

## APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

Juan Bustinza<sup>1</sup>, José Luis Valicenti<sup>2</sup>, Verónica Capitanich<sup>1</sup>, Matías Bialous<sup>1</sup>

1. Red Ingeniería SRL, Neuquén bustinza.juan@redingenieriasrl.com.ar  
2. jvalicenti@aic.gov.ar

### RESUMEN

Se presenta una breve reseña histórica del desarrollo de las importantes obras hidráulicas en Neuquén, junto a una descripción sintética de la potencialidad de las cuencas hidrográficas y de las características principales de los aprovechamientos hidroeléctricos que se encuentran actualmente en operación, como también de aquellos que podrán construirse en el futuro. Se destaca el rol de los organismos del Estado que controlan la seguridad estructural y operativa de los embalses, las evaluaciones hidrometeorológicas, las condiciones de seguridad, defensa del medio ambiente y mantenimiento del importante patrimonio Nacional. Se subraya el rol de la geología aplicada a la ingeniería de estas grandes estructuras, en las sucesivas fases de estudios previos, proyecto, construcción y mantenimiento, y su importancia en la seguridad de presas. Finalmente, se presentan sintéticamente algunos de los aspectos geológicos y geotécnicos que afectaron el diseño de las obras y las soluciones implementadas.

**Palabras clave:** Neuquén; Limay; Hidroelectricidad; Ingeniería Geológica; Seguridad de Presas

### ABSTRACT

*Hydraulic water projects.* - A brief historical overview of development of major hydraulic projects in Neuquén, along with a summary description of the potential of the river basin and the main characteristics of the hydroelectric plants that are actually in operation, as well as those that could be built in the future, is presented in this paper. It highlights the role of the State agencies who control the structural and operational safety of dams, hydro-meteorological evaluations, the safety, environmental protection and maintenance of the important National Patrimony. It highlights the role of geology applied to engineering of these large structures in the successive stages of previous studies, design, construction and maintenance, and its importance in dam safety. Finally, we present succinctly some of the geological and geotechnical factors affecting the design of the water projects and the implemented solutions.

**Key words:** Neuquén, Limay, Hydropower, Engineering Geology, Safety of Dams

### INTRODUCCIÓN

Las características de la cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro, tanto por la magnitud de los caudales que drena como así también por la calidad de sus aguas, permiten identificarla como la cuenca hidrográfica íntegramente nacional más importante de la Argentina. Por este motivo, ha sido también una de las más estudiadas para desarrollar su enorme potencial, desde aquellos primeros tiempos de la colonización del territorio a fines del siglo XIX, hasta las importantes realizaciones de las empresas nacionales Agua y Energía Eléctrica e Hidronor en las décadas de 1960 a 1990, y los actuales esfuerzos de los estados provinciales condóminos.

Todos estos estudios permitieron en muchos casos concretar las obras que hoy están en operación, mientras que el resto conforma un valioso capital de conocimiento que es la base sobre la que se planificará el desarrollo del recurso aún no aprovechado. Es de destacar que la cuenca genera actualmente un 9,5% de la energía total del sistema eléctrico argentino, siendo ello tan solo un 39% de su potencial total.

### BREVE DESARROLLO HISTÓRICO

Hacia 1884, finalizada la ocupación de este territorio por el Estado Nacional, comienzan a construirse pequeñas obras hidráulicas para riego que, aunque rudi-

mentarias, permitían a los primeros colonos disponer de agua en las épocas de sequía. No obstante, los precarios sistemas productivos de entonces debieron soportar la ineficacia de la redes de riego e incluso inundaciones que destruían sembrados y poblados. La llegada del ferrocarril hacia 1903 produce un avance importante pues la compañía británica Ferrocarril del Sud emprende la construcción de obras de riego a fin de aumentar sus cargas.

Bajo la presidencia de Julio A Roca, el ministerio de obras públicas impulsa en 1898 los estudios para la construcción de importantes obras de irrigación; a tal efecto fue contratado el ingeniero italiano César Cipolletti, de enorme prestigio en Europa, quien diseña un gran dique de contención sobre el impetuoso río Neuquén (hoy dique Ing. Ballester), un gran canal derivador de las crecidas del río Neuquén hacia la cuenca Vidal (hoy lago Pellegrini) y junto al dique la boca toma y el gran canal para la irrigación de la margen izquierda del alto valle del río Negro en una extensión de 130 kilómetros. Estas obras de control de crecidas e irrigación comienzan a construirse en 1910 impulsadas por el ministro Ezequiel Ramos Mexía y desencadenan un formidable impulso al desarrollo de la región.

Varias décadas más tarde se promueve el actual desarrollo de los aprovechamientos hidroeléctricos en la cuenca. En 1965, apenas siete años después que los Territorios Nacionales de Neuquén y Río Negro se conformaran en estados provinciales, la empresa estatal Agua y Ener-

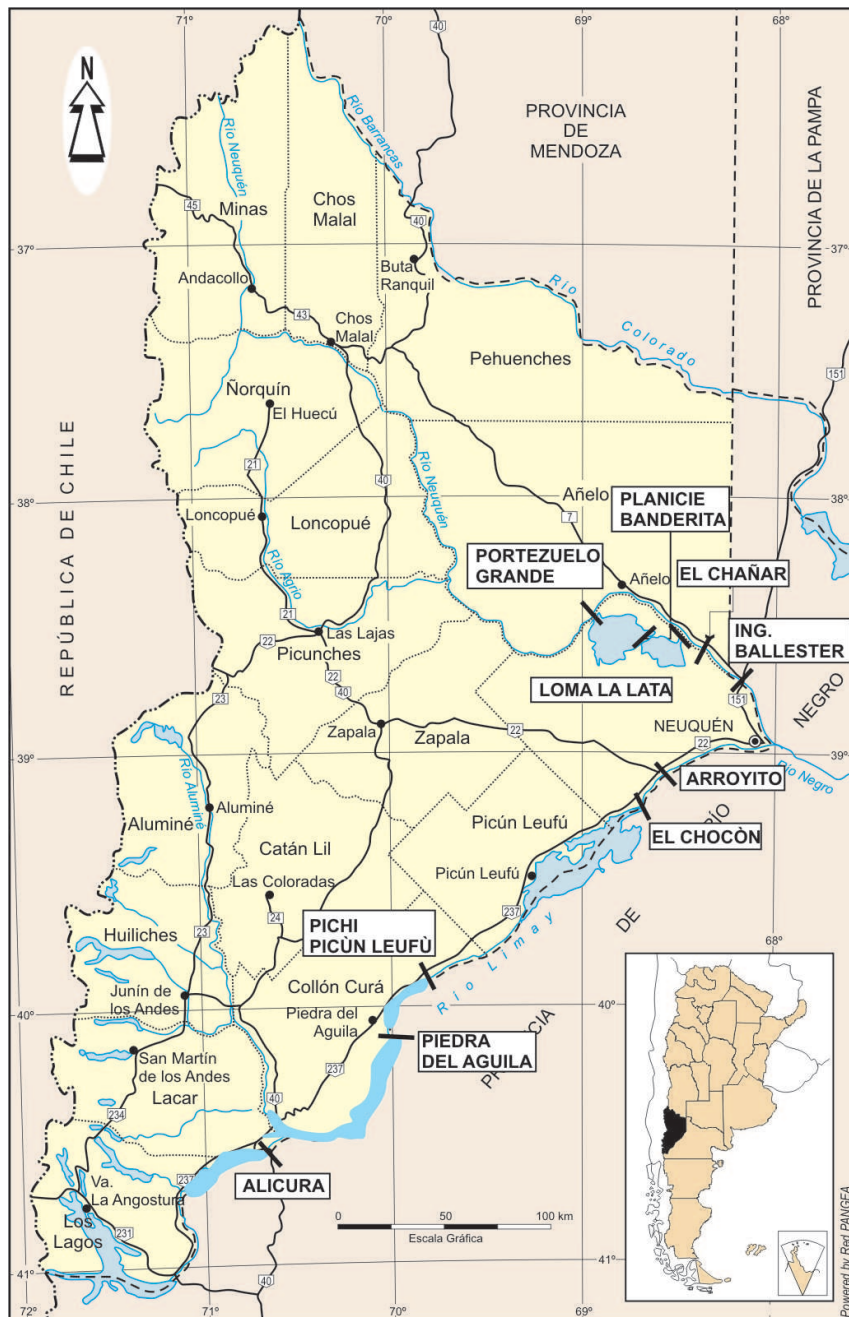


Figura 1: Ubicación de los aprovechamientos hidráulicos en operación en la provincia del Neuquén

gía Eléctrica Sociedad del Estado (AyEE) completó los estudios para dar inicio a la construcción del denominado Complejo El Chocón-Cerros Colorados.

No obstante, fue en 1967 cuando el Gobierno Nacional pudo concretar el inicio de las obras a través de la recientemente creada empresa estatal Hidroeléctrica Norpatagónica (Hidronor) bajo la figura comercial de sociedad anónima.

Se da inicio así a un período de fuerte actividad en el que se realizan numerosos estudios geológicos, topográficos e hidrológicos de la cuenca, y la construcción de El Chocón (1977), Cerros Colorados (1978), El Chañar (1980), Arroyito (1984), Alicurá (1985), Piedra del Águila (1994) y Pichi Picún Leufú (1999). Los cuatro primeros integran el denominado «Complejo Chocón-Cerros Colorados»;

Alicurá, Piedra del Águila y el proyecto Collón Curá (en etapa de factibilidad) integran el «Complejo Alicopa»; Pichi Picún Leufú junto a Michihua y Pantanitos (en etapas de proyecto básico y prefactibilidad respectivamente) integran el denominado «Complejo Limay Medio».

Es decir que en esos treinta y dos años que median entre el inicio de El Chocón hasta la puesta en operación de Pichi Picún Leufú, se construyeron 9 grandes presas que aportan algo más del 27,2% de la energía hidroeléctrica del Sistema Eléctrico Nacional (SIN), lo cual significa un 9,5% de la energía total generada en la Argentina en el año 2010. En esos años los estudios de Hidronor permiten definir también nuevos emprendimientos en el río Aluminé (Rincón de la Medialuna y Talhelum), en el río Collón Curá

## Los aprovechamientos del Comahue

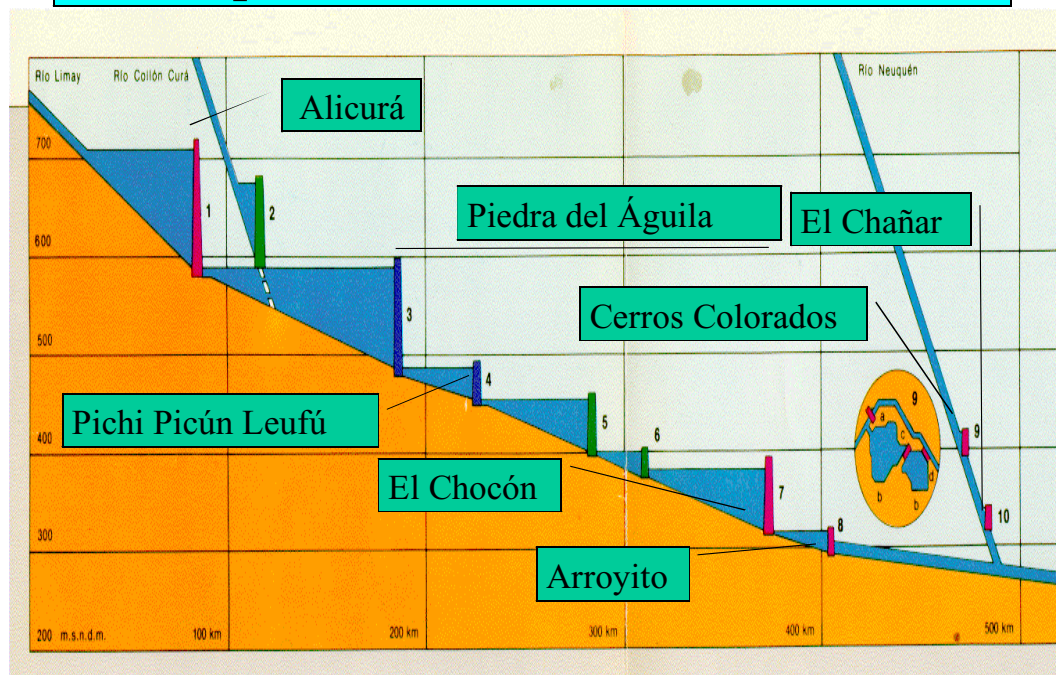


Figura 2: Perfil longitudinal de los ríos Neuquén, Limay y Aluminé con ubicación de aprovechamientos.

(La Rinconada), en el río Malleo (Puesto de Paja y Calfulén), en el río Chimehuin (El Chacayal), en el río Caleufú (Caleufú), y sobre el río Neuquén próximo a su encuentro con el Limay (El Mirador).

Por su parte, AyEE en esos mismos años desarrolla los proyectos de Chihuido I y Chihuido II, sobre el río Neuquén aguas arriba de Portezuelo Grande, y Segunda Angostura sobre el río Limay aguas arriba de Alicurá.

Varios de esos emplazamientos deben hoy ser reconsiderados en función del impacto negativo que producirían en verdaderos santuarios privilegiados de la naturaleza, tal como lo son los ríos de la alta cuenca del Limay, obviando la afectación de Segunda Angostura elevando el nivel del lago Nahuel Huapi. Otros proyectos de aprovechamientos hidráulicos se desarrollan sobre el curso del río Negro pero no se los incluye aquí por estar fuera de la provincia del Neuquén.

Durante la última década del siglo XX la Argentina abandona la planificación de las obras públicas, se disuelven las empresas del estado que habían trabajado en ello y se deja en manos privadas la iniciativa de su construcción, con el argumento de que el mercado sería capaz de establecer las necesidades de infraestructura y brindaría entonces la suficiente rentabilidad como para que hubiera emprendedores dispuestos a explotar las obras necesarias.

Este proceso de privatización llevado adelante por el Gobierno Nacional, concesiona las obras construidas o en construcción, y transfiere a las provincias el dominio y propiedad sobre el resto de los proyectos realizados y a realizar sobre la cuenca. Es así que el Aprovechamiento Chihuido I, proyectado inicialmente por AyEE en la década de 1980, en estos últimos años ha sido completado en su

desarrollo por la provincia del Neuquén y se encuentra actualmente adjudicado, siendo inminente el inicio de su construcción.

Otras acciones tendientes al estudio, construcción y explotación de obras menores han sido llevadas adelante por organismos provinciales y nacionales, y aquellas con potencias a instalar superiores a 10MW se incluyen en la tabla que integra esta presentación.

En estos doce años que median desde la finalización de Pichi Picún Leufú al presente, el porcentaje de aprovechamiento de la potencialidad hidroenergética de la cuenca se ha mantenido prácticamente invariable, con el único aporte adicional de la elevación de la cota de embalse en Arroyito que permitió incrementar en 7,84 MW la potencia instalada y en 68,7 GWh/año su capacidad de generación. La Fig. 1 ilustra la posición de los aprovechamientos en operación.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS APROVECHAMIENTOS

El documento denominado «Cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro - Relevamientos de Aprovechamientos Hidroeléctricos» elaborado por la AIC en el año 2004, presenta una descripción muy completa de los aprovechamientos de la cuenca del río Negro; 26 pertenecen a la cuenca del río Neuquén (con Portezuelo Grande, Loma de la Lata, Planicie Banderita y El Chañar en operación) y 19 a la cuenca del río Limay (con Alicurá, Piedra del Águila, Pichi Picún Leufú, El Chocón y Arroyito en operación); mientras que 8 se encuentran fuera de la provincia sobre el mismo río Negro (Valicenti 2004; Valicenti & Blasco 1990).



En la Fig. 2 se muestran los perfiles longitudinales de los ríos Neuquén, Limay y Aluminé con la posición de los principales aprovechamientos en operación y proyectados o inventariados.

En la Tabla 1, elaborada con datos cedidos por la AIC en el documento citado y por otros cedidos por la provincia del Neuquén, se muestran los 45 aprovechamientos provinciales clasificados según su grado de desarrollo y ordenados según su producción energética, observándose que el potencial de la cuenca a sido desarrollado hasta el presente en un 39.22%. En dicho listado debe tenerse en cuenta que la definición de la cota de embalse en Chihuido II podría modificar la producción energética de Chihuido I al reducir su salto hidráulico, al igual que la cota de Piedra del Águila sobre la presa Collón Curá; ambas circunstancias no han sido tenidas en cuenta en la elaboración de la mencionada tabla. En dicha tabla se muestra para cada aprovechamiento las características de la presa, del río, del embalse y de su capacidad de generación hidroeléctrica. Como se observa, la región cuenta con un recurso hidroenergético que podría duplicar el aporte actual al sistema eléctrico nacional.

La información aportada por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA), indica que la producción energética del último año (2010) tuvo la siguiente distribución de acuerdo a su origen, aportando la hidroelectricidad de la región 9,5% del total y 27,3% del total de energía hidráulica (Tabla 2).

### CONTROL DEL ESTADO SOBRE LA CUENCA Y LOS APROVECHAMIENTOS

La Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), creada en 1989, tiene por objeto entender - en el modo y con los alcances que se fijan en su Estatuto - en todo lo relativo a la administración, control, uso y preservación de las cuencas de los ríos mencionados, siendo su ámbito de actuación y jurisdicción el espacio geográfico que conforman dichas cuencas que abarcan una superficie de algo más de 121.000 km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente el 5% del territorio total argentino; en particular atiende todos aquellos aspectos relativos a las evaluaciones hidrometeorológicas y la gestión medio ambiental, fijando las pautas para la operación de los embalses; está integrada por las provincias de Neuquén, Río Negro y Buenos Aires, y por el Estado Nacional.

El Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP), creado en 1993, tiene por objeto lograr que las presas y sus estructuras conexas cumplan con los estándares internacionales de seguridad, tanto estructural como operativamente, con el objeto de proteger a la población y resguardar el patrimonio nacional, fiscalizando el cumplimiento de las normas de seguridad de presas establecidas en los contratos de concesión de aprovechamientos hidroeléctricos bajo su jurisdicción; para el cumplimiento de tal objetivo, desarrolla y actualiza la normativa técnica relativa a la seguridad de presas y fiscaliza la elaboración, ejercitación y actualización de planes de acción durante emergencia; depende del Ministerio de Planificación y Obras Públicas de la Nación.

### EL ROL DE LA GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA DE PRESAS

El proyecto y construcción de una presa requiere del cuidadoso análisis y procesamiento de las condiciones geológicas, topográficas e hidrológicas, siendo la determinación de las características del suelo o roca que conformará la fundación uno de los problemas de más difícil solución. Es por eso que el proyecto y construcción de un aprovechamiento hidroeléctrico requiere la ejecución de extensos estudios e investigaciones geológicas y geotécnicas que se desarrollan en sucesivas etapas (inventario, factibilidad, proyecto básico, proyecto ejecutivo e ingeniería de detalle) que van definiendo progresiva y gradualmente los criterios, cálculos, dimensiones, especificaciones técnicas y planos necesarios para construir.

La correcta caracterización geológica y geoestructural del macizo rocoso o suelo de fundación y sus parámetros resistentes e hidrogeológicos, como la de los materiales a utilizar durante la construcción, tienen una primordial relevancia para la seguridad de la presa y estructuras auxiliares. Para la determinación de los parámetros resistentes y hidrogeológicos del macizo rocoso, si bien es importante conocer las características geológicas del emplazamiento, resulta imprescindible determinar mediante detallados relevamientos la orientación, frecuencia y características de las discontinuidades de todo orden presentes en la roca (fallas, estratificación, diaclasas, foliación, etc.), como así también las características mecánicas de su relleno, y esto es así dado que las discontinuidades constituyen los planos de debilidad del macizo rocoso en su conjunto. En la medida que estas propiedades de las discontinuidades sean conocidas y evaluadas correctamente, será el grado de aproximación a la real capacidad resistente del macizo de fundación, la magnitud y dirección de su deformabilidad ante la aplicación de la carga del embalse y de la misma presa, como así también su grado de impermeabilidad y las características de su red de filtraciones.

Dentro del marco global de las ciencias geológicas, por el grado de detalle requerido en el desarrollo de la geología aplicada a la ingeniería de presas, podría definirse a este campo como «micro-geología».

Toda la información geológica y geotécnica necesaria para el adecuado diseño de una presa no es posible alcanzarla en las investigaciones previas a la misma ejecución de las obras, y es por ello que las hipótesis del proyecto deben ser complementadas y revalidadas permanentemente a medida que se ejecutan las excavaciones superficiales y subterráneas; es durante dichas excavaciones cuando pueden observarse en detalle las geoestructuras y generalmente se manifiestan detalles no descubiertos por la investigaciones previas. En la bibliografía internacional se encuentran innumerables casos en los que debieron aplicarse modificaciones importantes en el proyecto al ejecutar las excavaciones.

### SEGURIDAD DE PRESAS EN LA REGIÓN

Durante la segunda mitad del siglo pasado se registró un formidable avance de la ingeniería de presas, particularmente de la geología aplicada a la ingeniería y la



	CUENCA	NOMBRE	RÍO		PRESA		EMBALSE MÁXIMO NORMAL			FACTOR DE PLANTA	POTENCIA INSTALADA (MW)	PRODUCCIÓN ENERGÉTICA TEÓRICA				
			Nombre	Módulo (m <sup>3</sup> /s)	Tipo	Altura (m)	Longitud (m)	Cota (msnm)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )			Área (Km <sup>2</sup> )	(GWh/año)	(%)		
EN OPERACIÓN	1	Limay	Piedra del Águila	Limay	713,0	GHC	170,0	795,2	562,0	12400,0	292,0	0,45	1400	5500	14,52	
	2	Limay	El Chocón	Limay	722,0	MSZ	71,0	2212,0	381,0	20600,0	830,0	0,32	1200	3350	8,84	
	3	Limay	Alicurá	Limay	276,0	MSZ	120,0	880,0	705,0	3215,0	65,0	0,27	1000	2360	6,23	
	4	Neuquén	Portezuelo Grande	Neuquén	311,0	MSH	12,0	3427,0	427,0	10,0						
	5		Loma de la Lata		MSZ	17,0	3787,0	421,0	28100,0	411,5						
	6		Planicie Banderita		MSZ	35,5	545,0	413,5	13800,0	174,0		458	1510	3,99		
	7	Limay	El Chañar	MS	11,0	6285,0	340,3	34,5	10,1	0,56	69	336	0,89			
	8	Limay	Pichi Picún Leufú	Limay	694,0	CFRD	38,0	1045,0	479,0	197,0	19,0	0,47	261	1080	2,85	
	9		Arroyito		MSH	26,0	3500,0	314,9	296,0	39,0	0,68	120	720	1,90		
Subtotal											4508	14856	39,22			
ADJUDICADA (2010)	10	Neuquén	Chihuidos I	Neuquén	311,0	CFRD	105,0	1035,0	625,0	5496,0	186,0		637	1750	4,62	
	Subtotal											637	1750	4,62		
PROYECTO BÁSICO	11	Limay	Michihuao	Limay	689,0	MSZ	61,0	7090,0	457,0	5860,0	247,0	0,53	621	2869	7,57	
	12	Limay	Segunda Angostura	Limay	224,0	AGHC	70,0	153,0	766,5	2867,0	54,0	0,43	120	451	1,19	
	13	Neuquén	Covunco	Covunco	7,0	HCR	74,0	370,0	1203,0	90,0	6,0					
	14		Chihuidos II	Neuquén	311,0	HCR	65,0	859,0	538,9	1625,6	71,1	0,53	228	1052	2,78	
Subtotal											969	4372	11,54			
ESTUDIOS DE FACILIDAD	15	Limay	Collón Cura	C. Cura	364,0	MSZ	75,0	1370,0	650,0	3578,0	125,5	0,45	376	1492	3,94	
	16		Pantinitos	Limay	689,0	MSZ	21,0	10010,0	397,0	714,0	95,5	0,53	190	884	2,33	
	17		Senillosa		635,0	MSH	25,0	14370,0	298,0	142,3	23,9	0,70	101	618	1,63	
	18		Plottier		635,0	MSH	20,0	15270,0	284,4	62,0	12,1	0,65	102	578	1,53	
Subtotal											769	3572	9,43			
NIVEL DE INVENTARIO	19	Neuquén	Pini Mahuida	Neuquén	225,0	GHC	88,0	656,0	1035,0			0,50	320	1409	3,72	
	20		La Invernada		227,0	MSZ	89,0	599,0	950,0			0,50	320	1402	3,70	
	21		Cerro Rayoso		243,0	MSZ	69,0	871,0	769,0			0,50	261	1144	3,02	
	22	Limay	R de la Medialuna	Aluminé	173,0	GHC	100,0	545,0	875,0	822,0	24,9	0,48	270	1127	2,98	
	23		Talhelum		182,0	GHC	86,0	400,0	783,0	730,0	22,0	0,48	240	1080	2,85	
	24		Caleufu		Caleufu	51,0	MSZ	48,0	630,0	854,0	91,0	4,5	0,57	100	944	2,49
	25	Neuquén	Huitrin	Neuquén	245,0	MSZ	56,0	869,0	820,0			0,50	210	921	2,43	
	26	Limay	La Rinconada	C. Cura	222,0	GHC	61,0	740,0	705,0	922,0	36,7	0,49	200	860	2,27	
	27		El Chacayal	Chimehuín	124,0	MSH	93,0		750,0	1118,0	85,0	0,47	181	751	1,98	
	28	Neuquén	Covunco	Neuquén	35,0	GHC	185,0	756,0	1607,0			0,53	108	502	1,33	
	29		Buta Pailan	Agrió	106,0	MSZ	58,0	359,0	1088,0			0,50	94	415	1,10	
	30		Neuquén P-20	Neuquén	303,0	MSZ	16,8	12820,0	317,0			0,65	53	301	0,79	
	31		Atreuco	Varvarco	36,0	GHC	92,0	292,0	1425,0			0,54	54	257	0,68	
	32		Matancilla		45,0	GHC	85,0	371,0	1230,0			0,44	64	249	0,66	
	33		Coli Michico	Neuquén	105,0	GHC	32,0	154,0	1117,0			0,51	50	223	0,59	
	34		Huaraco	Neuquén	103,0	GHC	31,0	178,0	1145,0			0,51	48	213	0,56	
	35		Las Lajas	Agrió	58,0	MSZ	54,0	1385,0	740,0			0,50	48	209	0,55	
	36	Roblecillos	Neuquén	37,0	GHC	76,0	732,0	1327,0			0,50	46	201	0,53		
	37	El Mirador		255,0	MSZ	12,5	5550,0	272,5	5,3	2,2	0,46	44	176	0,46		
	38	Limay	Puesto de Paja	Malleo	26,0	MSH	97,0		880,0		17,5	0,48	38	161	0,43	
	39	Neuquén	La Salada	Curi Leuvú	18,0	GHC	116,0	736,0	997,0			0,50	34	150	0,40	
	40	Limay	Calfulen	Malleo	32,0	MSH	72,0		788,0	248,0	32,0	0,44	38	146	0,39	
	41	Neuquén	Cura Mileo	Neuquén	40,0	GHC	53,0	301,0	1208,0			0,49	34	146	0,39	
	42		Manzano Amargo		39,0	GHC	49,0	181,0	1254,0			0,51	30	133	0,35	
43	Los Guiones		Nahueve	43,0	GHC	45,0	499,0	1226,0			0,50	30	132	0,35		
44	Loncopue		Agrió	24,0	MSZ	47,0	347,0	962,0			0,52	16	73	0,19		
Subtotal											2931	13325	35,18			
Total											9814	37875	100,00			

Tabla 1: Aprovechamientos hidroeléctricos en Neuquén, clasificados según su grado de desarrollo y ordenados según su producción hidroenergética teórica. Referencias: Tipo de presa: MSH (material suelto homogénea); MSZ (material suelto zonificada); GHC (gravidad hormigón colado); CFRD (material suelto con cara de concreto); AGHC (arco gravidad hormigón colado); HCR (hormigón compactado a rodillo). Altura de presa: medida desde su fundación (o lecho del río en los inventarios) hasta su coronamiento. Longitud de presa: Incluye cierre frontal y lateral. Producción energética: se indica la teórica y su % respecto al potencial de la cuenca.

Origen	GWh	%
Térmico	66349.5	57.39
Hidráulico	40227.0	34.79
Nuclear	6691.6	5.79
Importación	2352.9	2.04
Total	115621.0	100.00
<i>Hidráulico Comahue</i>	<i>10908.9</i>	<i>9.50</i>

Tabla 2: Energía generada en el año 2010 (Fuente CAMMESA)

geotecnia. Las presas construidas en la región entre 1976 y 1999 y que se ubican entre las mayores del mundo, contaron con la participación de importantes firmas de ingeniería y el aporte de la mejor tecnología de la época que confluyeron en la obtención de elevados grados de seguridad, acordes con los más altos requerimientos de la práctica mundial. Es de destacar, por ejemplo, que la complejidad geológica en Piedra de Águila requirió el concurso de numerosos profesionales de la geología actuando en las diversas etapas y niveles (estudio, proyecto, ejecución, dirección y asesoramiento), y en el momento de mayor actividad intervinieron simultáneamente cuarenta y dos geólogos (Giuliani 1997).

El ORSEP es el control que tiene el Estado sobre las actividades del Concesionario que explota comercialmente cada una de las obras, estando obligado éste último por el Contrato de Concesión a mantener este importante patrimonio del Estado, en condiciones de operación y mantenimiento que satisfagan los requerimientos internacionales de seguridad para este tipo de estructuras. Con una periodicidad que depende del estado general de la obra (mínimo un año, máximo cinco años), todos los aspectos estructurales de las obras son auditadas por expertos de primer nivel internacional.

### ALGUNOS ASPECTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS

**Alicurá:** Presa de enrocado con núcleo impermeable de 120 m de altura, fundada sobre un macizo rocoso integrado por una sucesión de estratos de arenisca intercalados por capas fangolíticas (pelíticas) pre-cizallados, de reducida resistencia al esfuerzo de corte. El conjunto se encuentra afectado por una falla directa de rumbo perpendicular a las estructuras del vertedero y obra de toma, ubicados sobre un morro en margen izquierda. Aguas arriba de la falla los estratos son horizontales mientras que aguas abajo buzcan 25° hacia el pie de los taludes de más de 150 m de altura, necesarios para la implementación de la central y el propio vertedero. La adecuada comprensión de todos los aspectos del importante problema fue lograda en una etapa avanzada de la ejecución de las excavaciones, lo que no evitó que se produjera un deslizamiento de algo más de 120.000 m<sup>3</sup> en las excavaciones para el vertedero, dando cuenta de que las condiciones eran más desfavorables que las previstas durante las investigaciones previas. Este problema afectaba también al talud donde se apoyarían las tuberías forzadas que bajan a la central, y allí debió entonces aplicarse una fortificación de los estratos mediante largos anclajes postesados, complementados por una importante red de galerías de

drenaje en el interior del macizo para reducir las presiones hidráulicas que reducirían su resistencia al deslizamiento, y un moderno sistema de auscultación de las deformaciones que verifica la eficacia de las soluciones planteadas.

**Piedra del Águila:** Presa de hormigón colado de gravedad de 170 m de altura, fundada sobre un macizo rocoso relativamente sano, conformado predominantemente por andesitas porfídicas triásicas. Su particularidad geomorfológica es la presencia de un paleocauce en la margen izquierda, labrado sobre las rocas triásicas y relleno con sedimentos predominantemente fluviales y posteriormente cubierto a su vez por una sucesión de coladas basálticas miocénicas que superan los 40 m de espesor. La irrupción de estos basalto cortando aquel antiguo valle generó un enorme lago que, al desbordar sobre la parte más baja de la última colada y en su extremo distal sobre la ladera derecha del valle, comienza a labrar allí el cauce actual de más de 200 m de profundidad donde hoy se ubica la presa principal. Las filtraciones de aquel antiguo lago por el interior del relleno del paleocauce generaron, a partir de su afloramiento aguas abajo, una erosión retrogradante por deslizamientos circulares favorecidos por las subpresiones sobre una capa continua de unos 20 m de espesor de sedimentos areno arcillosos (tobas redepositadas) que conformaban un acuitardo o estrato de menor permeabilidad a media altura del espesor sedimentario fluvial, y que separaba un acuífero confinado inferior de otro libre superior. Esta erosión retrogradante se detuvo cuando se redujeron tales subpresiones por haberse desembalsado aquel antiguo lago, al profundizarse el valle actual; quedó conformado así una depresión circular denominada anfiteatro a pocos metros aguas abajo de la cerrada topográfica donde se emplazaría la presa.

La creación del lago artificial por la construcción de la presa, recrearía las condiciones que dieron origen a aquella sucesión de deslizamientos circulares retrogradantes a menos que se evitara regenerar las subpresiones dentro del acuífero inferior; para alcanzar dicho objetivo se diseñó dentro del material de relleno del paleocauce una barrera de impermeabilización mediante inyecciones (que a modo de dique enterrado redujera los caudales de filtración), un importante sistema de drenaje y bombeo aguas abajo (que permitiese eliminar las filtraciones y presiones remanentes), y un importante y moderno sistema de auscultación para controlar la evolución de filtraciones, presiones y deformaciones. Tal dique enterrado tiene unos 1200 m de longitud y 220 m de profundidad máxima, mientras que la presa principal de hormigón construida sobre el cauce actual tiene 850 y 170 m respectivamente.



A casi veinte años del llenado del embalse y la puesta en funcionamiento del sistema, la auscultación demuestra que el objetivo ha sido cumplido ampliamente.

**Pichi Picún Leufú:** Presa de enrocado con paramento impermeable de hormigón aguas arriba (CFRD) de 38 m de altura, fundada sobre un gneiss perteneciente al basamento precámbrico, migmatizado y pegmatizado, afectado además por alteración hidrotermal. El emplazamiento original, situado unos 6 km aguas abajo, debió ser abandonado por la intensidad del hidrotermalismo que provocó una enorme heterogeneidad en las características geomecánicas e hidrogeológicas del macizo de fundación. El sector del macizo gnéssico donde finalmente se construyó la obra tiene una menor afectación hidrotermal, no obstante lo cual durante las excavaciones se encontraron sectores afectados que provocaron inestabilidades en los taludes de excavación de la central y vertedero ubicados en margen derecha.

A doce años del llenado del embalse, el sistema de auscultación indica un excelente comportamiento de todas las estructuras.

**El Chocón:** Presa de enrocado con núcleo impermeable de 71 m de altura, fundada sobre un macizo rocoso conformado por estratos de arenisca fracturado en bloques de diferentes tamaños por descompresión del valle; tales estratos se encuentran intercalados por capas fangolíticas de espesores decimétricos. Estas rocas pertenecen al Subgrupo Río Limay del Grupo Neuquén (Cretácico Superior). Las discontinuidades de los estratos en muchas ocasiones se encuentran rellenas con yeso. Al saturarse la roca por efectos del llenado del embalse, las aguas blandas del río Limay pobres en sales comenzaron a disolver el yeso modificando la red de drenaje bajo la presa habilitando nuevos caminos. Este fenómeno provocó un aumento de las presiones internas y de los caudales de filtración capaces de inducir la gradual migración de las partículas arcillosas del núcleo impermeable, particularmente en zonas del contacto con la excavación rocosa de aguas abajo, donde el proyecto no había considerado la necesidad de colocar el filtro de arena que, en este tipo de presas, envuelve al cuerpo del núcleo para evitar dichas migraciones. De no atenderse esta cuestión y procurar su solución, el continuo progreso de la erosión interna del núcleo podría amplificarse conduciendo al asentamiento de ciertos sectores de la presa, degradando gravemente sus

condiciones de seguridad. Por otra parte, el talud de fuerte pendiente del estribo derecho (4V:1H) con discontinuidades naturales y aquellas provocadas por las voladuras, presentaba reducidas presiones efectivas entre el núcleo y la roca, lo cual favorecía las condiciones de rotura por arqueado de la presa, además de ser un sector de filtraciones mayores.

Es así que en 1982, a diez años del llenado del embalse, comienzan los cuidadosos trabajos de reparación que se prolongaron durante catorce años y consistieron básicamente en la reinyección del macizo de fundación con lechadas cementicias para sellar las vías de filtración. Debido a que forzosamente esta tarea debía ejecutarse sin vaciar el embalse, fue necesario excavar piques verticales y galerías de acceso a diferentes niveles y sectores para tratar el estribo derecho, y un túnel perforado en la roca a 20 m bajo la presa que atraviesa el macizo rocoso a lo largo de todo el valle; desde estos accesos se reconstruyó la pantalla de impermeabilización, se incrementó el drenaje aguas abajo de aquella para disipar presiones y se amplió el sistema de auscultación para adaptarlo a la nueva situación de la presa. A quince años de haber finalizado los trabajos, la auscultación muestra la eficacia de la reparación.

### Agradecimientos

A los siguientes organismos por la información brindada: Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC); Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO); Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP). Dirección Provincial de Recursos Hídricos de Neuquén (DPRH); Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH);

### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Valicenti, J.L. 2004, Cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro, Relevamiento de aprovechamientos hidroeléctricos. AIC Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (Informe inédito). Cipolletti.
- Valicenti, J.L. & Blasco, E.M.G. 1990. Sistematización de los niveles de estudios de aprovechamientos hidroeléctricos, Hidronor SA (Informe inédito). Cipolletti.
- Giuliani, L.F. 1997, El rol de la geotecnia en la seguridad de presas. Experiencias con obras del Comahue. Revista de la Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica, Boletín 33.