parte su importancia. A pesar de estos desarrollos, las utilidades son cada vez menores y en 1940 el salitre es una industria en decadencia.

## Cobre

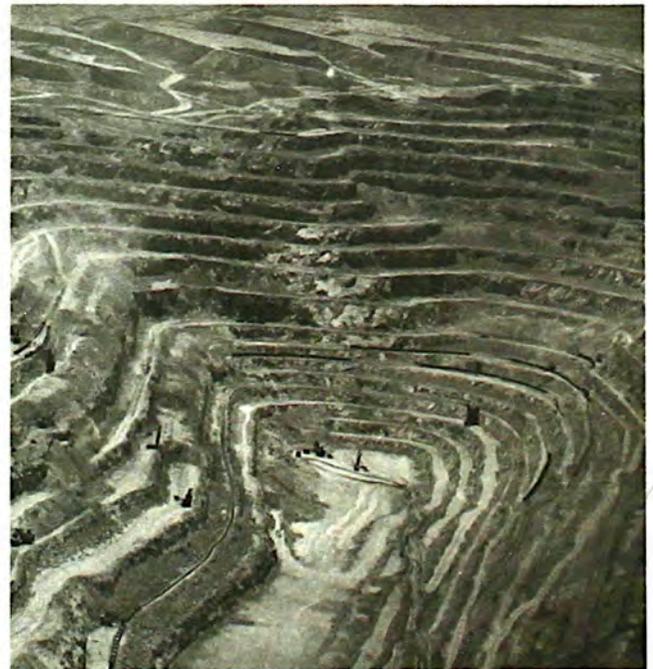
En las dos primeras décadas del siglo XX, la minería del cobre de los EE.UU. desarrolla sistemas de explotación altamente mecanizados en las minas subterráneas y a tajo abierto de los estados de Montana, Utah, Nevada, Arizona y Nueva México. En su búsqueda de grandes yacimientos que justificaran las enormes inversiones de sus procesos, las empresas norteamericanas se establecen en Chile a principios de siglo.

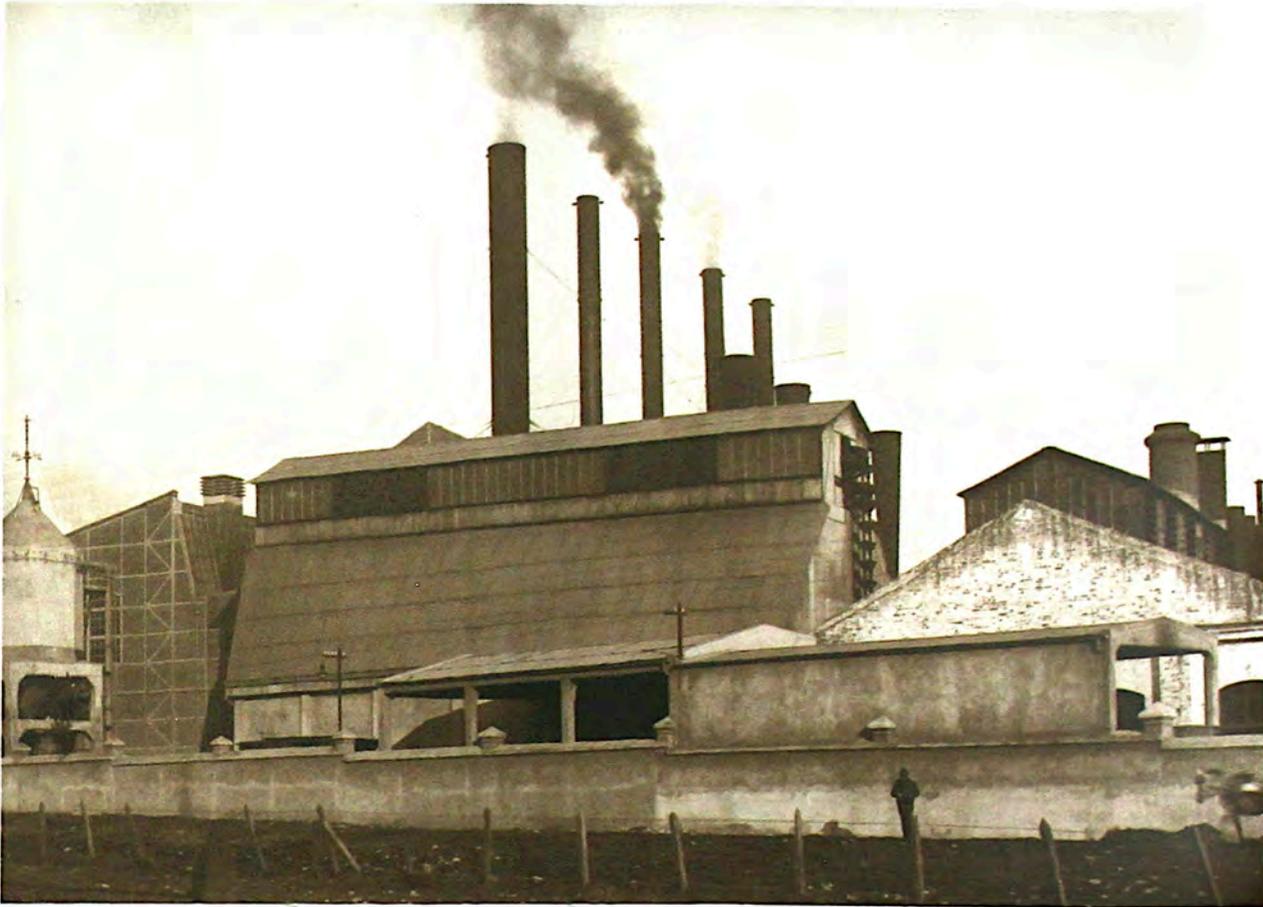
La Anaconda Mining Corporation forma las subsidiarias Chile Exploration Co., que adquiere Chuquibambilla en 1915, y Andes Copper Mining Co., que adquiere Potrerillos en 1917. El ingeniero William Braden forma Braden Copper en 1904, que adquiere El Teniente en 1909 y se asocia el mismo año con Kennecott Copper Corporation. La planta Chuquibambilla, que tiene la mina a tajo abierto más grande del mundo, se construye entre 1913 y 1915; El Teniente, que tiene la mina subterránea mayor del mundo, entre 1916 y 1918, y Potrerillos, también subterránea, entre 1925 y 1927.

Así nace la gran minería del cobre. Chile, que producía 41.000 t anuales en 1910, es el segundo productor del mundo con 287.000 t en 1929, y el primero, con 341.000 t en 1939.

## Otras minas

Otros desarrollos mineros importantes son el hierro, en la mina El Tofo, de Bethlehem Steel, desde 1913, la minería mediana del cobre en Disputada de Las Condes, Naltagua y Michilla, y el carbón de Lota y Schwager, que crece hasta 1935, año en que se inicia su decadencia.





## Industrias

A raíz de la anexión de los territorios salitreros, la industria nacional tiene un importante período de expansión y diversificación, con un crecimiento anual de 2,8%. Se calcula que en 1885 hay 2.449 fábricas y talleres que aumentan a 7.371 en 1919.

El ramo más importante es el metalmecánico, que abastece todas las necesidades nacionales, y es un importante exportador a Argentina, Bolivia y Perú. Las industrias metalmecánicas, que fueron de vanguardia en América Latina, tienen agudos problemas a partir de 1920, debido a la desaparición de la demanda de las empresas salitreras y al atraso tecnológico, que les impide competir con Europa y los EE.UU.

Otras industrias importantes son la Compañía Industrial de Aceites, las Cervecerías Unidas, la Fábrica Nacional de Vidrios, Cemento Melón, Nacional de Conservas, Envases y Enlozados, Imprenta Universo, Carozzi, Altos Hornos de Corral y Maestranza Heiremans, fundadas entre 1901 y 1908.

## Electricidad

En este período histórico llega la electricidad a Chile. La primera obra es la iluminación de la Plaza de Armas de Santiago, en 1882, con un pequeño generador a vapor, solo 4 años después del invento de la ampolla por Edison.

La primera central hidráulica es Chivilingo, en Lota, de 500 KVA, construida en 1897. Desde entonces, y hasta 1912, diversas empresas construyen cuatro centrales hidráulicas y más de 30 térmicas a lo largo del país, con una potencia total de 43.000 KVA.

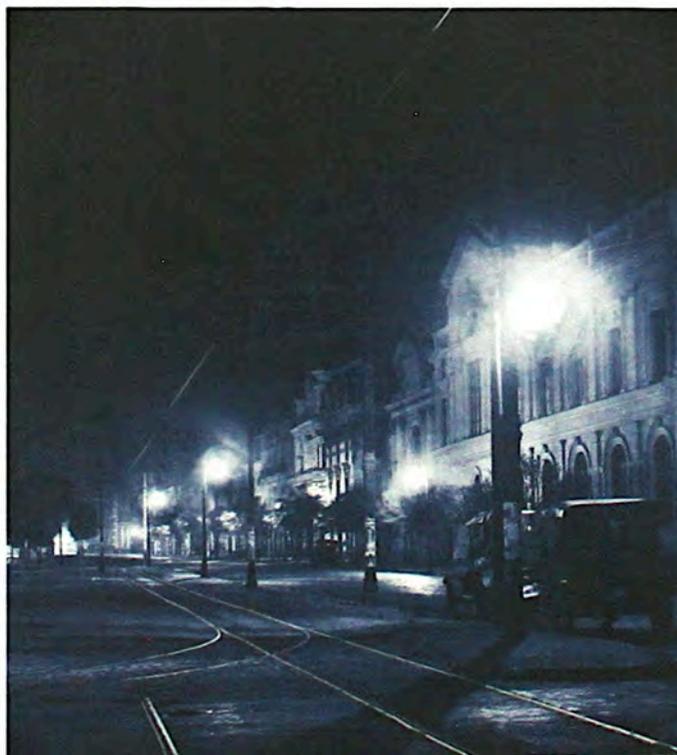
En 1905 se forma la Compañía General de Electricidad Industrial, que en 1919 abastece la zona entre San Fernando y Temuco, con 4 centrales hidroeléctricas y 2 térmicas, y 4.000 KVA de capacidad total. La Compañía General ha continuado activa y exitosa hasta hoy.

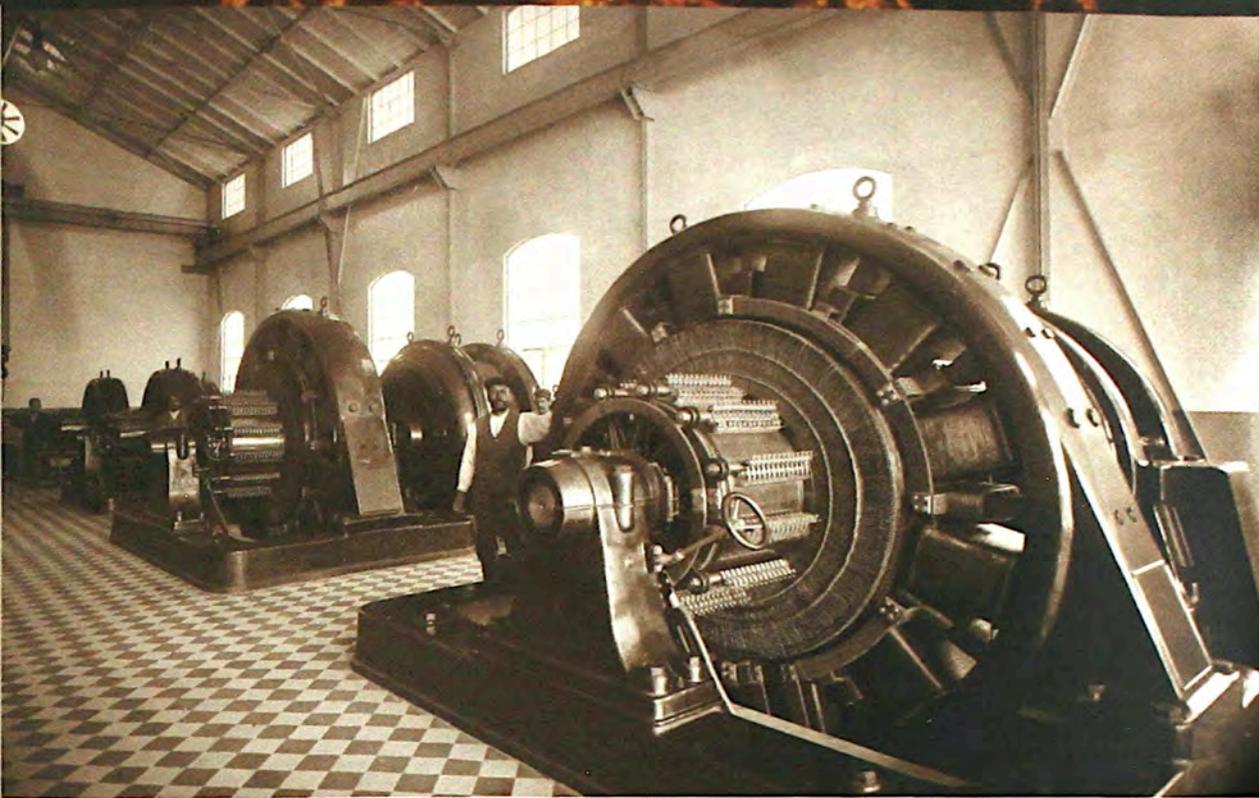
El crecimiento anterior es rápido y desordenado, con una multiplicidad de voltajes y frecuencias de 50 y 60 ciclos.

Después de la primera guerra se forma, en 1921, la Compañía Chilena de Electricidad, de la American Foreign Power, que construye dos centrales hidroeléctricas y una térmica en 1923 y 1928, con un total de 75.000 KVA. La compañía abastece Santiago y Valparaíso, construye un sistema interconectado de 110 KV y normaliza la frecuencia en 50 ciclos y el voltaje doméstico en 220 V.

Se forman, además, compañías eléctricas en 9 ciudades entre Antofagasta y Punta Arenas, se crea la Sociedad Austral de Electricidad, entre Osorno y Puerto Montt, y la gran minería del cobre construye importantes centrales térmicas en Tocopilla y Barquitos.

En 1940, el país tiene un sistema eléctrico organizado pero muy insuficiente para sus necesidades.





## LA INDUSTRIALIZACIÓN

**E**n este período de 34 años entre la creación de la Corporación de Fomento en 1939 y el Gobierno Militar de 1973, se viven tiempos difíciles. En lo político hay gobiernos estables hasta 1970, seguidos de un régimen marxista de 3 años, con serios problemas de división interna y aislamiento mundial que terminan con el golpe militar de 1973. En lo material, es afectado por 6 terremotos destructivos, uno por cada Presidente, la peor secuencia de su historia, que incluyen el de Chillán de 1939, en que se pierden 30.000 vidas, y los del 21 de mayo de 1960, en Concepción, y 22 de mayo en Valdivia, de magnitud 9,5 Richter, el mayor registrado en la historia de la humanidad.

A pesar de lo anterior, el período es uno de los más fecundos de la ingeniería chilena. Los principales logros son los siguientes:

- La creación de la Corporación de Fomento, CORFO, que materializó el plan de industrialización más importante en la historia de Chile.
- La "chilenización" de la Gran Minería del Cobre, en que el Estado se hizo socio de las empresas norteamericanas y luego dueño de las minas.
- La creación de la Empresa Nacional de Minería, ENAMI, para fomentar la minería mediana.

- La creación de grandes industrias exportadoras de celulosa, madera y hierro.
- La materialización de importantes obras públicas de riego, agua, pavimentación de 3.000 km y construcción de 4 puertos mayores y 2 aeropuertos internacionales.
- La extensión de la capacidad tradicional de la ingeniería civil y de minas a las especialidades mecánica, eléctrica, electrónica, comercial e industrial.
- La formación de las primeras empresas privadas de ingeniería multidisciplinaria y de construcción industrial.

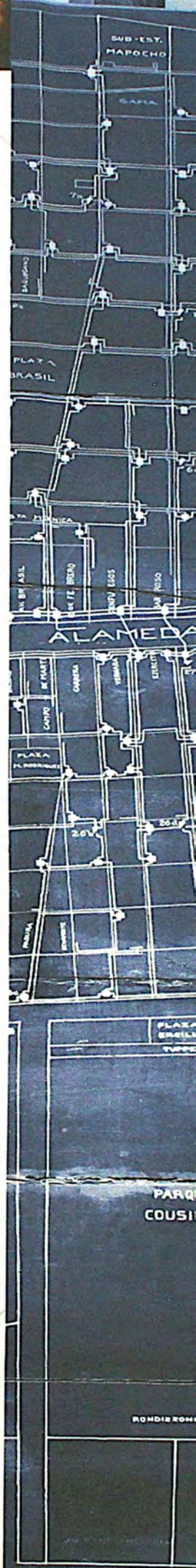
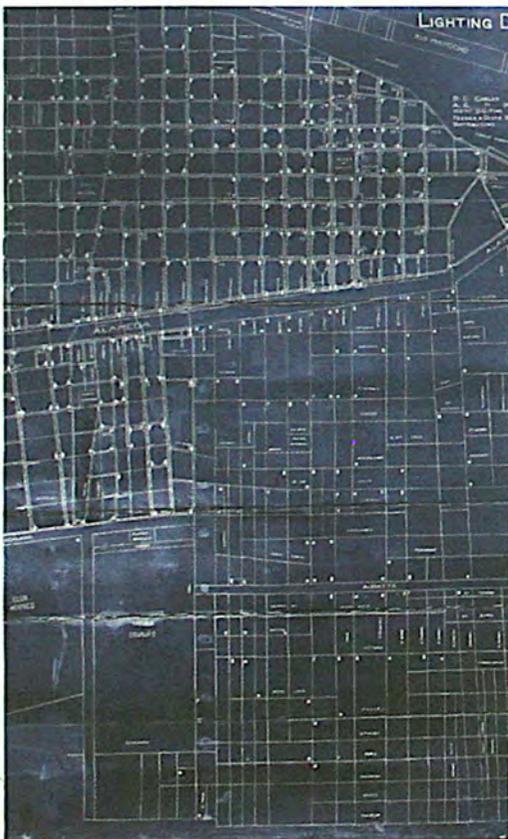
## La ingeniería

En este período, la ingeniería tradicional, civil y de minas, aumenta su capacidad para hacer frente a la industrialización pesada iniciada por la CORFO en sus programas de electrificación del país y creación de las industrias siderúrgica y del petróleo. Como estos planes se inician durante la 2ª Guerra Mundial, cuando la ingeniería de los países desarrollados tenía prioridades relacionadas con el conflicto, la participación de la ingeniería nacional es necesariamente prioritaria.

Las políticas seguidas por la CORFO son distintas en los tres desarrollos citados.

La electrificación, que empieza durante la guerra, hace necesario organizar en la Empresa Nacional de Electricidad, ENDESA, grandes departamentos internos de Ingeniería y Construcción, que obtienen asesorías puntuales de consultores extranjeros. Estos departamentos se privatizan varias décadas después.

En los proyectos siderúrgicos y del petróleo y petroquímica, que se inician al término de la guerra, la Compañía de Acero del Pacífico, CAP, y la Empresa Nacional del Petróleo, ENAP, contratan la ingeniería a empresas norteamericanas que tienen la experiencia que en Chile no existe. Los proyectos se hacen en los EE.UU., con un número apreciable de ingenieros





jóvenes chilenos, que actúan como ayudantes en las diversas especialidades, tienen entrenamiento de operación en plantas norteamericanas y a su regreso pueden, en pocos años, controlar las industrias y hacer en Chile la ingeniería de las ampliaciones posteriores. Desde el principio, CAP y ENAP adoptan la política de traspasar al sector privado la ingeniería y construcción de sus nuevas obras, dándoles el apoyo técnico especializado de que carecen.

Las políticas citadas son un ejemplo exitoso de transferencia de tecnologías hacia el país.

La enseñanza de la ingeniería se adapta a las necesidades. La Universidad de Chile crea las carreras de Ingeniería Comercial e Industrial en 1940 y la Universidad Católica lo hace en 1950. La Escuela de Artes y Oficios se transforma en Universidad Técnica del Estado en 1942, con Ingeniería Industrial como su primera profesión. La Universidad de Concepción, en 1954, organiza carreras de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, con el apoyo de CAP.

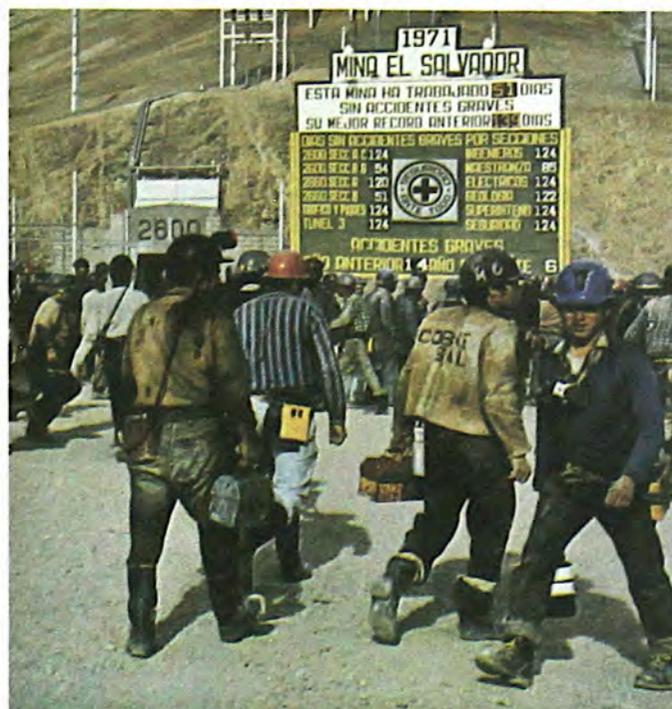
En las décadas del 40 y 50, las universidades organizan sus laboratorios de ensayos a cargo de dos instituciones importantes, IDIEM, en la Universidad de Chile y DICTUC, en la Universidad Católica. En la década del 50, el Rector de la Universidad de Chile, Juan Gómez Millas, establece bases sólidas para la investigación científica y tecnológica, ejemplo que es prontamente seguido por las otras universidades.

Como consecuencia de la industrialización, se forman en la década de 1950 las primeras empresas privadas multidisciplinarias de ingeniería y de construcción. Estas entidades tienen un crecimiento importante en la década siguiente. El MOP y ENAMI adoptan la política de contratar servicios y, para las grandes ampliaciones de la "chilenización" del cobre, el gobierno establece políticas que promueven la ejecución de los proyectos en Chile, bajo la responsabilidad de las empresas especializadas extranjeras, con una componente importante de ingeniería nacional.

Las grandes empresas mundiales de ingeniería, Bechtel, Fluor, Mc Kee y Parsons establecen oficinas en Chile y operan con una mayoría de profesionales nacionales. Debido a esta política, que se ha seguido hasta hoy, Chile desarrolla una capacidad local de ingeniería y construcción industrial que es única en Sudamérica.

En el campo gremial hay desarrollos importantes. En 1958, el Instituto de Ingenieros forma el Colegio de Ingenieros de Chile, institución que agrupa a los profesionales de todas las especialidades y que en 1972 tiene 14.000 socios. En 1967, se organiza en Santiago la Asociación de Ingenieros Consultores, AIC, inicialmente con 15 empresas y 300 profesionales, que en 1972 toma la iniciativa para formar la Federación Latinoamericana de Consultores, FELAC, que es la contraparte de la Federación Mundial de Consultores, FIDIC, que representa a los países desarrollados.

Durante el Gobierno de la Unidad Popular, 1970 a 1973, no hay un intento serio de nacionalizar las empresas de ingeniería, debido a su escasa significancia económica, pero se forman grandes empresas estatales de Ingeniería en CODELCO, CORFO Y CAP, que tienen los proyectos del Estado, que son todos, porque el sector privado no está en condiciones de proyectar nada. Estas instituciones enfrentan los problemas lógicos de organización de una gran empresa de ingeniería, razón por la cual subcontratan proyectos al sector privado.





### La CORFO y sus obras

Durante las primeras tres décadas de este siglo, la economía del país, que depende principalmente de las exportaciones de salitre, tiene un dramático desenlace con la gran crisis mundial de 1929, que causa el cierre de la industria salitrera y la mayor paralización industrial y agrícola, quiebras y cesantía que el país ha tenido.

La crisis sobreviene durante el gobierno de Carlos Ibáñez, en el cual un grupo de ingenieros, que había advertido la necesidad de diversificar la producción, forma comisiones de estudio en el Colegio de Ingenieros, para proponer políticas de desarrollo económico.

En la década siguiente, durante el gobierno de Arturo Alessandri, se materializan las políticas que postulan un "crecimiento hacia adentro", en que el Estado debe ser un agente activo del desarrollo económico y social con dos principios básicos: la electrificación del país y la industrialización para sustituir importaciones.

Los planes citados son incluidos en el programa del Frente Popular, coalición de izquierda que lleva a la presidencia a Pedro Aguirre Cerda quien, en 1939, crea la Corporación de Fomento de la Producción. Los ingenieros responsables de los planes fueron José Luis Claro, Hernán Edwards, Reinaldo Harnecker, Vicente Izquierdo, Rodolfo Jaramillo, Walter Müller, Fernando Palma y Raúl Simon.

### *Características*

Las principales características de la CORFO se resumen a continuación:

- No es una institución estatizante. Forma empresas en las que siempre busca la participación privada.
- Es una institución financiera importante y respetada internacionalmente, que puede obtener créditos que están más allá de la capacidad del sector privado y que nunca deja de pagar puntualmente sus créditos.
- Hasta 1970 cumple un rol fundamental en la industrialización del país. Durante la Unidad Popular se transforma en una institución encargada de nacionalizar industrias. Durante el gobierno militar invierte su posición y es privatizadora. El gobierno democrático redefine su rol, dándole las siguientes responsabilidades: apoyo técnico a la innovación industrial, apoyo financiero a la pequeña y mediana empresa y operación de las empresas estatales no privatizadas.

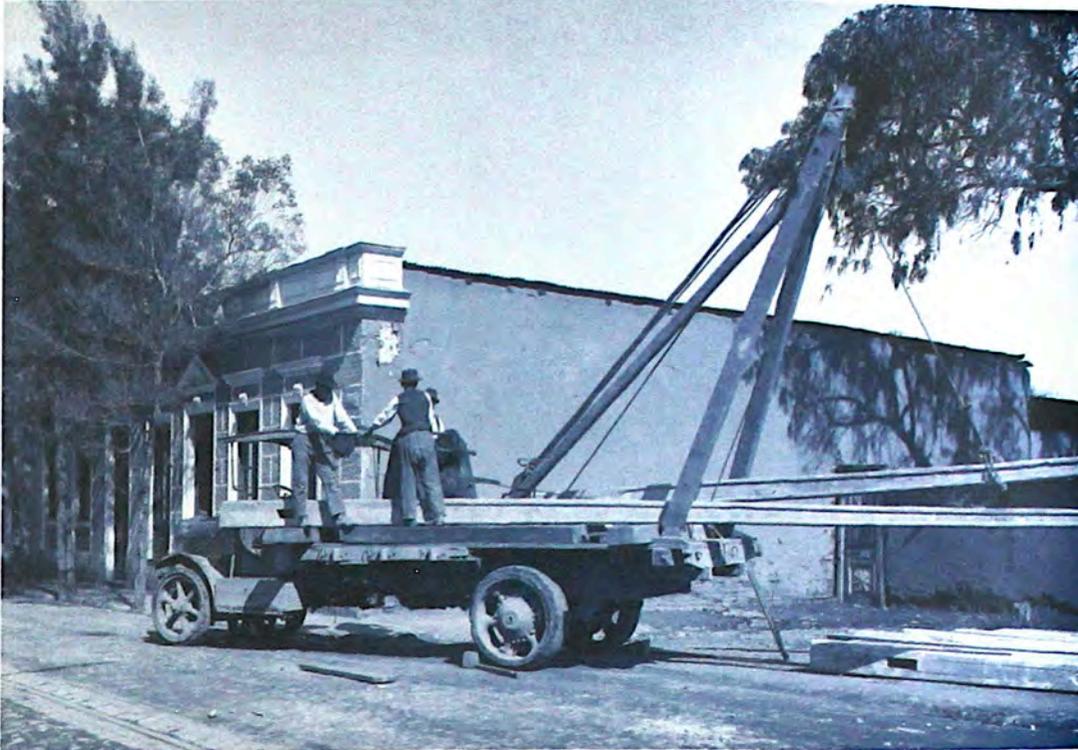
### **Electrificación**

Desarrolla dos programas: la electrificación primaria y la complementaria. La primera incluye las centrales y las líneas de alta tensión que formarían el sistema interconectado; la complementaria incluye la distribución urbana, la rural y el regadío mecanizado.

Para el plan primario se organiza en 1943 la Empresa Nacional de Electricidad, ENDESA, sociedad anónima estatal. El plan complementario se entrega mayoritariamente a empresas privadas.

Entre 1944 -cuando se pone en marcha Pilmaiquén, la primera central- y 1973, cuando se inaugura El Toro, ENDESA ha construido 10 grandes centrales hidroeléctricas y 10 térmicas entre Arica y Punta Arenas, y la potencia instalada se ha quintuplicado, de 500 a 2.500 MVA. Las cifras incluyen 500 MVA de otras empresas, principalmente la Compañía Chilena de Electricidad, la Compañía General de Electricidad Industrial y la Gran Minería del Cobre.





ENDESA, al igual que todas las empresas CORFO, promueve activamente la ingeniería y las industrias nacionales. Tecnologías como la electrotecnia, la geotecnia, la hidrología y topografía moderna tienen un desarrollo notable dentro de ENDESA que es aprovechado por todo el país. Entre las industrias que apoya están las plantas de estructuras y calderería, transformadores, motores eléctricos, aisladores, medidores, tableros y cablería.

La electrificación tiene una influencia decisiva en el desarrollo del país, hace posible la industrialización y mejora sustancialmente el estándar de vida de los chilenos.

### **Hierro y acero**

En 1939, el Comité del Acero de CORFO prepara un estudio de factibilidad, con asesoría norteamericana, que obtiene un crédito de 28 millones de dólares para construir una planta de acero de 180.000 t anuales de capacidad, ubicada en Huachipato, bahía de San Vicente, Concepción.

El mismo año se organiza la Compañía de Acero del Pacífico, CAP S. A., con 53% de capital privado y 47% estatal.

La planta Huachipato se construye entre 1947 y 1950. El mismo año, el crecimiento del mercado justifica una ampliación a 300.000 t anuales, que se inaugura en 1953. Desde entonces se registran 6 ampliaciones que llevan la capacidad anual a 1.200.000 t. La ingeniería de todas las ampliaciones se hace en Chile.

Además de la Planta de Acero, CAP construye plantas de estructuras, caldererías y cañerías, que aumentan el mercado anual de 3.000 a 30.000 t en 10 años.

Huachipato promueve la formación de industrias anexas, entre las que pueden citarse INCHALAM, de alambres, INDURA, de soldaduras, Bío Bío, de cemento de escorias, ARMCO, de bolas de molino, CINTAC y COMPAC, de perfiles y cañerías, y 3 maestranzas de estructuras, EDYCE, Cerrillos y Maipú.

CAP tiene también un rol importante en la minería del fierro. En 1961 adquiere las minas de Bethlehem y la Compañía Minera Santa Fe en el Norte Chico, forma la Compañía Minera del Pacífico, construye plantas de beneficio y aglomerados (pellets) y habilita dos grandes puertos, Guayacán y Guacolda, para barcos metaleros hasta 270.000 t, para exportar a Japón. La exportación anual de fierro, que en 1956 es de 3 millones de toneladas, aumenta a 6 millones en 1960 y es superior a 12 millones desde 1965.

La contribución de CAP a la ingeniería nacional es importantísima. En 1951 crea el primer Departamento de Ingeniería Industrial de una empresa, prepara normas chilenas relacionadas con el acero, organiza cursos en las universidades de Concepción y Santiago, y forma escuelas de soldadores, obreros metalúrgicos y dibujantes proyectistas.

En 1950 no existen en el país empresas de ingeniería, con excepción de los calculistas de edificios. La planta Huachipato incentiva la formación de empresas multidisciplinarias de ingeniería privada con capacidad para proyectos industriales, a las que da contratos cada vez más importantes.

En su primera ampliación de 1951, Huachipato no quiere repetir la experiencia inicial de construir con fuerzas propias y decide ayudar a constructores nacionales a formarse en el campo industrial. Invita, en consecuencias, a constructores sin experiencia industrial, les facilita técnicos y equipos y otorga contratos.





### El petróleo y la petroquímica

La búsqueda de petróleo en Chile es de antigua data. Entre 1908 y 1942, diversas instituciones privadas y estatales hacen exploraciones en Llanquihue y Punta Arenas, sin resultados. En 1942, el Ministerio de Fomento contrata asesoría norteamericana que recomienda la Isla Grande de Tierra del Fuego y traspasa la responsabilidad a CORFO. El 29 de diciembre del mismo año, un equipo encabezado por Eduardo Simián encuentra petróleo en Springfield, hoy Manantiales.

Entre 1942 y 1949, el Servicio de Petróleo de la CORFO perfora 23 pozos, construye la red de oleoductos y un puerto de embarque en Caleta Clarencia y, lo que es más importante, forma un equipo profesional chileno capaz de manejar la empresa.

En 1950 se forma la Empresa Nacional de Petróleo, ENAP, estatal, que lleva la industria a su madurez. En Magallanes, los pozos llegan a ser 512 en 1960, se construyen oleoductos y gaseoductos en Punta Arenas y Chile Central, las refinerías de Con Con en 1953 y San Vicente en 1957, la planta Cabo Negro para licuar y embarcar gas y las de Ventanas y San Vicente para recibirlo. En 1960 se inicia el proyecto Costa Afuera para explotar el petróleo marino del Estrecho.

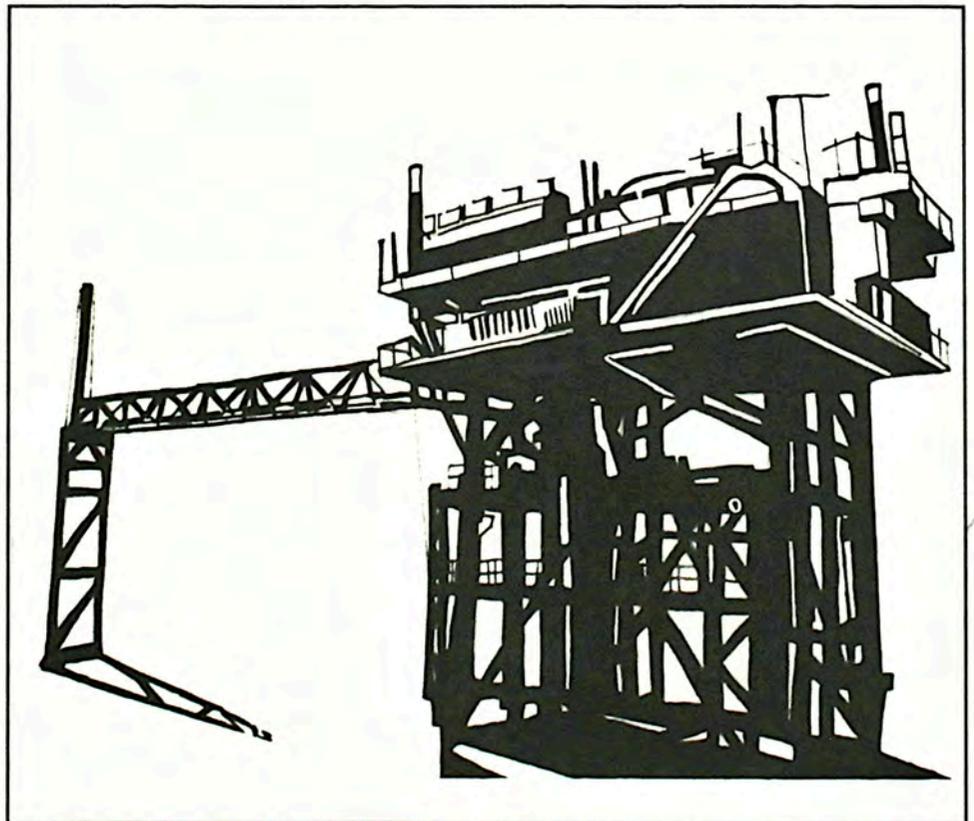
En 1970, ENAP produce el 50% de las necesidades de petróleo, importa y refina el resto y tiene una completa red de abastecimiento de gas licuado en el país.

Además del petróleo, CORFO desarrolla la industria petroquímica. En 1960 se prepara un plan maestro que incluye cuatro complejos: etilénico, aromático, acetildeido y amoniacal, y 15 plantas, con una inversión de 120 millones de dólares. Se forma así una gran industria nacional de química orgánica para la producción de plásticos, abonos, pinturas y productos químicos. El desarrollo forma parte de los acuerdos del Pacto Andino.

En 1967, se forma la Sociedad Petroquímica Chilena, que tiene como socios a CORFO y ENAP, que a su vez se asocia con DOW CHEMICAL de los EE.UU., con el nombre de PETRO-DOW. En 1970 se han construido dos plantas en San Vicente, la de Cloro Soda y la de Cloruro de Vinilo PVC.

Debido a los acontecimientos políticos de la Unidad Popular y al retiro posterior de Chile del Pacto Andino, el plan no continúa. Sin embargo, en 1980, empresas privadas construyen la Planta de Metanol en Magallanes, que forma parte del Complejo Amoniocal.

Al igual que las otras empresas, CORFO, ENAP y Petroquímica apoyan decididamente el desarrollo de las empresas nacionales de ingeniería, construcción y fabricación de bienes de capital.



## Otras empresas CORFO

Además de las citadas, CORFO contribuye a la formación de numerosas empresas, entre las cuales están las siguientes:

- Industria Nacional de Azúcar, IANSA, con 5 plantas en Curicó, Linares, Los Angeles, Chillán y Llanquihue.
- Tres plantas de celulosa y papel, INFORSA, ARAUCO y CONSTITUCION.
- ENTEL, Empresa Nacional de Telecomunicaciones.
- Industrias pesqueras, que llegan a tener 39 plantas.
- Las industrias electrónicas RCA, Philips y Bolocco.
- Son especialmente importantes las industrias de celulosa, que en conjunto con la Planta Laja de la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones, CMPC, construida en 1957, son la base de la industria de exportaciones no tradicionales más importante del país.

## Filiales

Para fomentar el desarrollo tecnológico, CORFO forma las organizaciones filiales de investigación, formación profesional y asesorías que se citan a continuación:

- Servicio de Cooperación Técnica, SERCOTEC.
- Instituto Nacional de Normalización, INN.
- Instituto Nacional de Capacitación, INACAP.
- Instituto de Fomento Pesquero, INFOP.
- Instituto Forestal, INFOR.
- Instituto de Investigaciones Tecnológicas, INTEC.
- Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN.
- Comisión de Bienes de Capital.

### Obras públicas

Las obras públicas durante este período de la historia de la ingeniería continúan con un ritmo importante. Las principales son:

- Los embalses La Paloma y Digua, el aumento de capacidad de la Laguna del Maule y 12 canales de riego de 1.023 km con capacidad para 376.000 hectáreas.
- El embalse El Yeso y 770 km de cañerías de acero para el agua potable de Santiago, Valparaíso, Antofagasta, Iquique y muchas otras ciudades.
- 12.000 km de caminos, 2.800 de ellos pavimentados, que incluyen el longitudinal desde la frontera peruana hasta Castro.
- 9 puertos mayores. El Estado construye 4: Arica, Coquimbo, San Vicente y Puerto Montt, y 5 el sector privado: Huasco, Guayacán, Lirquén, Huachipato y Jureles.
- Los aeropuertos internacionales de Antofagasta, Concepción, Puerto Montt y Punta Arenas, además de 4 en Aysén y la Antártica.
- Se inicia el Metro de Santiago.

47



## Minería

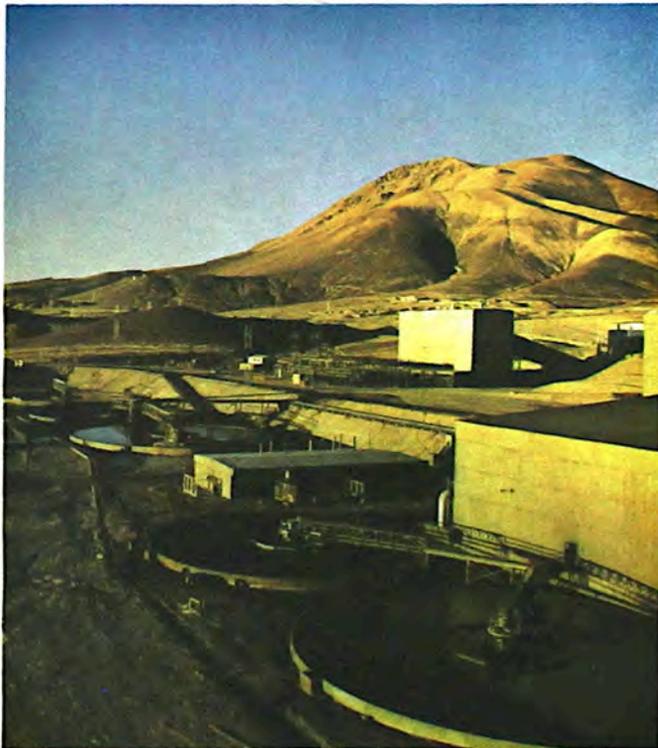
En la Gran Minería hay cambios básicos. Así, en 1955 se dicta la ley del "Nuevo Trato", que otorga incentivos tributarios para ampliarse a las empresas norteamericanas, las que aumentan su producción anual de 433.000 t a 570.000 t.

48

En 1964 se inician las negociaciones de "chilenización" y "nacionalización pactada", en las que el Estado se asocia con las empresas y toma control de las ventas, a través de la Corporación del Cobre, CODELCO, en 1966. Se forman así las nuevas sociedades y se inician, en 1967, ampliaciones para aumentar la capacidad anual a 945.000 t, con una inversión de 550 millones de dólares. En 1970, las obras están en sus fases finales de construcción.

Las ampliaciones son controladas por 4 grandes empresas internacionales de ingeniería: Bechtel, Fluor, Mac Kee y Parsons. Estas firmas, tanto por razones económicas como políticas, subcontratan la ingeniería de detalles y la construcción con empresas chilenas que pueden así adquirir nuevas tecnologías y crecer sustancialmente.

Ese año, el Gobierno de la Unidad Popular anuncia su intención de nacionalizar las minas y sus ejecutivos toman control de las plantas. El momento es mal elegido, porque los socios norteamericanos, en medio de una compleja puesta en marcha, retiran sus supervisores, lo que atrasa en 3 años el aumento de producción. En 1972, el Gobierno, con la aprobación unánime del Congreso, nacionaliza la Gran Minería del Cobre.



Los desarrollos de la minería mediana y pequeña del cobre son importantes. En 1927, se había formado la Caja de Crédito Minero y en 1955, la Empresa Nacional de Fundiciones, que con la ayuda de CORFO construye la Fundición de Paipote. La Caja y la Empresa se fusionan en 1960 con el nombre de Empresa Nacional de Minería, ENAMI, que construye la Fundición Ventanas en 1962. En el sector privado la compañía minera Sali Hochschild, fundada en 1924, abre nuevas minas y construye plantas de flotación y lixiviación en La Ligua, Copiapó, Chañaral y Michilla.

En la minería del carbón, Lota y Schwager se fusionan en 1964 y llevan a cabo proyectos de mecanización. En 1970 son expropiadas por CORFO, que organiza la Empresa Nacional del Carbón ENACAR. Debido al alejamiento de los frentes de trabajo, la disminución de las leyes y la competencia del carbón importado y otros combustibles, ENACAR registra pérdidas crecientes que, con los años, llevan al cierre de la empresa.

Al igual que el carbón, el salitre tiene serios problemas económicos. Las plantas Shanks se cierran y las Guggenheim disminuyen su producción. La Compañía Salitrera de Tarapacá y Antofagasta desarrolla tecnología de secado solar que algo mejora la situación, pero no la soluciona. A iniciativa de Raúl Sáez, se forma la Sociedad Química y Minera de Chile, SOQUIMICH, con mayoría privada, que además de salitre, produciría yodo y otros productos investigados por CORFO, como el sulfato de sodio y las sales de litio. La iniciativa aborta con la expropiación de SOQUIMICH, la que, 20 años más tarde, logra materializarla.

### **Industrias**

La industria privada, paralelamente, tiene desarrollos importantes, entre los que pueden mencionarse:

- Las plantas papeleras y de celulosa de Puente Alto, Laja y San Pedro de CMPC.
- Plantas metalúrgicas de electrodomésticos y productos terminados, siendo las principales MADEMSA, MADECO, FENSA, CTI y FANTUZZI.
- Industrias del vidrio y loza en Lirquén, Penco, Lota y Santiago.
- Plantas de cemento en San Vicente, Polpaico y Antofagasta.
- Plantas de cerámica y refractarios en Santiago y Lota.
- YARUR, SAID y otras industrias textiles en Santiago, Chiguayante y Tomé.
- Armaduras de automóviles en Arica, Los Andes, Casablanca y Rancagua.



## LA ECONOMÍA DE MERCADO

**E**l período de 25 años desde la caída de la UP se individualiza por la adopción, como política oficial, de la "Economía Social de Mercado". Características del esquema son la transferencia masiva de industrias y responsabilidades al sector privado, la liberación del cambio, la reducción de aranceles, la apertura al comercio exterior y el ingreso del país a las comunidades económicas globalizadas.

El desarrollo se caracteriza por inversiones en nuevas obras mineras, industriales, viviendas y edificios, a una escala desconocida hasta entonces, y el aumento de los negocios y de las exportaciones tradicionales y no tradicionales. Las inversiones en obras públicas, que no son suficientes para el desarrollo, están aumentando significativamente con una política de traspaso al sector privado.

Las inversiones anuales en los últimos años son del orden del 20% del Producto Interno Bruto, PIB, de las cuales aproximadamente el 50% corresponde a minería e industrias, el 30% a edificios y viviendas y el 20% a obras públicas. En minería e industrias, las inversiones privadas, principalmente extranjeras, alcanzan el 80%. En el total, considerando las importantes inversiones estatales en viviendas e infraestructura, la participación del sector privado llega al 55%.

### La ingeniería

La ingeniería crece a la par con el desarrollo; hay un aumento significativo de las universidades que titulan ingenieros, el país llega a ser tecnológicamente autosuficiente e inicia la exportación de servicios.

Las universidades modifican sus estudios para formar los profesionales necesarios en la época de la computación y la informática. La segunda revolución industrial es así adecuadamente asimilada.

Como consecuencia de la política de privatización universitaria, el número de escuelas que gradúan ingenieros aumenta de 6 a 62 y los títulos de 6 a más de 30. El crecimiento del número de ingenieros es explosivo, de 14.000 a cerca de 40.000. A pesar de los problemas iniciales relacionados con la calidad y ética profesional, el crecimiento en el largo plazo debe ser a la larga beneficioso, porque de acuerdo con J. J. Brunner, la cantidad de ingenieros en relación con la población en Chile es la mitad de la de Argentina y la cuarta parte de la de Corea.



Las grandes empresas, tanto estatales como privadas, traspasan sus departamentos de ingeniería al sector privado. Se forman así más de 60 empresas consultoras con cerca de 5.000 profesionales.

Las multidisciplinarias que trabajan para la minería y la industria tienen entre 50 y 500 profesionales, trabajan en estrecha colaboración con las multinacionales y satisfacen no solo las necesidades del país, sino que exportan servicios a México, África, Asia y otros países latinoamericanos. Las empresas de computación e informática tienen también un desarrollo considerable.

Tradicionalmente, las empresas chilenas hacían únicamente ingeniería de detalles. La ampliación a ingeniería básica y de procesos está en desarrollo. En ingeniería sísmica, Chile está entre los tres países más avanzados del mundo, en metalurgia y procesos del cobre desarrolla tecnología propia y exporta servicios y en los modernos sistemas de construcción por paso rápido ha batido récords mundiales, en asociación con Bechtel, en los proyectos mineros de El Abra y Radomiro Tomic.

### **Las obras**

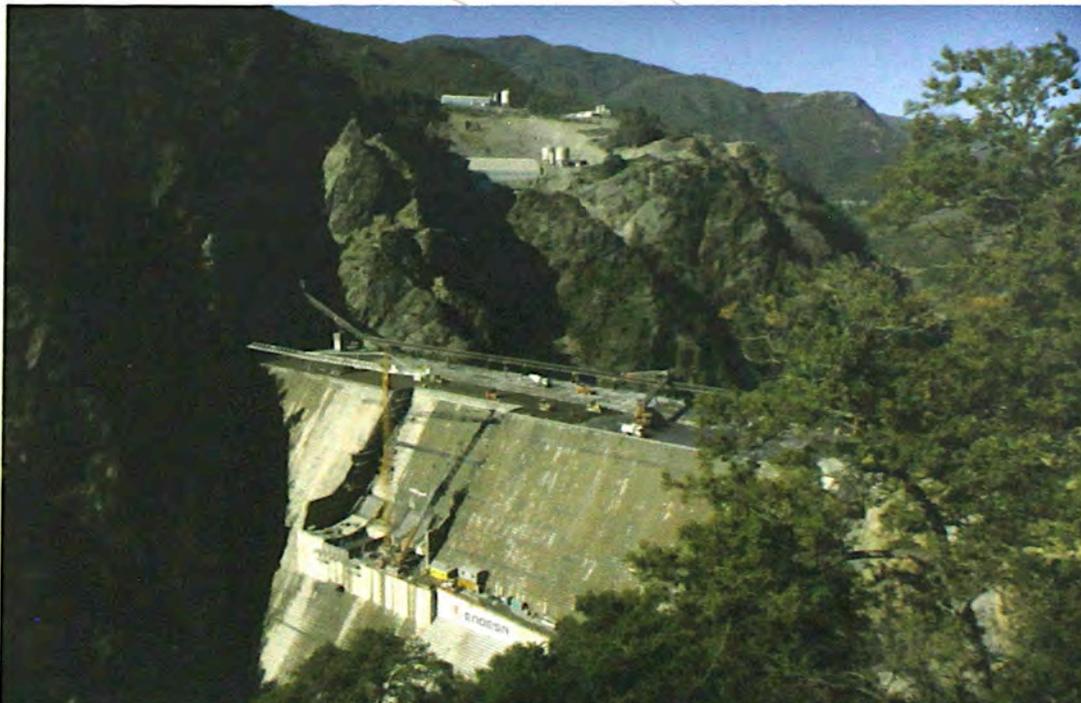
La inversión en grandes proyectos, que en muchos casos excede los cientos de millones de dólares, tanto nacionales como extranjeros, es superior a cualquier período anterior. El siguiente es un resumen de los principales proyectos.

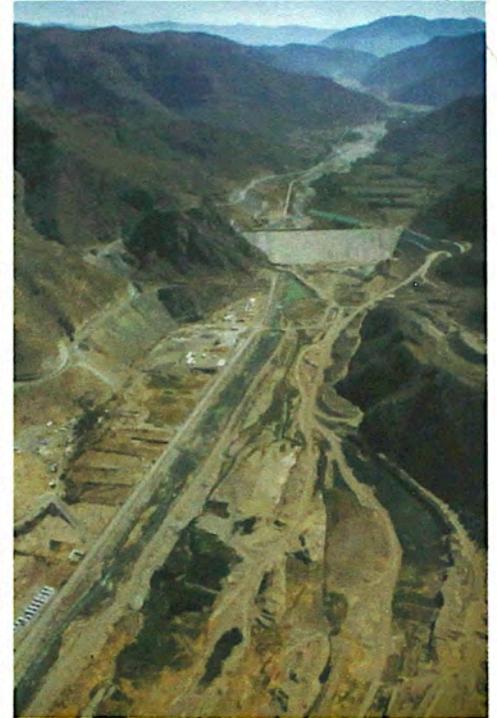
- **Minería e industrias.** La producción de cobre se duplica, con la construcción de megaproyectos en el norte, la mayoría con inversión extranjera. Entre ellos pueden citarse La Escondida, Cerro Colorado, Quebrada Blanca, Pelambres, El Abra, Radomiro Tomic y Collahuasi, este último el de mayor inversión conocido en el ramo.

Otros desarrollos mineros importantes son la ampliación de las minas de hierro, la apertura de las de carbón en Punta Arenas y la explotación del Salar de Atacama, que nos ha transformado en el primer productor mundial de litio.

Las ampliaciones industriales más importantes son probablemente las de la Compañía Siderúrgica Huachipato y la miniacera AZA.

- **Papel, celulosa y madera.** En este campo, que aprovecha las ventajas naturales de crecimiento de nuestros pinos, se construyen también megaproyectos, las plantas Arauco 2, Celulosa del Pacífico, Santa Fe y Licancel.
- **Energía.** El crecimiento es impresionante. Las empresas tradicionales privatizadas no solo aumentan sus obras en Chile, sino que son importantes inversionistas en Argentina, Brasil, Perú y otros países.



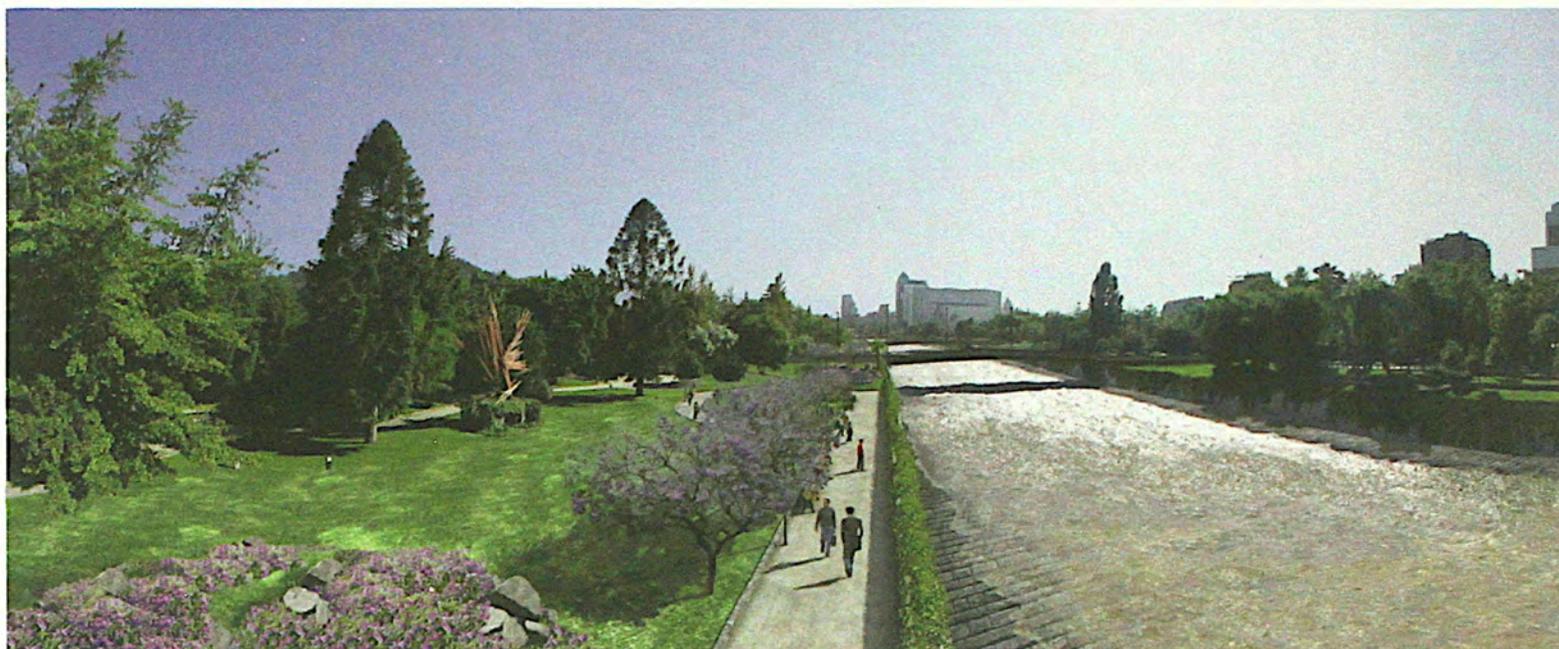


Se construyen plantas hidroeléctricas en Colbún, Machicura y el alto Bío Bío, y la traída de gas natural de Argentina da origen a 6 plantas térmicas de ciclo combinado en el centro y norte del país.

Otro hito importante es la creación del Sistema Integrado del Norte Grande, SING, que se hizo posible con la apertura de las minas de carbón de Pecket, en el extremo sur, y con la central Tocopilla, en el extremo norte del país.

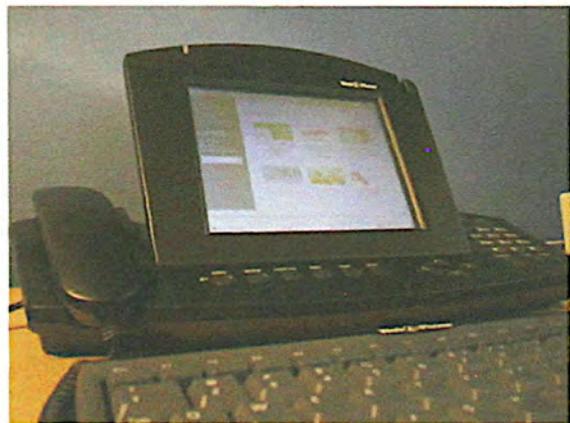
- **Puertos.** Se construyen 13 puertos, 4 estatales y 9 privados. Los primeros son las ampliaciones de Valparaíso y San Antonio después del terremoto de 1985, ampliación de San Vicente y Chacabuco, en Aysén. Entre los segundos están Tocopilla, Mejillones, Coloso y Punta Padrones en el norte, ampliación de Lirquén, Puchoco y Coronel, en la 8ª región y Bahía Catalina y Pecket, en Punta Arenas.

Pecket y Tocopilla obtienen un premio a la mejor obra portuaria de 1988 en los EE.UU., y Padrones fue premiado por su excelente ecología por el Ministerio de Minería en 1996.



**Caminos.** La Carretera Austral es una obra señera en el país. Con ella se inicia la política de construir obras de unificación geográfica, aunque no se justifiquen económicamente en el corto plazo, que se piensa aplicar nuevamente con el puente colgante a Chiloé sobre el canal de Chacao, que con 2.200 m de longitud atrae la atención mundial.

Se inicia también la política de construcción de caminos por concesiones, que en el futuro contempla el programa más ambicioso de nuestra historia, con la doble vía de Arica a Puerto Montt, el longitudinal costero y numerosos caminos transversales e internacionales, como parte de los corredores bioceánicos. Se ha informado que estos planes incluyen 270 nuevos puentes, la reconstrucción de 700 y, en el largo plazo, el reemplazo de 7.000 puentes de los 8.000 de madera que existen.



**Comunicaciones a larga distancia.** Hay en ejecución un intenso programa de ampliaciones telefónicas y comunicaciones a larga distancia, tanto con fibra de vidrio como satelital e inalámbrico. Con inversiones anuales del orden de US\$ 1.000 millones, Chile está en la vanguardia tecnológica en esta materia.

**Agua y alcantarillado.** Otro rubro importante tiene relación con el agua potable y alcantarillado, con inversiones sustanciales en plantas de tratamiento de aguas servidas, agua potable rural y captación de las aguas lluvia de Santiago. La política incluye la privatización de las 13 empresas sanitarias del Estado.

- **Viviendas y edificios.** Las construcciones han aumentado en los últimos años a razón de 15% anual, hasta alcanzar 5.000.000 m<sup>2</sup> en viviendas y 1.500.000 m<sup>2</sup> en otros edificios, con una inversión del orden de US\$ 3.000 millones que equivalen a 4,5% del PIB. Es interesante notar que Chile está construyendo más de 100.000 viviendas anuales, número superior a los nuevos matrimonios; en esta forma Chile y Costa Rica son los únicos países en América Latina que han logrado revertir el antiguo déficit habitacional.
- **Ferrocarriles.** Se inicia un programa racional de privatización parcial de los ferrocarriles que bien puede devolver a este medio de transporte la importancia que tiene en los países europeos y Japón.

---

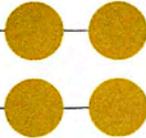
El texto de este capítulo reproduce parte importante del artículo *La Ingeniería Chilena y sus logros*, cuyo autor es el ingeniero Elías Arze Loyer y que fue publicado en la revista *INGENIERÍA* del Instituto de Ingenieros de Chile en diciembre de 1998.

## REFERENCIAS

- *Historia de la Ingeniería en Chile*, E. Greve, Imprenta Universitaria, 1938.
- *Historia de la Ingeniería en Chile*, S. Villalobos et al, Hachette 1990.
- *Memorias de 90 años*, MOP, 1990.
- *Diez años en la Araucanía*, G. Verniory, Imprenta Universitaria 1975.
- *Señores de la tierra*. Elías Arze Bastidas, 1972.
- *La Ingeniería Chilena del Siglo 21*, Hachette 1989.
- *Política Eléctrica Chilena*, Instituto de Ingenieros, 1935.
- *El concepto de Industria Nacional y la protección del Estado*, Instituto de Ingenieros, 1938.





 **Capítulo II**

# Obras Civiles Contemporáneas

*años*

**INGENIERIA CIVIL**  
UNIVERSIDAD DE CHILE



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES





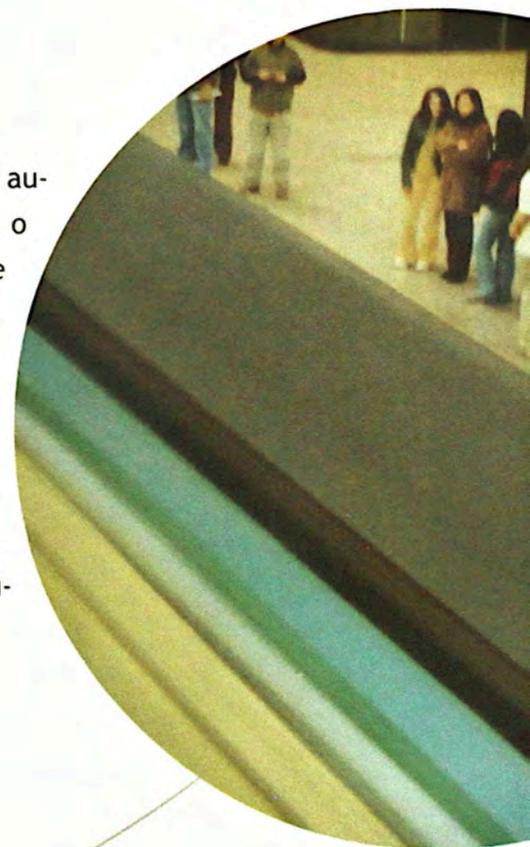
UNIVERSIDAD DE CHILE





### CONSTRUCCIÓN DE LA RED DEL METRO

**P**ara transportar 1.300 pasajeros, se requieren 930 automóviles, 33 buses, nueve trolleys, cinco tranvías... o un tren de Metro. Este hecho explica por qué se le asignó la tarea de ser el eje estructurante del Plan de Transporte Transantiago. Para ello, su principal objetivo pasa a ser la integración con otros medios de transporte, y participar así de la racionalización en el uso de recursos. En los próximos años, gracias a las extensiones en sus líneas y la construcción de una línea nueva, los actuales 40,2 kilómetros de red aumentarán a 85.





### **El Metro se desarrolla**

Dado el rol articulador que Transantiago asigna a Metro, su quehacer trasciende el ámbito de la empresa y se enmarca principalmente en un Plan de Ciudad orientado no solo a resolver los problemas de transporte, sino también a propiciar las condiciones necesarias para el desarrollo de una ciudad más amigable y humana.

La racionalización del sistema de transporte busca consolidar la actual red de Metro, lo que implica aumentar su cobertura para llegar a puntos estratégicos que faciliten la integración con otros modos de transporte, generando un ahorro importante en el tiempo de viaje de las personas.

El Plan de Desarrollo de la empresa considera tres frentes: a) la extensión de la red; b) la nueva Línea 4 desde Tobalaba hasta Puente Alto y La Cisterna, y c) proyectos asociados como la Tarjeta Multivía.

Las extensiones en ejecución son las siguientes:

Línea 5 al poniente: tramo Santa Ana - Matucana (1,9 km y 2 estaciones).

Línea 2 al norte: tramo Cal y Canto - Américo Vespucio (por Recoleta, 6,3 kilómetros y 7 estaciones).

Línea 2 al sur: tramo Lo Ovalle - Américo Vespucio (2,1 km y 2 estaciones).

Elemento relevante de las extensiones es el concepto intermodal de las estaciones terminales, que harán posible la integración con otros modos de superficie y también el aprovechamiento del Metro como Eje Estructurante de los viajes en la ciudad. Ello permitirá que una cantidad importante de buses modifiquen sus recorridos y sirvan como alimentadores del Metro. Para esto es vital contar con lugares físicos que faciliten el intercambio de pasajeros de manera segura, rápida y conveniente, haciendo activo el uso de la integración modal.

Los proyectos de extensión consideran como estaciones de intercambio modal el Terminal Quinta Normal (Catedral con Matucana), el Terminal Recoleta/Américo Vespucio y el Terminal Gran Avenida (Américo Vespucio con Gran Avenida)

#### La nueva Línea 4

Esta línea se inicia en la Estación Tobalaba de la Línea 1 y termina en la Plaza de Armas de Puente Alto y, en su otra vertiente, en Américo Vespucio con Gran Avenida. A su paso unirá once comunas: Providencia, Las Condes, La Reina, Ñuñoa, Peñalolén, Macul, La Florida, Puente Alto, La Granja, San Ramón y La Cisterna, con un costo de US\$ 1.007 millones y 33 kilómetros de extensión.

Este nuevo trazado generará en principio una demanda de 325 mil pasajeros por día y de 91 millones al año. En total, la demanda esperada para la red elevará a 350 millones la cifra actual de 200 millones de pasajeros al año (2002). En tanto, si se considera el sistema de transporte Transantiago en su totalidad, la demanda llegará a 500 millones de pasajeros al año.



## Beneficios sociales

El hecho de utilizar una vía exclusiva hace posible que los restantes modos de transporte incrementen su velocidad, disminuyan la ocurrencia de accidentes y se reduzcan los gastos de mantenimiento de las vías públicas y los consumos de combustible. En este sentido, el mayor beneficio social que genera Metro es la significativa reducción de tiempos de viaje de las personas.

62

Otro beneficio se encuentra en el aspecto medioambiental, con mejoras en la calidad del aire y su consiguiente impacto en el área de la salud y en la productividad de las personas. En este sentido, considerando descongestión y reducción de la contaminación, estudios dirigidos a determinar el beneficio social establecen que en el año 2002 la ciudad ahorró \$ 714 por pasajero transportado por el Metro.

## Algo de historia

El informe final con los antecedentes básicos para la selección de un Plan de Transporte Metropolitano para Santiago fue entregado en 1968, y el 24 de octubre de ese año el Presidente de la República, Eduardo Frei Montalva, firmó el decreto que dio vida a dicho plan. Esta fecha marca el inicio de las actividades que llevaron a la construcción de la red de Metro. Ese mismo año, en la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas se creó la Oficina de Construcción del Metro de Santiago, y en 1974 se dio vida a la Dirección General de Metro, siempre integrada al MOP.

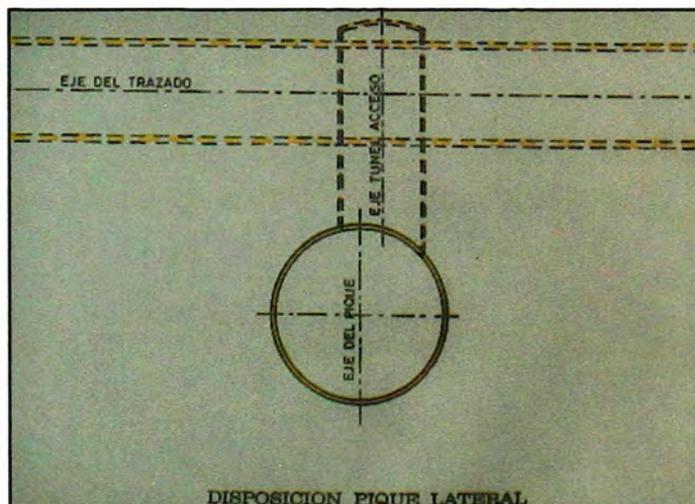
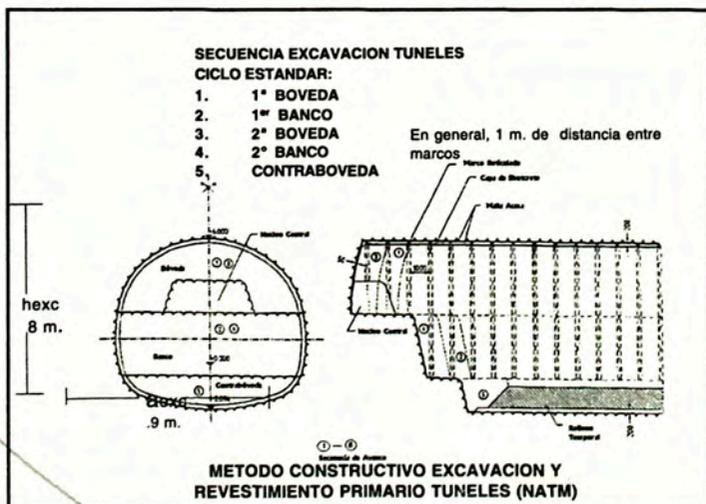




El 12 de mayo de 1975 ingresó el primero de seis trenes al tramo inicial de la Línea 1, que corría entre las estaciones San Pablo y La Moneda, desarrollándose un período de marcha blanca que culminó el 15 de septiembre con la inauguración oficial del servicio. En 1977 se entregó la primera extensión, hasta Estación Salvador, y en 1980 se completó su trazado actual hasta Escuela Militar.

En el intertanto, en marzo de 1978 fue inaugurado el primer tramo de la Línea 2 (Los Héroes - Franklin); en diciembre de ese mismo año se extendió hasta Lo Ovalle, y en 1987 completó su actual trazado hasta la Estación Cal y Canto.

En agosto de 1991 el gobierno decidió ampliar la red mediante la construcción de la línea 5, la que sería inaugurada en abril de 1997, y menos de un año después, en febrero de 1998, comenzaron los trabajos de extensión en 2,8 kilómetros desde Estación Baquedano y en dirección al centro de Santiago. En marzo del 2000 fueron inauguradas las tres nuevas estaciones: Bellas Artes, Plaza de Armas y Santa Ana, haciendo conexión esta última con la Línea 2.





## APORTES A LA INGENIERÍA CHILENA

### Avanzando bajo la tierra

La red de Metro está conformada por vías segregadas que corren bajo tierra, en la superficie y en viaductos, siendo interesante conocer los avances experimentados por los métodos constructivos destinados a la construcción de vías y estaciones subterráneas, los que han evolucionado desde las excavaciones abiertas (cut and cover), hasta las estaciones tuneleadas, procedimiento que

se ha ido perfeccionando a medida que se han ido acumulando y analizando los resultados de las mediciones de monitoreo. Ello ha permitido calibrar los modelos y optimizar los diseños.

**Excavación a tajo abierto con taludes:** se empleaban ángulos del orden de 70 grados para obtener un razonable coeficiente de seguridad de acuerdo con el suelo de Santiago. Se necesitaba mucho terreno, del orden de 35 a 40 metros libres en ancho en la superficie para las profundidades y ancho de estación de 16 y 20 metros, respectivamente. Este método se utilizó en las líneas 1 (Alameda, Providencia, Apoquindo) y 2 (Parque El Llano, Gran Avenida) en los inicios de la obra, en los años 70.

**Entibación con pilotes y puntales:** Posteriormente, y dada la poca disponibilidad de terreno que dejaba la vida urbana, se disminuyó la faja necesaria mediante el uso de pilotes de hormigón armado como entibación. Con ello disminuyó el ancho a 18 y 20 metros, requiriéndose, eso sí, puntales en la parte superior de la excavación y a altura intermedia para sostener los empujes de terreno y de edificios adyacentes. Dichos puntales eran una incomodidad muy costosa para la obra. Este sistema también se utilizó en parte de las Líneas 1 y 2 y en la 5.

**Excavación con pilotes y tirantes:** Una nueva evolución, registrada en la Línea 5, consistió en que si bien se mantuvo la entibación con pilotes de hormigón armado, los cuales ahora forman parte de la estructura, se logró que los puntales fueran reemplazados por tirantes postensados, lo cual fue un gran avance. Se usó en la primera extensión de la Línea 5 hacia el centro (años 90).

**Estación por tuneleado:** Gracias al conocimiento que actualmente se tiene del comportamiento del suelo, logrado con continuos monitoreos topográficos y geotécnicos realizados durante la construcción de túneles y estaciones en la Línea 5, los proyectos de extensiones de la Línea 5 al poniente y de la Línea 2 al norte y el sur, actualmente en construcción, así como en la parte subterránea de la Línea 4, se ha avanzado de manera que las estaciones se construyen también con el método de tuneleado.

65

### El método NATM

El empleo del sistema NATM (New Austrian Tunneling Method), esto es, construcción subterránea de túneles y estaciones mediante la excavación previa de piques y galerías, hace posible que el desarrollo de las obras perturbe en grado mínimo las actividades normales de la ciudad. Esto permite mantener el tránsito vehicular funcionando y se mitiga una buena parte de los impactos negativos de la construcción en términos de niveles de ruido y generación de material particulado.



El citado método de tuneleado se fundamenta en el aprovechamiento de la capacidad del suelo de tomar una parte de los esfuerzos que se generan durante la excavación de un sector del túnel, de sección abovedada, siguiendo una secuencia predefinida (bóveda, banco, bóveda, banco, contra-bóveda), mediante una redistribución de sus esfuerzos internos, controlando que las deformaciones del suelo tanto superficial como de la sección de excavación se mantengan dentro de un rango aceptable. Ello se logra colocando -a medida que se excava- marcos de sostenimiento de refuerzo espaciados cada 0,5 a 1 metro, según las dimensiones del túnel y condiciones del suelo, y un primer revestimiento de hormigón proyectado (shotcrete) ya sea vía seca o vía húmeda, que va tomando los esfuerzos que se generan al excavar el túnel, seguido posteriormente de un revestimiento final de terminación hasta lograr los espesores y la sección de proyecto.

Desde los primeros túneles construidos utilizando el método NATM, en 1994, bajo el Parque Bustamante, hasta ahora, los diseños y procedimientos han tenido un acelerado avance, siendo el logro principal el tener hoy la posibilidad de construir en subterráneo no solo las interestaciones, sino también las propias estaciones, con secciones del orden de 160 m<sup>2</sup>.

El aprovechamiento de las características del hormigón proyectado para el sostenimiento primario y también de terminación (secundario) en los túneles de estación, que pueden llegar a un ancho de 17 metros y una altura de 12 a 13 metros, requiere de un diseño de ingeniería de alto nivel, toda vez que incluye especificaciones técnicas particulares y métodos constructivos especiales, más un riguroso control de calidad y el seguimiento permanente de la construcción.



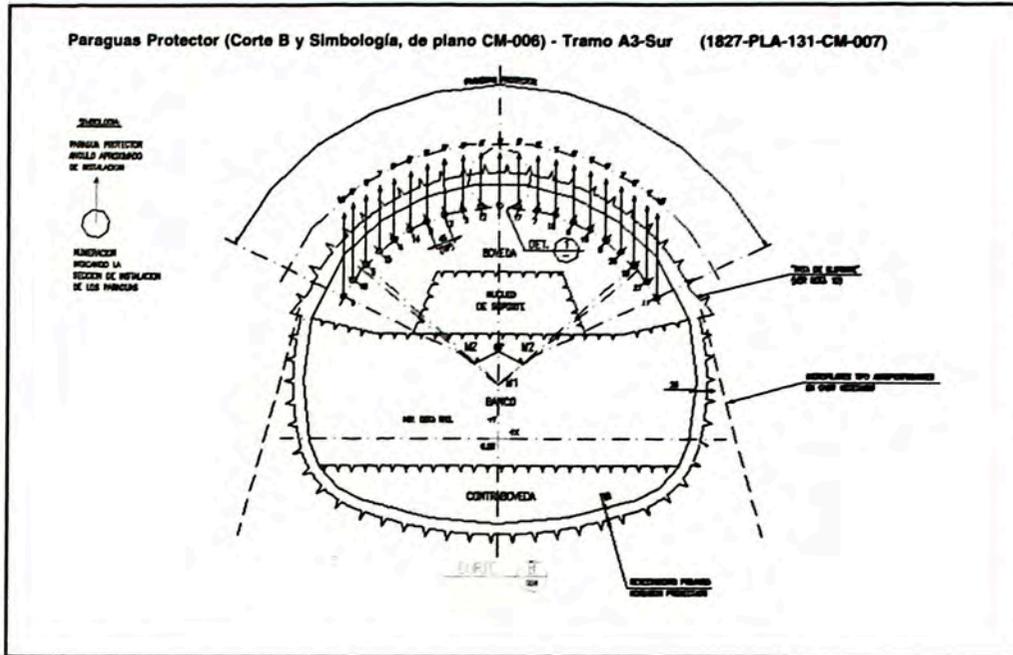
Dado que el hormigón proyectado es el material básico, para esta aplicación se optimizaron sus características más relevantes, tales como resistencia a edad temprana, porcentaje de pérdida por rebote, permeabilidad y aditivos plastificantes y acelerantes, entre los que destaca el uso de fibra en la dosificación. Asimismo, los aspectos de técnicas de aplicación han debido ser mejorados, incorporando equipos adecuados altamente automatizados, capacitación al personal y avanzadas técnicas de control de calidad.

**67**

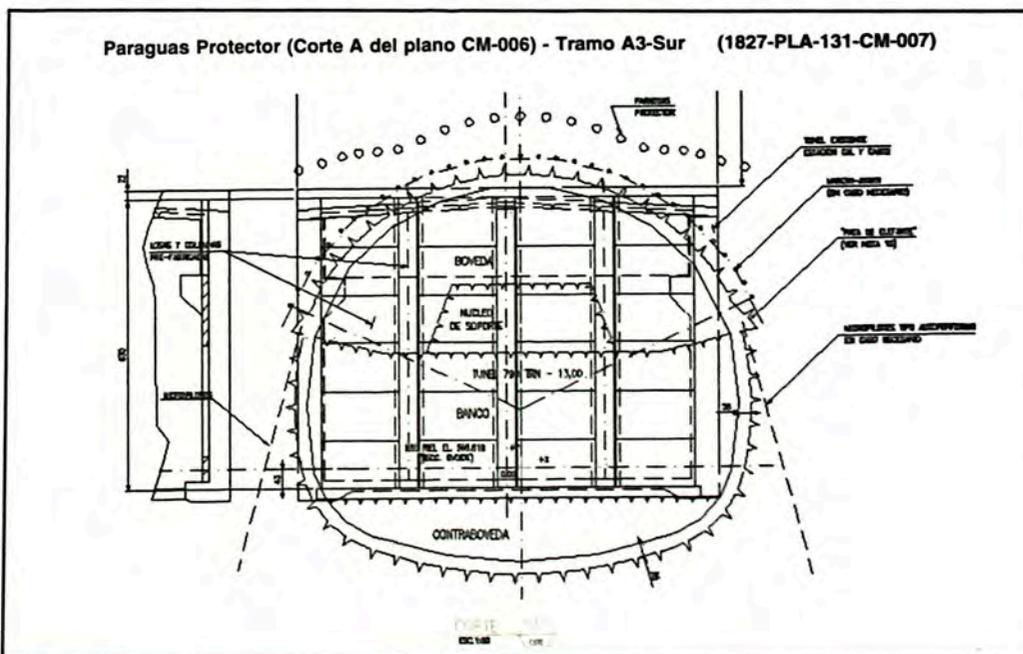
El monitoreo de deformaciones, tanto de las secciones de túnel en su interior, como también en la superficie y edificios cercanos, se hace mediante instrumental topográfico y de medición de tensiones en los revestimientos de túneles terminados, lo que también es esencial para aprovechar adecuadamente las características del suelo. Para conseguir esto, los modelos predictivos para la interacción entre el suelo y la estructura están basados en elementos finitos, que consideran los parámetros de mecánica de suelos y las etapas de construcción del túnel, entregando estimaciones de los esfuerzos generados en la estructura misma y de la deformación interior y en superficie.

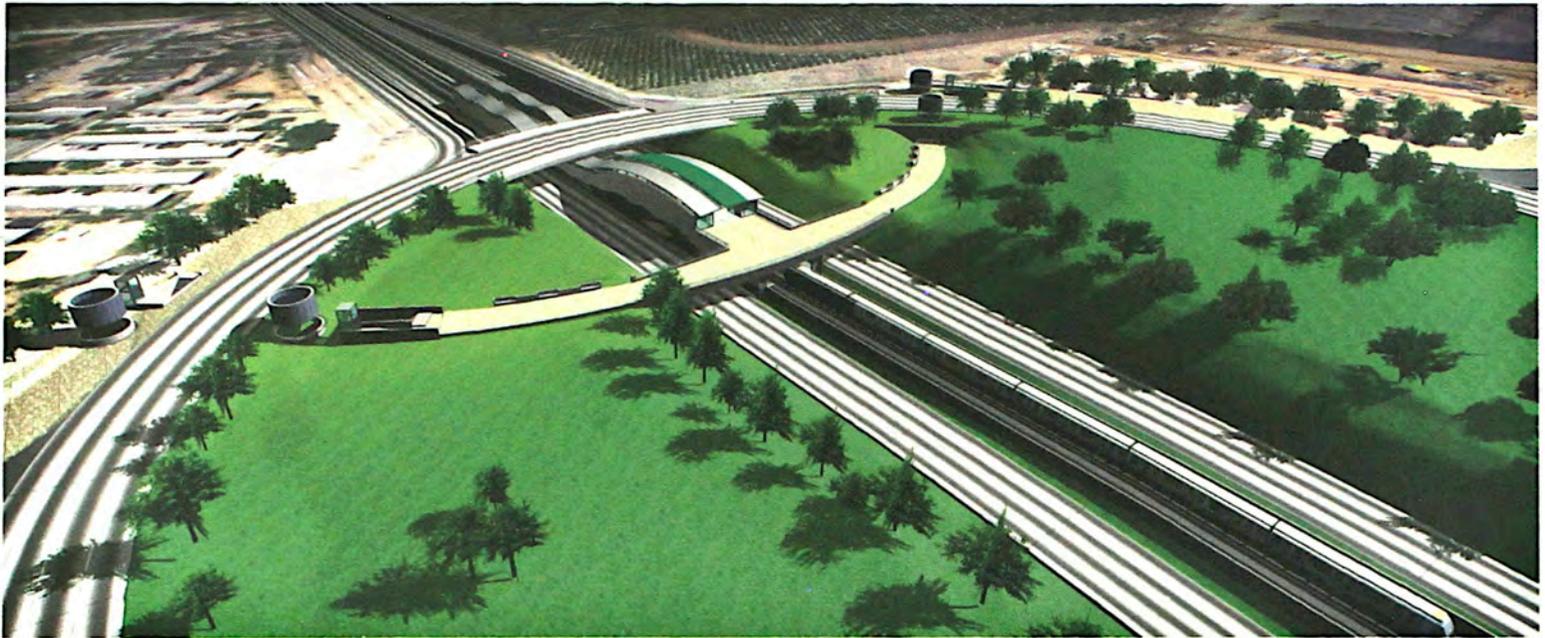
Otro logro relevante en este sistema lo constituye el diseño de las estaciones subterráneas de paso, en el cual se ha logrado una completa integración entre los procedimientos constructivos y la funcionalidad de la estación. Así se tiene que el pique necesario para la aplicación del método NATM constituye posteriormente el núcleo de locales técnicos y de operación de la estación, y la galería se transforma en el puente mesanina.





Asimismo, elementos notables que Metro ha decidido aplicar en este contexto son la ejecución de túneles excavando con maquinaria común (retroexcavadoras), y la fortificación inmediata con shotcrete y armadura convencional (malla Acma y barras comunes). Dada la calidad del suelo, grava fluvial muy cohesionada que permite buenos rendimientos en excavaciones, ha resultado innecesaria la utilización de onerosos y sofisticados equipos de amplio uso en otros países, como los TBM o "topos", pudiéndose, en cambio, ejecutar estos trabajos con costos razonables.





Igualmente se pueden destacar avances notables en la actualización de los modelos. Por ejemplo, al comparar túneles actuales (2003) con los de hace seis años, se obtienen mejoras relevantes en variables tales como el rendimiento, ya que el avance es de cuatro metros al día contra solo un metro de ese entonces; espesores del manto del túnel, que se han reducido en 30%; la cantidad de cemento del shotcrete, que se ha reducido en 18%, y la cuantía del acero del manto, que ha disminuido en 27%.

Sustancial ha sido también la cantidad de horas de ingenieros que participan en la ingeniería. Como ejemplo se puede destacar que tan solo en las obras correspondientes a las extensiones de las Líneas 2 y 5 se han invertido 405.041 horas de ingeniería nacional y 34.073 horas de ingeniería extranjera. Ello ha derivado en la ejecución de 4.107 planos necesarios para construir 11 kilómetros de túneles y 12 estaciones.

En tanto, las horas de ingenieros que participan en el Proyecto Línea 4 se pueden resumir en 702.474 horas de ingeniería nacional y 34.007 horas de ingeniería extranjera, lo que ha significado la producción de 9.209 planos necesarios para construir 12,8 kilómetros de túneles, 7,3 kilómetros de viaducto y 12,4 kilómetros en superficie, con un total de 32,5 kilómetros de vías y 28 estaciones.



## Mayores desafíos

Resulta de interés comentar también entre las obras recientes aquellas de diseño más novedoso desde el punto de vista técnico y que han revestido mayor complejidad en su ejecución. En este aspecto destaca el ingreso de la red de Metro al centro de Santiago, mediante la extensión de la Línea 5. Ello requirió avanzar bajo calles cuyo subsuelo estaba saturado de instalaciones y ductos de servicios, y con grandes dificultades para el retiro del material generado por las excavaciones.

Asimismo, la construcción de las estaciones se constituyó en un verdadero reto tecnológico, en la medida en que el sector donde se emplazó la Estación Bellas Artes resultaba extremadamente estrecho, mientras que la Estación Plaza de Armas está virtualmente debajo de edificios patrimoniales de la ciudad, como son, entre otros, la Municipalidad de Santiago y la Catedral Metropolitana.

Destacable ha sido también la construcción de cinco estaciones tuneleadas en las extensiones actualmente en ejecución: Cumming, en la extensión poniente de Línea 5; El Parrón y La Cisterna, en la extensión sur de Línea 2, y Patronato y Cerro Blanco en la extensión norte de la misma línea, en todas las cuales los andenes, mesanina y accesos están ubicados dentro de un túnel de sección ovoide que puede llegar a un ancho de 17 metros y una altura de hasta 12 a 13 metros.

La estrategia que se ha seguido en estos casos consiste básicamente en que, a partir de un sitio expropiado previamente, se construye un pique lateral que más tarde servirá de acceso a la estación propiamente tal, pero que durante la faena es el punto de partida de una galería de acceso ortogonal al eje del trazado. Por el pique se extrae el material de la excavación, tanto de la galería de acceso como, luego, del propio túnel estación.

En los cinco casos citados se ha utilizado el NATM para aquellas secciones de hasta 160 metros cuadrados (tres veces la sección de los túneles interestaciones), lo que ha hecho necesario que la excavación se desarrolle en una secuencia predefinida muy estricta y con un monitoreo topográfico permanente de las deformaciones del suelo, para ir verificando que estén dentro del rango admisible establecido por las modelaciones realizadas con elementos finitos en dos y tres dimensiones mediante el programa FLAC (Fast Lagrangian Análisis of Continua). También se han implementado controles geotécnicos del nivel de tensiones actuantes sobre el revestimiento de hormigón proyectado, que dan la capacidad estructural permanente a la sección de túneles.

Otro desafío importante ha sido la construcción de la Estación Intermodal Quinta Normal, la que, por sus dimensiones y profundidad, tiene como elementos principales de la estructura una serie de pilotes de hormigón de hasta 30 metros de largo, contruidos en sitio, con armaduras de refuerzo que incluyen, además, almas de acero, pilas construidas a mano de 30 metros de profundidad con una sección de 1,5 por 2 metros, y vigas pretensadas de hasta 25 metros de largo y 30 toneladas de peso unitario. Todos estos elementos permitieron la construcción de las losas previas, bajo las cuales se ejecutó la excavación y la construcción de la estación durante casi dos años sin cortar el tránsito en la superficie.

71

Logro especial fue igualmente la excavación y construcción del tramo de túnel de la Línea 2 Norte entre la actual Estación Cal y Canto y la nueva Estación Patronato, el cual cruza bajo el cauce del río Mapocho y bajo el trazado de la autopista Costanera Norte y que, además, pasa por debajo del estribo norte del puente Fray Andresito. En este punto se ha debido construir pilas y gatear el estribo para monitorear y controlar permanentemente los asentamientos de la estructura durante la excavación del túnel.



## Ventajas y beneficios

Entre las ventajas que resultan de emplear el sistema NATM, los pilotes y pilas para permitir excavaciones con taludes verticales y la construcción de una losa previa sobre vigas pretensadas, destacan las siguientes:

- Mitigar los impactos ambientales, particularmente los relativos a impactos viales y acústicos, ya que se puede construir bajo las calles sin cortes o desvíos que alteran significativamente las condiciones de circulación de los usuarios.
- Reducir los costos de construcción por concepto de traslado de servicios públicos, tales como alcantarillado, agua potable, gas, telefonía, que se ven afectados solo en las zonas de accesos y ventilaciones.
- Disminuir el costo de reponer pavimentos.
- Aminorar el impacto en la cantidad de metros cuadrados de expropiaciones, ya que los túneles y estaciones se sitúan mayoritariamente bajo las calles, que son bienes nacionales de uso público.
- En general, reducción de los plazos y costos de construcción por kilómetro de túnel entre estaciones y también de las propias estaciones, a la vez que se incorporan nuevas tecnologías a las empresas que se dedican a este tipo de obras de infraestructura.





#### **Sistemas constructivos Línea 4**

Los sistemas constructivos aplicados en la Línea 4 son respuesta a las características del terreno a lo largo de su trazado. Así, el primer sector, que corresponde a las avenidas Tobalaba, Ossa y Américo Vespucio hasta la Rotonda Grecia, está diseñado en tuneleado (NATM), dado que las propiedades mecánicas del terreno son aptas para ese tipo de construcción.

Cabe anotar que el suelo de Santiago en el área perteneciente a la cuenca del Mapocho está constituido por un horizonte superficial de terreno alterado de 1 a 3 metros, seguido de gravas arenosas correspondientes a la llamada segunda depositación del río Mapocho, de un espesor variable entre 5 y 7 metros y, bajo éste, una grava areno-arcillosa denominada primera depositación.

Los parámetros geotécnicos característicos de los suelos descritos han permitido determinar que las gravas de primera depositación tienen un buen comportamiento al aplicar métodos de excavación donde el suelo forma parte del arco resistente total.



En los sectores en que las Líneas 4 y 4A emplean la franja central de la concesión Américo Vespucio Sur, el trazado es en superficie, en vía totalmente segregada, y sigue el mismo perfil que las vías expresas de la autopista. Solo en los cruces principales el trazado se profundiza y se presenta como trinchera abierta.

En el sector de Avenida Vicuña Mackenna, desde Américo Vespucio al sur, la línea emerge hasta elevarse en viaducto, también como respuesta a la calidad del terreno, el cual en ese sector no es apto para la construcción subterránea dadas las características del subsuelo del valle del Maipo. No obstante lo anterior y solo por razones funcionales, la zona del terminal Plaza de Puente Alto y las interestaciones asociadas se construirán bajo la superficie.

En el caso del viaducto, también en Línea 4, se ha avanzado hacia la obtención de una expresión arquitectónica más evolucionada. Para ello, por una parte, se ha innovado en la tipología de construcción, cambiando la estructura del sistema vigas al sistema dovelas y, por otra parte, elevando la altura del viaducto en alrededor de un metro respecto de obras anteriores del mismo tipo. Esto último apunta, en primer lugar, a que el impacto urbano de esta gran estructura sea lo menos intrusivo posible, y luego, a que sus formas se adapten de la mejor manera a las curvas del trazado.



Ello se logra con el sistema de dovelas prefabricadas y postensadas, cuya aplicación constituirá también una novedad y un aporte a la ingeniería chilena. Tanto el sistema de prefabricación como el transporte, pero principalmente el montaje, constituyen actividades de enorme complejidad técnica cuya experiencia, así como la de los túneles, se podrá aprovechar en el futuro para otras obras públicas equivalentes.

75

### **Seguridad y resistencia**

Por otra parte, el cálculo del revestimiento definitivo de los túneles ha considerado las construcciones cercanas al trazado, de modo que tanto los túneles de interestación como los de estaciones soporten las solicitaciones por sobrecargas inducidas por las edificaciones y también las solicitaciones sísmicas para una vida útil superior a los cien años.

En este sentido, los diseños de ingeniería consideran la estricta aplicación de las normas de diseño antisísmico, tanto en las obras definitivas como en cada una de las etapas constructivas. Asimismo, las excavaciones para las estaciones y piques de acceso intermedio se diseñaron considerando que el período en que deberán funcionar puede ser superior a un año, lapso en el que podrían estar expuestas a un sismo severo.



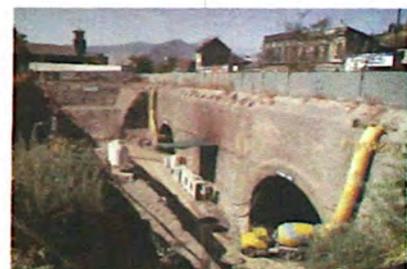


Adicionalmente, los planos y especificaciones técnicas del proyecto incluyen detalladas secuencias constructivas que indican a los contratistas cómo proceder en las excavaciones de túneles y estaciones, construcción de pilas o pilotes, y en la instalación de anclajes en sectores de piques y excavaciones abiertas.

Por otra parte, resultan vitales los monitoreos topográficos y geotécnicos permanentes, ya que no solo permiten validar las hipótesis de cálculo, velando por la seguridad tanto durante la construcción como durante la operación, sino que también hacen posible la permanente optimización de los diseños en busca de menores costos, con una mejor calidad de la obra y plazos más reducidos.



Asimismo, Metro ha desarrollado sus proyectos de extensión respetando el patrimonio arqueológico presente en el área céntrica. Notables hallazgos que provienen tanto de culturas prehispánicas como de la época colonial de nuestro país, fueron encontrados durante las excavaciones para las estaciones Plaza de Armas y Quinta Normal, los cuales exigieron una cuidadosa labor de rescate, estudio y clasificación del material.





### Equipo y material rodante

En el ámbito de la incorporación de equipos y material rodante, Metro se ha caracterizado por adquirir siempre material de última generación. En las áreas de telecomando, señales, automatismo e información ha sido pionero y ha impuesto altos estándares de calidad y modernidad en la ingeniería de transporte en Chile.

En cuanto a material rodante, los 180 nuevos coches que conformarán los trenes que servirán la Línea 4, adquiridos por medio de una licitación internacional, son más anchos, más altos y más largos que los actuales, reemplazando además las clásicas ruedas de goma por otras de acero.





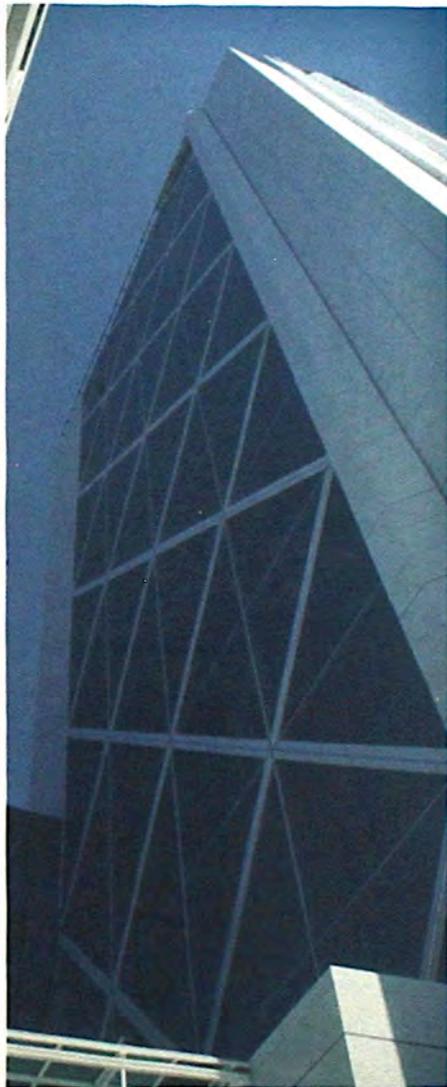
### EDIFICIO CORPORATIVO

**E**n un entorno configurado por plaza Baquedano, los parques Bustamante y Balmaceda, así como por las grandes avenidas circundantes, se emplaza el edificio corporativo de Telefónica CTC Chile, el más alto del país al momento de concluir su construcción ( hoy es el segundo más alto).

Formado por una Torre principal de 140 metros de altura, 33 pisos, 3 subterráneos y 35.000 m<sup>2</sup> de superficie, la construcción transmite la identidad corporativa de Telefónica como una institución de avanzada, de moderna presencia y cuyo desarrollo integral le permite enfrentar con amplia y segura perspectiva los desafíos del siglo XXI. Junto a la Torre central existen cuatro edificios anexos, con un total de 65.000 m<sup>2</sup>.

La construcción se inició en 1993 y concluyó en 1996. El 12 de noviembre de ese año el edificio de Telefónica fue inaugurado con la presencia del rey de España, don Juan Carlos I y doña Sofía, así como del presidente Eduardo Frei y esposa.





### Su entorno

El sector, de altura media en sus edificios y de elementos geográficos notables, conforma una apertura urbana desafiante, y su intervención debía considerar necesariamente los elementos que estructuran esta parte de la ciudad. Por un lado, está la percepción directa del río Mapocho con su quiebre hacia el nororiente, la intersección de tres ejes viales estructurantes y otros elementos de significativa presencia, como son los parques, la plaza Baquedano y el puente sobre el río. Todos ellos convergen en un nudo emblemático. Asimismo, el cordón de cerros que arremete hacia el valle de Santiago forma el contexto y el continente para dicha intervención.

Dentro del planteamiento conceptual era importante integrar lo existente en el sector, con lo que sería el nuevo edificio. Es así como la calle interior proyectada se transforma en un conector espacial entre dos épocas. Por un lado, se toma la expresión de las construcciones pétreas y masivas de la Avenida Bustamante, generando un costado duro dentro de la calle, y por otro, se diseña la nueva torre, denotando

una manera de construir contemporánea y con avanzada tecnología. Se conforma así un basamento contextual sólido que funde dos períodos.

El edificio Torre reconoce los elementos urbanos mencionados y los incorpora de manera propia en el diseño. Asimila su condición de hito en altura y se dispone paralelo al río, conformando una esquina singular hacia el poniente. Esta se eleva con dramatismo a modo de faro referencial desde los 4 puntos cardinales y deja ver en esta esquina todo el esplendor del cristal, del hormigón y del acero, situándose en su época. Reconoce varias escalas en su recorrido, generando llenos y vacíos con un sentido estructural y plástico. La esquina se rompe para dejar ver una barra de cristal iluminado que se proyecta hacia el cielo.

## El diseño

En todas las etapas de análisis de las opciones de diseño estuvo presente la idea de que el edificio, dadas sus características de altura e imagen, debía ser más que una sumatoria de pisos apilados unos sobre otros. Debía transmitir un mensaje desde su manera de soportarse físicamente y anclarse a la tierra; debía, al mismo tiempo, ser liviano en su composición, a la vez que mostrar solidez en su basamento.

La decisión de diseño adoptada para el edificio fue una estructura en la cual el acero y el hormigón armado tuvieran cada cual su lugar en la composición, haciendo evidente su materialidad y su compromiso estructural. De este modo se diseñó una "red" de diagonales y pilares de acero, conectando las dos grandes columnas verticales de hormigón armado. Se configuraron y conjugaron de esta manera plantas diáfanas atendidas por servicios de manera perimetral, una estructura que lleva los esfuerzos también por los perímetros y finalmente un mensaje que refleja el carácter de la institución en un todo coherente.

Hasta esa fecha había ejemplos de construcciones en acero o mixtas en Santiago, pero más bien se trataba de muestras en las cuales el acero quedaba supeditado a una función estructural un tanto tímida, sin hacer evidente su presencia.

Bajo el tercer piso desaparece el espacio central de oficinas comprendido entre los núcleos de circulación verticales ubicados en los extremos de la planta, quedando estos como únicos elementos de soporte del edificio en su parte inferior. De esta forma el edificio es una gran estructura apoyada en su base en dos megacolumnas,

El nivel de ingreso está diseñado como una zona de transición entre el espacio público y el privado, en busca del contacto de la empresa con la comunidad que la rodea; incorpora a su interior las áreas verdes y espacios libres de su

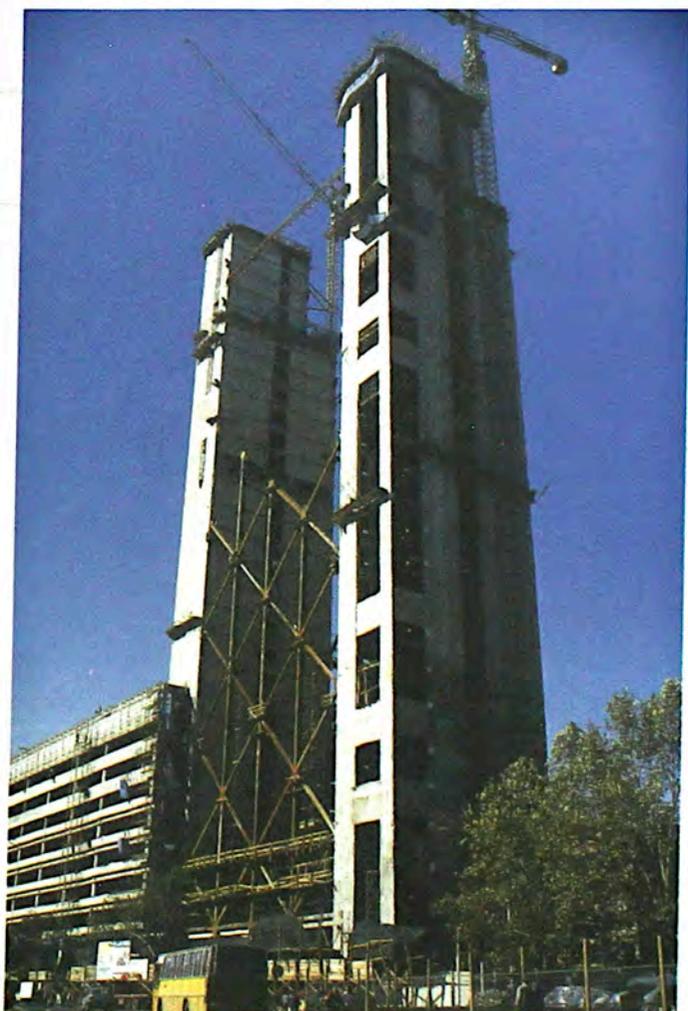


entorno inmediato, creando un paseo interior cubierto y una plaza de exposiciones de pinturas y esculturas, además de un moderno auditorio con facilidades para teatro, proyecciones y conferencias.

## Los módulos

82

Las bases técnicas solicitaban esquemas de plantas libres, flexibles y adaptables en un 100%. El concepto de "planta libre" real debe entenderse como un vacío atendido sin interferencias, ni estructurales ni de otros sistemas rígidos. Esto se obtuvo con un sistema tipo megaestructura que consiste básicamente en la utilización de pocos elementos estructurales, pero de grandes dimensiones, organizados bajo un concepto de máxima eficiencia estructural. Se lograron plantas de 20 x 30 m libres de columnas, de tal forma que todos los elementos que conforman los sistemas de cargas verticales y laterales se ubican en el perímetro del edificio.



Para lograr el objetivo planteado, el diseño se apoyó en un módulo dimensional básico, como una manera de integrar y coordinar los sistemas que dan forma al edificio. El módulo de trabajo seleccionado fue de 1,22 m x 1,22 m. Mediante adición o división de este módulo, se obtuvieron las grillas estructurales y las del equipamiento interior. Sistemas genéricos tales como cielos falsos y pisos accesibles, se modularon en tramas de 61 x 61 cms.

El módulo vertical toma 3 unidades de 1,22 m, siendo la altura de piso a piso 3,66 m.



Esto fue necesario, pues la lectura de diagonales, y posteriormente la de las pieles, debía ser muy clara. Diagonales a 45° y trama de cristales en cuadrícula de 1,22 m x 1,22 m.

La altura interior asumida para las estaciones de trabajo que equipan las plantas se pensó en 2,44 m, en atención a la suma de 2 módulos en vertical.

Para ser consecuente con el concepto de planta libre de oficinas, los recintos de baños y servicios, como los que requieren las instalaciones de infraestructura por cada nivel, como asimismo para su traslado en vertical hasta los centros de generación y control, se concentraron en los *núcleos estructurales*, tanto en la Torre como en los otros

edificios del conjunto, los que a su vez sirven de zona de seguridad y evacuación en caso de siniestro.

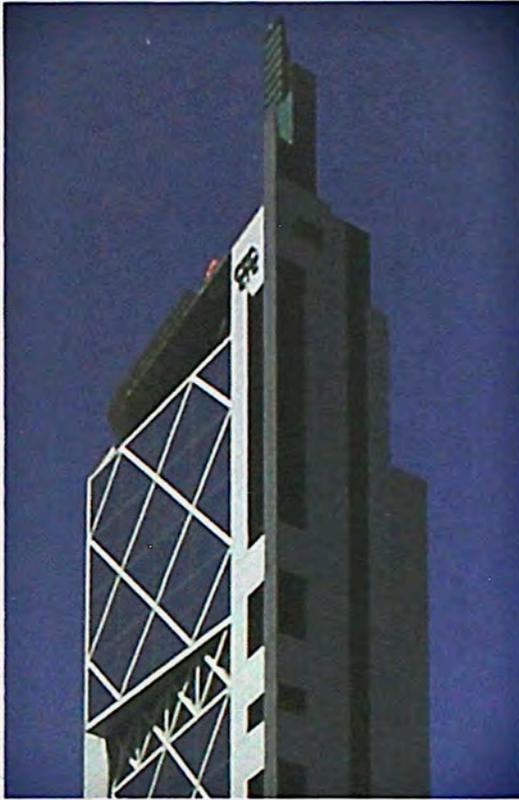
### **Algunas singularidades arquitectónicas**

El edificio Torre presenta diversas singularidades arquitectónicas, las que, desde el punto de vista del diseño estructural, implicaron un sinnúmero de estudios y análisis especiales para hacer posible su materialización.

#### *Fachada norte en pisos 23 al 30*

En estos niveles, la fachada principal del edificio cambia de plano por medio de un giro en torno al núcleo poniente. Esto genera un volumen de 8 pisos de altura en voladizo que se proyecta 4 m fuera del plano de los pisos inferiores. En la práctica, esto implica la interrupción de los tirantes y diagonales de fachada en el nivel 23, haciendo necesaria la creación de un sistema de transferencia de cargas verticales y laterales desde los pisos superiores hacia los inferiores.





Durante la etapa de montaje del reticulado y su posterior entrada en carga al construirse las losas, los desplazamientos horizontales fuera del plano no estaban debidamente restringidos. Por este motivo fue necesario estudiar los posibles problemas de estabilidad del reticulado sobre el nivel 23 para cada una de las etapas del proceso constructivo.

#### *Fachada sur en pisos 27 al 30*

En estos niveles, la fachada posterior del edificio cambia de plano, desplazándose 5,65 m hacia el interior de la planta. Los problemas estructurales son similares al caso anterior.

#### *Plataforma colgada bajo piso 3*

Sobre el acceso principal del edificio existe una losa de geometría especial, de 300 m<sup>2</sup> de superficie y menor ancho que la losa de piso tipo. Esta losa constituye el 2° nivel de la torre. Dado que no existen elementos verticales en esa área que puedan servir de apoyo a la losa, fue necesario colgarla de las vigas PT del tercer piso. Esto hizo necesario estudiar cuidadosamente la secuencia constructiva, porque a su vez la losa del tercer piso y superiores está colgada de los reticulados de fachadas.

#### *Piso 31 al 33 y helipuerto*

A partir del piso 31, el edificio reduce su ancho de 20 m a 9.6 m y el núcleo oriente termina en el piso 32. La estructura de los pisos 31, 32 y 33 se concibió como tres diafragmas horizontales, constituidos por losas de hormigón armado sobre vigas de acero colaborantes. Estas se apoyan en dos vigas reticuladas de acero, ubicadas en el piso 32, de 30 m de luz, dispuestas fuera de las fachadas que conforman un puente que une los núcleos. Finalmente, los núcleos son los responsables de la estabilidad general de dichos pisos.

Este diseño presenta importantes desafíos estructurales que fueron resueltos de acuerdo con lo siguiente:

- \* Las vigas reticuladas, al ser exteriores, están expuestas a grandes cambios de temperatura. Esto produce variaciones de hasta 30 mm en la longitud de la cuerda inferior, lo cual requiere de conexiones especiales entre estas vigas y las losas que descansan sobre ellas.
- \* Por otra parte, las losas deben dar apoyo lateral a los reticulados para evitar problemas de pandeo.
- \* Los apoyos de la estructura en los núcleos requieren de una conexión que por una parte permita la ocurrencia de desplazamientos horizontales diferenciales y, por otro, garantice la adecuada rigidez horizontal frente a sollicitaciones laterales de viento y sismo.

**85**



## Singularidades en el volumen

El volumen presenta también algunas singularidades dignas de mencionar. Una de ellas dice relación con el quiebre de los últimos 10 pisos. En efecto, se trató de que el edificio, en su tramo superior, "diera un vistazo" al centro histórico de la ciudad. Pero también estuvo la intención de marcar el impacto que le produce el quiebre del río y la vialidad circundante.

86

Si bien esta idea significó requerimientos adicionales de ingeniería, el voladizo hacia el valle resulta fundamental en la composición, pues entrega un mensaje a escala urbana de respeto hacia el centro fundacional y marca un corte entre las alturas de construcciones circundantes y la altura final de la Torre, como desprendiéndose y liberándose de una escala presente por muchos años en las construcciones de Santiago.

No obstante, también se marca en la composición la altura de Avenida Providencia en esta parte. Esto, por medio del edificio anexo, el que tiene una presencia fuerte a escala peatonal, pero no interfiere con el protagonismo de la Torre.

Por su parte, hacia el sur de la ciudad se dejó un espacio interior de gran altura a nivel del piso 23, como un mirador y piso noble.

Una mención especial al color seleccionado para las partes duras del edificio: este se toma de los colores que presenta la cordillera en la lejanía. Tonos grises claros violáceos se consideraron los más indicados, pues impiden un impacto agresivo en un volumen de tal altura.

De este modo, el edificio funde historia, lugar y ciudad.



## Sistema estructural

La Torre tiene una planta rectangular de 20 x 48 m. En sus extremos cuenta con dos núcleos de circulación verticales, entre los cuales se genera una planta libre para uso de oficinas. De esta manera, todos los elementos que conforman los sistemas de cargas verticales y laterales se ubican en el perímetro del edificio.

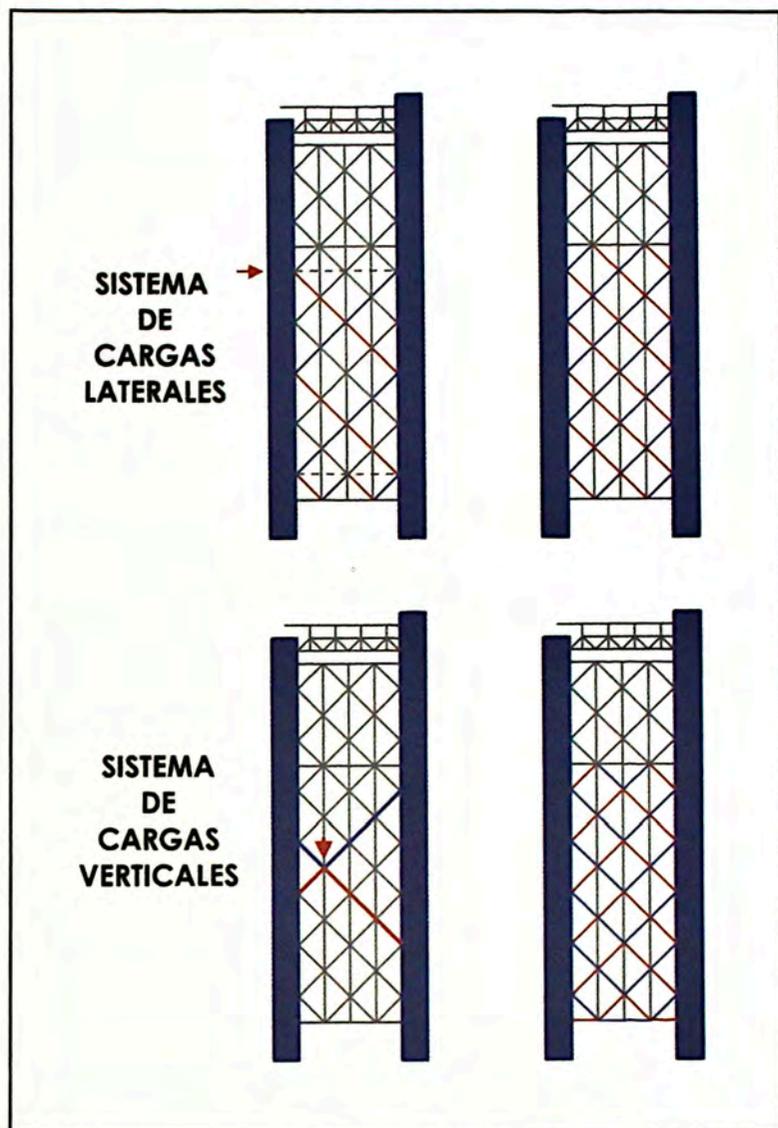
### *Sistema de cargas verticales*

Está conformado por los dos núcleos antes mencionados, estructurado sobre la base de muros, y separados entre sí por una gran losa central de hormigón postensado (PT) de 20 x 30 m libre de columnas interiores.

En cada piso, la gran losa de 14 cm de espesor se apoya en tres vigas PT de 65 cm de alto y 20 m de luz, resultando así cuatro losas de 20 x 7,5 m cada una. Las vigas PT transfieren las cargas verticales de piso a columnas (tirantes) de acero (IP70) ubicadas en las fachadas longitudinales. Estas columnas, que no continúan bajo el tercer piso, a su vez transfieren las cargas verticales a un sistema de diagonales de acero (o 30 x 30). Este traspaso ocurre en los nudos que se generan cada cuatro pisos, en las fachadas del edificio.

Finalmente, las diagonales entregan las cargas a los núcleos extremos mediante grandes anclajes de acero insertos en los muros de hormigón.

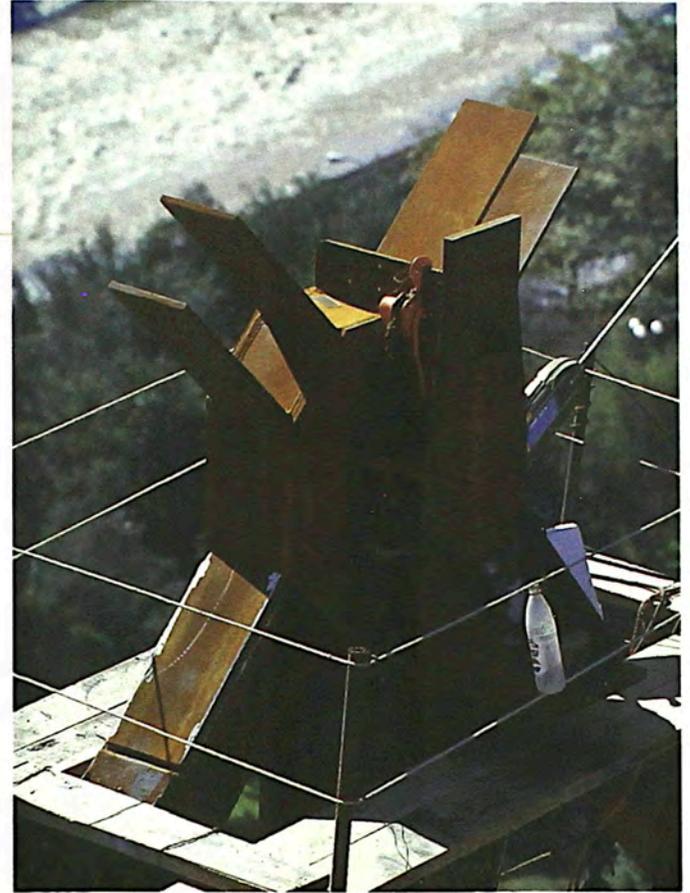




### *Sistema de cargas laterales*

Está definido por los núcleos de muros en los extremos de la planta. En sentido longitudinal, los núcleos se unen entre sí por los reticulados de fachada, desde el tercer piso hacia arriba, conformando así una placa de gran rigidez lateral.

En sentido transversal, cada núcleo actúa en forma independiente. Los muros al interior de cada uno de ellos se acoplan entre sí con dinteles en los vanos de puertas y con diagonales en los vanos de fachada. De esta forma, cada núcleo actúa como una verdadera caja, de gran rigidez lateral, con posibilidades de disipación de energía a través de ductilidad en los dinteles.



### *Sistema de fundaciones*

El edificio Torre está fundado sobre una losa de hormigón armado de 2.0 m de espesor bajo cada núcleo, que recibe las cargas verticales y horizontales sísmicas y las traslada al terreno, generando presiones de hasta 18.0 kg/cm<sup>2</sup>. El suelo, en este caso ripio, fue sometido a una prueba de carga real para comprobar su capacidad de soporte.



### **Secuencia constructiva**

En principio, para el caso de los núcleos de hormigón de la Torre, y en función de los plazos acordados, se diseñó y adoptó el sistema de moldaje deslizante continuo, con trabajo las 24 horas. El sistema debió ser modificado a los cuatro meses de comenzado, a petición de la Municipalidad, a pesar de contar con los correspondientes



permisos y autorizaciones, por reclamaciones de los vecinos del sector por "ruidos molestos" después de las 20 horas. Esto obligó a rediseñar el sistema de moldajes metálicos, con un pérdida de programa de 40 días.

Se contrataron los servicios de una empresa de inspecciones técnicas que colocó ingenieros especialistas en cada una de las actividades de las faenas que lo ameritaban, durante todo el desarrollo de las obras, a modo de control de calidad; y en forma semanal, para corregir los desvíos posibles, se llevó el control del programa de avance de obras.

Por sus especiales características, la construcción de la Torre se llevó a cabo por etapas claramente diferenciadas:

- **Fundaciones:** Los núcleos que soportan el edificio están fundados cada uno en una gran losa de fundación de 15 x 25 x 2 m. Su hormigonado demoró 24 horas y se hizo en faena continua.
- **Núcleos de hormigón armado:** Ambos núcleos se construyeron en forma simultánea, usando un sistema de moldaje deslizante. En una primera etapa, cada núcleo era una torre independiente de 30 pisos. Durante su construcción, se dejaron insertos todos los elementos necesarios para anclar posteriormente la estructura de acero y las losas que completan el edificio.
- **Reticulados de acero:** Su montaje se inició cuando los muros estaban en el piso 12 aproximadamente y su avance no tuvo condicionantes externas.
- **Losas entre núcleos:** Su construcción se inició cuando el reticulado se encontraba montado hasta el piso 12. Su avance estuvo condicionado a la existencia de a lo menos ocho pisos de reticulado por sobre el nivel de la losa.
- **Pisos 31 al 33 y helipuerto:** se construyeron después de completado el edificio hasta el piso 30.

## Diseño sísmico

El diseño sísmico del edificio se basó en las especificaciones del código chileno *NCh-433 Diseño Sísmico de Edificios*. Entre las disposiciones principales de esta norma se destacan:

- La estructura se modela considerando diafragmas rígidos a nivel de pisos. Cada diafragma posee tres grados de libertad, dos traslaciones horizontales y un giro en planta.
- La estructura se comporta en forma lineal elástica.
- Se requiere análisis modal espectral, con un espectro de pseudoaceleraciones que depende de la zona sísmica y del tipo de suelo en que se encuentra el edificio.
- Se determina la respuesta elástica de la estructura, la cual se reduce por un factor de modificación  $R^*$ . Este factor refleja las características de absorción y disipación de energía de la estructura resistente, así como la experiencia del comportamiento sísmico del tipo de estructuración y materiales empleados.
- Acciones sísmicas independientes en dos direcciones horizontales ortogonales.



### Estudios de vulnerabilidad sísmica

Una vez completado el proyecto, se realizaron, por encargo del mandante, dos estudios adicionales por la empresa IEC Ingeniería S.A. para determinar:

- Vulnerabilidad sísmica del edificio frente a terremotos reales, de modo de establecer su capacidad de absorber solicitaciones sísmicas severas. La estructura se analizó con 15 registros de terremotos reales considerados relevantes; entre ellos, El Centro 1940; Chile 1985; México 1985 y Kobe 1995.
- Comportamiento elástico de la estructura, a fin de prevenir daños estructurales para solicitaciones sísmicas menores de ocurrencia frecuente, y evitar el colapso para sismos severos. La estructura se analizó mediante el procedimiento incremental, basado en la generación de rótulas plásticas en los extremos de los elementos, incrementando en forma estática la acción sísmica de norma.

Conclusión: Sobre la base de estos estudios, se concluyó que, de acuerdo con los antecedentes del proyecto, el edificio tiene un nivel de protección sísmica muy satisfactorio, incluso para eventos de gran envergadura.



## Criterios de diseño

El diseño de los elementos de hormigón armado se hizo según las especificaciones del código *ACI-318-89* con los requerimientos del capítulo 21 para estructuras en zona sísmica.

La sollicitación sísmica de diseño (respuesta elástica reducida) corresponde a un esfuerzo de corte basal igual al 6% del peso del edificio y se usó en los elementos de hormigón sobre el tercer piso.

En los pisos tercero e inferiores se diseñó la estructura de los núcleos y fundaciones para los esfuerzos de la respuesta elástica ( $R^* = 1.0$ ).

El diseño de los elementos de acero se hizo según las especificaciones del código *AISC - 1978* y de los requerimientos para zonas sísmicas 3 y 4 del código *UBC-85*.

Los reticulados y elementos de acero en general se diseñaron para la respuesta reducida amplificada 1.25 veces, en tanto que las conexiones se diseñaron para desarrollar la capacidad máxima del miembro, sin aumentar las tensiones admisibles en un 33% permitidas para cargas sísmicas. Los anclajes insertos de los reticulados de acero en los muros se diseñaron para la respuesta elástica.

## Estructura de acero

En el edificio Torre se usaron 880 toneladas de acero de alta resistencia (A52-34ES) en los reticulados, anclajes insertos y estructura de pisos 31 al 33. Los tipos de elementos usados fueron perfiles doble T en vigas y columnas, y secciones o en elementos reticulados. Ambos tipos de sección fueron fabricadas a partir de planchas soldadas de espesores entre 18 y 35 mm.

La fabricación de los elementos se hizo en taller, siendo necesario en





muchos casos especificar las secuencias de armado y soldadura, debido a la complejidad y dimensiones de estos. En el caso de los nudos y anclajes insertos se los sometió adicionalmente a un proceso de aliviación de tensiones.

Las conexiones de terreno, por requerimientos arquitectónicos, debieron ser soldadas. Se especificó control por ultrasonido (tope) y líquidos penetrantes (filetes) en cada una de ellas.

El diseño de la estructura de acero presentó varias complejidades:

- La unión de la viga PT con la columna tirante corresponde a una conexión de momento entre un elemento de hormigón postensado y un elemento de acero que le sirve de apoyo. En algunos casos, cuando la unión coincide con el punto de cruce de diagonales, la geometría se complica aún más. Adicionalmente, en todos los niveles existe una viga de antepecho en hormigón, que cruza por este mismo punto.



Los cables de la viga postensada debían anclarse en la cara exterior del tirante, por lo cual fue necesario perforar el perfil y pasar el 50% de los cables a través de él, mientras que el 50% restante se abrió en torno al perfil.

- En los nudos del reticulado se conectan, con soldadura de terreno, cuatro diagonales de 10 m de longitud y dos columnas tirantes de 14 m, sin que existan elementos que impidieran el desplazamiento lateral del nudo durante el montaje. Esto hizo necesario estudiar cuidadosamente la secuencia de montaje y posterior entrada en carga del conjunto, para evitar problemas de inestabilidad.
- Con el fin de evitar que el cierre de la retícula se hiciera a temperaturas muy distintas de las que tendría durante su operación permanente, se debió limitar la temperatura de los elementos a conectar a  $20^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$  durante el montaje de diagonales y tirantes. Una vez terminado el edificio, la estructura de acero quedó revestida y en ambiente climatizado. Cabe mencionar que durante el montaje se midieron en diagonales expuestas al sol, temperaturas sobre los  $60^{\circ}\text{C}$ .
- Para el diseño de los anclajes insertos, se estudiaron diversos tipos de anclaje. En cada caso se analizó, por el método de elementos finitos, varios modelos alternativos para estudiar la distribución de esfuerzos internos en los distintos puntos del inserto de acero y del hormigón en su entorno. El anclaje se diseñó para una carga vertical de 1.000 ton aplicada en el punto de encuentro de las diagonales. Un aspecto que complicó el diseño fue que, por necesidades arquitectónicas, el punto de cruce de las diagonales está 7.5 cm fuera del muro, resultando una excentricidad total de 60,0 cm al eje del inserto. De este modo se genera adicionalmente un momento de 600 tm que debe ser resistido por el anclaje.

95



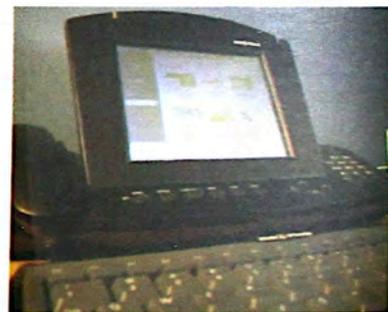


- En el diseño de la estructura metálica, se consideró la posibilidad de que por algún motivo pudiese faltar una diagonal. De ese modo el reticulado se diseñó para que ante esta eventualidad pudiese redistribuir sus esfuerzos internos sin colapsar.



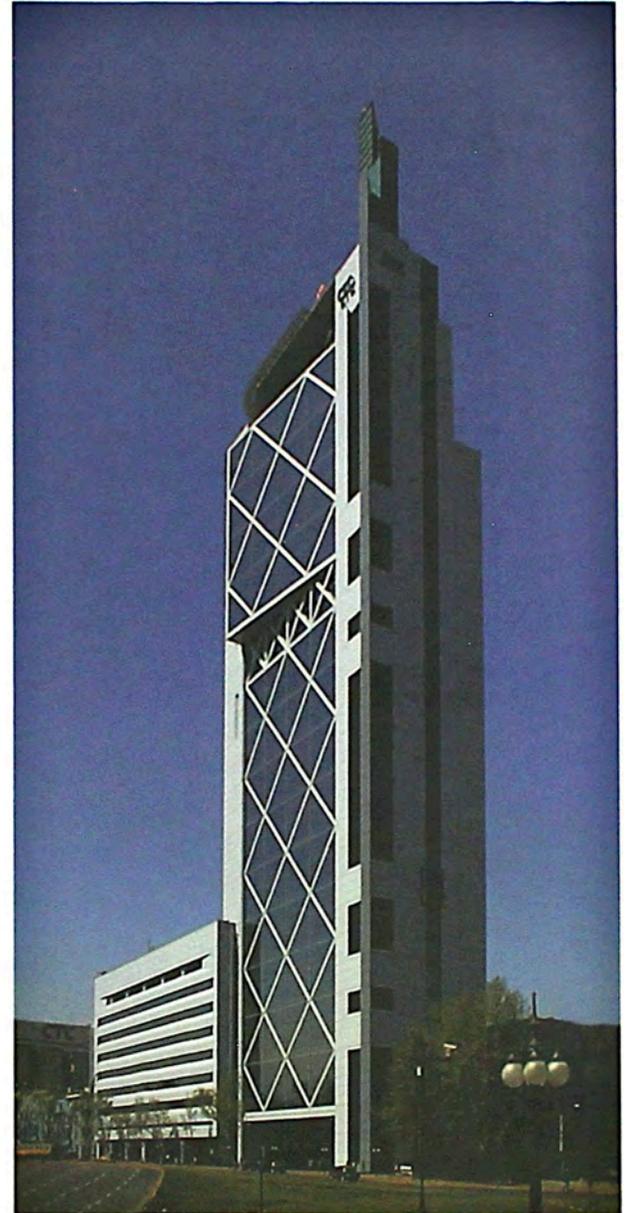
### Tecnología incorporada

El edificio corporativo de Telefónica CTC Chile es una muy buena muestra de la alta tecnología que un edificio puede incorporar en su funcionamiento, pero el concepto de 'inteligencia aplicada' es solo uno de los valores por los cuales se destaca, producto de los altos estándares operativos que solicitó la Compañía para su edificio. Lo anterior permitió especular al equipo de arquitectos e ingenieros sobre el potencial tecnológico que podía tener este durante su vida útil.



Se generaron en el diseño las condiciones para los cambios, más que especular introduciendo costosos sistemas de dudosa vigencia en el tiempo. De este modo, se proyectó un edificio que desde el origen acoge sistemas comprobadamente orientados a hacerlo más eficiente, pero se dejó en el concepto espacial la posibilidad de acoger nuevos sistemas y reformular las partes de acuerdo con los avances de las impredecibles tecnologías futuras.

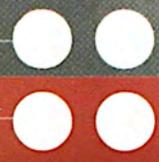




### **Sistemas específicos incorporados**

Entre estos sistemas pueden mencionarse los siguientes: sistema automático de control centralizado; climatización artificial comandada por control centralizado; sistema de control y administración de energía según demanda; sistema automático de detección y extinción de incendios; control de ascensores programables según demanda; sistema de control de ingreso y asistencia central; sistema de seguridad y control de intrusión; sistema de circuito cerrado de TV; comunicaciones en red integrada de voz y datos; sistema automático de respaldo de energía; iluminación interior regulada según nivel lumínico; cableado estructural bajo pisos accesible.





DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

**Ministerio de Obras Públicas,  
Transportes y Telecomunicaciones**

99

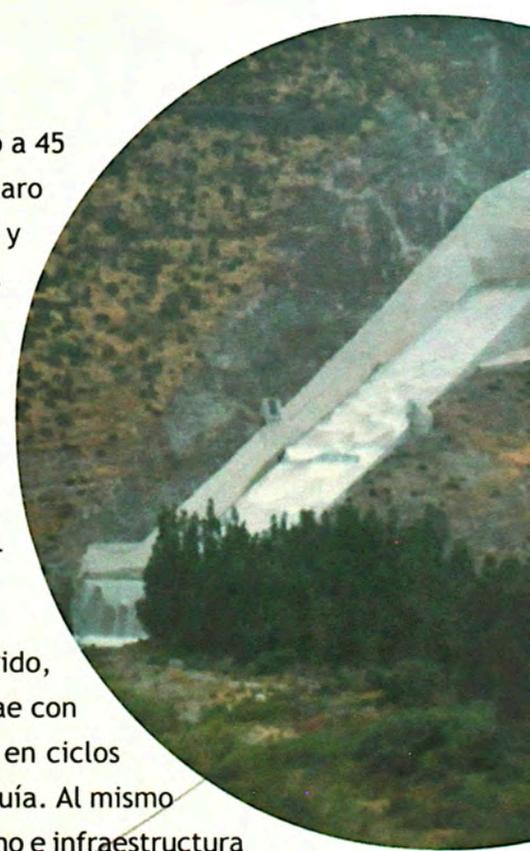


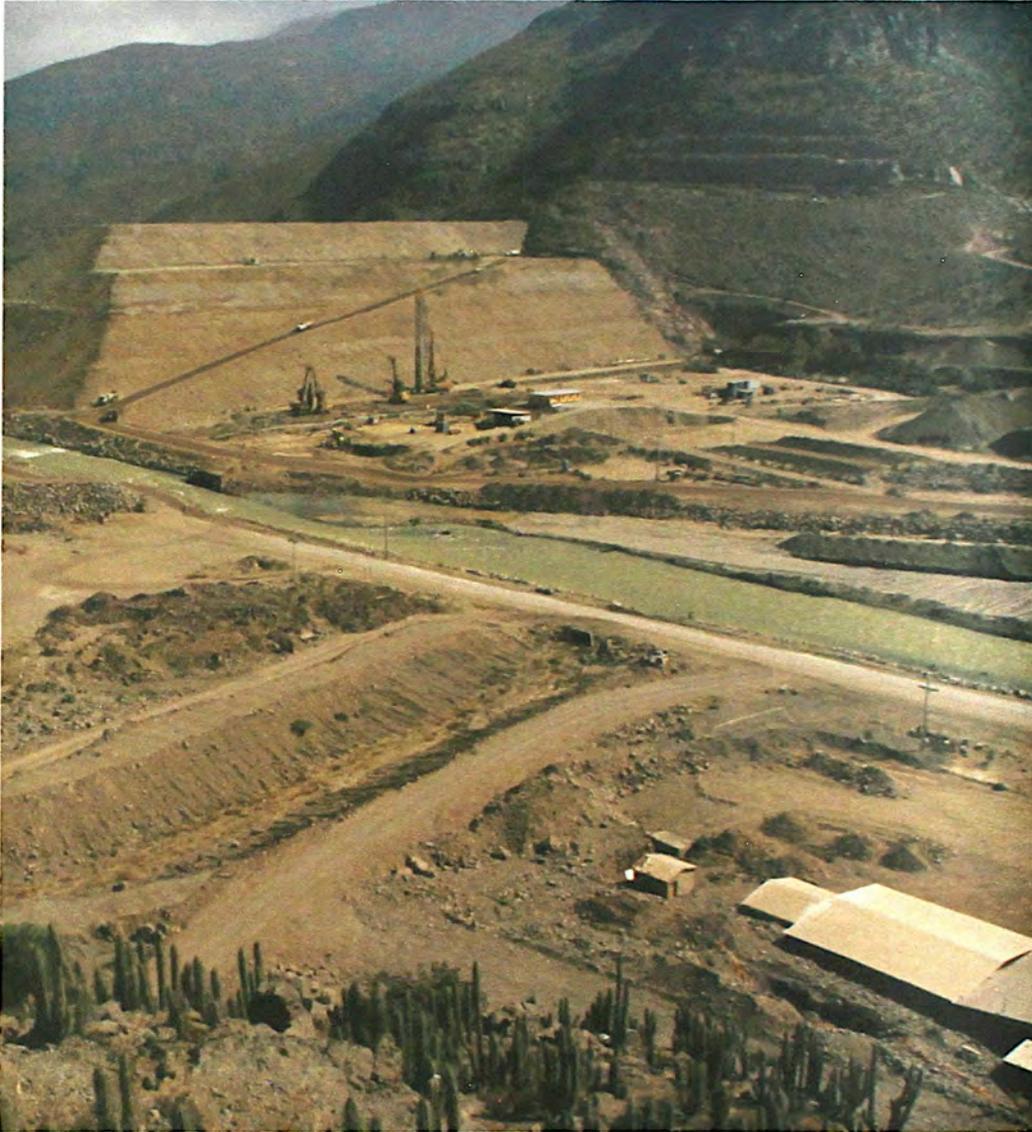
**GOBIERNO DE CHILE**  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS,  
TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES

### **EMBALSE PUCLARO 'INTENDENTE FUENTEALBA'**

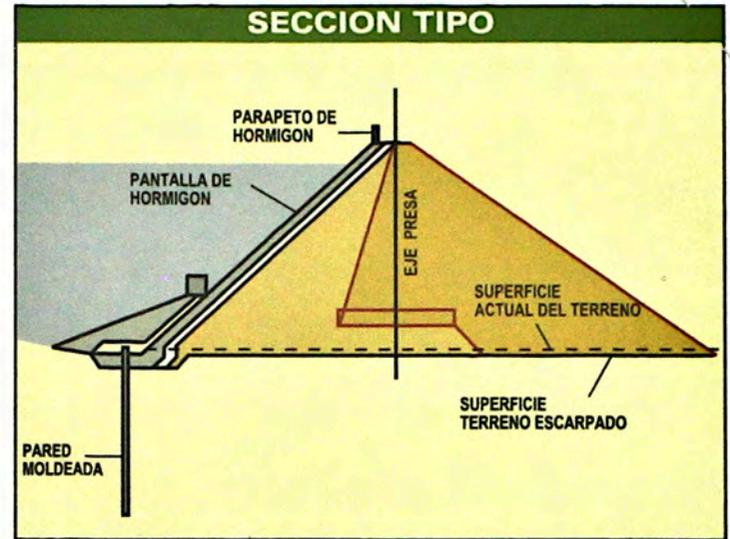
**C**on una capacidad de 200 millones de m<sup>3</sup> y ubicado a 45 kilómetros de la ciudad de La Serena, el embalse Puclaro 'Intendente Fuentealba' regula las aguas del río Elqui y contribuye en medida importante a superar las limitantes que implica la gran irregularidad pluviométrica y el régimen natural del río para la pujante agricultura de la zona del valle del Elqui. En esta forma se logró duplicar la anterior seguridad de riego para los 2.500 predios que abarcan más de 20.000 hectáreas dedicadas especialmente al cultivo de frutas y hortalizas.

El clima de la zona es de tipo mediterráneo árido, con una pluviometría media anual de 110 mm, que cae con gran irregularidad; las temporadas lluviosas ocurren en ciclos de 4 a 5 años, con episodios intermedios de grave sequía. Al mismo tiempo, la agricultura dispone de suelos, recurso humano e infraestructura

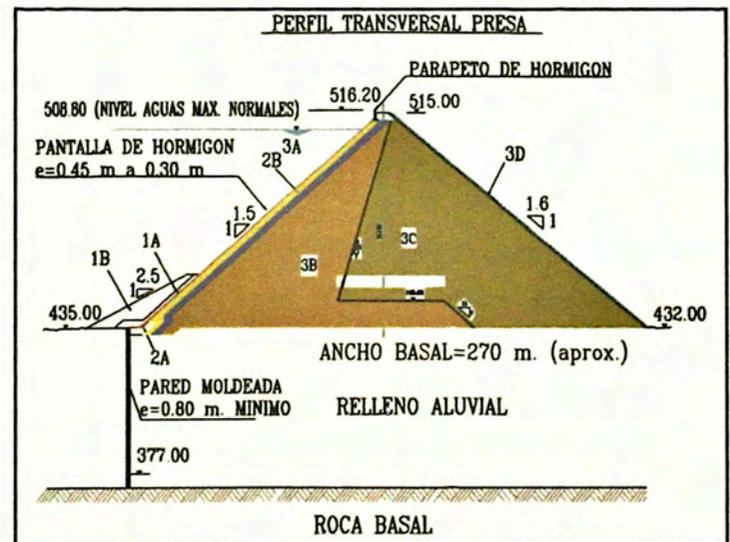




adecuados para cultivos de gran calidad y competitividad. Considerando estos antecedentes y con el fin de regular los recursos hídricos, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas determinó la construcción de un embalse de regulación multianual, ubicado en el sector denominado Angostura de Puclaro, un valle en forma de V, con basamento de rocas andesíticas y relleno de material fluvial hasta su parte más profunda. Hacia los costados, la roca se encuentra en superficie, con grados variables de meteorización.



101



La presa construida es del tipo CFGD (Concrete Faced Gravel Dam), una variante del tipo universalmente conocido como CFRD (Concrete Faced Rockfill Dam). El cuerpo principal se conforma de rellenos que son mayoritariamente gravas arenosas sin procesamiento, provenientes de yacimientos fluviales del valle del río Elqui de la zona de inundación y de las excavaciones en roca. En menor cantidad, los rellenos fluviales fueron procesados por tamizado; otros, de mayor contenido de finos, provienen de yacimientos de quebradas laterales y de relaves mineros. El relleno está zonificado en la forma ilustrada en la figura y fundado sobre materiales aluviales de igual naturaleza.

### Características generales de la presa

Las características generales de la presa se resumen en el cuadro siguiente.

Altura máxima en el eje (desde sello Fundación)	83 m
Talud aguas arriba H: V	1,5 : 1
Talud aguas abajo H: V	1,6 : 1
Ancho de coronamiento	8 m
Ancho basal máximo	265 m
Longitud de coronamiento	595 m
Volumen de relleno de la presa	$5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Espesor pantalla de hormigón, variable	0,30 a 0,45 m
Altura de muro parapeto	4 m
Cota de coronamiento presa	515 m.s.n.m.
Cota coronamiento muro parapeto	516 m.s.n.m.
Revancha sobre cota de vertedero	7,20 m
Capacidad útil máx. de almacenamiento	$200 \times 10^6 \text{ m}^3$
Superficie del lago	760 ha
Longitud del lago	7.0 km

Para producir el cierre del valle fluvial bajo la presa, que alcanza una profundidad mayor de 110 m bajo el lecho de fundación hasta alcanzar la roca, se proyectó una pantalla de hormigón denominada *pared moldeada*, que cruza transversalmente el valle, alcanzando hasta la roca basal en sus extremos. Este muro, parcialmente armado, tiene un espesor mínimo de 0,80 m y una profundidad máxima de 58 m, fundado en parte en roca y mayoritariamente en suelo. De los aproximadamente 20.000 m<sup>2</sup> del área de rellenos aluviales del valle, la *pared moldeada* controla 16.800 m<sup>2</sup>, quedando el resto como una ventana de material filtrante de menor permeabilidad, lo que no afecta la estabilidad de la presa y permite mantener la recarga subterránea natural de los acuíferos bajo la presa.

La impermeabilización superior de la presa en su cara externa de aguas arriba se consigue mediante una pantalla de hormigón armado con malla central, de 65.000 m<sup>2</sup>, espesor variable entre 0,30 m y 0,45 m, con juntas Waterstop formadas por sellos de cobre, mastic asfáltico, PVC e Hypalon. Las losas de pantalla no tienen juntas transversales y su ancho estándar es de 15 m.

La pantalla se empotra lateralmente en la roca, mediante estructuras de hormigón armado denominadas plintos, apoyadas sobre roca competente y consolidada mediante dos líneas de inyección. En la parte superior está el muro parapeto, de 4 m de altura, que corona la presa a cota máxima 516 m.s.n.m.

103

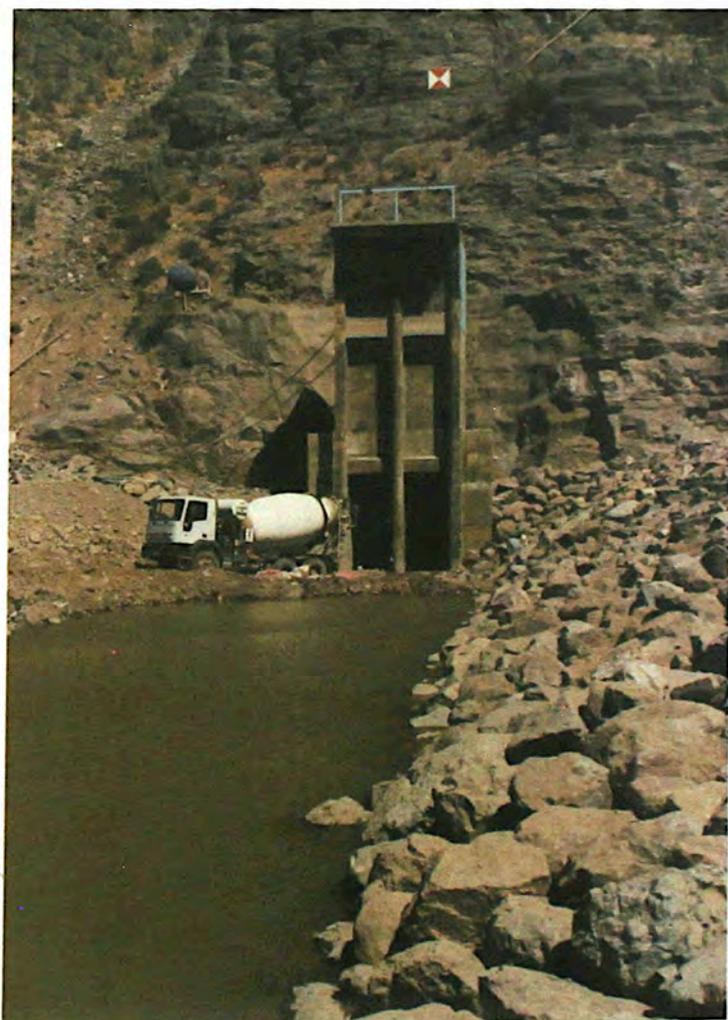


Otra forma de impermeabilización, esta vez de la roca, corresponde a la pantalla de impermeabilización constituida por una serie de inyecciones cemento-agua, distanciadas a 3 m, y más próximas en tramos más fracturados. Esta pantalla de inyecciones tiene una profundidad aproximada de 50 m y se extiende bajo los plintos y la *pared moldeada* cuando ésta alcanza la roca del valle.

Las obras de desviación consisten en el *túnel de desviación* en el costado izquierdo. Se trata de un túnel excavado en roca, en general de buena calidad geotécnica, de 410 m de longitud. La primera parte se inicia en la *torre de toma*, de 12,5 m de altura, tiene un largo de 200 m y sección típica de herradura de un diámetro de 5,50 m. Luego, el túnel se ensancha para formar la *caverna de válvulas*, con un diámetro mayor de 11,50 m y una longitud de 30 m.

**104**

En la zona de acceso a la *caverna de válvulas* se dispuso de dos compuertas de desviación de 1,8 x 3 m cada una, las que fueron selladas al momento del cierre de la presa con la construcción de un tapón de hormigón, y de un par de compuertas de fondo del tipo USBR (Tipo Bureau of Reclamation) de 1,2 x 1 m, que constituyen la descarga de la presa (de servicio y de respaldo)

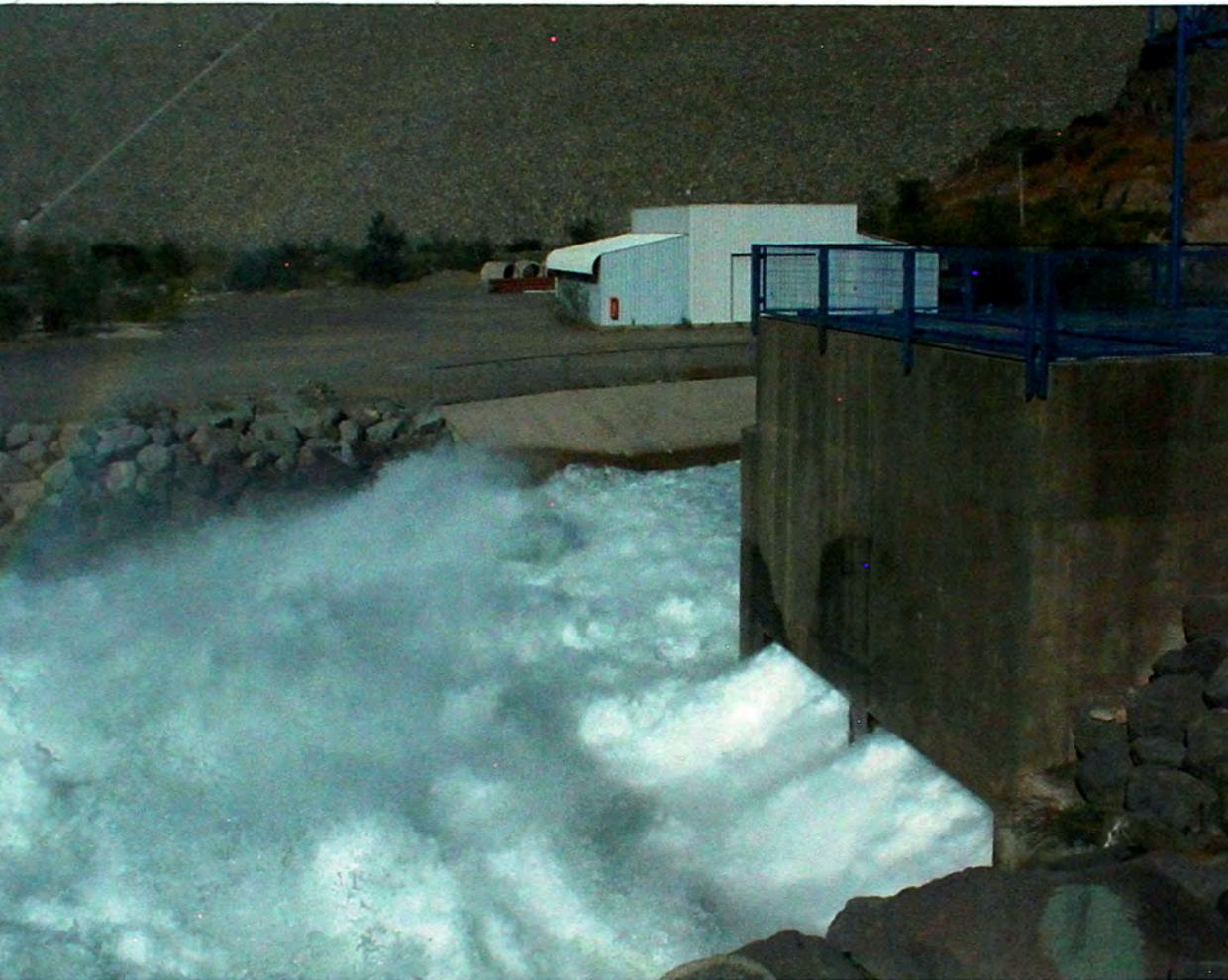




Al término del *túnel de aducción* y comienzo de la *caverna de válvulas* se inicia la tubería de acero DN  $\text{Ø} 1.800$  [mm] que conduce el agua de riego mediante dos válvulas tipo Howell-Bunger de  $\text{Ø} 900$  mm, instaladas en el extremo de la tubería y al interior de la casa de válvulas. En la *caverna de válvulas* se aloja la *válvula de guardia o de seguridad* del tipo mariposa,  $\text{Ø} 1.800$  [mm] que protege al sistema de entrega a riego, sus válvulas y tuberías.

El túnel, en su tramo final, está formado por dos secciones: la derecha (en dirección oriente a poniente), de  $22 \text{ m}^2$  de sección, que permitió el paso del río durante la construcción, y la izquierda, que aloja la tubería de entrega a riego y es el acceso a la *caverna de válvulas*. La zona de caverna tiene su propia pantalla radial de inyección y aloja el tapón de hormigón de cierre, una vez que la obra entró en operación. Completados los trabajos, la *caverna de válvulas* y el *Túnel de Entrega* constituyen las obras de operación del embalse para los efectos de entrega a riego. El diseño contempla una capacidad máxima de entrega de  $28 \text{ m}^3/\text{s}$  por válvulas y de  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  por compuerta de fondo, lo que permite una máxima descarga de  $68 \text{ m}^3/\text{s}$  a plena carga de embalse.





A la salida del *túnel de entrega* está la *casa de válvulas*, con dos pares de *válvula de guardia* de  $\text{Ø} \text{ } 1.000 \text{ mm}$  y *válvula disipadora* del tipo *chorro hueco* (Howell-Bunger) de  $\text{Ø} \text{ } 900 \text{ mm}$ , *colchón disipador de energía* y entrega a río a través del canal de entrega de base  $15 \text{ m.}$ , longitud  $200 \text{ m}$ , taludes  $1,5:1\text{H}/\text{V}$ , con protecciones de enrocados, puente de servicio y aforador

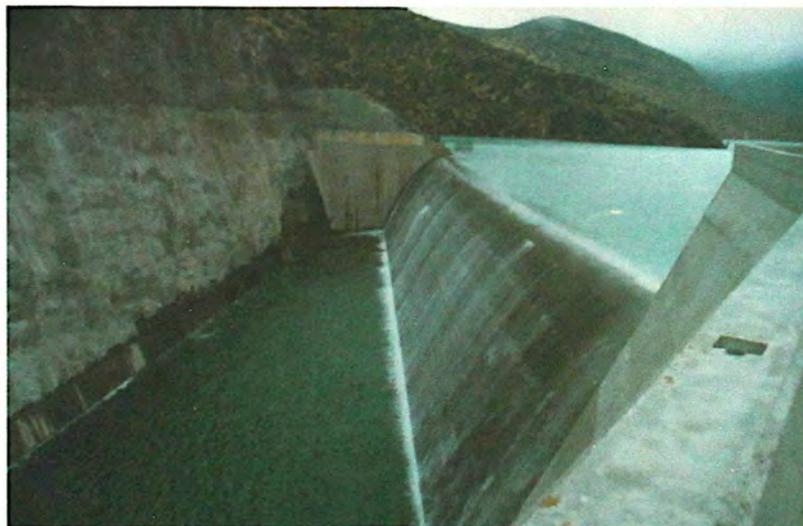
El *túnel de desviación* tiene radier de hormigón, anclajes y *shotcrete*, mientras que la *caverna de válvulas* y *túnel de salida* están revestidos con hormigón armado, anclajes y *shotcrete*.

Las obras de desviación, túnel, compuertas y ataguía de aguas arriba fueron diseñadas para permitir el paso de una crecida de período de retorno de 10 años, de caudal afluente de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  sin entrar en presión, durante la construcción de la presa.

Durante la primera etapa de construcción, es decir, con el río sin desviar, ocurrió una gran crecida del río. A raíz de ello, la Dirección de Obras Hidráulicas revisó el aspecto hidrológico del proyecto y determinó ampliar las obras de desviación para asegurar el término de la obra contra la crecida de frecuencia 1 en 50 años. Para tal efecto se diseñó y construyó el *túnel auxiliar de desvío*, paralelo al principal, de 320 m de longitud y 28 m<sup>2</sup> de sección. Con esta obra fue posible desviar hasta 200 m<sup>3</sup>/s sin causar problemas a las obras e instalaciones y se estimó suficiente para enfrentar eventos hidrológicos muy adversos.

Ambos túneles tienen su propia pantalla de inyección y sendos tapones de hormigón.

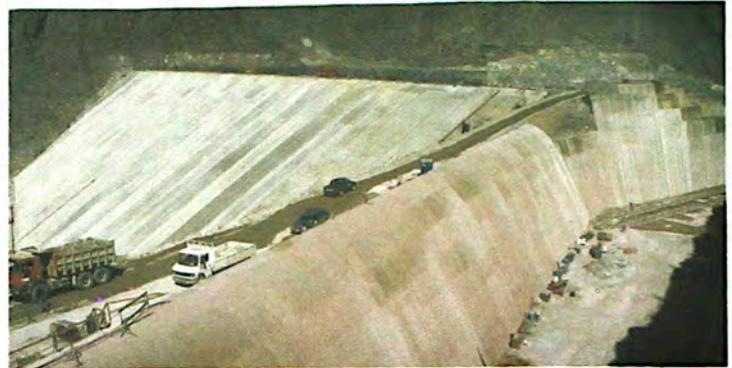
La presa dispone de un vertedero o evacuador de crecidas de grandes dimensiones. Consta de un perfil tipo Creager a cota 508,80 m.s.n.m; de 108 m de longitud, que descarga en un *canal colector* de dimensiones variables, hasta alcanzar su máxima, altura 23 m y ancho 25 m, al inicio del *rápido de descarga*. Este, a su vez, es un canal rectangular de 25 m de ancho, de altura variable, una pendiente de 40% y una longitud total de 218 m. Tiene un aireador intermedio y finaliza en un *salto de ski* de ángulo de lanzamiento de 30°. Luego de un colchón disipador en roca, se conecta al *canal de devolución* al río, de 500 m de largo, un ancho de 50 m y taludes de 3:1 H/V. Los altos cortes en roca que forman el canal colector llegan hasta cota 558 m.s.n.m; en escalones, con protecciones de *shotcrete*, mallas y pernos de anclajes sistemáticos.





El evacuador de crecidas está completamente revestido con hormigón armado, con anclajes sistemáticos a la roca. La sección hidráulica fue diseñada para soportar una crecida afluente de  $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$ , verificada a  $3.300 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondientes a las crecidas de periodo de retorno 1:10.000 años y *máxima probable*, respectivamente.

La presa tiene varias obras complementarias, como el camino de acceso, que comunica el coronamiento con la Ruta 41 CH; Variante de Línea eléctrica 23 KV; instalaciones eléctricas definitivas; terminaciones del coronamiento; oficinas; casas habitación y accesos. Los trabajos de arquitectura del coronamiento se agregaron al diseño original. La variante caminera que bordea el lago tiene una longitud de 8,3 km y está diseñada para una velocidad de 70 kilómetros por hora, con pendiente máxima de 7%.

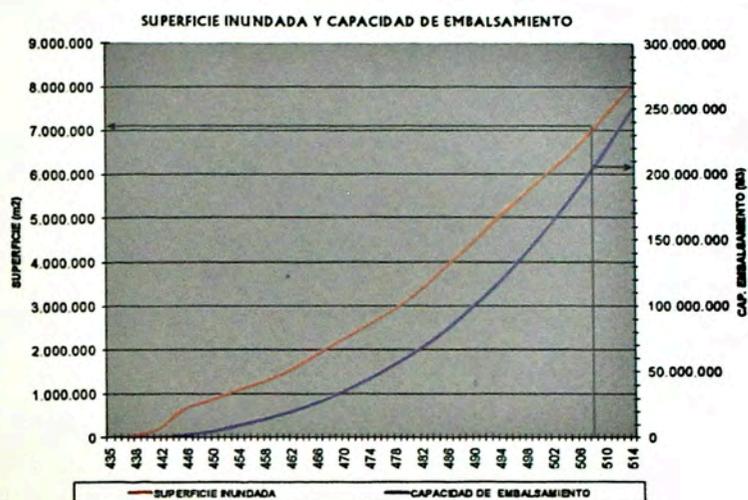


### Desarrollo de las obras

La construcción del embalse Puclaro demoró aproximadamente 43 meses. En ella se pueden distinguir tres etapas claramente definidas: en la primera se realizaron las instalaciones de faenas, posteriormente la pared moldeada lado sur y plinto norte con el río en su lecho natural; la segunda etapa, con el río escurriendo libremente en la margen izquierda, permitió realizar la pared moldeada lado norte y los rellenos de aproximadamente 60% del volumen total. La tercera etapa implicó el desvío del río a través del túnel de desvío, con el cierre del valle para completar rellenos y ejecutar la pantalla de hormigón.

Las obras se iniciaron en septiembre del año 1996. El desarrollo de las obras puede dividirse en dos períodos separados por un hecho imprevisible: la ocurrencia del fenómeno hidrológico de agosto de 1997. Hasta esa fecha, las obras se desarrollaban normalmente, con algunas contingencias menores que no afectaban el cumplimiento de las diferentes fases de ejecución. Luego del temporal, que originó una crecida del río asociada a un período de retorno mayor a 50 años, con gasto *peak* de aproximadamente  $250 \text{ m}^3/\text{seg}$ , las faenas sufrieron una serie de daños importantes, lo que produjo una paralización de la actividad laboral, demorándose su normalización hasta el mes de diciembre del mismo año, como era de esperarse, con rendimientos bajos debido principalmente a la recuperación de la obra dañada y al restablecimiento de las condiciones normales de trabajo. Contrariamente a lo que podría esperarse, en este período de sequía, junto con la avenida del temporal, se acumuló una gran cantidad de nieve en la alta cordillera, originándose un deshielo que provocó un río extraordinariamente caudaloso, fenómeno que se manifestó entre noviembre y enero, con caudales sostenidos y muy altos. Se registraron *peaks* de alrededor de  $110 \text{ m}^3/\text{seg}$ . A partir de mediados de enero se pudo establecer una total recuperación de los frentes de trabajo, instalaciones y accesos, completándose 150 días de alteración del plazo fijado.

### Curva de capacidad del embalse Puclaro 'Intendente Fuentealba'



**TABLA CON COTAS PRINCIPALES**

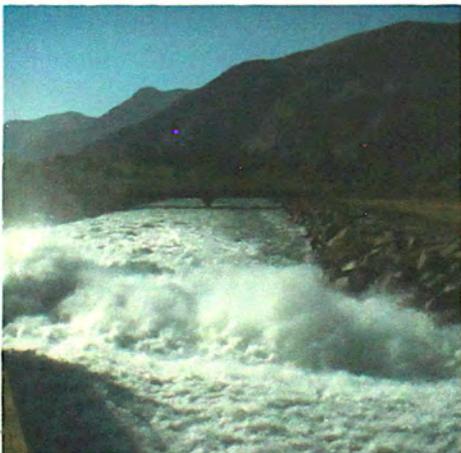
	Punto Cota (msnm)
Coronamiento muro parapeto	516,00
Nivel de aguas máximas en crecida decamilenaria	513,23
Nivel de aguas máximas normales sin verter	508,80
Fundación muro parapeto	512,00
Coronamiento rellenos	512,00
Fundación rellenos (prom.)	433,00
Inicio pantalla de hormigón	435,15
Término pantalla de hormigón	512,60
Fundación plinto lecho (prom.)	434,60
Cota coronamiento pared moldeada	435,10
Profundidad máxima pared moldeada	377,00
Radier entrada del túnel principal	434,50
Umbral torre toma	447,00
Entrada tubería de entrega (en el eje)	438,45
Salida tubería de entrega (en el eje)	434,00
Entrada piso túnel auxiliar	435,00
Salida radier túnel auxiliar	431,32
Umbral vertedero	508,80
Grada de control e inicio rápido descarga	494,80
Punto más bajo (eje cubeta) salto de esquí	443,29

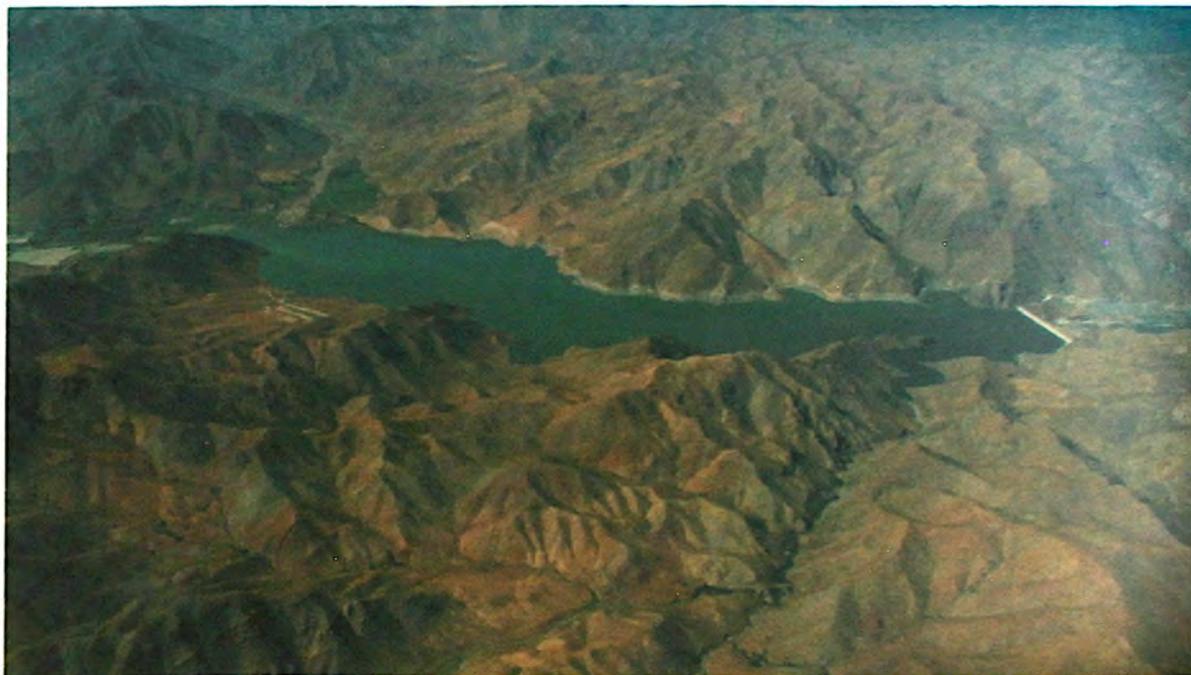


111

### Beneficios de la obra

La obra beneficia a más de 2.500 predios, con un tamaño medio de 8 hectáreas por predio, de los cuales 58% son de menos de dos hectáreas. Junto con aumentar la seguridad de riego, de un 45% a un 85%, de más de veinte mil hectáreas, la obra ha contribuido a un cambio en la estructura productiva del valle, de cultivos anuales a cultivos permanentes de mayor rentabilidad. Debe destacarse también la generación de empleos permanentes en labores agrícolas de 7.480 hombres-mes durante la vida útil del proyecto. En cuanto al control de crecidas, de los 200 millones de  $m^3$  del embalse se reservan 25 millones de  $m^3$  para este efecto. A lo anterior hay que agregar los beneficios que significa el aumento de las actividades de transporte, comercialización, plantas de procesamiento de productos agrícolas, aumento de las exportaciones, turismo y otros.





El impacto del embalse Puclaro 'Intendente Fuentealba' ya se ha hecho presente, pues los agricultores, al contar con adicional seguridad para el riego, pueden invertir con un mínimo de riesgo en la introducción de cultivos permanentes, de mayor rentabilidad y frutales de exportación, ya que cuentan con un mayor margen de seguridad en lo relativo al suministro de agua, que suele escasear en el valle y normalmente en los períodos de mayor necesidad de riego (de septiembre a abril), especialmente en época de sequía.

Otro positivo impacto de la operación del embalse es servir como un gran amortiguador de crecidas, es decir, los mayores caudales, efecto de lluvias y deshielos, se manejan de tal forma que no reduzcan daños aguas abajo de la presa en la cuenca del río Elqui. Cuando el valle del Elqui aún no contaba con esta obra, grandes volúmenes de agua, escasos en esta zona, tenían su destino final en el mar, con gran pérdida para la agricultura. Ahora, estos recursos hídricos están disponibles para ella y se realizan importantes plantaciones en terrenos que antes de la presa eran continuamente inundados con las crecidas del río.

Por último, se han abierto también diversas perspectivas turísticas, como ser, el lago artificial convertido en escenario ideal para los deportes náuticos o en punto de reunión obligado de los cultores de la pesca deportiva, como ha sucedido con otros embalses de la zona.



113

### Un poco de historia

El riego en el valle del Elqui es antiquísimo: proviene de las antiguas culturas indígenas. Durante la Colonia, los conquistadores aportaron sus conocimientos con conceptos del riego que los árabes llevaron a España y la agricultura dispuso de mejores técnicas y obras de riego para su desarrollo.

Durante el período colonial y luego durante el siglo XIX se construyó la mayoría de los canales que subsisten hasta nuestros días, incorporándose grandes extensiones en las terrazas colindantes con el valle.

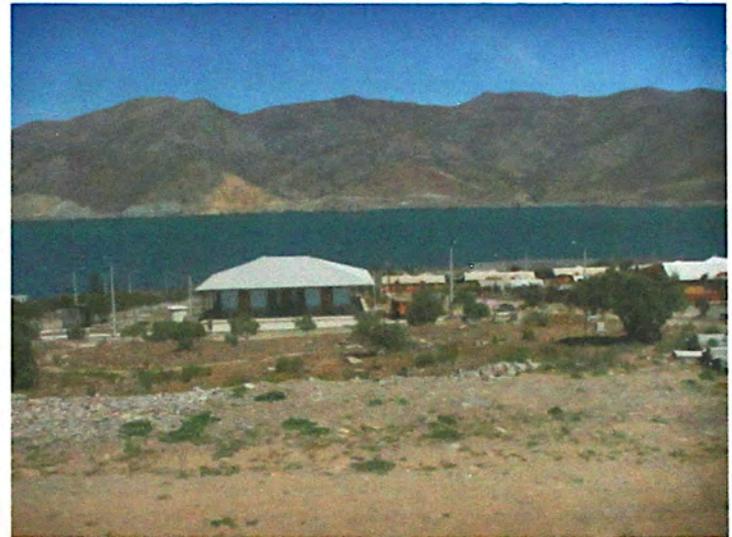
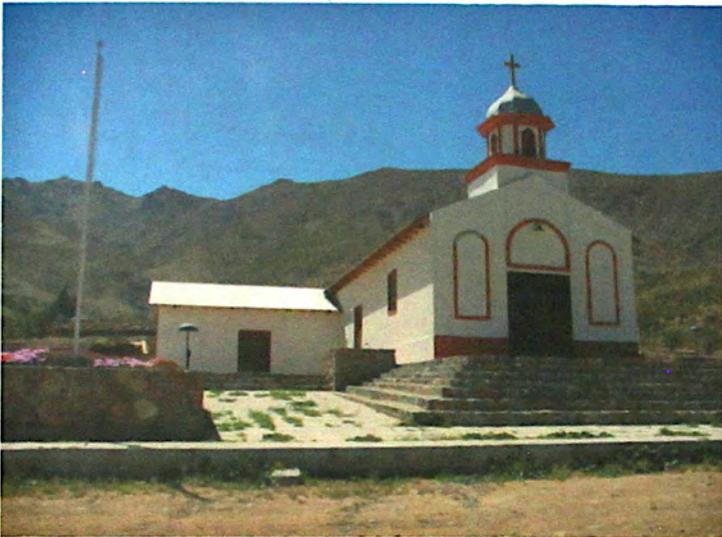
El año 1937, la Dirección de Riego terminó de construir el embalse La Laguna, en la cordillera del río Elqui, de 40 millones de m<sup>3</sup> de capacidad, ubicado a 3.200 m.s.n.m. Esta obra resultó de gran utilidad, pero era claramente insuficiente por la gran extensión de la zona de riego. Por décadas se mantuvo la aspiración de construir un embalse mayor y la Angostura de Puclaro, por sus características geológicas y ubicación estratégica, fue motivo de varios estudios. Finalmente, en 1995, la Dirección de Obras Hidráulicas desarrolló un proyecto que resultó técnica y económicamente factible, el que fue aceptado por los regantes, dentro del marco del DFL 1.123/81 que norma la construcción de obras de riego por el Estado. En marzo de 1996 se abrieron las propuestas públicas internacionales y se adjudicó la obra por \$20.995.428.040 al consorcio Constructora Valle del Elqui S.A. (formada por Mendes Junior Chile y DIWYDAG, Alemania), con un plazo inicial de 38,5 meses.



En agosto del mismo año se iniciaron las obras, que permitieron que el día 15 de octubre de 1999 se pudiera iniciar el llenado del embalse, pese a las pérdidas causadas por los temporales de agosto de 1997, que dañaron las obras y alteraron el plan de trabajo. En marzo de 2000 las obras concluyeron totalmente.

#### **Medidas de mitigación ambiental, compensación y reparación**

Para hacer posible la construcción de esta obra, fue necesario desplazar a tres comunidades, *La Polvada*, *Punta Azul* y *Gualiguaica*, a cota más alta, con vista al embalse. El lugar de erradicación y las condiciones de sus nuevos pueblos fueron decididas por las propias comunidades y se decidió la construcción de dos nuevos poblados. Uno de ellos reunía las localidades de La Polvada y Punta Azul, y en el otro se ubicó el poblado de Gualiguaica, conformado por 108 familias. A

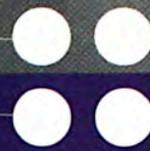


115

solicitud de la comunidad, y teniendo presente la importancia patrimonial e histórica, fueron rescatadas de Gualliguaica su estación de ferrocarril y su iglesia, que hoy forman en la plaza del nuevo pueblo un conjunto de interés arquitectónico. Las casas fueron construidas de material sólido, manteniendo la identidad de los pueblos del Elqui, en sitios de 600 m<sup>2</sup> cada una, dotados con sistema de riego para cultivo familiar. Además, cuentan con luz eléctrica, agua potable, alcantarillado, tratamiento de aguas servidas, caminos, forestación, sede social, biblioteca, escuela. Todo esto eleva el estándar de calidad de vida que tenían estas comunidades antes del proyecto.

En las excavaciones del pie del rápido de descarga se encontró un cementerio diaguita del período Diaguita II o Clásico, de aproximadamente 1300-1470 años d.C. Una veintena de sepulturas intactas yacían bajo terraplenes de la antigua vía ferroviaria La Serena-Rivadavia, construida antes de 1885. El rescate fue realizado por especialistas del Museo Arqueológico de La Serena, lugar donde hoy se pueden admirar.





**Complejo Portuario Mejillones S.A.**

**Compañía Portuaria Mejillones S.A.**

**Empresa Constructora Belfi S.A.**



117



## COMPLEJO PORTUARIO MEJILLONES

**E**n noviembre del año 2003 se inician las operaciones del Terminal 1 del Complejo Portuario Mejillones, uno de los proyectos de ingeniería portuaria más relevantes de las últimas tres décadas en Chile, con una inversión inicial de US\$ 120 millones. Se trata de un terminal para carga general fraccionada y contenedores, habilitado por medio de una concesión, y constituye un caso exitoso de colaboración público-privada en el desarrollo de infraestructura pública.

El sismo del año 1995 en Antofagasta dañó severamente las instalaciones de su puerto y dejó de manifiesto la vulnerabilidad que enfrentan todos los exportadores que utilizan ese puerto. Ello motivó un análisis estratégico sobre el desarrollo portuario en la II Región. Para Codelco y los demás productores de cobre de la región resultaba vital contar con





un puerto de diseño sismorresistente, por lo que encargaron en conjunto un estudio destinado a evaluar alternativas, y llegaron a la conclusión de que la solución más eficiente era la construcción de un nuevo puerto en la bahía de Mejillones, ubicada 65 km al norte de Antofagasta. Esta alternativa no solo permitiría superar la vulnerabilidad sísmica del puerto de Antofagasta, sino que, además, resolver una serie de otras limitaciones operacionales y estratégicas que presentaba este puerto para la cadena logística de transporte de cobre.

Cabe recordar que el puerto de Antofagasta se ubica en el centro de la ciudad, lo que provoca externalidades negativas sobre la calidad de la vida urbana. Son conocidos los problemas de contaminación ambiental provocados por la carga que es transportada en camiones o ferrocarril por el centro de la ciudad para ser descargada y manipulada en el puerto, a escasas cuadras de la plaza principal. El transporte de la carga hacia el puerto provoca adicionalmente la congestión de las principales arterias de la ciudad, además de la contaminación acústica asociada a los medios de transporte.

La alternativa de construir un nuevo puerto en Mejillones resultaba por ello coherente con la Estrategia de Desarrollo de la II Región, que veía en ella la oportunidad para mejorar la calidad de vida urbana en la ciudad de Antofagasta, permitía potenciar la consolidación de los corredores de integración física con los países vecinos y favorecía el desarrollo de un complejo productivo (o "cluster") minero-industrial en la región.

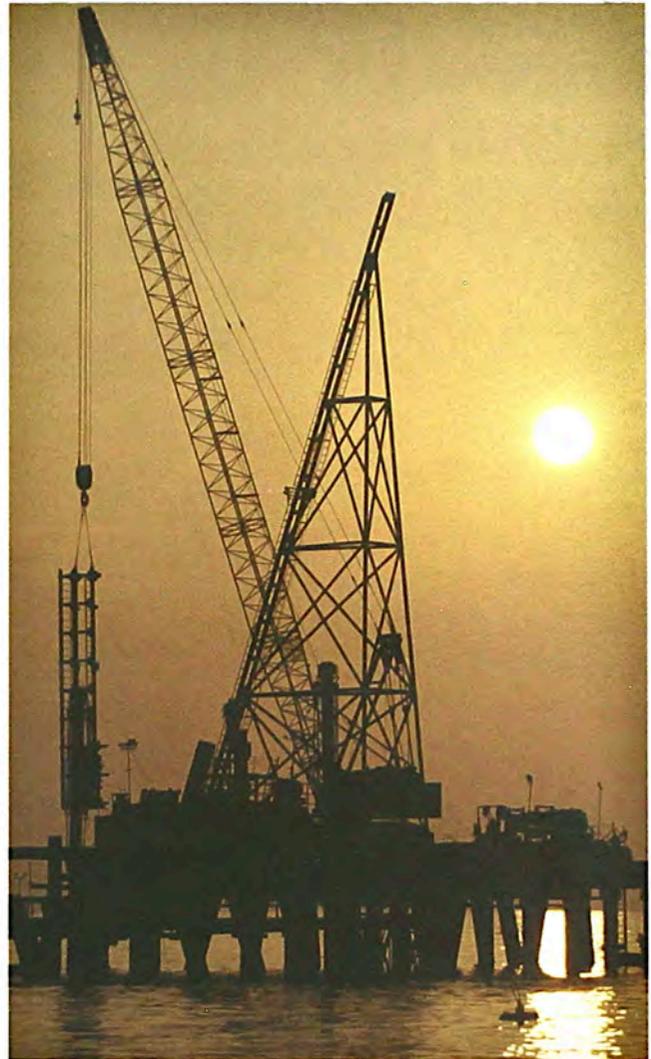
Esta opción permite además valorizar extensas áreas de terrenos fiscales en la bahía de Mejillones.

Por las condiciones naturales de la bahía y las extensas áreas de terrenos fiscales disponibles, resultaba posible habilitar un complejo portuario con un enorme potencial de desarrollo futuro con costos comparativamente bajos. Este potencial permitía pensar en la posibilidad de que este puerto pudiese llegar a desempeñar un papel privilegiado en el intercambio comercial entre los países del cono sur de Sudamérica y el Asia Pacífico.

Adicionalmente, las extensas áreas de respaldo ofrecen la oportunidad de un desarrollo industrial vinculado con el puerto, el que permite a su vez potenciar el crecimiento portuario.

Ejemplo de estas oportunidades es el proyecto de instalar una fundición y refinería de cobre en Mejillones. El área disponible permite además un crecimiento significativo de la ciudad, sin que un desarrollo portuario de envergadura produzca externalidades negativas sobre la calidad de vida urbana, como ha ocurrido en tantas ciudades-puerto del país.

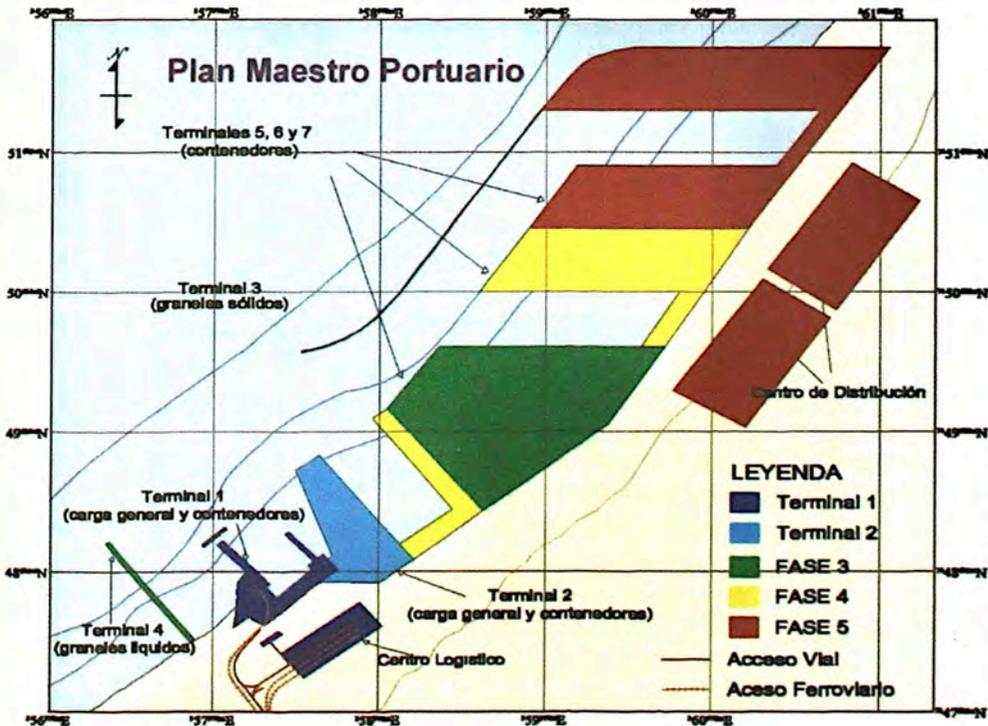
Complejo Portuario Mejillones S.A. (CPM) es la filial de Codelco Chile creada en 1997, por encargo del Gobierno, con el objetivo de desarrollar, por medio de concesiones a privados, un puerto minero-industrial en la Bahía de Mejillones, con el potencial de convertirse en un puerto pivote, capaz de promover armónicamente la actividad socio-económica de la II Región. Compañía Portuaria Mejillones S.A. por su parte es el consorcio que se adjudicó el año 1999 la concesión que comprende el



diseño de ingeniería, el financiamiento, la construcción y la operación del Terminal 1 del nuevo puerto. Este consorcio chileno está formado por dos grupos empresariales: Belfi, ligado a la industria de la construcción, y el grupo Ultramar, vinculado a la industria marítima y de servicios portuarios. La empresa constructora Belfi S.A. estuvo a cargo del diseño de ingeniería y de la construcción del Terminal 1 del Complejo Portuario, la que se desarrolló entre noviembre de 2001 y octubre de 2003. La empresa Ultraport del grupo Ultramar estará a cargo de las principales operaciones de servicio a la carga durante la etapa de operación del puerto.

**Objetivos y visión estratégica**

Considerando el enorme potencial disponible, se elaboró un Plan Maestro Portuario como un instrumento de planificación territorial que expresa la visión de largo plazo para el desarrollo del proyecto. Se concibió el desarrollo de un Complejo Portuario conformado por diferentes terminales especializadas, los que se irán habilitando en forma modular por medio de concesiones a privados, en la medida en que las condiciones de la demanda los hagan viables. Sustentado en inversión y gestión privada, el puerto será de uso público con condiciones de servicios y tarifas transparentes y no discriminatorias para todo tipo de usuarios.





El Plan Maestro Portuario de CPM tiene un horizonte de 50 años, y su propósito es reservar los terrenos y ordenar el uso del suelo de modo de preservar el potencial y favorecer el crecimiento del Complejo Portuario. El proyecto considera a largo plazo la construcción de cuatro terminales de carga general y contenedores, un terminal para el manejo de graneles sólidos y uno para graneles líquidos, además de toda la red vial, ferroviaria, correas transportadoras y ductos que facilitará la operación del puerto y de los desarrollos industriales contemplados.

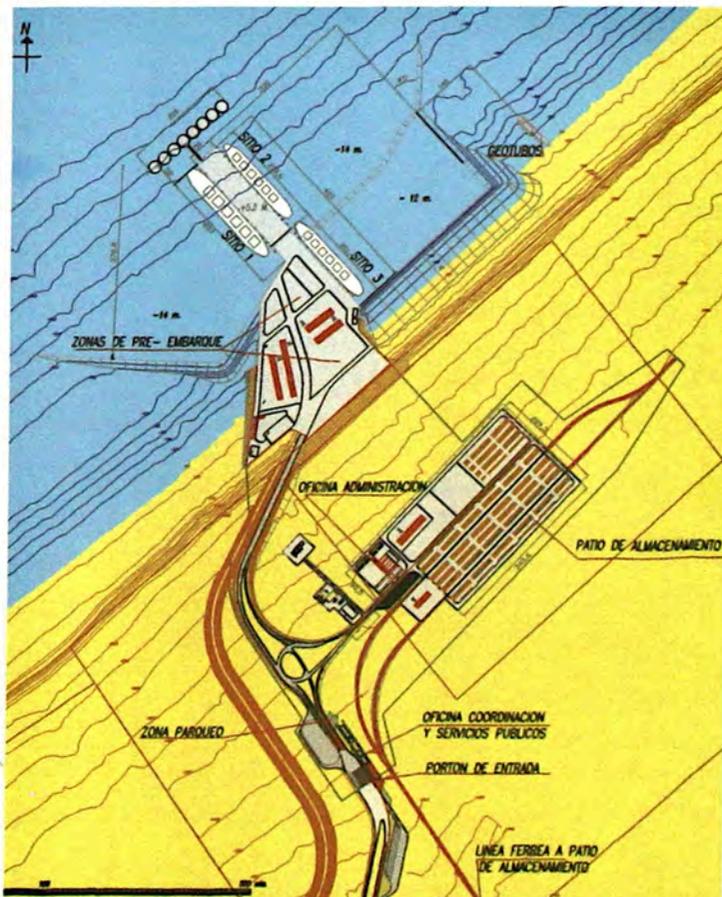
El Plan Maestro Portuario se ha considerado además como base para la planificación territorial del área colindante (de unas 4.500 ha), definida como reserva portuaria en el nuevo Plan Regulador Comunal de Mejillones. Se desarrolló para ello el "Estudio de Plan Director Área de Reserva Portuaria, Bahía de Mejillones", con el propósito de potenciar un desarrollo portuario e industrial sustentable. Este instrumento de planificación considera el dinámico desarrollo industrial que ha tenido lugar en la comuna de Mejillones durante los últimos años, y plantea la posibilidad de consolidar un parque portuario-industrial en el área.

El punto de partida para el desarrollo del Complejo Portuario lo constituye la concesión del Terminal 1, que incluye una opción preferente del concesionario por 10 años para habilitar el Terminal 2.

## El Terminal 1 del Complejo Portuario

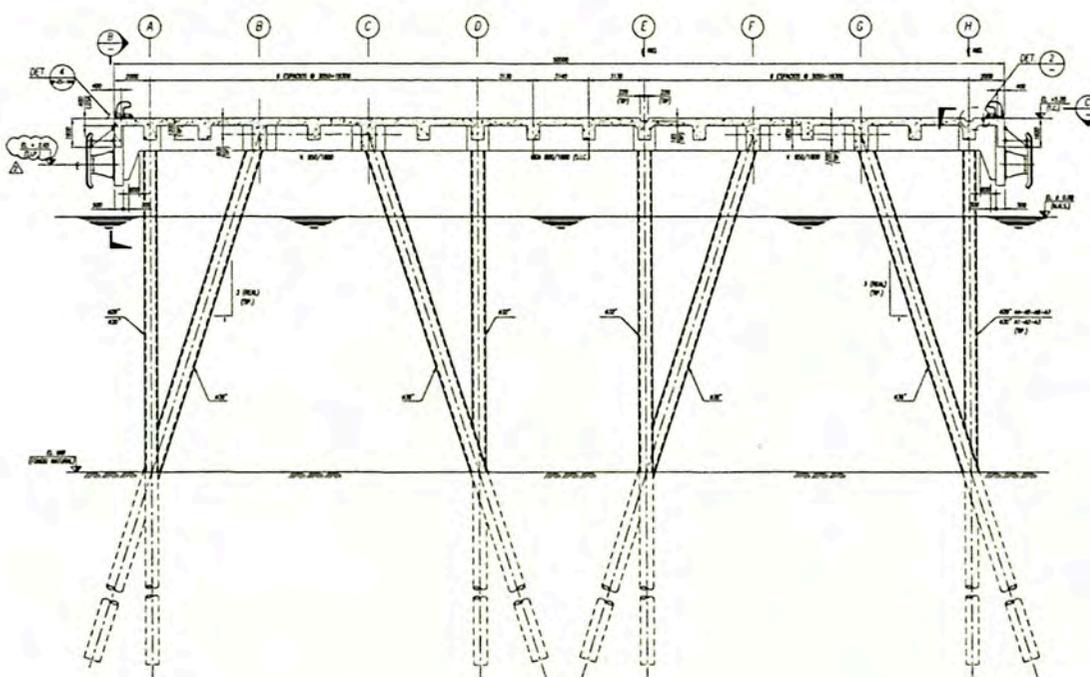
El Terminal 1 está diseñado para el manejo de cobre metálico y carga general, y contempla inicialmente 3 sitios de atraque, dos de los cuales corresponden a un muelle sobre pilotes de acero y consideran una profundidad mínima de 14 metros. La inversión inicial contemplada para el Terminal 1 es de US\$ 120 millones, incluidos los bienes comunes del puerto, con una capacidad de transferencia mínima de 2 millones de toneladas al año. En cuanto al área de respaldo, el Terminal 1 considera 5 hectáreas de áreas de pre-embarque y 7 hectáreas en áreas de almacenamiento remoto, con accesos viales y ferroviarios directos a éstas. Cabe destacar que se contempla además la construcción de un rompeolas de 200 metros de longitud, ubicado frente a los sitios 1 y 2 para garantizar los exigentes estándares de operación del puerto.

El equipamiento incluye una grúa de puerto con capacidad máxima de 100 toneladas, sobre ruedas de goma. Se contempla la ampliación del Terminal 1 por medio de un cuarto sitio de atraque, con el que se alcanzaría una capacidad máxima estimada en 3,5 millones de toneladas anuales.



El Terminal 1 en su primera etapa se compone de las siguientes obras principales:

- \* Rompeolas: Corresponde a una estructura compuesta por 8 gaviones cilíndricos de tablestacas de acero, de 24 m de diámetro y 24 m de altura, rellenos con arena. Estos gaviones conforman un rompeolas de 200 m de longitud, fundado en el fondo marino a una profundidad de agua de 20 m en marea mínima.
- \* Sitios N<sup>os</sup> 1 y 2 para atraque de naves de 225 m de eslora y 50.000 DWT: Corresponde a un muelle de 220 m de longitud y 50 m de ancho, fundado sobre 296 pilotes de acero verticales e inclinados de diámetros entre 28" y 36", hincados en el fondo marino con penetraciones de hasta 35 m. La cubierta de este muelle esta conformada por vigas y losas de hormigón armado.

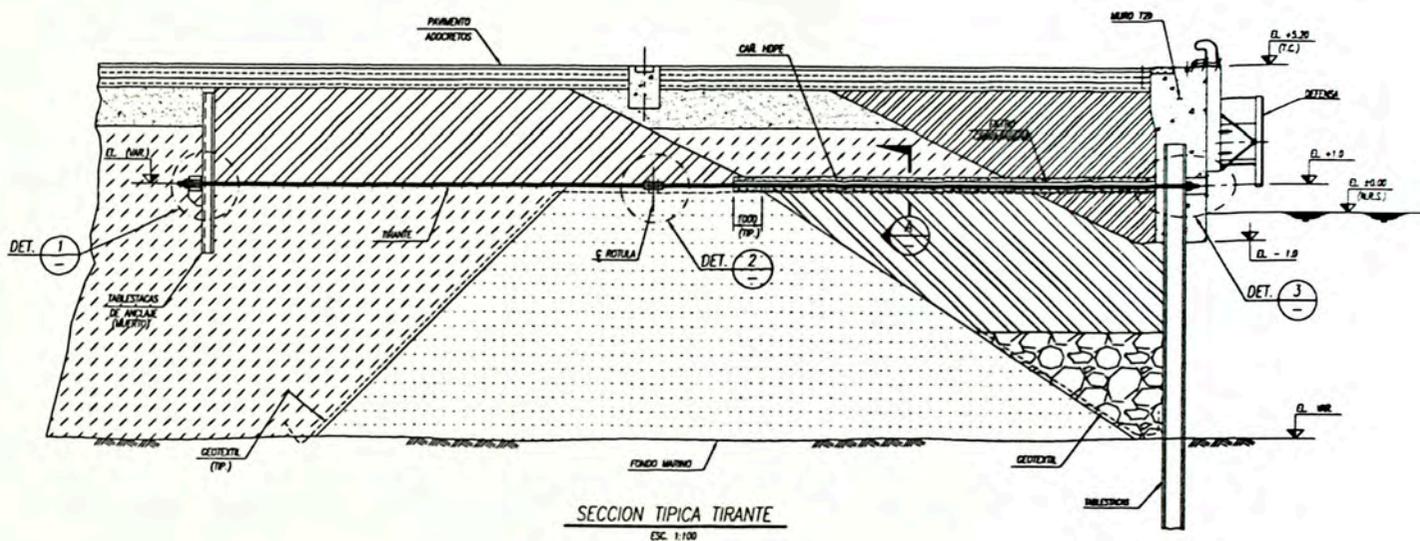


Sección típica 1 y 2

- \* Sitio N<sup>o</sup> 3 y explanada marítima para acopio de carga: Corresponde a otro sitio de atraque de naves, colineal con el sitio N<sup>o</sup> 2, de 200 m de longitud y conformado por tablestacas de acero hincadas en el fondo marino. A través de un muro de tablestacas de 620 m de longitud se conforma el sitio 3 y la explanada marítima de acopio de carga colindante. El muro de tablestacas tiene en su extremo superior una viga de coronamiento de hormigón armado de 6,20 m de alto y 2,0 m de espesor, muro que se extiende 1,0 m bajo la cota de marea mínima. La explanada marítima de

acopio, de 58.000 m<sup>2</sup> de superficie, se desarrolla sobre la base de terrenos ganados al mar mediante rellenos marítimos contenidos por el muro de tablestacas en su mayor parte y en algunos sectores mediante enrocados y elementos prefabricados de hormigón denominados CORE-LOC.

- \* Explanada terrestre para acopio de carga: Corresponde a un área de 72.500 m<sup>2</sup>, diseñada sobre la base de rellenos y un pavimento de adocretos.
- \* Edificios de oficinas, bodegas y talleres: Se contemplan edificios para oficinas, bodegas y talleres, con una superficie total de 4.000 m<sup>2</sup>.
- \* Caminos de acceso y caminos internos: Corresponden a los caminos necesarios para conectar la instalación portuaria a los caminos existentes y los caminos internos de comunicación entre las diferentes áreas, construidos en base a concreto asfáltico.



Sección típica sitio 3

- \* Vías férreas: Corresponde a las vías férreas necesarias para conectar la instalación portuaria con la red ferroviaria existente y las vías férreas internas necesarias para la operación de trenes con carga dentro del puerto.
- \* Plantas de producción de agua potable y planta de tratamiento de aguas servidas: corresponde a una planta desalinizadora por osmosis inversa de una capacidad de 150 m<sup>3</sup>/día y una planta de tratamiento de aguas servidas para una capacidad de 200 m<sup>3</sup>/día.

## Ingeniería

La ingeniería de este proyecto estuvo a cargo de la empresa Belfi S.A. e incluyó una adaptación del diseño conceptual original, los estudios básicos de terreno, la ingeniería básica y la ingeniería de detalles.

Algunos aspectos interesantes de destacar de la ingeniería realizada, ya sea por su complejidad o por corresponder a situaciones novedosas, son los siguientes:

### *Caracterización de los suelos diatomáceos*

Se desarrolló un completo estudio, incluyendo sofisticados ensayos de laboratorio, que permitió evaluar la estabilidad y asentamiento de los suelos diatomáceos, sobre los cuales se fundaron los rellenos que conforman la explanada marítima. Del mismo modo se evaluaron los empujes que estos suelos provocarían a los pilotes de los sitios 1 y 2 ubicados en la vecindad de la explanada. Finalmente, fue necesario determinar los empujes y las capacidades de soporte de este suelo atípico para diseñar la pared de tablestacas del sitio 3 y explanada marítima.

Se efectuaron diversos ensayos de laboratorio, dentro de los que destacan los triaxiales con carga controlada para simular solicitaciones permanentes de largo plazo sobre el suelo y triaxiales con carga rápida para simular solicitaciones sísmicas de corta duración.

### *Clima de olas en la bahía de Mejillones*

A través de procesos de hindcasting realizados en el Pacífico Sur con datos de 40 años, se estimó inicialmente el clima de olas operacional que afectaría a la obra. Además se efectuaron mediciones directas de olas por aproximadamente un año en la zona del proyecto.

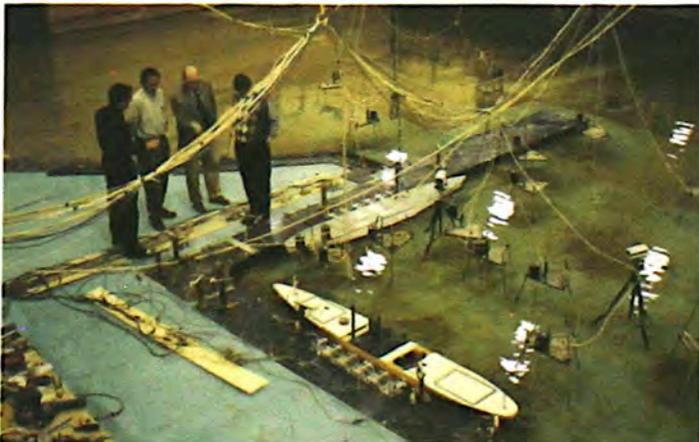


La comparación del hindcasting con las mediciones directas mostró que durante los meses de noviembre a abril los resultados no tenían una buena correlación. A partir de esto, se inició una importante investigación para determinar por qué se producía la diferencia. Finalmente logró descubrirse y probarse que durante los meses de noviembre a abril, el clima de olas en Mejillones está comandado por las tormentas que se desarrollan durante el invierno en el Pacífico Norte en las cercanías de las islas Aleutianas. Este importante descubrimiento ha permitido entender mejor el origen del oleaje que afecta a la costa de Chile y, por tanto, poder pronosticar adecuadamente el clima de oleaje de otros proyectos en otras ubicaciones.

#### *Modelación física de las obras*

Para conocer el comportamiento que tendrían las naves atracadas en el puerto diseñado, principalmente el movimiento que estas tendrían frente al clima de olas operacional esperado, se construyó un modelo físico hidráulico en una Pileta de Olas Multidireccionales, en el Canadian Hydraulics Centre (CHC) en la ciudad de Ottawa, Canadá. Dentro de la pileta, de 35 m por 30 m aproximadamente, equipada con un generador de olas de última generación, se construyó el proyecto a escala geométrica de 1:65 reproduciendo toda la obra, incluyendo la batimetría del fondo marino. Se fabricaron a escala también 2 naves que representaban a los buques más frecuentes que se esperaba recibir en el nuevo puerto.

El modelo físico permitía medir en cada buque atracado los movimientos (6 grados de libertad), las cargas sobre las defensas portuarias y las tensiones en las espías de amarre y adicionalmente las condiciones de oleaje en varias ubicaciones de la obra (modelo).



Lo anterior permitió estimar el comportamiento de cada buque frente a olas de parámetros conocidos medidos en las mismas profundidades (20 m) en que se había efectuado la medición directa de oleaje en Mejillones y para la cual también se había estimado el clima de olas operacional.

Conociendo los movimientos límites del buque que provocaban la detención de la transferencia de carga en la operación portuaria real, se determinaron las olas críticas que superaban esos límites. Conociendo esas olas críticas y utilizando el clima de olas se determinó el porcentaje del tiempo en que el buque no podría transferir carga (Downtime).

Lo que se perseguía con este estudio era asegurar que el puerto diseñado tuviera porcentajes de downtime muy bajos.

El modelo físico determinó la necesidad de efectuar grandes cambios en la ingeniería conceptual original, eliminándose un sitio de atraque que se había concebido paralelo a la costa e incorporándose un rompeolas o atenuador de oleaje no considerado. Adicionalmente, el modelo permitió probar varias configuraciones de amarre de las naves, llegando a optimizar este aspecto.

En general este modelo físico permitió mejorar en forma muy importante el proyecto.

Además del modelo físico para analizar el comportamiento de los buques atracados frente a las olas operacionales se construyó un segundo modelo físico para determinar el comportamiento de las estructuras del puerto frente a la ola de diseño u ola máxima que se estimó podría llegar al puerto.



Para estos efectos se construyó un modelo a escala del proyecto, en una pileta de 14 m por 60 m, en el mismo laboratorio, para medir esfuerzos provocados por el oleaje máximo o de diseño sobre la estructura de los muelles. Se verificó el comportamiento de las protecciones de taludes en base a enrocados y elementos prefabricados denominados CORE-LOC.



Nuevamente este modelo físico permitió efectuar importantes mejoras al proyecto; incluso se llegó a cambiar la concepción del sitio N° 3 desde un muelle marginal sobre pilotes a un muro de tablestacas.

#### *Análisis estructurales especiales*

La estructura de los sitios 1 y 2 (muelle sobre pilotes) fue verificada a través de un análisis estructural denominado "Análisis Demanda-Capacidad".

#### *Breve descripción del método*

Debido a la acción de sismos reales, severos, una estructura diseñada elásticamente para un sismo reducido puede desempeñarse de manera no lineal, mediante las generaciones de rótulas plásticas (u otro mecanismo equivalente), capaces de disipar energía y transferir esfuerzos a elementos con menor compromiso relativo a sus capacidades nominales.

Es de aceptación internacional estudiar este desempeño mediante un procedimiento pseudoestático conocido por "Pushover", que implica un permanente incremento proporcional de las solicitaciones que dieron lugar al diseño, incorporando las rótulas plásticas que se vayan produciendo, generando la curva de "capacidad" de la estructura.

El requerimiento que el sismo le impone a la estructura se representa mediante los espectros de aceleración y desplazamiento (formato AD) para niveles de "demanda", asociados a la probabilidad de ocurrencia del evento sísmico así representado.

Se entenderá que el diseño de la estructura es satisfactorio si en el "Punto de Desempeño", es decir, el punto en el cual la aceleración y el desplazamiento se igualan para capacidad y demanda, se satisface un "Estado Límite de la Estructura", asociado al nivel de la intensidad de la solicitación.

Para el muelle de los sitios 1 y 2 del Complejo Portuario Mejillones se consideraron las siguientes demandas sísmicas y los estados límites asociados:

Nivel	Denominación	Estado Límite	Deformación Máxima
1	Sismo esperable	Operacional	0.005H
2	Sismo mayor	Daño Controlado	0.015H
3	Sismo infrecuente	Último	0.025H

#### *Modelo de análisis*

El método descrito requirió de numerosas etapas. A continuación se indican sus puntos relevantes:

Elaboración del modelo matemático de la estructura

Análisis estático para cargas verticales

Determinación del período fundamental de la estructura

Definición del factor de modificación de respuesta "R"

Coefficiente sísmico para el espectro inelástico de pseudoaceleraciones

Análisis de la estructura para la carga sísmica asociada a un desempeño inelástico

Diseño de miembros de la estructura para los esfuerzos elásticos divididos por "R"

Determinación de las curvas de interacción momento-curvatura de todos los miembros de la estructura, a partir de sus características geométricas y mecánicas  
Aplicación del procedimiento incremental "Pushover"  
Determinación del punto de desempeño para cada nivel de demanda  
Verificación de los estados límites.

### **130** *Pruebas de carga estáticas y dinámicas de pilotes*

Para asegurar el comportamiento de los pilotes del proyecto y verificar y calibrar los modelos de resistencia del suelo utilizados para el diseño, se realizaron dos pruebas de carga a escala real sobre dos pilotes hincados.

Sobre pilotes de las mismas características que los definitivos del proyecto, hincados en dos sectores del muelle de los sitios 1 y 2 se efectuó en cada uno una prueba de carga en tracción y una prueba de carga en compresión. La intención era determinar la capacidad resistente del pilote de prueba en tracción y en compresión, para lo cual era necesario aplicar cargas de tracción y compresión sobre el pilote de prueba hasta que este fallara o se deslizara respecto del suelo en que estaba hincado.

Durante el proceso de hincado del pilote de prueba, este fue instrumentado con un equipo analizador de hinca (Pile Driving Analyzer) que permite estimar las capacidades de carga axial (tracción y compresión) del pilote, lo que se denomina prueba de carga dinámica.



Las cargas máximas aplicadas sobre los pilotes de prueba fueron 900 ton en tracción y 1300 ton en compresión.

A través de la instrumentación dinámica (o prueba de carga dinámica) de los pilotes de prueba se efectuó una correlación entre el método de prueba dinámico y el método de prueba estático. Durante el proceso de hinca de los pilotes definitivos fueron verificados con el método de prueba de carga dinámica un total de 41 pilotes.

**131**

### **Construcción**

La materialización de esta obra obligó a la empresa Belfi S.A., responsable de la construcción, a enfrentar una serie de desafíos técnicos, a los que se sumó la gran cantidad de especialidades constructivas que se debieron aplicar y muy especialmente el desarrollo de la obra en un muy corto plazo.

Uno de los mayores desafíos fue construir esta obra en 22 meses, lo que obligó a una gran concentración de recursos para poder trabajar simultáneamente en muchos frentes. Fue así como en un largo período de la obra trabajaron simultáneamente en terreno 18 grúas de gran capacidad, 8 de las cuales tenían capacidades superiores a 100 toneladas, 2 plataformas marítimas tipo Jack Up, 6 martinetes, además de gran cantidad de equipo de movimiento de tierras, de producción de materiales de relleno y enrocados y de producción de hormigón y asfalto.





En relación con los recursos humanos, fue necesario disponer de personal con gran experiencia en las actividades por desarrollar, muchas veces de alta especialización. Durante los períodos *peak* llegaron a trabajar 1400 personas en el proyecto en Mejillones.

Durante la construcción se desarrollaron una serie de actividades novedosas, muchas de las cuales se realizaban por primera vez en Chile. Dentro de estas es posible mencionar la construcción de gaviones cilíndricos de 24 m de diámetro y 24 de altura, en profundidades de agua de 20 m; la vibroflotación de 100.000 m<sup>3</sup> de arenas para conseguir compacidades

que permitieran evitar la eventual licuación de estos materiales frente a un sismo de gran intensidad; hincas de pilotes de acero, de longitudes de hasta 55 m en una sola etapa; el dragado de 700.000 m<sup>3</sup> de roca diatomácea del fondo marino; compactación por impacto de 220.000 m<sup>3</sup> de rellenos bajo agua, colocación de 2300 m<sup>3</sup> de hormigones bajo agua, colocación de 1.200 unidades de CORE-LOC para protección de taludes y muchas otras actividades.

Algunas de las actividades de construcción desarrolladas fueron las siguientes:

#### *Construcción de gaviones cilíndricos de tablestacas de acero*

Los gaviones fueron construidos con el apoyo de 2 plataformas marinas tipo Jack Up equipadas una con una grúa de 200 ton y la otra con una grúa de 150 ton. Cada gavión está constituido por 152 tablestacas de acero de 31 m de largo, que están hincadas aproximadamente 8 m en el fondo marino. Para hincarlas se usó un martinete vibratorio de 7600 pulg.lb de momento excéntrico con una unidad hidráulica de aproximadamente 800 HP.

Para poder construir estos gaviones fue necesario diseñar, fabricar y montar en cada gavión una gran estructura provisoria auxiliar de un peso aproximado de 700 toneladas que permitiera dar soporte a las tablestacas que conforman cada gavión y que sirviera de guía para la hinca. Cabe destacar que los gaviones alcanzan su resistencia final al completarse su relleno interior. Durante el proceso constructivo, esta estructura auxiliar da estabilidad a todo el conjunto de tablestacas y proporciona soporte a cada tablestaca cuya capacidad resistente en flexión es muy baja.

133

Después de hincadas las tablestacas de un gavión, se iniciaba el proceso de llenado con arena, la que era transportada desde tierra a través de cañería flotante, mezclada con agua, hasta el gavión. A medida que el relleno iba subiendo dentro del gavión, la estructura auxiliar (interior) se iba retirando (levantando) hasta retirarla completamente cuando el gavión estaba lleno con arena.

Posteriormente, el relleno de arena era compactado mediante la técnica de vibroflotación.



### *Hinca de pilotes en sito 1 y 2*

Primeramente, con el apoyo de una plataforma Jack Up equipada con grúa de 150 ton se hincaron 9 pilotes verticales del proyecto sobre los cuales se montaron vigas provisionarias de acero. A su vez, sobre estas vigas se instalaron plataformas de acero y madera sobre las cuales se montó una grúa de 150 ton. A partir de esa isla, donde se ubicó la grúa, se continuó con la hinca del resto de los pilotes del proyecto.



La hincada de los pilotes fue ejecutada entonces con una grúa de 150 ton montada sobre los mismos pilotes que componen el muelle. A pesar de la gran longitud de los pilotes (55 m), se diseñó un método constructivo que permitía hincarlos en su longitud completa, sin efectuar empalmes en terreno.

Para la hincada de cada pilote se usaron 2 martinetes; un Delmag D-30 para la primera parte de la hincada, para continuar y terminar con un martinete Delmag D-80.

#### *Compactación por impacto*

Los rellenos bajo agua efectuados en la explanada marítima fueron compactados sobre la base del impacto de una gran masa que se dejaba caer desde una altura predeterminada. Se utilizó una masa de 37,5 ton que se lanzaba desde un máximo de 20 m de altura. Los resultados de compactación se verificaban mediante la ejecución de sondajes en el suelo compactado.

#### *Dragado del fondo marino*

El proyecto contempló la necesidad de rebajar el fondo marino, de modo de lograr las profundidades requeridas en los frentes de atraque y en el área de maniobras de las naves. Se excavaron en el fondo marino un total aproximado de 990.000 m<sup>3</sup> de los cuales 290.000 m<sup>3</sup> corresponden a arena y el saldo, 700.000 m<sup>3</sup>, a roca diatomácea.



Para efectuar estos trabajos fue necesario movilizar desde el extranjero a Mejillones dos grandes equipos de dragado. Para el dragado de la roca diatomácea, una draga de corte y succión de gran capacidad con una potencia total de 8300 HP. Para el dragado de la arena y el transporte del material extraído por la draga de corte, una draga de succión en marcha, autopropulsada con una potencia instalada total de 12.000 HP y una capacidad de cantara (bodega) de 5.000 m<sup>3</sup>.

El proceso de dragado, como todos los procesos constructivos, debió desarrollarse respetando exigencias medioambientales muy estrictas. Es así como en el dragado se establecieron tamaños máximos permitidos de la mancha o pluma provocada por los sólidos suspendidos en el agua, que se levantaban al dragar el fondo marino. Para controlar esta situación se implementó un proceso de monitoreo de las condiciones del mar, para lo cual fue necesario movilizar al país sofisticados equipos que permitían mediciones instantáneas de algunos parámetros relevantes, entre ellos los sólidos suspendidos.



#### *Hinca tablestacas muro Sitio 3 y muro explanada*

La hincada de las tablestacas de este muro fue ejecutada con una grúa de 70 toneladas de capacidad y martinets Delmag D-22 y Delmag D-30.

La grúa fue montada sobre una estructura auxiliar que se apoyaba en el fondo marino y que además tenía la capacidad de avanzar ("caminar") para desplazarse a lo largo del muro que debía construirse. Esta estructura fue íntegramente diseñada y construida en Chile.



#### *Aseguramiento de calidad durante la construcción*

Belfi S.A. implementó para la construcción de esta importante obra un Plan de Aseguramiento de Calidad, que permitió garantizar al mandante el cumplimiento a cabalidad de los requisitos especificados para el proyecto. El sistema implementado se basó en los criterios de la norma NCh-ISO 9002.

Basados en lo anterior, el mandante destinó para el trabajo en terreno, durante el desarrollo de las obras, solo a un profesional en forma permanente y auditores externos, que efectuaron visitas esporádicas y que principalmente tenían la misión de auditar el sistema de calidad adoptado. Como parte del sistema se implementó, además, una base de datos de control en línea vía internet.

El resultado en este sentido fue exitoso, consiguiéndose una obra con un alto estándar de calidad.



Durante los trabajos de construcción, el sistema de calidad desarrolló más de 11.000 protocolos de control de cumplimiento de la calidad en los procesos productivos.

El proyecto en cifras

Suministro e hincas pilotes de acero (300 und.):	4.821 ton
Suministro y colocación tablestacas de acero:	7.797 ton
Dragado:	986.142 m <sup>3</sup>
Excavaciones:	266.472 m <sup>3</sup>
Suministro y colocación enrocados protección espigón:	12.163 m <sup>3</sup>
Suministro y colocación núcleos protección espigón:	187.056 m <sup>3</sup>
Suministro y colocación relleno granular espigón:	188.934 m <sup>3</sup>
Hormigón estructural:	17.449 m <sup>3</sup>
Pavimento adocretos:	115.000 m <sup>2</sup>
Pavimento concreto asfáltico:	3.856 m <sup>3</sup>
Vías férreas:	5.344 m
Suministro y montaje bitas:	35 und
Suministro y montaje defensas:	54 und
Edificios y bodegas:	3.945 m <sup>2</sup>
Montaje eléctrico:	US\$ 1.804.000
Sistema agua potable, tratamiento y alcantarillado:	US\$ 864.000
Período de ejecución:	enero 2002 - octubre 2003
Horas / hombre totales en construcción:	4.000.000
Horas / hombre en ingeniería:	100.000



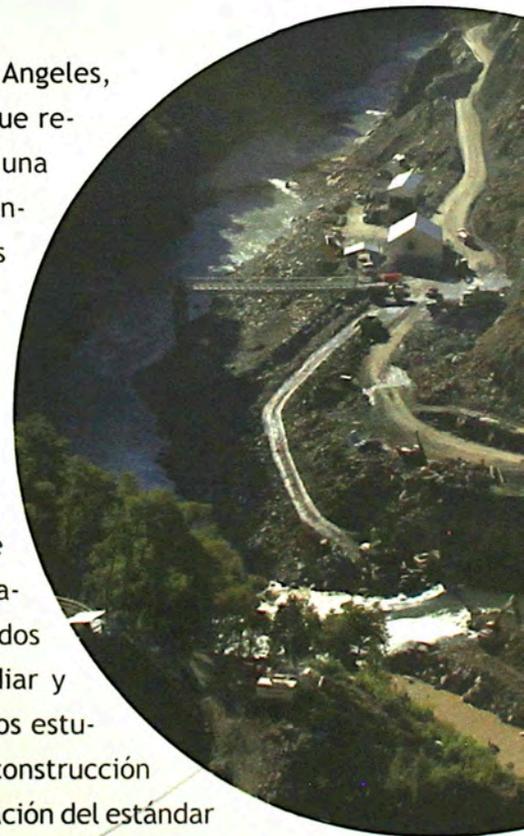
ENDESA



### CENTRAL HIDROELÉCTRICA RALCO

**U**bicada en el Alto Biobío, 120 km al sureste de Los Angeles, la central hidroeléctrica Ralco se sitúa en una zona que registra un promedio anual de lluvia de 3.000 mm. Con una altura de 155 metros entre el punto más bajo de su fundación y su coronamiento, la presa es la tercera más alta del mundo hecha con Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) y su embalse tiene una superficie de 3.467 hectáreas y un volumen total embalsado de 1.200 millones de m<sup>3</sup>.

La idea de emplazar una central hidroeléctrica en el Alto Biobío es antigua: los primeros bocetos datan de mediados del siglo pasado. Ya en los años 60 se instalaron en la cuenca del río 8 estaciones fluviométricas y dos estaciones meteorológicas para recoger datos, estudiar y cuantificar el potencial hidroeléctrico y desarrollar los estudios y proyectos de las centrales Ralco y Pangué. La construcción de la primera obra de Ralco, que consistió en la modificación del estándar del camino público de acceso a la zona, se inició a mediados de 1997.





La central Ralco, propiedad de Endesa Chile, filial de Enersis, tendrá una potencia de 570 MW y aportará un promedio de generación eléctrica anual de 3.100 GWh, utilizando un caudal promedio de  $232 \text{ m}^3/\text{s}$  y una altura de caída de 175 m. Significará el 9% de la energía requerida por el Sistema Interconectado Central en el año 2004. La inversión total será de 540 millones de dólares y entrará en funciones a mediados del año 2004.

### Principales obras de la central

Está constituida por tres obras principales: un embalse formado por una presa de hormigón; una casa de máquinas, donde se alojan los equipos de generación eléctrica, y un túnel de aducción, que conduce las aguas desde el embalse hasta la casa de máquinas.

El embalse está formado por la construcción de una presa gravitacional de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), la segunda en su tipo en Chile, y tendrá una altura máxima de 155 metros, una longitud de 360 metros en su coronamiento y un volumen total de 1,6 millones de metros cúbicos de HCR.

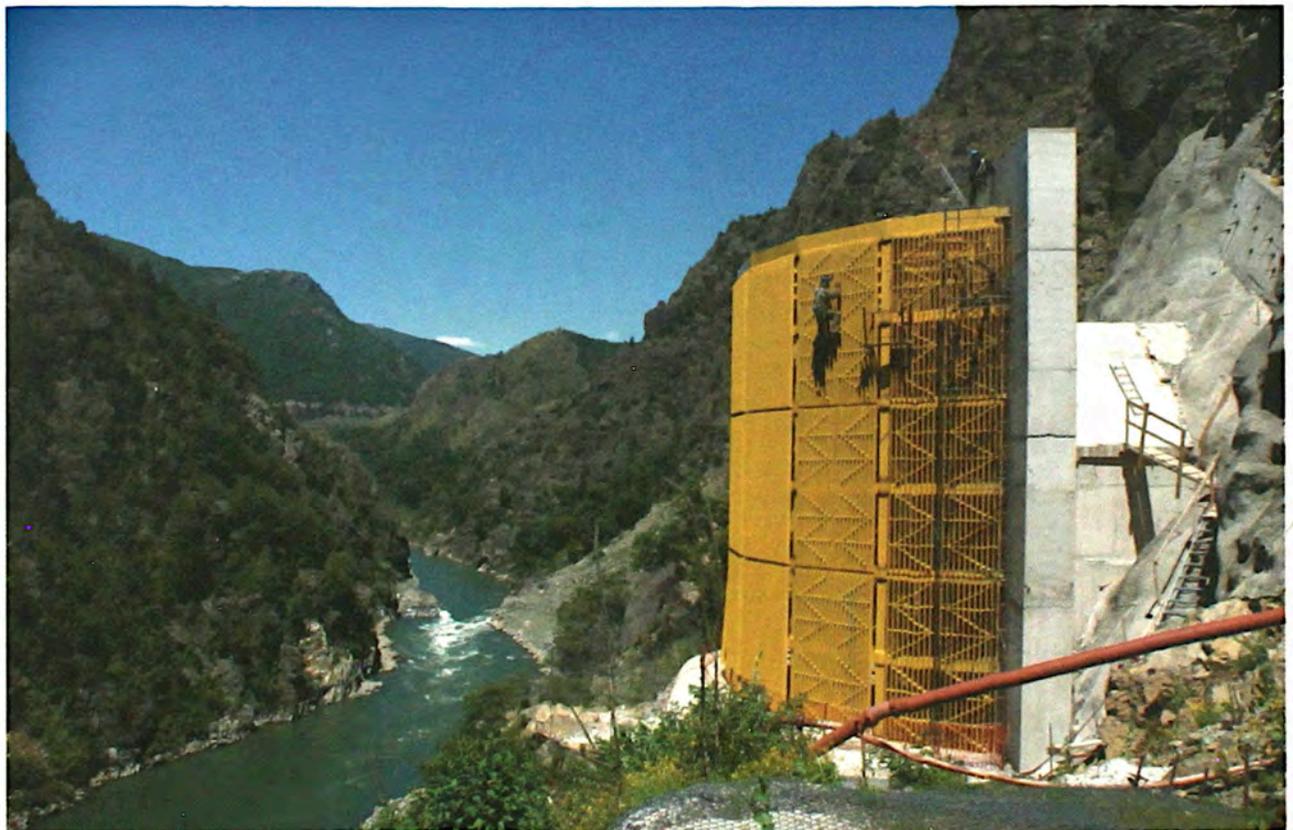
Para construir la presa, el río fue encauzado a través de un túnel de desvío de 500 m de largo y 13,5 m de diámetro, excavado en la ribera norte. Con el objetivo de encauzar el río hacia el túnel de desvío fue necesario construir dos ataguías, una aguas arriba y otra aguas abajo del tramo de río que requirió ser aislado.

Sobre la presa se dispone un evacuador de crecidas, provisto de tres compuertas de regulación, que permite evacuar en forma normal un caudal de  $6.550 \text{ m}^3/\text{s}$ , que corresponde a una crecida con período de retorno de 1.000 años. Contempla también un desagüe de fondo que, por una parte, permite controlar el llenado del embalse una vez que se cierre el túnel de desvío y, por otra, descargar el caudal de sostenimiento ecológico, que forma parte de los compromisos ambientales del proyecto.

La bocatoma de la central se ubica en la ribera sur del embalse, a poca distancia del cuerpo de la presa. Permite captar el caudal de diseño de la central, incluso con el nivel mínimo de operación eventual del embalse. El túnel de aducción, de 9,2 m de diámetro y 7,2 km de longitud, está enteramente revestido con hormigón.

En el extremo aguas abajo del túnel de aducción se ha dispuesto una chimenea de equilibrio para regular los efectos de los fenómenos hidráulicos transitorios, causados por la operación de las unidades generadoras. Aguas abajo de la chimenea de equilibrio, la aducción continúa en forma de pique vertical y luego por un túnel inferior, el cual se bifurca y da origen a dos túneles blindados que llevan las aguas a cada una de las dos turbinas de la central.

**141**



La casa de máquinas está localizada en una caverna subterránea en la que se instalan las dos unidades generadoras, constituida cada una de ellas por una turbina Francis de eje vertical y un generador sincrónico, con sus respectivos transformadores de poder. El acceso a la caverna se hace a través de un túnel de 280 m de longitud. En un extremo de la caverna de máquinas se dispone la subestación eléctrica encapsulada y barras de 220 kV, que conducen la energía al exterior, a través de una galería de 60 m de longitud. En el exterior se ubican las mufas terminales de las barras encapsuladas y allí se origina la línea de transmisión de 2 x 220 kV que lleva la energía hasta la subestación eléctrica Charrúa, situada en las cercanías de Cabrero.

El túnel de aducción, la casa de máquinas y los equipos de generación son convencionales y no presentan mayor innovación tecnológica, salvo lo que se refiere al mando y control, que incorporan los últimos avances en materia electrónica y control automático. Sin embargo, el diseño y la construcción de la presa, y el tratamiento de materias ambientales y sociales, han requerido el desarrollo de técnicas y procedimientos especiales, pioneros en su ámbito.



### Ingeniería y construcción de obras

Los diseños de ingeniería, la dirección e inspección técnica y la gestión ambiental han sido desarrolladas íntegramente en Chile por Ingendesa, filial de Endesa Chile, con el aporte de asesores internacionales y nacionales en materias muy específicas, como el HCR.

La construcción de las obras principales fue encomendada a distintas empresas nacionales y extranjeras: Besalco construyó los caminos, túnel de desvío y excavaciones de la presa; Febrag (Fe Grande y Brotec), la presa; CCA (Necso de España y G y M de Perú), el túnel de aducción y la casa de máquinas; y Alstom fue el proveedor de los equipos hidromecánicos y eléctricos, que fueron montados por Skanska y Salfa Montajes.



### La presa

Esta obra incluye varias características técnicas especiales que son pioneras en la construcción de presas de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR). Con la experiencia adquirida se espera contribuir a mejorar la aplicación de las técnicas constructivas del HCR, tanto en Chile como en el resto del mundo, sobre todo en aquellos lugares donde se emplacen presas con similares condiciones climáticas extremas y dificultades de acceso.

Las principales características del diseño de la presa son el uso de la técnica del HCR enriquecido con lechada (HCR-EL) en los paramentos como principal elemento impermeable; requerimientos para evitar el congelamiento del HCR y el uso de un delgado espesor de mortero para garantizar las exigencias de resistencia en las juntas entre capas.



### Análisis estructural

Para una presa como Ralco, con una altura total de 155 metros, fue necesario realizar estudios exhaustivos para definir su geometría, de manera de garantizar su estabilidad y resistencia frente a distintas condiciones de sollicitación. Entre ellas destacan las de peso propio, empuje hidrostático del agua, empuje de sedimentos, subpresión, acciones sísmicas y térmicas.

### Diseño de las mezclas de HCR

Los estudios de laboratorio y la ejecución de un terraplén de pruebas permitieron establecer las dosis mínimas de cemento Portland puzolánico (30% de puzolana) para satisfacer los requerimientos de las tres zonas de la presa, cantidades que correspondieron a 190, 165 y 135 kg/m<sup>3</sup>. Para la definición de las dosis de cemento se consideró un nivel de confianza del 80% y un coeficiente de variación del 15%. El diseño de la dosificación del HCR fue determinado utilizando el método de Faury, el cual fue adaptado para el HCR sobre la base de la experiencia adquirida por Ingendesa durante la construcción de Pangue, la primera presa de HCR construida en Chile.

### Tratamiento de las juntas

El diseño de la presa Ralco define la colocación del HCR en capas de 30 cm de espesor compactado. Para asegurar una buena adherencia entre las capas de HCR, se estableció el uso de un mortero de junta de un centímetro de espesor que se coloca con una trabajabilidad de 26-28 cm de asentamiento de cono. Se ha procedido a eliminar el uso del mortero de junta cuando la superficie de la capa no ha superado una madurez de  $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{Hr}$ , es decir, antes del inicio de fraguado del hormigón definido sobre la base de las características del cemento en uso.

145

### Condiciones de colocación del HCR con lluvia o tiempo frío

La construcción de la presa no fue interrumpida durante las épocas de invierno, procediendo de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas para colocación de HCR en tiempo frío y con lluvia. Sobre la base de la experiencia obtenida durante la construcción de la presa Pangue, ubicada 30 km aguas abajo de la presa Ralco, se estableció la posibilidad de mantener la colocación de HCR con intensidades de lluvia inferiores a 3 mm/hr y temperatura ambiente superior a  $-4,5^{\circ}\text{C}$ . Ello siempre y cuando se cumplieran ciertas restricciones y requerimientos especiales, tales como el uso de protecciones o mantas térmicas sobre las superficies expuestas y calentamiento del agua del hormigón.





### Uso de la técnica del HCR-EL

En la construcción de la presa se empleó la técnica del HCR enriquecido con lechada (HCR-EL) aplicado en todo su contorno, esto es, en los paramentos y en los contactos con la roca de las laderas. La mezcla de HCR-EL contiene una dosis de  $100 \text{ l/m}^3$  de lechada, cuyas características principales fueron una razón  $A/C=0,78:1$ , con uso de aditivo superplastificante al 2% de la dosis de cemento, que le proporciona una viscosidad Marsh de 34-36 segundos para garantizar la penetración en la masa de HCR y obtener un asentamiento de cono del HCR-EL entre 6-8 cm, el cual permitía entonces ser vibrado internamente como si fuese un hormigón convencional.

### Juntas de contracción

En las juntas transversales de contracción, se especificó la colocación de una doble lámina de estanqueidad en el paramento de aguas arriba, confeccionado de HCR-EL, y la materialización de un dren aguas abajo de las láminas, todo ello con el objeto de asegurar la impermeabilidad y buen funcionamiento de las juntas.

### Trabajos de inyección de la fundación

El diseño de la presa estableció trabajos de inyecciones de consolidación para sellar el agrietamiento de la roca de fundación y mejorar de esa manera las características geotécnicas del macizo rocoso. Las perforaciones de inyección definidas son de 8 metros de profundidad, utilizando el método GIN para establecer los límites máximos de presión de  $10 \text{ kgf/cm}^2$  y volumen de admisión de  $800 \text{ l/m}$ .

La presa Ralco tiene en su interior tres galerías de drenaje ubicadas a diferentes niveles de elevación y entre 8 a 13 metros del paramento de aguas arriba. Estas galerías están destinadas a facilitar los trabajos de ejecución de la cortina de impermeabilización y funcionar como drenaje durante la operación de la central. La cortina de impermeabilización fue diseñada con inyecciones separadas a 3 m y que alcanzaron hasta 130 metros de profundidad en el lecho del río.

**147**

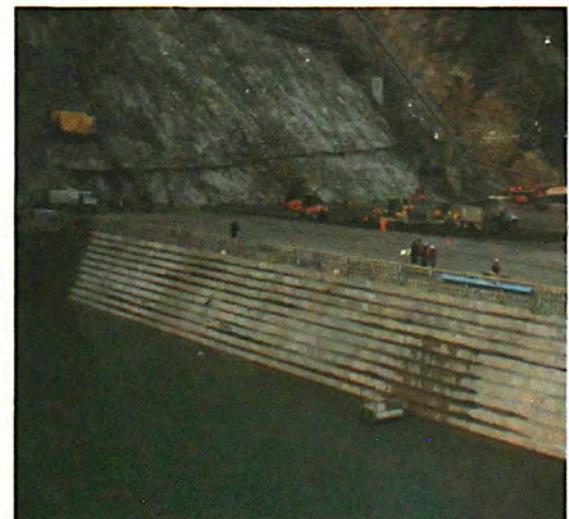
### **Instrumentación**

Para el monitoreo futuro del comportamiento de la presa, se consideró la instalación de 34 termocuplas a diversos niveles para registrar la evolución de las temperaturas producto de la hidratación del cemento en el núcleo del muro, así como también, 42 piezómetros y 2 acelerógrafos para analizar el desempeño estructural de la presa en caso de ocurrencia de sismos, muy comunes en la región donde se emplazan las obras de la central.

### **Programa de construcción de la presa**

La construcción de la presa Ralco comenzó en febrero de 1999, con los trabajos de excavación de la fundación sobre el nivel del cauce del río Biobío. Simultáneamente se iniciaron los trabajos de excavación de un túnel de desvío, de 13,5 m de diámetro y 500 m de largo, por la ribera norte. En diciembre de 2000 se desvió el río y se iniciaron los trabajos de excavación de la fundación bajo el nivel del cauce.

Para aislar la zona de fundación de la presa, se construyeron a partir de diciembre de 2000 las ataguías gravitacionales con núcleo impermeable. En mayo de 2001, antes de que la ataguía de aguas arriba estuviera terminada, una crecida del río Biobío sobrepasó el coronamiento y causó la destrucción parcial de ella y la destrucción total de la ataguía de aguas abajo.



La colocación de HCR en la presa comenzó en enero de 2002. Durante ese año, las altas precipitaciones registradas produjeron que el río Biobío vertiera en dos ocasiones por sobre la presa en construcción, destruyendo nuevamente la ataguía de aguas abajo y los caminos de acceso a la presa. El primer vertimiento ocurrió en el mes de agosto 2002, cuando la presa presentaba una altura de 43 m, y el caudal máximo que escurrió por sobre la presa alcanzó a 250 m<sup>3</sup>/s aproximadamente. El segundo evento se produjo en octubre 2002. En esa oportunidad, la presa tenía 52 m de elevación, controlándose un caudal por sobre la presa cercano a 550 m<sup>3</sup>/s, equivalente a un nivel de agua cercano a un metro sobre la superficie en construcción.

En ambas oportunidades se tomaron todas las acciones tendientes a evitar daños en equipos y maquinarias, y se protegieron las estructuras que soportaban el sistema de cintas transportadoras. Los caminos de acceso fueron rápidamente recuperados. Por otra parte, la pendiente de 1% hacia aguas abajo que consideraba la sección de la presa facilitó la limpieza de la superficie expuesta, permitiendo reanudar los trabajos en un plazo de aproximadamente una semana. La presa no sufrió ningún tipo de daño estructural, ni se detectaron daños significativos en la última capa de HCR colocada. Los escalones de aguas abajo de la presa, cuya pendiente es 0.8:1 (H:V) y altura de escalón 60 cm, tampoco presentaron daños a pesar de que trabajaron como elementos disipadores de energía del escurrimiento, lo que evidenció el buen comportamiento del HCR-EL frente a la acción erosiva del agua.



El rendimiento máximo de colocación fue de 7.793 m<sup>3</sup>/día y 149.215 m<sup>3</sup>/mes (enero 2003). Durante el período peak de la construcción (noviembre de 2002 a abril de 2003) se colocaron un total de 661.900 m<sup>3</sup> de hormigón, lo que representó un rendimiento medio mensual de 132.380 m<sup>3</sup>. Los primeros 500.000 m<sup>3</sup> de hormigón se colocaron en 267 días, lo que correspondió a un rendimiento medio de 1.873 m<sup>3</sup>/día. Asimismo, se colocaron 1.000.000 m<sup>3</sup> de hormigón en 387 días, con un rendimiento medio de 2.584 m<sup>3</sup>/día.

Los trabajos para la ejecución de las obras del vertedero, el cual involucra un volumen adicional de 40.000 m<sup>3</sup> de hormigón convencional, se iniciaron a mediados de marzo de 2003, y las obras civiles del vertedero concluyeron en diciembre de 2003.



149

### **Métodos de construcción y equipamiento**

La presa Ralco es una de las presas de HCR más altas y grandes en el mundo. El sitio de la presa está localizado en un cajón muy estrecho y profundo del río Biobío, con condiciones climáticas extremas, todo lo cual representa un significativo desafío de construcción. El programa de construcción de la presa Ralco consideró elevadas tasas de colocación de HCR, lo que requirió de eficientes y confiables sistemas de producción, suministro, almacenamiento y transporte de todos los insumos involucrados. La construcción de la presa Ralco requirió un suministro diario, durante el período peak de colocación de HCR, de 9.600 toneladas de áridos y de 760 ton de cemento, aproximadamente.



### Suministro de áridos

Las especificaciones técnicas del contrato indicaban 4 tamaños de áridos para la fabricación de los hormigones: dos áridos gruesos (grava tamaño máximo 40 mm y gravilla tamaño máximo 20 mm) y dos áridos finos (arena gruesa tamaño máximo #4 y arena fina tamaño máximo #16). Adicionalmente, se requirió de un material bajo malla #100 proveniente de la molienda de arena denominado "filler". Para la producción del filler se instaló una planta equipada con un molino de bolas de 25 ton/hr de capacidad de producción.

Para el suministro de todos los áridos requeridos se consideró la explotación de yacimientos de origen fluvial ubicados en las cercanías de la obra. Se instalaron además 3 plantas de áridos, con capacidad individual de producción teórica de 300 ton/hr, que incluyen, cada una, chancadores primarios de mandíbula, chancadores secundarios de cono, harneros para el lavado y separación de los tamaños de los áridos y un clasificador de arena para la producción de las dos arenas.

### Producción de hormigón

Las condiciones del terreno hicieron necesario localizar las plantas de hormigón sobre un relleno de tierra armada de 35 metros de altura, reforzado con geotextiles, colocado sobre una quebrada ubicada a la derecha del paramento de aguas arriba de la presa. La producción de HCR se realizó a través de dos plantas, con un total de 3 mezcladores de tambor de 9,5 m<sup>3</sup> de capacidad. La producción de los morteros de junta y hormigones convencionales del vertedero se realizaron con una tercera planta con un mezclador de eje vertical de 2 m<sup>3</sup> de capacidad.

La capacidad máxima teórica de las plantas de HCR era de 700 m<sup>3</sup> por hora. Durante todo el período de construcción fue necesario incorporar continuas modificaciones en las plantas, con el propósito de optimizar la capacidad de producción. Con el objetivo

de mejorar los tiempos de amasado se ejecutaron modificaciones en el sistema de control de la planta y en la secuencia de carga de los materiales. Se adaptaron además las paletas de los mezcladores para mejorar el vaciado del HCR, ya que al tener una baja trabajabilidad, parte del material se adosaba a estas paletas.

La gran humedad ambiental que presentaba la zona, fundamentalmente en invierno, generó dificultades en el sistema de transporte del cemento y filler desde los silos de acopio hasta las plantas de HCR, ya que en presencia de humedad estos materiales formaban grumos producto de la condensación, los cuales obstruían las cañerías del sistema. Asimismo, las temperaturas bajo cero formaban en las arenas grumos congelados, que a veces no eran disueltos en su totalidad durante el mezclado del HCR. Para reducir estos efectos se incorporó a la planta, durante los meses de invierno, una caldera para calentar el agua de amasado y se incorporaron protecciones a los silos para evitar que fuesen afectados por las condiciones climáticas.

151

### **Sistema de transporte del HCR**

El diseño, disposición y montaje del sistema de transporte de HCR fue extremadamente complicado debido a las condiciones topográficas del terreno entre las plantas de hormigón y la fundación de la presa. El proyecto de este sistema fue ejecutado por la empresa Rotec Industries Inc., que diseñó un sistema de cintas de alta velocidad de capacidad máxima teórica de 600 m<sup>3</sup> por hora, conformado principalmente por 3 tramos; no obstante, el rendimiento máximo registrado alcanzó a 500 m<sup>3</sup> por hora.



### **Colocación del HCR**

El promedio anual de lluvia en el sitio del proyecto es aproximadamente de 3.000 mm, de los cuales cerca de un 80% ocurre durante el período invernal (mayo a agosto). Durante el invierno es común que se presenten temperaturas bajo cero (de hasta -12° C) y nieve. Asimismo, durante el verano la temperatura ambiente puede alcanzar los 39° C.



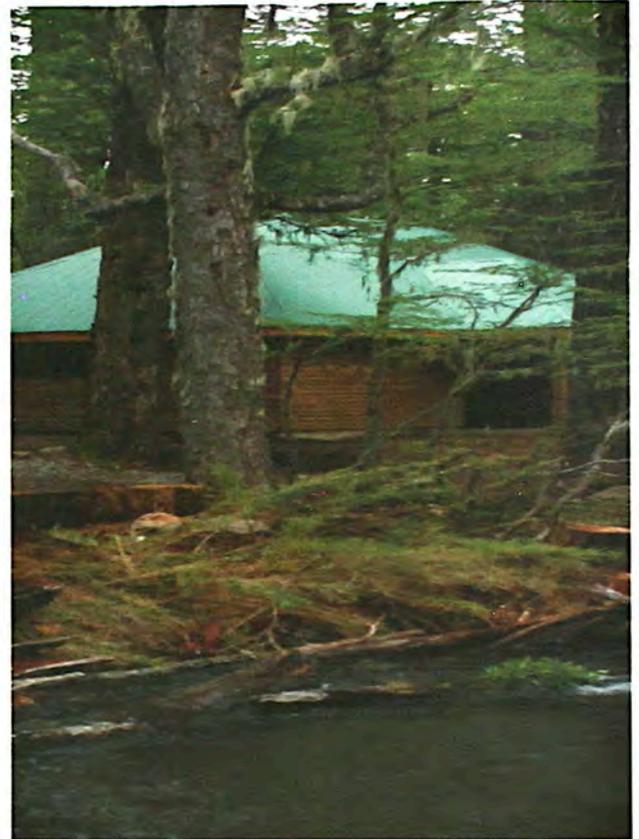
Durante el primer año de colocación de HCR (2002), las lluvias fueron sustancialmente más altas que lo normal, alcanzando un total de 4.230 mm. El segundo año (2003) de construcción de la presa fue más seco que lo normal, con excepción del mes de junio cuando se registró un total de agua caída de 1.097 mm. Durante todo el período de construcción se registraron 140 días con lluvias de intensidad superior a 10 mm y con un máximo diario de 197 mm.

El rango de temperaturas durante la colocación de HCR fue de  $-5,9^{\circ}\text{C}$  a  $36,4^{\circ}\text{C}$ , registrándose 115 días con temperaturas bajo cero y 130 días con temperaturas superiores a  $25^{\circ}\text{C}$ .

Se estableció la posibilidad de mantener la colocación de HCR con intensidades de lluvia de hasta 3 mm/hr y con temperaturas ambiente superiores a  $-4,5^{\circ}\text{C}$ , cumpliendo ciertas restricciones y requerimientos especiales. Las precauciones para el hormigonado en tiempo lluvioso fueron: control continuo de la intensidad de la lluvia y detención cuando se presentaban más de 3 mm/hora; incremento de la trabajabilidad Vebe del HCR producido de 15 a 25 segundos, y limitación del área de extensión del mortero de junta próximo al HCR que se estaba colocando para evitar su saturación.



Durante el tiempo frío se consideró el calentamiento del agua de amasado y protección de la superficie expuesta de HCR mediante el uso de mantas térmicas. Por otra parte, cuando la temperatura ambiente excedía los 25° C, se consideró la disminución de la temperatura a través de un riego permanente mediante aspersores y aumento de la trabajabilidad del HCR producido, de manera que, por la pérdida de humedad durante el transporte, se cumpliera con la trabajabilidad especificada para la colocación (15 segundos Vebe). Durante las condiciones climáticas más extremas se procedió a la detención de los trabajos de colocación de HCR, situación que se produjo aproximadamente durante 40 días completos.



153

### **Aspectos ecológicos y sociales**

Una intervención de la envergadura de la central Ralco produce un efecto sobre el lugar en que es instalada. Por ello, Endesa Chile ha buscado las alternativas más eficientes para cumplir, aun mucho más allá de lo establecido, con las normas ambientales vigentes. El desafío de los proyectos de gran envergadura es conciliar el necesario aporte que realiza al desarrollo y al crecimiento del país, con el tratamiento de los diversos impactos que presenta, minimizando y compensando los impactos negativos y potenciando los impactos positivos.

### **Los desafíos del impacto ambiental**

Formar este embalse implica una alteración del régimen hidrológico del río y cambios en la condición del hábitat acuático. Igualmente, con la creación del embalse se produce una pérdida de formaciones y especies vegetales de interés para la conservación, vale decir, cuya existencia en todo el país presenta algún grado de



amenaza. La presa establece una barrera para las especies de fauna acuática que ocupan ese tramo del río y se produce una pérdida de suelo que actualmente presenta diversos usos (agricultura y ganadería de subsistencia, producción de leña, ecoturismo), además de la pérdida de formaciones vegetales y hábitat para la fauna terrestre del área.

El desafío de la empresa es cumplir con las exigencias legales en materia ambiental, pero a la vez, desarrollar una serie de programas tendientes a compensar las pérdidas ambientales, tanto para especies vegetales como de fauna terrestre y acuática; restaurar los hábitat intervenidos y lograr que el cambio del entorno producto del embalse pueda traer beneficios importantes. También es necesario aportar al conocimiento científico de las especies vegetales y de fauna para su mejor manejo y protección, tanto en ese lugar como en otras zonas del país donde también se encuentran en forma natural.

Es importante señalar que ninguna de las especies vegetales presentes en el área de influencia del proyecto está en peligro de extinción, y de aquellas que se encuentran en alguna otra categoría de conservación (vulnerable, rara), ninguna es exclusiva de esta zona, por lo que la eventual pérdida de individuos de dicha especie no afectará gravemente su condición de conservación.

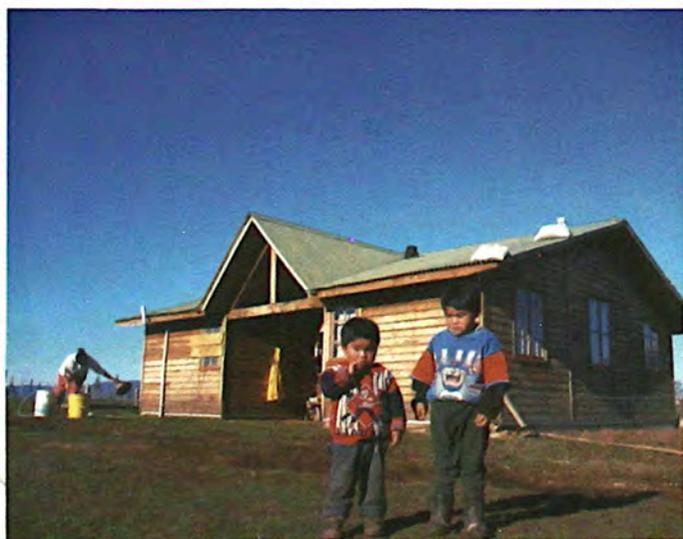
## Las compensaciones

Las especies de fauna terrestre tienen muy baja presencia en la zona, debido a la constante presencia y actividad humana por décadas. Estas especies sufrirán pérdida de parte de su hábitat y desplazamientos obligados, tanto por la formación del embalse, como por la construcción de caminos y otras obras civiles.

El área a inundar es, en todo caso, una zona con fuerte intervención antrópica, que en ciertos sectores ha degradado los suelos, que antes del proyecto ya presentaban severos procesos erosivos. Del total de 3.600 hectáreas afectadas por el embalse y otras obras, 1.300 presentan características de formaciones boscosas. El resto consiste en caja de río, zonas rocosas, formaciones arbustivas, matorrales y suelos de uso agrícola y forestal.

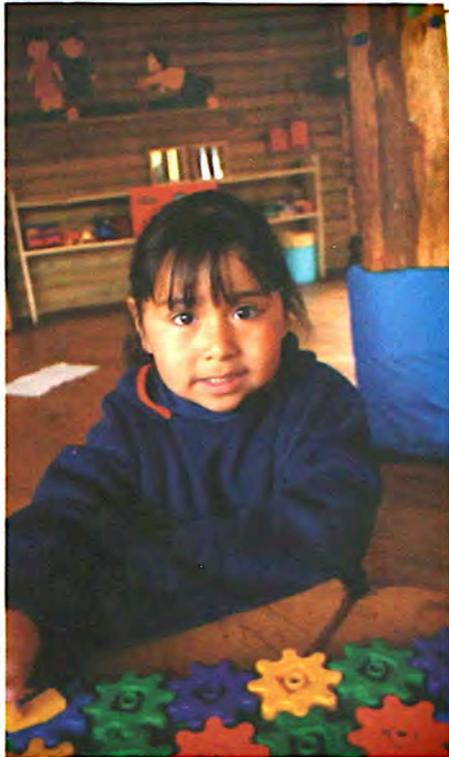
En lo que a flora y fauna se refiere, se está reforestando con bosque nativo un área igual a la superficie de bosque que quedará inundada (1.400 ha aproximadamente) y se establecerá una reserva biológica para compensar la pérdida de formaciones vegetales y hábitat para fauna, cuya superficie será similar a la superficie total del embalse que se formará. Por otra parte, conforme a la autorización ambiental, el proyecto está obligado a descargar a pie de presa un caudal ecológico de 27,1 m<sup>3</sup>/s, que corresponde al 10% del caudal medio anual del río Biobío.

## Plan de relocalización y compensaciones a las familias afectadas



Dado que el embalse cubrirá territorios pertenecientes a comunidades pehuenches, Endesa Chile ha implementado un amplio programa de relocalización para las familias afectadas. En el Alto Biobío existen siete comunidades indígenas de la etnia pehuenche, conformadas aproximadamente por 4.000 habitantes. De ellas, las comunidades Quepuca y Ralco Lepoy, integradas por unas 1.400 personas, son afectadas por la central.

Los compromisos en beneficio de las familias pehuenches y sus comunidades involucran una serie de programas y actividades de corto, mediano



y largo plazo. En el corto plazo, se cuenta con numerosos beneficios para cada familia relocalizada a través de los acuerdos de permuta. En las comunidades Quepuca y Ralco Lepoy hay 93 familias (400 personas), cuyas tierras son ocupadas por las obras o bien son inundadas, quienes han sido denominados afectados directos. Otro grupo cercano a las 200 familias de esas comunidades, que no serán relocalizadas, se han considerado afectadas indirectamente por el proyecto. Ellas también reciben beneficios agrupados bajo un convenio especial.

### **El Plan de Relocalización**

El objetivo central de este Plan es compensar la pérdida de terrenos y bienes de las familias afectadas por la inundación y las obras debido a la realización de la central Ralco. El criterio general para la formulación de este Plan es el respeto a la identidad cultural del pueblo pehuenche, potenciar la capacidad productiva de las familias afectadas, mejorar sus condiciones de infraestructura y de acceso a servicios básicos y potenciar su desarrollo futuro, a fin de lograr un efectivo mejoramiento en la calidad de vida.

Especial énfasis tuvo en la definición del Plan la consideración de los aspectos culturales propios de las comunidades pehuenches. Se elaboraron estudios específicos antropológicos y etnohistóricos sobre las comunidades y que sirvieron de base para la elaboración de los proyectos culturales incorporados al plan y a sus diversos programas de desarrollo de largo plazo y de asistencia de continuidad. Se trata de una caracterización de los principales componentes de las comunidades y una visión de su situación actual, con una profundización en los aspectos culturales.



### Programas de apoyo

El Plan de Relocalización contempla diversas etapas, que van desde la selección de los lugares de relocalización a la aplicación de todos los programas contemplados. Su objetivo es lograr que las familias mejoren su nivel de vida con relación a su anterior situación, pero que, a su vez, permita una recuperación de la memoria cultural de las comunidades, a través de diversos mecanismos, como la resemantización de lugares y espacios de pertenencia comunitaria y la resignificación cultural en los lugares de relocalización. En definitiva, los planes contemplados deben contribuir de manera importante a la reconstrucción de la identidad de las comunidades y sus familias.

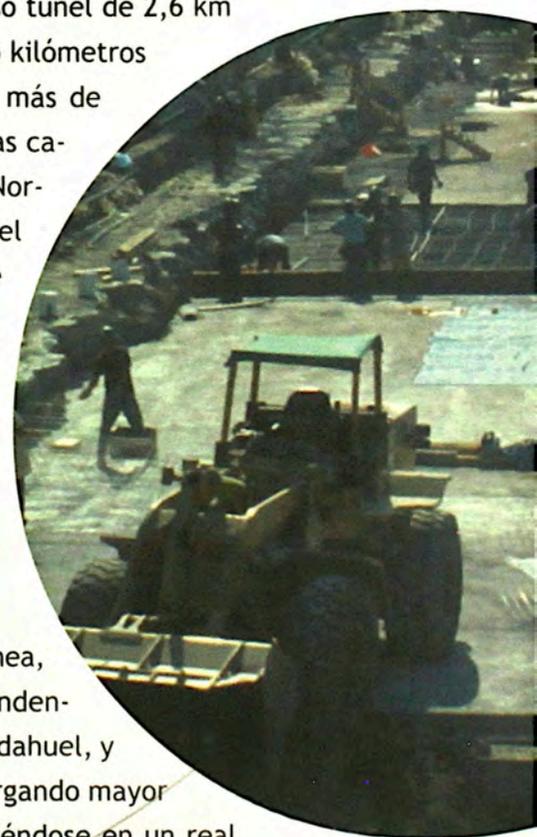
A lo anterior se suma un Plan de Asistencia de Continuidad, a través del cual Endesa Chile prestará asistencia técnica y financiera durante 10 años a las familias relocalizadas para ejecutar proyectos de apoyo en el ámbito productivo (agropecuario, forestal, turístico) y programas de reforzamiento cultural y social desarrollados en conjunto con las familias relocalizadas.



**COSTANERA NORTE****AUTOPISTA COSTANERA NORTE**

**U**n túnel de casi 4 km bajo el río Mapocho; un falso túnel de 2,6 km por el costado norte del río; doce nuevos puentes, 45 kilómetros de carretera, 64 kilómetros de defensas fluviales y más de 400.000 m<sup>2</sup> de nuevas áreas verdes, son algunas de las características más destacadas del proyecto Costanera Norte, que debe quedar completamente terminado en el segundo semestre del año 2004. Con una inversión de US\$440 millones, esta primera autopista concesionada de Santiago está a cargo de la Sociedad Concesionaria Costanera Norte, compuesta por Impregilo (compañía italiana con operaciones en todos los continentes) y por las empresas chilenas Fe Grande y Tecsá. Esta Sociedad tiene a su cargo la construcción, administración y mantenimiento de la autopista.

La Costanera Norte unirá las comunas de Lo Barnechea, Vitacura, Las Condes, Providencia, Recoleta, Independencia, Santiago, Cerro Navia, Renca, Quinta Normal y Pudahuel, y permitirá reducir en un 60% los tiempos de viaje, otorgando mayor fluidez al desplazamiento de los vehículos y convirtiéndose en un real aporte a la descongestión de calles y avenidas.



El proyecto está constituido por dos ejes viales:

**"Eje Oriente - Poniente"**, de una longitud de 35,26 km, recorre la ciudad de oriente a poniente por la ribera norte del río Mapocho, entre el puente La Dehesa hasta la Ruta 68, atravesando las comunas de Lo Barnechea, Vitacura, Providencia, Recoleta, Santiago, Independencia, Quinta Normal, Renca, Cerro Navia y Pudahuel.

**"Eje Kennedy"**, de una longitud de 7,4 km, divide las comunas de Las Condes y Vitacura entre Avenida Tabancura (enlace Estoril) y el puente Lo Saldes.

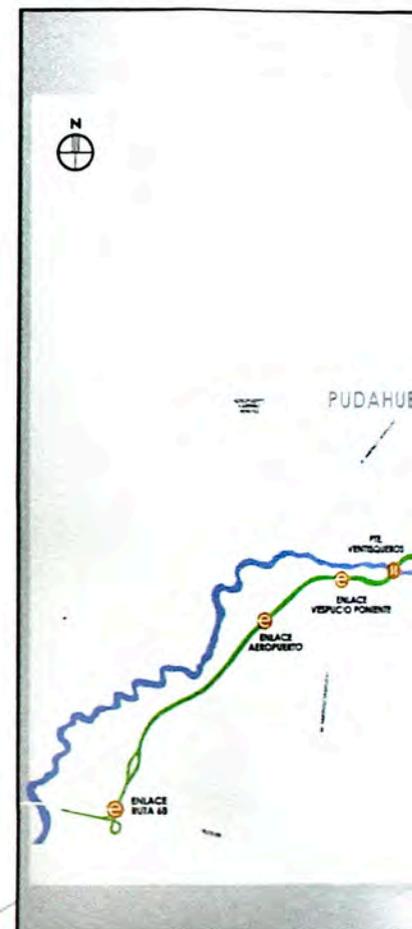


Ambos ejes están insertos en la red vial estructurante del Plan Regulador Metropolitano de Santiago y contarán con modernos sistemas de seguridad vial y de gestión de tráfico que permitirán una circulación segura y confortable.

El Eje Oriente-Poniente, de 35,26 km de vías expresas de 3 pistas por sentido, tiene una velocidad de diseño de 100 km/hora, limitada a 80 km/hora en la zona de túneles. En su tramo central destaca la construcción de casi 7 km de vías expresas en trinchera cubierta y/o en túnel, entre el enlace Lo Saldes y el enlace Vivaceta. En este eje, los 12 puentes nuevos permitirán mejorar la conectividad entre las zonas ubicadas al norte y al sur del río Mapocho, y más de 50.000 especies, entre árboles y arbustos autóctonos, serán plantadas en nuevas áreas de parques asociadas al proyecto.

Este Eje se divide en cuatro tramos:

- a) Tramo Oriente, de 10,85 km de longitud; se extiende entre el puente La Dehesa y el puente Lo Saldes. En este tramo se construirán dos nuevos puentes sobre el río Mapocho: San Francisco y Tabancura;
- b) Tramo Centro, con una longitud de 6,5 km, se extiende entre el enlace Lo Saldes y el enlace Vivaceta. En los primeros kilómetros, la autopista fue proyectada mediante una estructura de hormigón ubicada en el costado norte del lecho del río Mapocho. Esta trinchera cubierta está conformada por dos ductos adosados, que permiten mantener independientes las 3 pistas con sentido oriente-poniente de aquellas con sentido contrario. Frente a la Torre Santa María la autopista presenta un tramo a cielo abierto, para después ubicarse bajo el río Mapocho en un túnel de casi 4 kilómetros, hasta el enlace Vivaceta.



- c) Tramo Poniente, tiene una longitud de 12,89 km y se extiende hasta Américo Vespucio Poniente, conectando en este último punto con Avenida Américo Vespucio;
- d) Tramo Aeropuerto-Ruta 68, con una longitud de 4,72 km, se extiende hasta la Ruta 68, comuna de Pudahuel, punto en el cual conecta con la ruta Santiago-Viña del Mar y Valparaíso. Se destaca la construcción de un enlace que permite conectar directamente la Costanera Norte con el Aeropuerto Internacional.

En el Eje Kennedy, de 7,4 km, serán rehabilitadas las dos calzadas de tres pistas cada una, entre el enlace Estoril (Avda. Tabancura-Av. Las Condes-Estoril) y el puente Lo Saldes. El tramo prevé una velocidad de diseño de 80 km/hora, modernos sistemas de iluminación, de gestión de tránsito y de seguridad vial en todo su trazado, así como el mejoramiento y construcción de 15.000 m<sup>2</sup> de nuevas áreas verdes. Cabe destacar en este sector la construcción en desnivel del enlace Estoril, que mejorará considerablemente el flujo vehicular del sector.



## EL PROYECTO EN CIFRAS

Inversión	440 MMUS\$
<b>Eje Oriente-Poniente</b>	35,26 km
Velocidad	100 - 80 km/hora
Áreas verdes	400.000 m <sup>2</sup>
Nuevos puentes sobre el río Mapocho	12
Capacidad hidráulica del río	1300 m <sup>3</sup> /seg
Tramo en trinchera cubierta	2,6 km
Tramo en túnel	3,9 km
Portones de emergencia vehicular	Cada 200 m
Portones de emergencia peatonal	Cada 100 m
Salidas peatonales de emergencia	10
Losa superior de hormigón armado	80 / 110 cm
Losa inferior de hormigón armado	85/110 cm
Muros laterales y central de hormigón armado	70 cm
Gálibo horizontal	11,50 m
Gálibo vertical operativo	4,50 m
Pistas por sentido	3
Ancho de pistas	3,5 m
Pasos superiores	9
Pasos inferiores	15
Cruces a desnivel	31
Defensas fluviales	64 km
<b>Eje Kennedy</b>	7,4 km
Velocidad	80 km/hora
Áreas verdes	150.000 m <sup>2</sup>
<b>Principales volúmenes de obra</b>	
Hormigón	680.000 m <sup>3</sup>
Acero	49.000.000 kilos
Material excavado	2.500.000 m <sup>3</sup>
Terraplenes	2.000.000 m <sup>3</sup>

## Defensas fluviales

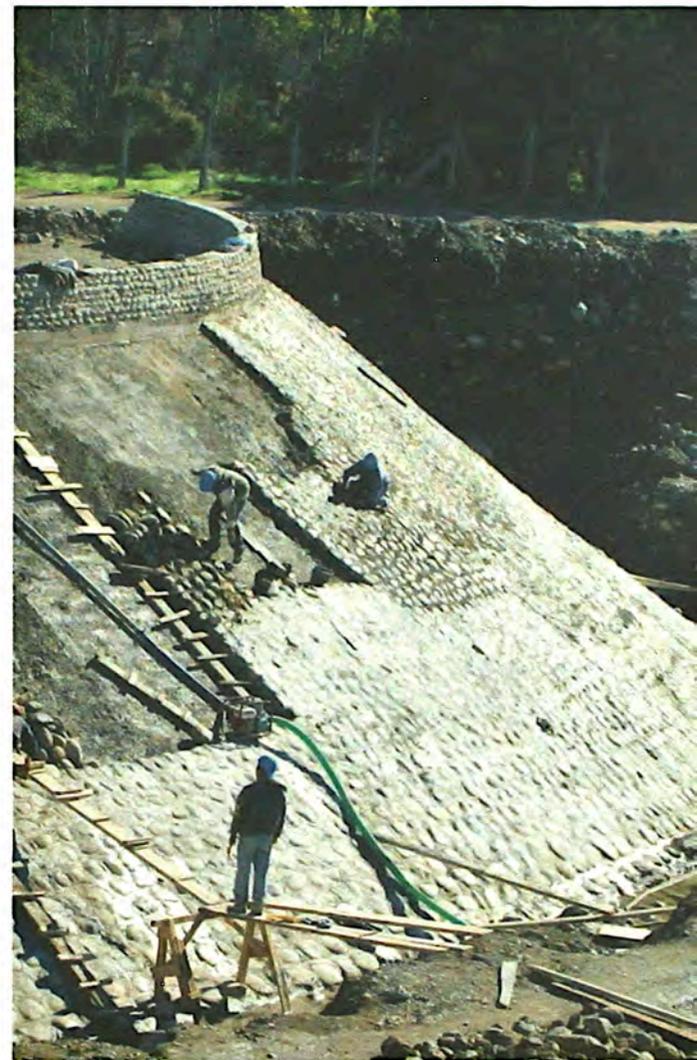
Con el objeto de aumentar la capacidad de caudal y disminuir en forma sensible los riesgos de desborde, el proyecto contempla la construcción, el reforzamiento y/o reemplazo de las defensas fluviales en ambas riberas del río Mapocho, entre el puente San Enrique, en Lo Barnechea, y Américo Vespucio, en Pudahuel, en una longitud total de 64 km. Adicionalmente, con el fin de rectificar el cauce y mejorar así la capacidad hidráulica y el escurrimiento de las aguas, será removido el material excedente localizado desde hace años en el lecho del río.

En la zona oriente (puente La Dehesa-puente Lo Saldes) se requiere realizar el perfilamiento y la extracción de material excedente del cauce para la ejecución del fondo de la canalización.

Los movimientos de tierra asociados a esta zona corresponden a la materialización de un nuevo cauce en el sector del cerro Alvarado; a la ejecución de un sector retenedor de sobre tamaños (aguas arriba del puente San Francisco) y al retiro de excesos en el resto del tramo.

En términos generales, las obras son de dos tipos, dependiendo de la existencia de defensas o su ausencia. En el tramo sin defensas existentes se adoptó como solución definitiva una defensa de mampostería reforzada. En el tramo con defensas existentes se debe proteger la cara expuesta al río, fundar las obras existentes y peraltar la defensa para alcanzar la cota de coronamiento proyectada.

En el sector correspondiente a la Zona Centro se ejecutó una canalización en forma de "V", con una pendiente lateral de 5%, en el sector comprendido entre Lo Saldes y las Torres de Tajamar.



## Estructura bajo río (túnel)

La autopista considera un túnel bajo el río Mapocho en el tramo comprendido entre las Torres de Tajamar y la calle Vivaceta. Este túnel se materializa con una estructura de doble cajón de hormigón armado, la cual se emplaza enterrada bajo el lecho del río.

Una sección tipo del túnel considera dos cajones rectangulares separados por un muro interior. Cada cajón alberga tres pistas con un sentido de circulación.

El diseño de la sección y de sus componentes se fundamenta en los siguientes supuestos:

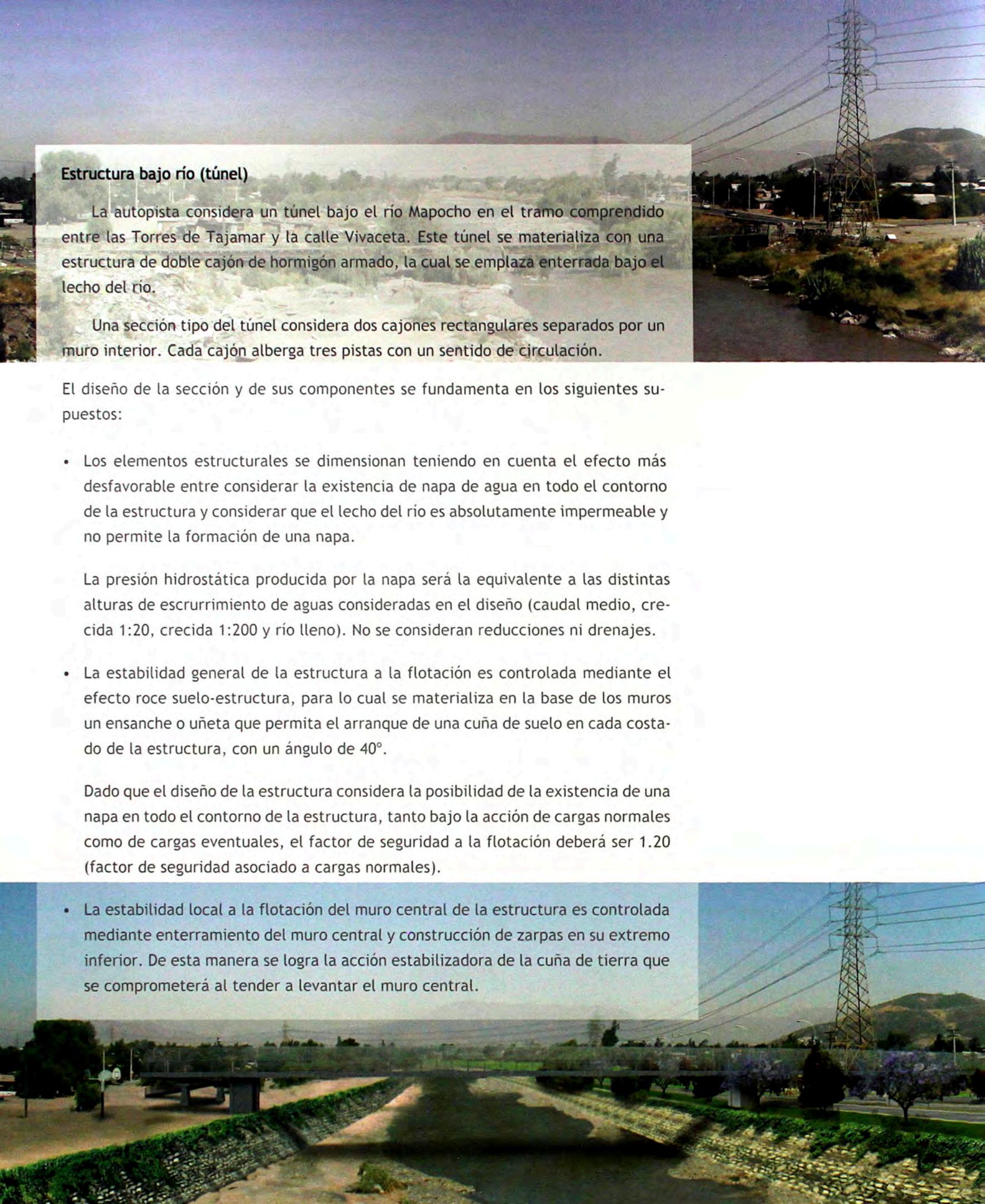
- Los elementos estructurales se dimensionan teniendo en cuenta el efecto más desfavorable entre considerar la existencia de napa de agua en todo el contorno de la estructura y considerar que el lecho del río es absolutamente impermeable y no permite la formación de una napa.

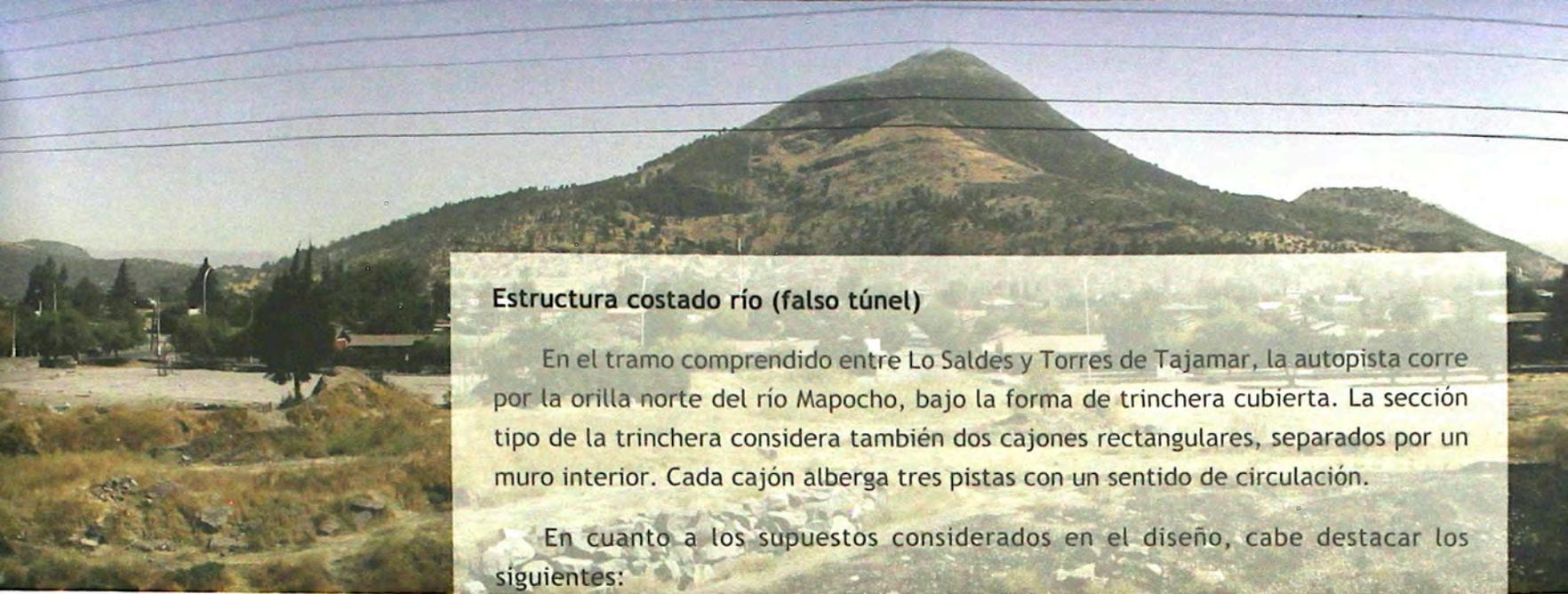
La presión hidrostática producida por la napa será la equivalente a las distintas alturas de escurrimiento de aguas consideradas en el diseño (caudal medio, crecida 1:20, crecida 1:200 y río lleno). No se consideran reducciones ni drenajes.

- La estabilidad general de la estructura a la flotación es controlada mediante el efecto roce suelo-estructura, para lo cual se materializa en la base de los muros un ensanche o ñeta que permita el arranque de una cuña de suelo en cada costado de la estructura, con un ángulo de  $40^\circ$ .

Dado que el diseño de la estructura considera la posibilidad de la existencia de una napa en todo el contorno de la estructura, tanto bajo la acción de cargas normales como de cargas eventuales, el factor de seguridad a la flotación deberá ser 1.20 (factor de seguridad asociado a cargas normales).

- La estabilidad local a la flotación del muro central de la estructura es controlada mediante enterramiento del muro central y construcción de zarpas en su extremo inferior. De esta manera se logra la acción estabilizadora de la cuña de tierra que se comprometerá al tender a levantar el muro central.



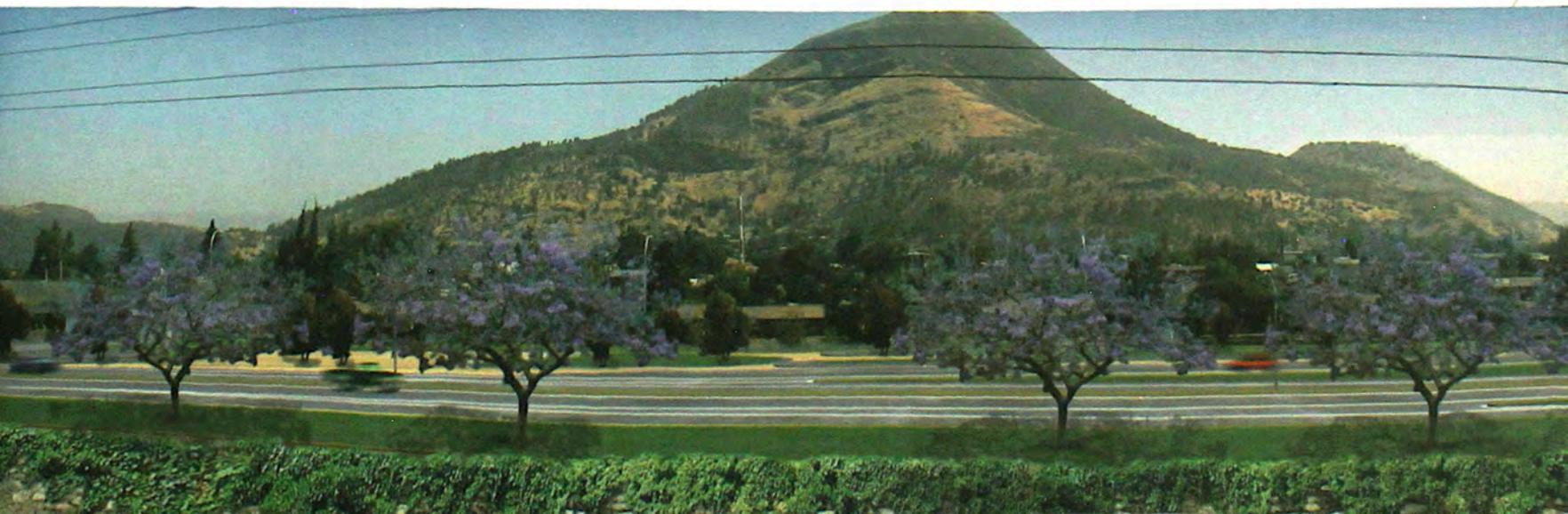


### Estructura costado río (falso túnel)

En el tramo comprendido entre Lo Saldes y Torres de Tajamar, la autopista corre por la orilla norte del río Mapocho, bajo la forma de trinchera cubierta. La sección tipo de la trinchera considera también dos cajones rectangulares, separados por un muro interior. Cada cajón alberga tres pistas con un sentido de circulación.

En cuanto a los supuestos considerados en el diseño, cabe destacar los siguientes:

- La estabilidad general de la estructura a la flotación es controlada mediante el efecto roce suelo-estructura, para lo cual se materializa en la base de los muros un ensanche o ñeta que permita el arranque de una cuña de suelo en cada costado de la estructura, con un ángulo de  $40^\circ$ .
- La estabilidad local a la flotación del muro central de la estructura es controlada mediante enterramiento del muro central y construcción de zarpas en su extremo inferior. De esta manera se logra la acción estabilizadora de la cuña de tierra que se comprometerá al tender a levantar el muro central.
- Se considera una densidad  $1.025 \text{ ton/m}^3$  para la estimación de cargas de peso propio del agua del río (agua permanente, crecida 1:20, etc.) por considerar presencia de sedimentos.
- Las cargas de empujes horizontales debido a la presencia de napa se consideran actuando solo hasta el nivel del radier. Bajo el radier, se compensan con las que actúan por el otro lado del muro en sentido contrario.



La estructura debe ser estanca y prevenir la infiltración de agua proveniente del exterior. Asimismo se debe prevenir la filtración de líquidos contaminantes hacia el exterior. La estanqueidad de la estructura será asegurada mediante el control del agrietamiento y a través de especificaciones de construcción detalladas en los planos de ejecución y la colocación de membranas impermeables en juntas de dilatación.

**166**

### **Nuevos puentes en el tramo centro**

En las comunas de Providencia, Santiago y Recoleta, se construirán ocho nuevos puentes que cruzarán el río Mapocho: Los Leones, Suecia, Nueva Lyon, Pedro de Valdivia, La Concepción, Huelén, Del Abasto y La Paz.

De este modo, el actual puente El Cerro será reemplazado por los puentes Los Leones y Suecia, ambos unidireccionales, de 3 pistas de 3,5 metros cada una (en lugar de los actuales 3 m), con pasillos peatonales de 5 metros (en lugar de los actuales de 1,5 metros). Ambos puentes estarán alineados con las calles de igual nombre que acceden a la Av. Andrés Bello, agilizando de este modo el flujo vehicular del área.





Por su parte, y con las mismas características anteriores, el nuevo puente Nueva Lyon sustituirá al actual puente Padre Letelier, y el nuevo puente Pedro de Valdivia reemplazará al hoy existente en la misma ubicación. Ambos puentes contarán con seis esculturas de connotados artistas nacionales, enriqueciendo el desarrollo cultural de la comuna.

Estos puentes fueron diseñados con una única luz libre, sin apoyos intermedios, de una longitud que varía entre los 45 y 50 metros de largo aproximadamente. Los estribos de estos puentes forman parte de los nuevos tajamares de protección de ambas riberas del río y su superestructura se ha resuelto con vigas, sección doble T, las cuales se fabricaron en tercios separados en planta de premoldeado y luego se transportaron en partes a la obra.

A pie del puente en construcción se unieron los tercios a través de técnicas de cables de acero postensados, ubicados en tres o cuatro ductos, que conforman un único elemento estructural premoldeado y postensado. La viga, de 45 a 50 metros de longitud, fue luego izada y montada en su posición definitiva a través de una única grúa especial de 300 toneladas de capacidad de carga máxima.

Estos puentes así construidos incluyen una serie de elementos ornamentales proyectados sobre las amplias aceras peatonales, como jardineras, tinglados, postes de iluminación, barandas peatonales y, en dos de los puentes, esculturas de artistas nacionales, que integran urbanísticamente estas conexiones viales al entorno inmediato de cada puente.

### **Modelación canal San Carlos**

Durante el desarrollo de la ingeniería hidráulica de la canalización del río Mapocho, surgió la necesidad de estudiar la influencia del caudal aportado por el canal San Carlos sobre el río Mapocho. Debido a que ambos cauces tienen regímenes de torrente, su interacción en la zona de confluencia presenta grandes liberaciones de energía, que se manifiestan con fluctuaciones en las alturas de las aguas, dificultando su modelación.

Por este motivo, se decidió realizar un modelo de semejanza a escala 1:50, el cual permitió visualizar la interacción de los cauces bajo distintas combinaciones de caudales, obtener información para realizar el diseño más adecuado para la confluencia; estudiar el tipo de ondas generadas, su altura y medidas de mitigación. Adicionalmente, se verificó que el nuevo diseño de la confluencia no ocasionara problemas de embanques de sedimentos en el canal.



La evaluación de los antecedentes recopilados permitió determinar la altura requerida para los tajamares.

### Sistemas de impermeabilización

Básicamente se utilizan dos sistemas de impermeabilización: membranas impermeabilizadoras y un cordón impermeabilizante para las juntas de hormigón, basados en las propiedades expansivas de la bentonita sódica. Además, se utilizan otros sistema de impermeabilización como son las membranas asfálticas y los *water stop* (lámina de estanqueidad) en menor escala.

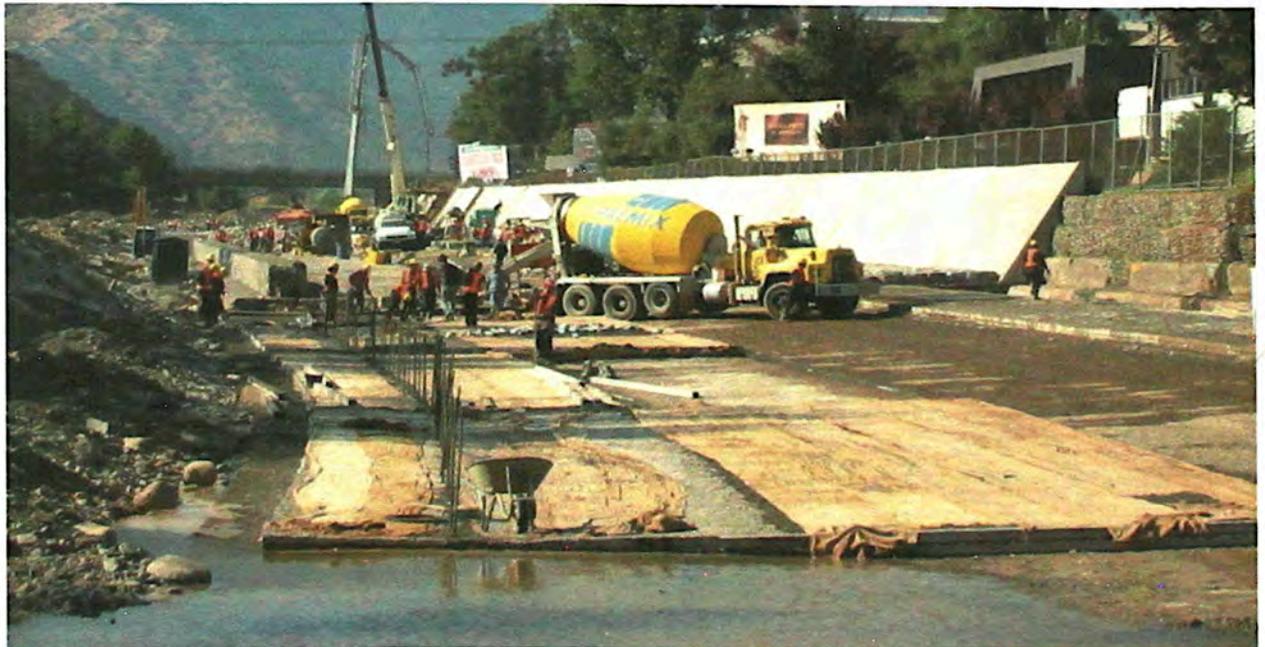
La propiedad principal de la bentonita sódica es que se expande al contacto del agua y se torna impermeable, impidiendo de esta manera la filtración. La membrana impermeabilizadora se utiliza para aislar la losa superior e inferior del túnel, con el objetivo de impedir el paso del agua o filtraciones provenientes de la superficie o de napas subterráneas. El cordón impermeabilizante, por último, es un cordón de 1 ½'' x 2'' de bentonita sódica, recubierto por una red de polipropileno. Se aplica en las juntas de hormigonado en los muros laterales o pantallas.

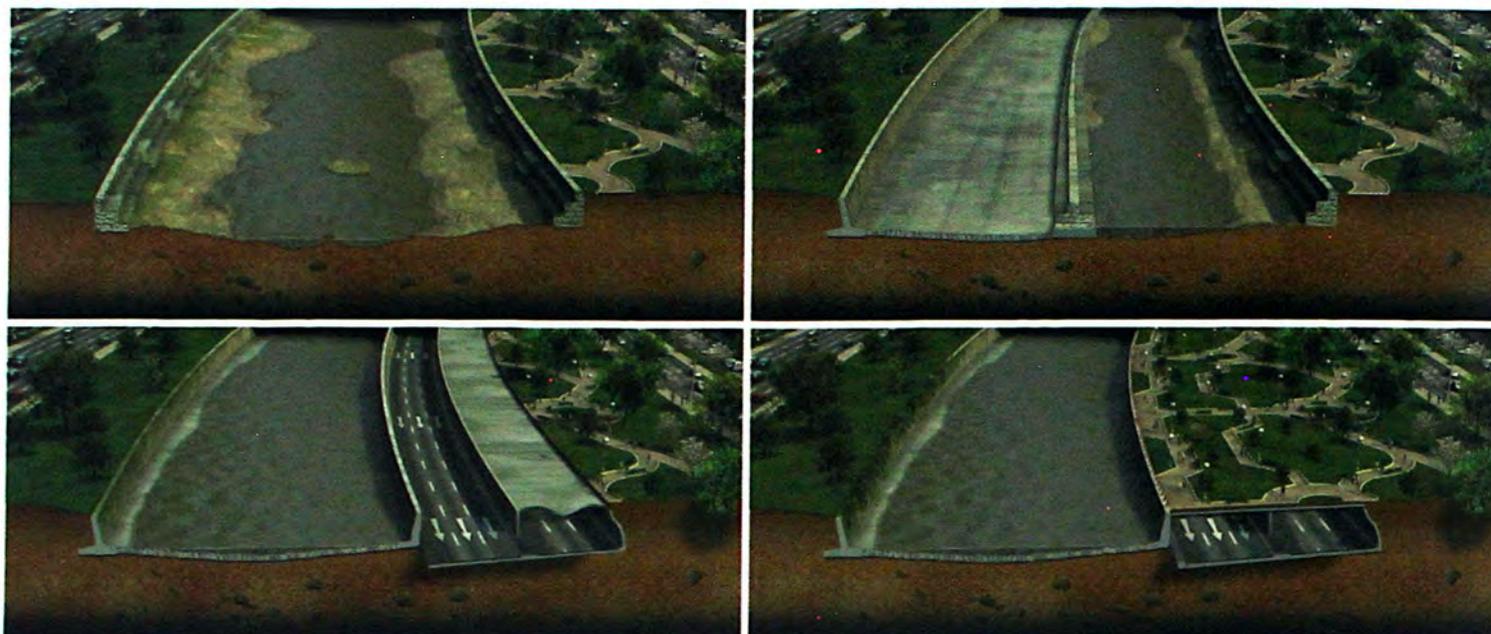
## Saneamiento de túnel

En la zona centro de la autopista, tramo que corre en túnel o trinchera cubierta, las aguas provenientes de diferentes fuentes tenderán a acumularse dentro de la estructura. En general, esta zona recibirá el aporte de aguas provenientes de cuatro fuentes distintas, las que fueron consideradas en el diseño de la solución de drenaje:

- Precipitación directa sobre la autopista en todos los tramos del túnel sin cubierta (túnel borde río).
- Lavado de pistas de circulación de los tramos en túnel.
- Eventuales filtraciones de las paredes del túnel, especialmente en el tramo en que éste se desarrolla bajo el lecho del río.
- Ingreso de agua al túnel a través de las entradas y salidas vehiculares, provenientes de áreas vecinas al río Mapocho.

En las entradas y salidas vehiculares se instalarán baterías de sumideros para evitar el ingreso de las aguas; adicionalmente se considera reperfilear las calles aledañas, con el objeto de evitar el ingreso de las aguas.





Se construirán cinco colectores longitudinales independientes, que recibirán el aporte de los sumideros distribuidos a lo largo de las calzadas y de las canaletas que captan las eventuales filtraciones de los muros.

### Salidas de emergencia de túneles

El diseño funcional del túnel incluye accesos vehiculares-peatonales y otros exclusivamente peatonales de conexión entre ambos túneles, los cuales estarán separados secuencialmente cada 100 metros, es decir, a un acceso vehicular-peatonal le sigue un acceso peatonal y así sucesivamente.

Además, se han diseñado 10 salidas peatonales de emergencia, ubicadas aproximadamente cada 600 metros y distribuidas a lo largo de toda la zona de túneles bajo y costado río. Dichas salidas peatonales de emergencia, así como su distribución, permitirán evacuar en breve tiempo a los usuarios desde el interior de los túneles en caso de presentarse una emergencia.



## Sistema de ventilación del túnel

Para los tramos de túnel, tanto bajo como costado río, un sistema de ventilación permite mantener los niveles de monóxido de carbono y opacidad del aire a niveles de acuerdo con normativas medioambientales. La velocidad y dirección del flujo de aire son controlados automáticamente desde el Centro de Control Operativo.

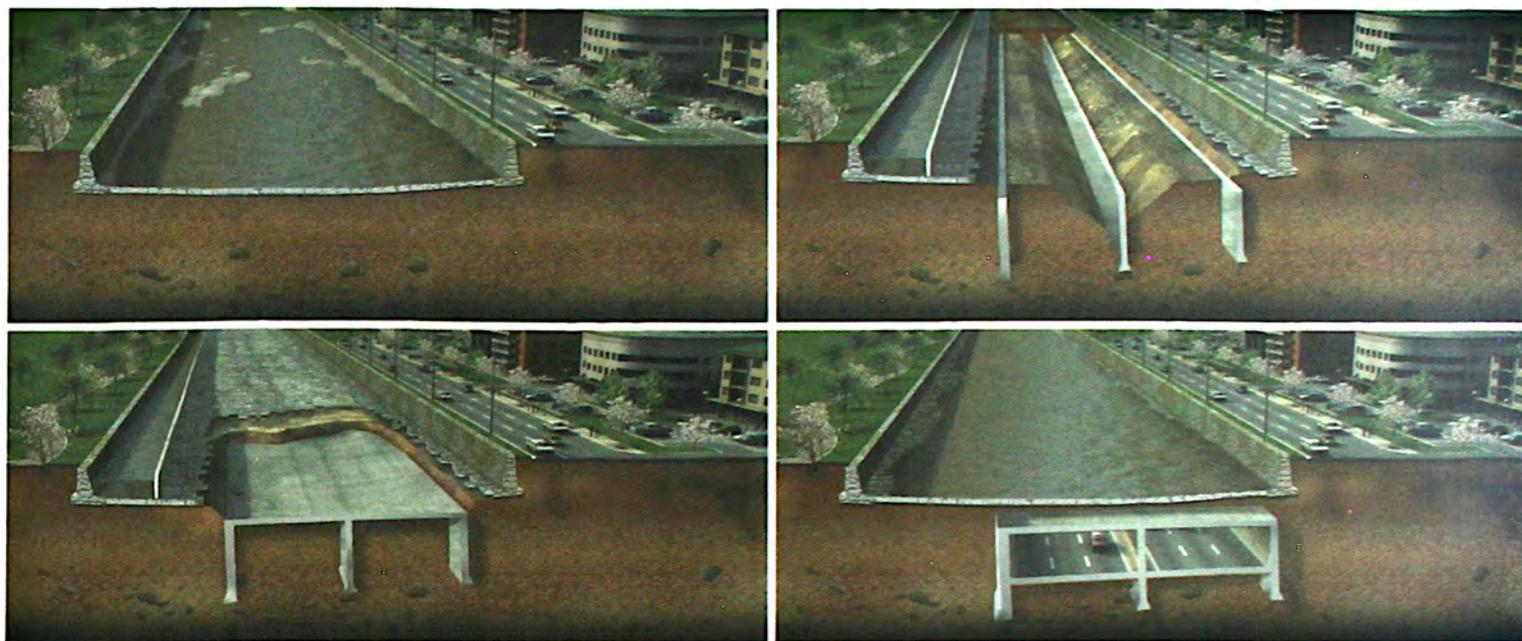
171

El sistema de ventilación se compone de ventiladores de chorro del tipo "Jet Fan" que permiten el ingreso de un caudal de aire fresco para diluir los contaminantes generados por los vehículos. Dichos ventiladores van alojados en nichos laterales o superiores dispuestos a lo largo de todo el túnel.

Por otro lado, en caso de incendio, se activan de manera automática los ventiladores para extracción de humo. Este sistema, que trabaja en conjunto con el de ventilación, de manera de optimizar la evacuación de humos del interior del túnel, se compone de estaciones de extracción dotadas de ventiladores, las que permiten evacuar hacia el exterior los humos provocados por un posible incendio en el interior de los túneles.

Por último, al interior del túnel se incluye un sistema de detección de incendios mediante detectores lineales de calor con lazos redundantes, de modo de asegurar una respuesta rápida y eficiente en la extinción de incendios.





### Plan de contingencia meteorológica

Para su etapa de construcción, Costanera Norte ha desarrollado un completo plan de contingencia asociado al río Mapocho, que permite anticiparse a situaciones de alerta meteorológica e hidrológica que pudiesen producirse en la cuenca del río, de forma tal de activar medidas para prevenir situaciones de riesgo para las áreas aledañas al río, como también para las obras en ejecución.

El plan, diseñado sobre la base de dos completos estudios elaborados por docentes de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y la consultora Ingendesa, define un sistema de alerta climática, meteorológica e hidrológica que permite predecir y estimar los caudales de las crecidas invernales en el río Mapocho con una anticipación de hasta cuatro días.

Este plan contiene una serie de medidas para poner en práctica en forma inmediata; dispone de un equipo de personas encargado de desalojar la zona de obras del cauce en caso de crecidas de las aguas. Ante la inminencia de una crecida mayor, se evacua al personal y la maquinaria en el cauce del río.

### Sistema de cobro: peaje electrónico

Una de las grandes innovaciones que el Gobierno introdujo en las autopistas urbanas es el *Sistema de Peaje Electrónico de Flujo Libre Multilínea*. Utilizada con gran éxito en países como Australia, Canadá e Israel, esta tecnología reemplaza las tradicionales plazas de peaje con barreras por una moderna tecnología instalada en pórticos que permite el cobro expedito de la tarifa sin afectar el flujo vehicular.



Los usuarios de Costanera Norte tendrán un dispositivo electrónico transmisor de señal -TAG- instalado en el parabrisas delantero de su vehículo, que permitirá la identificación del usuario del sistema y sus transacciones a medida que éste circule bajo los *puntos de cobro*. Cada *punto de cobro* o pórtico contará con antenas de lectura de TAG; con un sistema de clasificación vehicular que permitirá la categorización del vehículo a altas velocidades; además de una serie de dispositivos de lectura de placas patentes para la captura de información de aquellos vehículos que no cuentan con el TAG, y con un sistema de iluminación de bajo impacto.

Esta tecnología trae aparejados considerables beneficios, entre los cuales vale la pena mencionar la minimización del impacto ambiental, dado que no se utiliza espacio adicional a la vía para instalación de plazas de peaje. Al mismo tiempo, aumenta la fluidez del tránsito, con la consiguiente reducción del ruido y la contaminación, pues se evita que los vehículos que transitan por la vía se detengan o disminuyan su velocidad.



## Programa ambiental Costanera Norte

### *Ruido*

La principal fuente emisora de ruido identificada en la etapa de operación de la autopista corresponde al tránsito de vehículos. Los niveles de ruido que se generen dependerán fundamentalmente de los niveles de flujo vehicular y velocidades que se registren en la autopista. Considerando que se espera una amplia cantidad de usuarios y una velocidad promedio superior a la de las vías locales, la emisión de ruido disminuirá considerablemente en el sector cercano a la autopista, lo que se traduce en un aporte importante a la descontaminación acústica.

### *Calidad del aire*

En su etapa de operación, la Costanera Norte aportará significativamente a la descontaminación del aire en la ciudad de Santiago, pues no solo utiliza modernos sistemas de ventilación y extracción, sino que a través de su uso dará fluidez y velocidad al tránsito vehicular, reducirá los tiempos de traslado y aportará a la descongestión de las rutas aledañas a ella.

### *Descongestión vehicular*

Al margen de la disminución del tiempo de traslados que experimentarán los usuarios de la autopista, disminuirá considerablemente la congestión vehicular en los sectores cercanos a ella. El trazado de Costanera Norte permitirá conectar los sectores norte y sur del río Mapocho, a través de nuevos puentes y accesos a la autopista, lo que descongestionará notoriamente la zona oriente de Santiago. También se descongestionará el tránsito vehicular en Vivaceta, Independencia, Recoleta y el centro de Santiago, pues Costanera Norte ofrecerá alternativas a los conductores que podrán evitar el ingreso a estos sectores para cruzar Santiago de oriente a poniente.



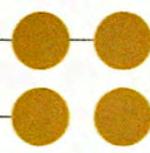
175

### *Áreas verdes*

La construcción de la Autopista Costanera Norte considera el desarrollo de 400.000 m<sup>2</sup> de nuevas áreas verdes, las que serán de uso público y serán entregadas a través de un proyecto paisajístico de alto valor estético y ambiental. Ello contribuirá al heroseamiento de la ciudad y al mejoramiento de la calidad del aire en la ciudad.

### **Inversión**

La inversión estimada para la realización de las obras del proyecto "Costanera Norte" alcanza a los US\$ 440 millones. Dicha inversión contempla la remodelación, construcción y mejoramiento de vías expresas de circulación y calles locales de los ejes viales contemplados, estructuras de puentes, trincheras cubiertas, muros de contención, obras de saneamiento y drenaje, obras de paisajismo, obras del sistema de gestión de tráfico y del sistema de peaje electrónico, obras de iluminación y sistemas de seguridad y de operación.



Capítulo III

# 150

La Carrera de  
Ingeniería  
Civil

*años*

INGENIERIA CIVIL  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**El período fundacional (1853- 1924)**

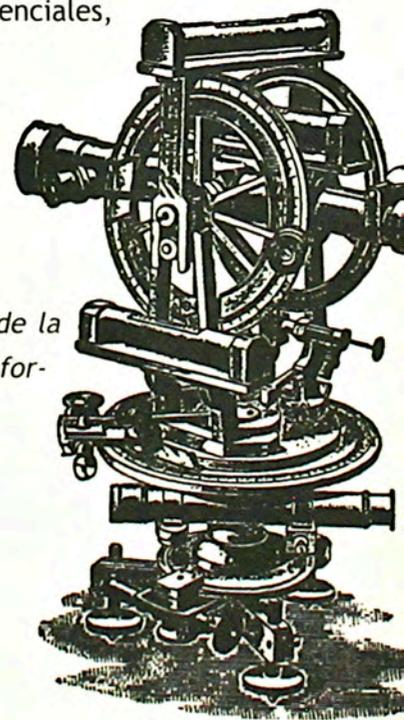
La historia de la carrera de Ingeniería Civil en Chile comienza oficialmente con el decreto emitido por el Departamento de Justicia, Culto e Instrucción Pública el 7 de diciembre de 1853 y que, en sus partes esenciales, establece textualmente lo siguiente:

*Plan de estudios de la Facultad de Ciencias Físicas i  
Matemáticas de la Universidad*

*Art. 1° En la Facultad de Ciencias Físicas i Matemáticas de la Universidad se enseñará los ramos de estudios necesarios para formar:*

*Ingenieros jeógrafos,  
Ingenieros civiles,  
Ingenieros de minas,  
Ensayadores jenerales,  
Arquitectos*

Entre las materias que deben estudiar quienes aspiran a obtener el título de ingeniero civil figuran las siguientes, que son obligatorias también para los candidatos a ingenieros geógrafos:





*Álgebra superior, Trigonometría esférica, Geometría de las tres dimensiones, Geometría descriptiva con sus aplicaciones a la teoría de las sombras i de la perspectiva, Física superior, Química jeneral, Cálculo diferencial e integral, Topografía i Jeodesia, Principios de mecánica y nociones de Astronomía.*

Estos cursos se deben estudiar en los tres primeros años. Para los ingenieros civiles se agrega un cuarto año, en el cual, según el decreto,

deben seguirse... *...el curso de puentes i caminos, comprendiendo en este curso la parte práctica del estudio que se enseñará en los dos últimos meses del año escolar; el dibujo de máquinas i la aplicación de la geometría descriptiva al corte de piedra i de madera, la arquitectura, la minerología i la jeología.*

En cuanto al examen final, se establece que este abarcará *una prueba oral i otra práctica. En la primera, que durará una hora, se les examinará conforme a los programas de los cursos respectivos, sobre el cálculo diferencial e integral, la topografía i jeodesia, el tratado de puentes i caminos i la mecánica.*

*La prueba práctica consistirá en la ejecución de un proyecto que la comisión examinadora designe al aspirante i que éste acompañará de una memoria que comprenda todos los planos, cálculos i pormenores relativos al presupuesto i ejecución de la obra. Los examinadores podrán también hacer interrogaciones sobre todo lo concerniente al trabajo.*

Al nacer la República, si bien existe conciencia de la necesidad de disponer de profesionales capacitados para participar en las tareas que reclama el desarrollo del país, son pocas las medidas concretas que se adoptan para revertir el retraso

tecnológico y científico hasta después de la tercera década del siglo XIX. En el año 1842, el presidente Bulnes crea simultáneamente la Universidad de Chile y el "Cuerpo de Ingenieros"; este último es encargado de la dirección de todas las obras públicas y del desarrollo de las minas en el país. Este Cuerpo de Ingenieros fue el embrión de la Escuela de Ingeniería hasta la formación, en el año 1852, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

El problema central -explica Sergio Villalobos- es "cómo definir la función social, el espacio laboral de una profesión nueva, hija de la Revolución Industrial, en un país tradicionalmente agrario que comenzaba a vivir la transición hacia la modernización".

Los primeros docentes de la carrera son principalmente los profesionales extranjeros enviados a participar en el programa de construcción de obras públicas en que el país está empeñado; entre ellos se encuentra Andrés Antonio de Gorbea, quien fuera el primer Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Por otra parte, el escaso prestigio social de la profesión de ingeniero civil en esa época, así como las limitadas perspectivas de poder insertarse en un mundo laboral seguro y remunerado adecuadamente, lleva a una aguda falta de alumnos. A pesar de ello, la Universidad mantiene sus esfuerzos por desarrollar las carreras de ingeniería, convencida de que el desarrollo del país, tarde o temprano, generaría la demanda que al principio escaseaba. Como lo entiende Villalobos: "la Universidad no pretendía responder en forma directa a las demandas del mercado, sino modernizarlo desde arriba, generando la oferta".

Mientras tanto, la carrera no logra establecerse. Una razón no menor para explicar esa situación es que para formar parte del Cuerpo de Ingenieros no es requisito poseer el título.



Ilustrativo resulta el comentario aparecido en los Anales de la Universidad de Chile, referido al interés que demostraban los alumnos de los primeros años. Llama la atención -se afirma en dicha publicación- el escaso número [de alumnos] que asiste al curso de matemáticas. A juicio del Rector de la Universidad, este hecho puede depender del poco estímulo que el título de ingeniero ofrece para el porvenir a los que llegan a obtenerlo en Chile, por la preferencia que se da en



el país a los ingenieros extranjeros para la dirección de trabajos particulares y de obras públicas.

En consecuencia, los ingenieros chilenos deben competir con los extranjeros, y en las primeras décadas están habitualmente subordinados a quienes diseñan los proyectos y son los contratistas de las grandes obras de infraestructura pública y privada desarrolladas por los sucesivos gobiernos. Sin embargo, cuando

las condiciones del desarrollo económico lo requieran, el país va a contar con un núcleo de profesionales chilenos en condiciones de satisfacer la demanda, gracias a que la Universidad logra en el transcurso de cuatro décadas, formar una cantidad adecuada de ingenieros civiles.

Durante este primer período, el gobierno financia la publicación de textos de estudios, contrata un mayor número de profesores y fomenta la creación de otros cursos, a la vez que se perfeccionan los ya existentes.

La Ley Orgánica de la Universidad de Chile había significado un hito importante en el proceso evolutivo de la cultura nacional. Pero andando el tiempo, y por virtud de su mismo estímulo, el horizonte comienza a señalar nuevas perspectivas y es preciso readaptar la educación a los imperativos de la época. Teniendo estos antecedentes en vista, se promulga en enero de 1879 una nueva Ley de Enseñanza Secundaria y Superior.

La función académica, que era la más importante de la Universidad, cede ahora su lugar de preferencia a la tarea docente. Si bien la nueva ley mantiene aún el régimen de premios para los profesores que hubieran redactado alguna obra de mérito, la actividad universitaria se desprende de la investigación científica pura para orientarse hacia la función práctica y profesional. El país está empeñado en dos tareas prioritarias: la unificación territorial en el sur y la minería en el norte. Por ello, la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas comienza a dar a la enseñanza en la



Escuela de Ingeniería un sentido más práctico, encaminado también a satisfacer las necesidades del naciente desarrollo industrial de la República. Entre los años 1889 y 1892 se organizan las carreras de Ingeniería, estableciéndose los siguientes títulos: Ingeniero Civil (de Puentes, Caminos y Construcciones Hidráulicas); Ingeniero de Ferrocarriles, Telégrafos y Puertos; Ingeniero Geógrafo y de Minas; Ingeniero Industrial y Metalurgista e Ingeniero Arquitecto.

183

Como ya se ha señalado, lo que sucede al interior de las aulas no está ajeno a lo que está aconteciendo en el exterior. Ya en 1887, el presidente Balmaceda había creado el Ministerio de Industrias y Obras Públicas y posteriormente la Dirección de Obras Públicas. Ellos son los encargados de llevar adelante el plan de construcción de infraestructura que contempla los planos reguladores de las ciudades, la construcción de escuelas, hospitales, cárceles y edificios públicos. También se construyen los sistemas de agua potable y alcantarillado. La "Ley de Caminos" de 1920 entrega a la Dirección de Vialidad la construcción organizada de caminos y puentes. Se pavimentan importantes carreteras y se desarrolla un programa de construcción de centenares de puentes. La Dirección de Riego se hace cargo de un importante programa de regadío, la Dirección de Obras Portuarias debe construir 9 grandes puertos y se registran importantes inversiones en la minería, la del salitre primero, la del cobre después.

En 1896, por requerimientos tanto de índole docente como de otros relacionados con el desarrollo del país, se crea en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile un Taller de Resistencia de Materiales, con el objeto de ensayar y controlar la calidad del cemento y otros materiales empleados en la construcción. Es también una importante contribución a la enseñanza práctica dentro de la Escuela de Ingeniería y, más adelante, base de una intensa labor de investigación.



En el año 1898, la Facultad acuerda aumentar los años de estudio a cinco y reducir las carreras a dos: Ingeniería Civil e Ingeniería de Minas. El mayor interés está en la carrera de Ingeniería Civil, mientras que la matrícula en Ingeniería de Minas es escasa. De hecho, en el período 1898-1918 se titulan 23 ingenieros de minas, contra más de 300 ingenieros civiles, que se ocupan casi exclusivamente en Vialidad.

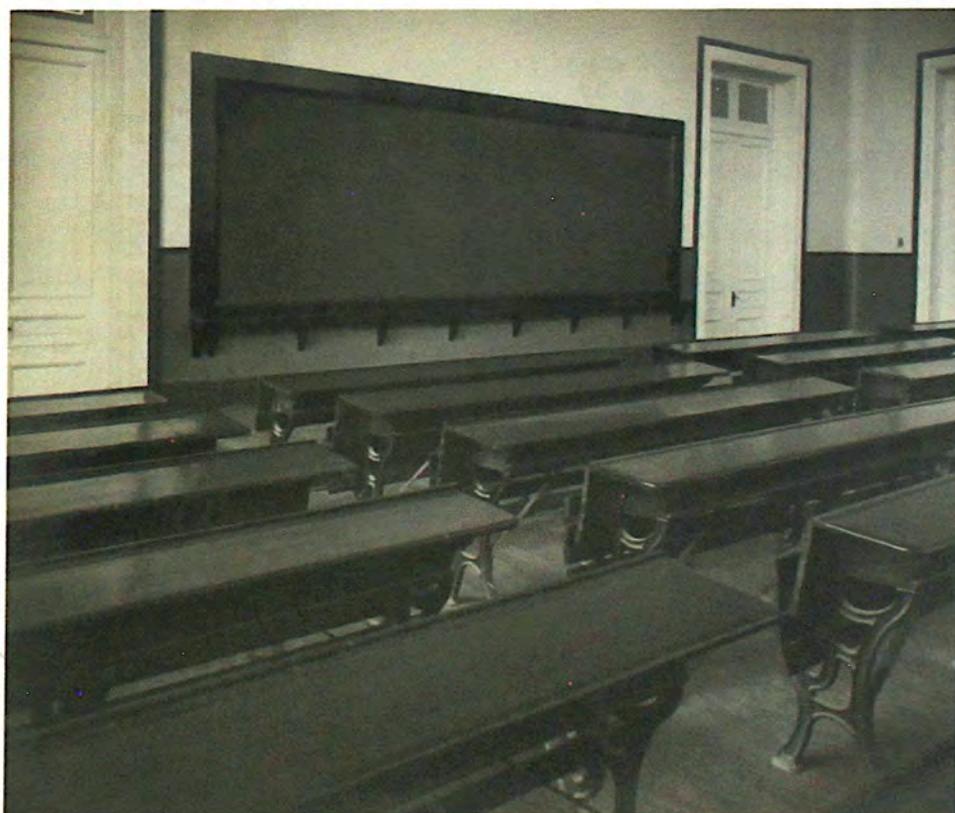
Con el fin de mejorar la calidad de la enseñanza, se perfecciona el curso preparatorio destinado a los aspirantes a continuar

estudios superiores de matemáticas y se busca acentuar aún más el carácter práctico de los estudios, llevando a los alumnos en su período de vacaciones a los centros fabriles y mineros.

**184**

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas continúa su desarrollo y busca la forma de diversificar sus estudios para adaptarlos a las nuevas y cada vez más complejas necesidades de la economía nacional. En la reforma del plan de estudios de 1919 se fija en seis años la enseñanza de los ingenieros civiles e ingenieros de minas, y en cinco, la de los ingenieros arquitectos. Se contempla un primer ciclo de tres años, que incluye principalmente los ramos científicos fundamentales; el segundo ciclo abarca los ramos de aplicación, diferenciándose las carreras a partir del 4° año. Se hace obligatorio el trabajo práctico en la industria y el rendimiento de pruebas y exámenes finales. También se crea, dependiente de la Escuela, un curso de Conductores de Obras. El año 1924 se aprueba un nuevo plan de estudios para la Escuela de Ingeniería y Arquitectura, y un Reglamento de Exámenes Anuales, Grados y Títulos.

Así pues, transcurridos 70 años desde la creación de la carrera, la formación de los ingenieros civiles ha evolucionado hasta adquirir ciertos rasgos estructurales que se conservan hasta hoy: carrera única con 6 años de estudios, con un ciclo básico y





otro más profesional; la existencia de prácticas de vacaciones y memoria de título, y normas de aprobación que cautelan el nivel de exigencia académica.

Por otra parte, la carrera ya ha alcanzado cierto reconocimiento social, especialmente por su contribución al desarrollo de la infraestructura básica del país. Símbolo de ello es la construcción, financiada con fondos públicos, de un señorial edificio para la entonces Escuela de Ingeniería y Arquitectura, inaugurado en el año 1922. En la actualidad, el mismo edificio sigue siendo ocupado por la Escuela de Ingeniería y Ciencias de la Universidad de Chile.

### **La etapa de consolidación (1925 - 1970)**

Sin perjuicio de lo anterior, y siendo Ingeniería Civil con mucho la más importante de las carreras que ofrecía la Facultad, al finalizar la etapa precedente solo se titulaban unos 20 alumnos de la especialidad por año, y la enseñanza se basaba casi totalmente en profesores externos, que provenían principalmente de las entidades estatales encargadas de la infraestructura. No pocos de ellos eran grandes maestros pero su vínculo con la Universidad era a través de la docencia.

Se hace sentir la necesidad de dotar a la Universidad de una mayor capacidad académica y una adecuada autonomía. Ya a partir de 1927 se inicia un período de nuevas y fundamentales reformas, las que cristalizan en el Estatuto Orgánico de la Universidad de Chile, promulgado el 20 de mayo de 1931.

En este Estatuto se establece que corresponde a la Universidad de Chile el cultivo, la enseñanza y la difusión de las ciencias, las letras y las artes, por medio de Institutos y Establecimientos públicos de Investigación y Educación Superior y Escuelas y Organismos anexos que el Supremo Gobierno o ella misma determine crear y mantener, en conformidad con las disposiciones de esta ley.

En el aspecto docente, se introducen cambios en el sistema de estudios y en los reglamentos. Se aprueba para toda la Universidad la "promoción condicional" y la fecha extraordinaria de exámenes en el mes de agosto. La Escuela de Ingeniería y Arquitectura, mientras tanto, implanta desde 1934 el sistema de promoción por ramos a partir del 4º año, crea varias especialidades dentro de cada carrera, diferenciándose los estudios a partir del 4º año. Posteriormente se crea la Escuela de Construcción Civil, anexa a la Facultad; los estudios duran tres años, y el título que se otorga es el de Constructor Civil.

En esta época, en la Escuela ya se encuentran en pleno funcionamiento diversos talleres y laboratorios que todavía son de carácter docente o de prestación de servicios: el Taller de Resistencia de Materiales, y los Laboratorios de: Física General, Química General, Analítica y Docimasia; Físico-Química, Electroquímica y Química Industrial; Metalurgia, Física Industrial y Electrotécnica; Mineralogía y Petrografía; Máquinas y Preparación Mecánica.



El rápido desarrollo de las técnicas desde comienzos de siglo, al que se van adaptando los planes de estudio en sucesivas reformas, pronto hace sentir la necesidad de realizar una reforma profunda e integral en los estudios y métodos de trabajo de la Facultad: es indispensable orientar la enseñanza en un sentido más activo, a través del trabajo directo del alumno en laboratorios,

talleres y seminarios, vinculando así mejor los estudios a las exigencias de la producción. Para lograrlo, es impostergable acelerar la formación y el fortalecimiento de los institutos de investigación.

A su vez, la creación de la Corporación de Fomento el año 1939 lleva en los años siguientes al proceso de industrialización más importante en la historia del país, incrementando sensiblemente la demanda de ingenieros. Sus consecuencias se hacen sentir en la orientación de la docencia en la carrera de Ingeniería Civil. Otro factor externo influyente es la aparición de nuevas ordenanzas de construcción, que recogen las experiencias de los trágicos terremotos de Talca (1928) y Chillán (1939), con repercusiones importantes en la ingeniería estructural.

En 1944, el Consejo Universitario declara en reorganización a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Un cambio importante introducido en ese proceso es la creación de una Escuela y una Facultad de Arquitectura separadas, aunque físicamente seguirán emplazadas en el recinto de Beauchef por un par de décadas. Se reorganiza también la Escuela de Construcción Civil, la que adquiere el carácter de escuela universitaria; para ingresar a ella ahora se exige el grado de Bachiller.

Se redacta un nuevo Reglamento de la Escuela de Ingeniería y se ofrecen ahora cuatro carreras, con sus especialidades: Ingeniería Civil (Estructuras, Transporte e Hidráulica); Ingeniería Civil de Minas (Geología y Metalurgia); Ingeniería Civil Industrial e Ingeniería Civil Eléctrica.

Otra innovación relevante es el examen de admisión para seleccionar a los postulantes. Esto es indicativo de la maduración alcanzada por la carrera y de la expansión de la demanda por ella. De hecho, en esa época ya goza de reconocimiento más allá de las fronteras, como lo prueba el número significativo de estudiantes provenientes de los países vecinos.



La labor de investigación empieza a cobrar mayor significación, lo que se ve favorecido por la creación de nuevos institutos y centros, mayoritariamente sobre la base de laboratorios y talleres existentes. A partir de 1950, estos son dotados de modernos equipos y pueden ampliar sus instalaciones. Los más importantes para la carrera son los siguientes:

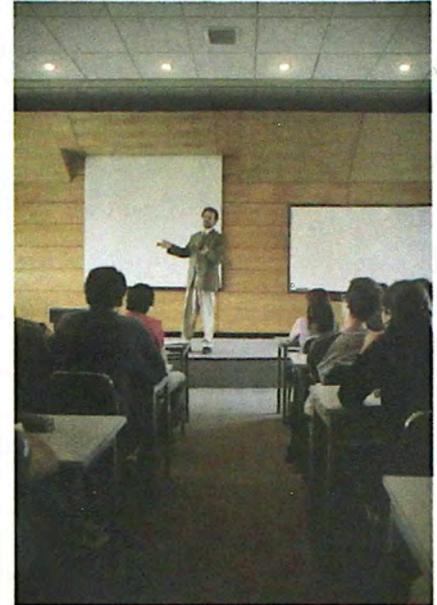
**188**

- El Taller de Resistencia de Materiales, que en 1946 se transforma en el Instituto de Investigaciones y Ensayo de Materiales (IDIEM).
- El Centro Científico de la Vivienda, que a partir de 1959 se reorganiza como Centro de la Vivienda y Construcción.
- El Laboratorio de Estructuras, que se crea en 1954.
- El Laboratorio de Hidráulica, instalado en 1958.
- En 1959 se crea un Centro Científico de Transportes, que posteriormente desaparece. En 1971 vuelve a crearse un grupo de investigación en esa área.

Se registran también en esa época algunos cambios en materia de régimen docente. En 1952 y 1955 se modifican los planes de estudio en la Escuela de Construcción Civil, agregándose un año más a la carrera. Cabe señalar que esta carrera dejó



de pertenecer a la Facultad a comienzos de los años 80. En la Escuela de Ingeniería se aprueba en 1953 el régimen de estudios semestral. Sin embargo, el funcionamiento de este sistema no da resultados satisfactorios, por lo que en 1959 se restablece el régimen anual. Ese reglamento conserva el examen o selección de admisión para ingresar a primer año, e introduce un curso preparatorio opcional, de un año, con el fin de facilitar a los postulantes su preparación para ese examen. Se conservan también las cuatro carreras y las especialidades existentes hasta entonces.



Al finalizar los años 50, Ingeniería Civil conserva su lugar de privilegio entre las carreras que ofrece la Facultad. Se titulan entre 40 y 45 alumnos por año, el doble de los que lo hacían 30 años atrás, al iniciarse esta etapa. El mercado ocupacional ha crecido gracias al proceso de industrialización y se ha diversificado. Ya existen empresas constructoras y de ingeniería nacionales. Incluso, los ingenieros civiles se desempeñan en posiciones ejecutivas en un amplio campo de actividades, tanto por su capacidad individual como por la formación sólida y generalista que han recibido.

La década siguiente es pródiga en transformaciones sustantivas, impulsadas por la confluencia de las dinámicas internas y externas que se han reseñado. Por una parte, el propósito de establecer una academia profesional, con profesores de jornada completa y que desarrollan actividades de investigación y docencia, empieza a cristalizar. Por otra, el crecimiento económico y demográfico que ha tenido lugar se traduce en una rápida masificación de la educación superior. Estos y otros procesos generarán cambios docentes de gran importancia.

En 1965 se crea el Departamento de Ingeniería Civil, en el marco de una reorganización de la Facultad. Los Departamentos son la expresión institucional del concepto de unificar las actividades universitarias (docencia, investigación y extensión) en torno a grupos académicos estables, estructurados por área del conocimiento. A su vez, el Departamento tiene Secciones, relacionadas con las diversas disciplinas que cultiva. El Departamento pasa a tener la responsabilidad de la carrera y cada Sección, de la mención y de los laboratorios correspondientes.

En 1967, se instauran las pruebas nacionales de selección universitaria (la Prueba de Aptitud Académica y las pruebas específicas), que a poco andar dan origen a un proceso de selección unificado para todas las universidades del país. En ese año, la Facultad ofrece, para el conjunto de carreras, 400 vacantes. Esta cifra es indicativa del notable crecimiento de la demanda aunque, por entonces, solo la mitad de los alumnos que ingresan logran terminar la carrera. De ellos, cerca de un 40% eligen Ingeniería Civil.

Para atender el creciente número de estudiantes, se impulsa la contratación de numerosos académicos jóvenes que, en razón de la importancia asignada a la enseñanza basada en la investigación, son enviados a realizar estudios de posgrado en las mejores universidades extranjeras.

En 1968 se inicia la Reforma Universitaria, que modifica radicalmente las estructuras en sentido concordante con la departamentalización iniciada previamente en la Facultad. En el plano docente significa el fin de las Cátedras (prácticamente vitalicias) asociadas a los ramos principales de la carrera. Durante 1969 y 1970 se diseña un nuevo régimen de estudios, basado en el sistema de currículo flexible y períodos semestrales. La promoción es por ramos y se introduce el mecanismo de créditos (unidades docentes).

La duración prevista de la carrera continúa en 6 años, aunque en realidad ella está fijada en un cierto número de unidades docentes que deben ser aprobadas, entre cursos obligatorios y electivos.



Esto implica reformular completamente los planes de estudios de Ingeniería. Además de los cambios de formato, se establecen principios básicos generales por los cuales deberían regirse los programas de las diversas especialidades. Dentro de estos principios es interesante reseñar que se consigna que el ingeniero debe ser un profesional capaz de aplicar las ciencias y el método científico al análisis y solución de los problemas tecnológico-económicos de su especialidad. Se precisa también que el egresado de la Escuela de Ingeniería debe dominar el "Método del Ingeniero", que consiste en la aplicación de principios fundamentales perfectamente comprendidos y de un pensamiento analítico bien ordenado para definir los problemas... En concordancia con ello, en la formación del ingeniero deben darse preferentemente las bases científicas de la tecnología (ciencias básicas y ciencias de la ingeniería) y los métodos aplicables a diversas técnicas. Otro de los principios se refiere a que la enseñanza de los temas profesionales tendrá carácter formativo, estando fundamentada en las ciencias básicas y las ciencias de la ingeniería. Se enfatiza que en la instrucción del estudiante debe considerarse también la necesidad de capacitarlo para hacer frente a los factores económicos y humanos de sus problemas profesionales. La preparación del ingeniero debe tener presente que la misión docente fundamental de la Universidad es la formación de hombres cultos que puedan reflexionar libre e inteligentemente sobre las conexiones generales que enlazan los distintos aspectos de la existencia del hombre.

191

El nuevo plan de estudios contempla un Plan Común Obligatorio para todos los alumnos de la Facultad, siguiendo la ya larga tradición. Este incluye ramos de



ciencias básicas (Matemáticas, Física, Química y Computación) y cursos obligatorios de Estudios Humanísticos: Filosofía y Ciencias Sociales. Luego viene un Plan Común Adicional para todos los alumnos de Ingeniería. Cabe hacer presente que en esa época, en la Facultad había carreras técnicas además de las de Ingeniería y Geología. Dicho plan contempla los cursos de Introducción a la Estadística, Ondas y Física Moderna, Mecánica II, Introducción a la Economía y Economía Aplicada. Ambos planes comunes cubren aproximadamente la mitad de la carrera. El resto corresponde a los estudios de especialidad, incluyendo el desarrollo de la Memoria a través de cursos de Trabajo de Título. Estos cursos fueron introducidos ante la constatación de que los alumnos tardaban mucho en hacer su Memoria, ya que al egresar se incorporaban al mundo laboral.

En el caso específico de la carrera de Ingeniería Civil, sigue siendo una sola especialidad, con 6 menciones: Construcción, Estructuras, Hidráulica, Sanitaria, Transportes y sin mención. El plan de estudios queda conformado por cursos obligatorios comunes a todas las menciones y cursos obligatorios y electivos de cada mención. Los cursos comunes comprenden disciplinas básicas de la Ingeniería Civil y ramos





193

introdutorios de las diversas menciones, para que el alumno haga una elección informada de ésta.

Al cerrarse esta etapa, puede verse que se ha recorrido un largo camino hasta configurar una situación académica análoga a la de las universidades más avanzadas. Desde luego, ella es entonces todavía incipiente en muchos aspectos. La que había logrado ser una exitosa escuela de formación de profesionales empieza también a incursionar orgánicamente en la generación de nuevos conocimientos y métodos.

La carrera de Ingeniería Civil ha evolucionado en este período. Aparte del desarrollo de sus áreas tradicionales (infraestructura, hidráulica, estructuras y construcción) se ha abierto a campos nuevos, como la Ingeniería Sanitaria y la de Transporte, que abordan problemas característicos de sociedades con mayor grado de urbanización e industrialización. Por otra parte, su prestigio social se ha afianzado enormemente, como lo revela, por ejemplo, la captación de una parte significativa de los alumnos de más altos puntajes en las pruebas nacionales de selección. También ha crecido cuantitativamente: a fines de los años 60, se titulan anualmente más de 60 Ingenieros Civiles, manteniéndose como la especialidad más numerosa de entre las que ofrece la Facultad.

### La etapa moderna (1971 a la fecha)

En 1971 se pone en práctica el nuevo Plan de Estudios. Como este significa sustituir el régimen anual por el semestral, se hace indispensable implantar todo de una vez. Esto significa un enorme esfuerzo, ya que -en cierta medida- todos los cursos son nuevos. En pocos casos simplemente se divide un curso anual en dos semestrales, pero en la gran mayoría hay cambios sustanciales. Esto no solo es producto del régimen de estudios, sino que influye también la necesidad de reestructurar el currículo en función del tipo de cursos: obligatorios de carrera, obligatorios de mención y electivos, así como los nuevos enfoques que aportan los académicos que vienen regresando de sus estudios de posgrado y otros recientemente incorporados.

Pese al forzoso "big bang", la verdad es que la consolidación de las grandes modificaciones introducidas en el plan de estudios toma varios años. Los numerosos cursos nuevos y la necesidad de dictar muchos de ellos todos los semestres, hace necesario contratar más profesores. A esto se suma el aumento en la cantidad de alumnos, generado desde fines de la etapa anterior, que demanda la existencia de secciones paralelas de un mismo curso.

El incremento de personal docente se cubre tanto con académicos de jornada completa como de jornada parcial. Los primeros se encargan principalmente de los cursos obligatorios. Los segundos, de cursos de proyecto, taller de título y electivos, aunque algunos de ellos siguen a cargo de cursos obligatorios en los que han estado involucrados.





Es una etapa muy dinámica en cuanto a la modernización de los contenidos de los cursos. Ya no existe la Cátedra y su correspondiente profesor; hay rotación de ellos según el semestre, de modo que los programas son objeto de análisis y debate de varios profesores. El sistema de currículo flexible favorece este proceso, pues se pueden realizar modificaciones continuas sin tener que hacer cambios globales de plan de estudios. Por otra parte, se dan los primeros pasos en la dictación de programas de posgrado en Ingeniería Civil.

De esta forma, la renovación académica y del sistema docente marca la década del 70, a pesar de las difíciles circunstancias políticas y económicas del período. La intervención militar de la Universidad, desde fines de 1973, no tuvo efectos directos significativos en lo que se refiere a la docencia en Ingeniería Civil, salvo la lamentable pérdida de algunos connotados profesores que debieron, o prefirieron, alejarse del país. Resulta paradójico que cuando finalmente los propósitos de fortalecimiento institucional, perseguidos con perseverancia durante 50 años, logran cristalizarse en materia de capacidad académica, la autonomía buscada está preterida por la intervención.

## POSGRADO EN INGENIERÍA CIVIL

**L**os programas de Magíster que ofrece el Departamento de Ingeniería Civil permiten formar especialistas que en un área en particular avanzan hasta la frontera del conocimiento o de la aplicación y transferencia de innovaciones tecnológicas de su campo.

Los programas actualmente ofrecidos a través de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas permiten formar especialistas en las áreas de Ingeniería Sísmica, Geotecnia, Transportes y, últimamente, en Recursos y Medio Ambiente Hídrico. A ellos se suma la participación del Departamento de Ingeniería Civil en el programa de Doctorado en Fluidodinámica, de reciente creación.

### Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Sísmica

Creado en 1970, está orientado a preparar especialistas en Ingeniería Sismorresistente, capaces de abordar los complejos problemas de evaluación del riesgo sísmico en el territorio nacional y de investigar y aplicar las nuevas técnicas de protección sísmica de obras civiles y edificaciones. Alcanzó un total de 15 alumnos, encontrándose descontinuado actualmente.

### Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Geotecnia

El año 1972 se inició un programa de Magíster en esta especialidad, en el cual participaron alrededor de 15 alumnos. A pesar de que el programa se extendió a tan solo tres años, los alumnos graduados pasaron a constituir el grupo central y mayoritario dentro del cuerpo de especialistas que actualmente trabajan en Chile en este campo.

El año 2001 se inició un nuevo programa de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención en Ingeniería Geotécnica que cuenta con 24 alumnos y permitirá su especialización en diferentes áreas de la Ingeniería Geotécnica, como por ejemplo: comportamiento de suelos, dinámica de suelos, interacción suelo-estructura, ingeniería de fundaciones, ingeniería geotécnica de presas y mecánica de rocas, entre otros temas.

### Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Transportes

El programa de Magíster en Transporte está concebido de manera de entregar una formación especializada a profesionales y alumnos en general, deseosos de entender y trabajar en los problemas afines al desplazamiento de personas y cosas. Estos son capacitados para resolver problemas metodológicos y aplicados de alto nivel en la especialidad, realizar docencia universitaria, participar activamente en grupos de investigación y realizar transferencia tecnológica con estricto sentido crítico.

Fue creado el año 1993 y en sus 10 años de vida registra 19 graduados, con un ingreso promedio de 3 alumnos nuevos cada año.

### **Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos Hídricos y Medioambiente**

El objetivo de este programa de Magíster es formar especialistas en el área de Recursos y Medio Ambiente Hídrico. Dentro del área de la Ingeniería en Recursos y Medio Ambiente Hídrico, el candidato puede orientar su especialización de acuerdo a sus intereses específicos. Entre los temas de especialización se cuentan: Mecánica Fluvial, Hidráulica con Aplicaciones Ambientales, Hidrología e Hidráulica Fundamental, Tratamiento de Aguas y Remediación, Recuperación y Reuso del Agua y Gestión de Recursos Hídricos.

Se inició el año 2002 y ya han ingresado 25 alumnos. A la fecha, se cuenta con dos alumnos graduados.

### **Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Mención Fluidodinámica**

El objetivo de este programa es formar especialistas autónomos, de elevado nivel de formación, orientados ya sea a la investigación básica o a la concepción y diseño de obras, proyectos, procesos y productos en el ámbito tecnológico. Los graduados de este programa estarán en condiciones de plantear, formular, resolver y validar en la práctica problemas de alta complejidad valiéndose de su completa formación en ciencias básicas y en las ciencias de la ingeniería pertinentes a los fenómenos fluidodinámicos o de transporte, y de su familiaridad con metodologías y técnicas de frontera.

Este programa está acreditado desde el año 2002 y cuenta a la fecha con una matrícula de 3 alumnos. En un plazo de 4 años está previsto contar con los primeros graduados.

Al iniciarse los años 80, Ingeniería Civil continúa siendo la especialidad con mayor número de alumnos: algo más de 100 por año. Es también el Departamento con más académicos de jornada completa y se van asentando los grupos que se habían conformado en las diversas disciplinas, produciendo investigaciones de nivel internacional e introduciendo los métodos y técnicas más avanzadas. Lo que antes fueron logros puntuales de un puñado de destacados maestros, se va haciendo parte de la labor cotidiana del cuerpo académico.

Las leyes que reforman el sistema universitario en 1981 traen aparejados cambios que tendrán impactos relevantes en los años siguientes. Por un lado, se definen carreras exclusivamente universitarias, las que requieren un grado de Licenciatura,



previo al título profesional o a grados superiores, entre las que figura Ingeniería Civil. Por otro, se reestructura el mecanismo de financiamiento, lo que se traduce en una severa reducción del aporte estatal a la Universidad de Chile y en el cobro de aranceles significativos a los estudiantes. Hasta entonces, los estudios universitarios eran prácticamente gratuitos.

Tales modificaciones van de la mano con radicales transformaciones en la economía nacional. El modelo de industrialización impulsada por el Estado deja paso a la apertura al comercio exterior, y sucesivas crisis reducen drásticamente la inversión en infraestructura por un largo período. Las habilidades de gestión y de desempeño en ambientes competitivos pasan al primer plano.

Es así como, por primera vez en muchas décadas, Ingeniería Civil enfrenta una situación de deterioro en el mercado ocupacional. El número de alumnos empieza a decrecer y a mediados de los 80 cede su histórica posición de privilegio entre las especialidades a Ingeniería Industrial. En cierto modo, ésta pasa a ser percibida por los alumnos como la carrera generalista, que antes había sido Ingeniería Civil. La importancia de esa percepción es ilustrada por el hecho de que en esa época la mención con más estudiantes es "sin mención".

Por otro lado, la reducción presupuestaria en la Universidad se traduce en una progresiva disminución del cuerpo académico del Departamento y en la imposibilidad de renovar adecuadamente los laboratorios. Gracias a los concursos de proyectos de investigación (iniciados en 1982) y a la prestación de servicios se logra mantener un nivel digno de equipamiento.

Aparte del énfasis en la gestión de los recursos y en la evaluación económica de los proyectos, otras tendencias más universales que influyen en el modo de concebir y practicar la Ingeniería Civil empiezan a manifestarse con fuerza en esa época. Especialmente, la preocupación por el medio ambiente y el explosivo crecimiento del uso de la computación.

### NÚMERO DE TITULADOS POR AÑO

1869	1	1904	5	1925	16	1946	41	1967	64	1988	119
1876	1	1905	6	1926	14	1947	42	1968	70	1989	98
1878	2	1906	9	1927	13	1948	53	1969	122	1990	81
1885	1	1907	5	1928	11	1949	34	1970	85	1991	78
1886	1	1908	7	1929	6	1950	50	1971	28	1992	76
1887	1	1909	11	1930	12	1951	53	1972	78	1993	95
1889	1	1910	19	1931	7	1952	39	1973	66	1994	135
1890	1	1911	25	1932	9	1953	64	1974	79	1995	114
1891	1	1912	13	1933	7	1954	61	1975	97	1996	76
1892	3	1913	21	1934	10	1955	44	1976	79	1997	62
1893	4	1914	17	1935	16	1956	54	1977	83	1998	157
1894	4	1915	17	1936	20	1957	44	1978	105	1999	178
1895	4	1916	23	1937	22	1958	58	1979	91	2000	126
1896	5	1917	39	1938	23	1959	46	1980	109	2001	168
1897	4	1918	29	1939	18	1960	43	1981	124	2002	133
1898	2	1919	24	1940	27	1961	41	1982	118		
1899	3	1920	20	1941	30	1962	40	1983	112		
1900	5	1921	6	1942	35	1963	44	1984	108		
1901	14	1922	12	1943	34	1964	41	1985	79		
1902	11	1923	12	1944	25	1965	59	1986	122		
1903	11	1924	7	1945	48	1966	69	1987	109		

199

Tanto los cambios del marco legal como las nuevas tendencias y la propia maduración del cuerpo académico (decreciente en número, pero no en calidad) hacen necesaria una reformulación del plan de estudios. Esta se lleva a cabo entre 1985 y 1988.

Como reflejo de la ampliación del marco conceptual que ha tenido lugar, es interesante transcribir la descripción de la carrera de Ingeniería Civil que figura en el decreto que aprueba los nuevos planes:

Carrera científica-tecnológica dirigida a la creación y construcción de sistemas de instalaciones básicas que se requieren para satisfacer las demandas de transporte, comunicaciones, producción de energía, recursos hidráulicos, desarrollo urbano, vivienda, eliminación de residuos e higiene ambiental y de instalaciones para producir y distribuir bienes manufacturados. Su finalidad es la preparación de profesionales capacitados en el área de su especialidad, para proyectar y diseñar esos sistemas de instalaciones básicas y, en algunas áreas, para construirlos y operarlos. La preparación



integral le permite aplicar los nuevos avances de la ciencia y de la tecnología, con plena comprensión de su influencia socioeconómica en el ámbito nacional y con óptima utilización de los recursos humanos, materiales y de capital disponibles.

Para incorporar la Licenciatura, se profundiza la tradicional estructura cíclica de los estudios en la Facultad. Ella comprende dos ciclos. El Plan Común, ahora obligatorio para todos los alumnos de la Facultad, constituye el primer ciclo, centrado en ciencias básicas, complementadas con cursos humanísticos y un Seminario de Diseño, a modo de introducción al enfoque ingenieril en la resolución de problemas. El Plan Común ocupa los primeros 5 semestres. El segundo ciclo, de 3 semestres, contiene cursos de ciencias de la ingeniería. Hay algunos comunes para todas las carreras (Probabilidades y Estadística, Economía y Evaluación de Proyectos) y la mayoría son propios de cada especialidad, la que se elige al terminar el Plan Común. También se contempla un número reducido de cursos electivos. El tercer ciclo, de 4 semestres, se orienta a la formación profesional y es diferenciado según especialidad. Contiene cursos obligatorios y electivos y los Talleres de Título.

La experiencia de aplicar el régimen semestral y de currículo flexible durante década y media aconseja ciertos cambios de formato. Los principales son la reintroducción del régimen anual solo para el primer año y la homogeneización de la

dimensión (en unidades docentes) de los cursos obligatorios, a todo nivel. La idea es evitar la proliferación de cursos con pocas UD y que un alumno tome 5 ó 6 cursos por semestre para avanzar a ritmo normal.

En lo que respecta a Ingeniería Civil, se mantiene la tradición de ser una sola carrera, si bien con menciones. A ese efecto, se crea una Licenciatura única (Licenciatura en Ciencias de la Ingeniería, mención Civil) y en el tercer ciclo se define un grupo de cursos obligatorios comunes para todas las menciones. Además hay cursos obligatorios y electivos para cada mención en este último ciclo.

Un cambio importante se introduce en las menciones, que se reducen a tres: Estructuras y Construcción; Hidráulica, Sanitaria y Ambiental; y Transporte. Esta nueva organización se explica por la afinidad en la formación básica de aquellas menciones que se fusionaron y por la búsqueda de una mejor correspondencia de ellas con los grupos de investigación que las sustentan. De hecho, poco tiempo después el Departamento adopta una organización por Divisiones (en vez de las antiguas Secciones), que son tres y con prácticamente los mismos nombres de las menciones.

El nuevo Plan de Estudios significa, a todo nivel, un reforzamiento de los cursos formativos y metodológicos, en desmedro de los más prácticos o informativos. A excepción de los cursos de proyecto, estos últimos quedan en general como electivos. La velocidad del avance tecnológico actual reduce el valor de esa clase de asignaturas. La aplicación de este plan es gradual a partir de 1989, completándose en 1994. Desde entonces se han realizado modificaciones menores a la luz de la experiencia, más allá de los continuos ajustes de contenidos y métodos docentes que son propios de la época.

Aparte de este proceso de implantación, la década de los 90 registra otras novedades relevantes. Termina la intervención de la Universidad y, gracias al crecimiento económico que empieza a producirse desde fines de los 80, se reactiva la inversión en infraestructura y en todo tipo de obras civiles. Probablemente impulsada por esta dinámica, la disminución del número de alumnos se detiene. Habiendo caído a 60-70 alumnos por año, a mediados de los 90 vuelve a crecer hasta retornar a alrededor de 100. Continúa siendo menor que el de Ingeniería Industrial, pero se ha acercado notablemente.

En 1998 se pone en práctica un nuevo sistema de titulación. Los intentos anteriores para acortar el tiempo de titulación no habían dado resultado: en promedio, transcurrían más de 3 años desde el egreso hasta la obtención del título. Y se había

hecho necesario generar cada cierto tiempo procedimientos especiales para facilitar la elaboración de la Memoria. El nuevo sistema, con plazos rígidos y un marco formal para el desarrollo de ella (a la manera en que se trabaja en la vida profesional), ha sido exitoso.

Los alumnos se titulan, en promedio, medio semestre después de egresar.

**202**

En esta década se lleva a cabo también una ambiciosa mejora de los laboratorios, en todos los niveles. Se empieza con los de los cursos de ciencias básicas, renovando totalmente el equipamiento y dotándolos de avanzadas tecnologías de información. En el área de Ingeniería Civil destacan los laboratorios integrados de Fluidodinámica y Sólidos, inaugurados hace poco. Esto permite darle un sello experimental a la formación de los estudiantes y despertar su creatividad, elementos cada vez más importantes en el competitivo ambiente profesional que resulta de la globalización en que está inserto el país. La misma razón lleva a aumentar la exigencia de manejo del idioma inglés, apoyada también en laboratorios de última generación.

Por otra parte, en los últimos años se ha producido una importante renovación del cuerpo académico. Aunque las restricciones presupuestarias de la Universidad no se han aliviado, la Facultad adopta medidas internas para enfrentar la situación de disminución y envejecimiento de dicho cuerpo que se arrastraba desde comienzos de los años 80. Es así como el Departamento ha contratado un número significativo de jóvenes que están realizando estudios de posgrado, o acaban de terminarlos, en todas sus Divisiones.

Este auspicioso panorama, después de tiempos difíciles, es coronado por la inauguración del edificio institucional (que comparte con el Departamento de Geofísica), justo al cumplirse 150 años de la creación de la carrera.



## ACTUAL PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### PLAN COMÚN

#### Asignaturas anuales (Primer Año)

Computación  
Introducción a la Física  
Álgebra  
Cálculo

#### Asignaturas semestrales

Mecánica  
Sistemas Dinámicos  
Física Estadística  
Laboratorio de Física  
Electromagnetismo  
Física Contemporánea  
Cálculo en varias variables  
Ecuaciones Diferenciales Ordinarias  
Matemáticas Aplicadas  
Cálculo Numérico  
Probabilidades y Procesos Estocásticos  
Química Moderna  
Seminario de Diseño

#### Electivas del Área Humanista (2)

### LICENCIATURA

#### Asignaturas obligatorias para todas las carreras

Optimización  
Estadística  
Economía  
Evaluación de Proyectos

#### Asignaturas Licenciatura mención Civil

##### Cursos Obligatorios

Análisis de Estruct. Isostáticas  
Mecánica de Fluidos  
Int. a la Mecánica de Sólidos  
Materiales de Construcción  
Topografía  
Práctica de Topografía  
Hidráulica  
Análisis Estructural

Análisis de Sist. de Transporte  
Geotecnia  
Hormigón Estructural  
Geomecánica

#### Cursos electivos

### ESPECIALIZACIÓN

#### Cursos obligatorios para todas las menciones

Ingeniería Ambiental  
Métodos Constructivos  
Programación y Control de Proyectos  
Práctica Profesional

#### MENCIÓN HIDRÁULICA, SANITARIA Y AMBIENTAL

Hidrología  
Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento  
Diseño de Obras Hidráulicas  
Calidad del Agua  
Proc. de Trat. de Agua Potable  
Proc. de Trat. de Aguas Residuales  
Proyecto de Abastecimiento de Agua Potable  
Proyecto de Ingeniería de Riego  
Proyecto de Centrales Hidroeléctricas  
Proyecto de Sistemas de Alcantarillado

#### Cursos electivos

#### MENCIÓN ESTRUCTURAS-CONSTRUCCIÓN

Mecánica de Sólidos  
Dinámica de Estructuras  
Tecnología del Hormigón  
Diseño Sísmico de Estructuras  
Proyecto de Hormigón Armado  
Fundaciones  
Estructuras de Acero  
Proyecto de Estructuras de Acero  
Proyecto de Construcción de Obras Civiles  
Proyecto de Construcción de Edificios

#### Cursos electivos

**MENCIÓN TRANSPORTE**

Economía de Transporte  
 Teoría de Flujos Vehiculares  
 Diseño Vial  
 Ingeniería de Tránsito  
 Demanda de Transporte  
 Redes de Transporte  
 Diseño Asistido por Computador  
 Proyecto de Diseño Tecnológico

**Cursos electivos****ACTIVIDADES FINALES DE TITULACIÓN**

Introducción al Trabajo de Título  
 Trabajo de Título  
 Memoria de Título  
 Examen de Título





150 AÑOS INGENIERÍA CIVIL,  
UNIVERSIDAD DE CHILE

EDITADO POR  
© Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Civil  
Beauchef 850  
Teléfono: 689 7803  
Santiago  
Inscripción N° 136.199  
Noviembre de 2003

EDITORES RESPONSABLES  
Francisco Martínez  
Mauricio Sarrazin

PRODUCCIÓN GENERAL  
Reditext Ltda.

*Diseño:* Claudio Mateos

*Diseño Portada:* Arnaldo Ruiz

*Ilustraciones:* Gladys Morales

*Asistente de Producción:* Yéssica Ortiz

*Impresión:* Morgan Impresores

*Fotografías*

Gentileza de Archivo Fotográfico de Chilectra; Instituto de Ingenieros de Chile; Of. de Difusión, Escuela de Ingeniería y Ciencias, U. de Chile; Centro de Graduados, F.C.F. y Matemáticas, U. de Chile; Gastón Carreño; Claudio Pérez; Luis H. Gaete; Inconsult Ltda.