

CAI

120 AÑOS

1895 / 2015

Historias de la Ingeniería Argentina

3



Autoridades CAI

Presidente

Carlos Bacher

Vicepresidente 1º

Pablo Bereciartúa

Vicepresidente 2º

Antonio Gómez

Secretario

Horacio Cristiani

Prosecretaria

Diana Marelli

Tesorero

Gustavo Darin

Protesorero

Ángel Ferrigno

Historias de la Ingeniería

Argentina es una serie de tres publicaciones del Centro Argentino de Ingenieros con motivo de su 120 aniversario. Intenta dar cuenta de 16 obras o momentos emblemáticos donde la ingeniería argentina acompañó el desarrollo del país.

Dirección

Diana Marelli

Producción general

Pump

Diseño de Comunicación
Estratégica

Impresión

Gráfica Latina S.A.

Foto de tapa

Despegue del cohete que puso al ARSAT-1 en el espacio.

Las notas firmadas reflejan la opinión del o de los autores de la misma, siendo lo declarado de su exclusiva responsabilidad.

Prohibida la reproducción total o parcial de textos, fotos, planos o dibujos sin la autorización expresa del editor.

Nro. 03

Diciembre 2015

Acompañan al CAI en sus 120 años:



Un ciclo de cambios y avances tecnológicos

La aplicación de heterogéneas políticas económicas condicionó este período de la historia argentina. Pese a ello, resultó una etapa rica en innovaciones y avances que estuvo marcada por el impactante desarrollo de la tecnología, la energía nuclear y la industria satelital.

El contexto histórico de las últimas tres décadas y media en el país fue muy singular. Estuvo marcado por enfoques heterogéneos con políticas socioeconómicas sumamente variadas, que condicionaron de manera categórica el desarrollo industrial. Orientaciones neoliberales fluctuaron con políticas de corte popular, y también con determinaciones heterodoxas. Esto acortó los ciclos económicos, que oscilaron entre el auge y la recesión.

Pese a este escenario, la innovación y el progreso tecnológico imprimieron su sello. El desarrollo de la ingeniería nuclear y satelital, la revolución en comunicación y sistemas, o los descubrimientos en diferentes campos científicos, contribuyeron a insertar al país en una realidad mundial donde la globalización marcó sus términos.

En este período se potenció el plan nuclear con las centrales de Atucha y Embalse, afloró la produc-

ción de aluminio primario con Aluar, y se multiplicó la energía hidroeléctrica con El Chocón. Todas estas iniciativas, junto a obras de la envergadura del Puente Zárate - Brazo Largo, desafiaron las cíclicas crisis económicas. Pero también fue la época del despegue tecnológico. Primero con la televisión color, que nació en ATC, y luego con el surgimiento de la industria del sector aeroespacial que se tradujo en los beneficios de poner en órbita satélites propios. Ya sobre el último período se produjo la incorporación al mundo de Internet, y la informática en general, revolucionando las comunicaciones, el consumo y el entretenimiento.

Más allá de las diferentes políticas económicas que impactaron sobre la vida de la Nación, con aciertos y errores, con beneficios y desventajas, el país avanzó hacia una realidad diferente de la mano de las ideas y el progreso que trajo la ciencia y el desempeño de anónimos profesionales.

– **Objetivos:** La obra se realizó para controlar el curso del río, usar el agua para riego y para producción de energía.



Energía con visión de futuro

El Complejo El Chocón - Cerros Colorados dió empuje a una nueva visión en cuanto al aprovechamiento de los recursos naturales como fuente de energía y resultó una obra de ingeniería hidráulica de vital importancia para el desarrollo energético del país.

Ing. Juan Carlos Giménez

En 1967 se crea Hidronor (Hidroeléctrica Norpatagónica S.A.) formada con una participación del 51% del Estado Nacional y el resto por las provincias de Neuquén y Río Negro. El objetivo de la empresa era construir, a 75 km. de la ciudad de Neuquén, el complejo El Chocón - Cerros Colorados con el propósito de regular y mejorar la utilización de las aguas de los ríos Limay y Neuquén.

Con la construcción del complejo se buscó obtener: un control de las crecidas de los ríos Limay, Neuquén y Río Negro para proteger el valle, aguas abajo, de la acción destructora de las grandes crecientes; un aumento de la superficie de riego pasando de las 100.000 Ha. existentes a casi 1.000.000 Ha; y finalmente, la producción de energía eléctrica que sería producida en las centrales y consumida con prioridad en la región del Comahue y el excedente transportado a la zona Buenos Aires - Litoral.

El Complejo El Chocón - Cerros Colorados, en su proyecto original estaba integrado por: El Chocón, que comprende una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable, un evacuador de crecidas, un embalse sobre el río Limay y una central hidroeléctrica al pie de la presa; Cerros Colorados, que incluye un azud sobre el río Neuquén y obras de derivación en Portezuelo Grande, embalse en los Barreales, Cierres, Páinemil, dique y estructura de control Loma de la Lata, dique Mari Menuco, embalse en Mari Menuco, toma y canal alimentador y central hidroeléctrica en Planicie Banderita; y una Línea de Transmisión, de 500.000 voltios con subestaciones en El Chocón, Puelches, Henderson y Ezeiza, que constituirá el primer tramo de la Red de Interconexión Eléctrica Nacional.

A fines de 1967 comienzan los primeros movimientos de tierra en la obra, conjuntamente el asentamiento de los primeros obreros en la Villa Tem-

- _ 8.000 m³ es la capacidad de evacuación de las cuatro compuertas.**
 - _ 1.200.000 Kw. es la potencia total instalada de la central.**
 - _ 500 mts. de largo tiene el vertedero excavado en la roca.**
-

poraria. El 9 de enero de 1968 se coloca la piedra fundamental que da inicio a la obra.

Hidronor contrató a la empresa Consultora Italconsult Sofrelec y Harza para realizar la supervisión de obra en conjunto con Sir Alexander Gibb y Mertz & Mc Lellan. El consorcio formado entre la italiana Impregillo y la tucumana Sollazo comenzó la obra en 1968.

Se dinamita la barda de la provincia de Río Negro donde se construyó el vertedero y, en el enclaustramiento del muro con el vertedero, a su vez se dinamitan los seis túneles de paso de agua desde el edificio de toma hasta la Central, dentro de la barda de la provincia de Neuquén. Sobre la misma se construye el muro. Para construir esta obra nunca se cortó el curso del río, se desviaba de un lado a otro construyendo a su vez caminos de paso de una provincia a otra.

El muro de contención está construido con material suelto granulado (piedra, tierra, arena) todo existente en la zona, y en el centro tiene un núcleo impermeable de arcilla compactada, material traído desde el salitral. Tiene 400 metros de ancho en la base, 86 metros de altura, 10 metros de ancho en el coronamiento y 2.500 metros de longitud.

El vertedero se excavó en la roca y tiene aproximadamente 500 metros de largo. En su parte final cuenta con 20 dados disipadores que disminuyen la fuerza de caída del agua. Se utiliza para mantener el lago en su nivel normal en caso de crecidas del río. En la obra cabecera hay 4 compuertas radiales de acero estructural y chapa de 10 mm. de espesor mínimo. De 16.50 metros de alto por 15.50 metros de ancho, pesa entre 125 a 140 toneladas y tiene una capacidad de evacuación de 2.000 m³ por segundo c/u (8.000 m³ en total).

Las guías y estanco son de acero inoxidable y las guarniciones de material de elastómeros especiales. La guía pesa entre 30 a 50 toneladas, con una

fuerza de izaje de entre 60 y 80 toneladas. Los mecanismos de izaje de las compuertas son de entre 9 a 22 toneladas cada una.

La obra se realizó para controlar el curso del río, usar el agua para riego y para producción de energía. Para esto último se construyó el edificio de toma, el cual está realizado en cemento. En su parte inferior se encuentran las 6 tomas (de 10 m. de diámetro) donde comienza la tubería de presión de agua que llega hasta la Central. El desnivel o salto útil es de 61 mts. es lo que le da la velocidad al agua para mover a la turbina en la Central. La tubería tiene un diámetro de 10 mts. en donde se colocaron las virolas de acero. Brown Boveri (Francia) realizó el revestimiento de la tubería.

La Central está construida de hormigón en la parte inferior y la superior es metálica recubierta con vidrios, cerámicos y losetas. Cuenta con 6 grupos de turbinas tipo Francis de eje vertical con una potencia instalada de 200.000 Kw. c/u, que hacen que la potencia total de la central sea de 1.200.000 Kw. Los transformadores son monofásicos, cada uno tiene una potencia de 180 Mw: y una relación de transformación de 16/500 Kw. Los transformadores auxiliares, reactores en derivación más un equipo de tratamiento de aceite para los mismos son japoneses, Mitsubishi. El rodete de la turbina pesa 185 toneladas. y mide 6,35 mts. de diámetro. Los álabes miden 1,80 mts. de alto y se unen al generador por medio de un eje solidario de 6 mts. de alto, con 2 mts. de diámetro en la parte exterior y 1.80 mts. de diámetro en la parte interior. El generador tiene 21,50 mts. de diámetro, 790 toneladas de peso y su procedencia es alemana, de la firma Siemens.

Para la producción de energía, el operador de turno comanda la máquina desde la sala de control mayor accionando el sistema de lubricación de aceite,

El objetivo principal de la obra fue regular y mejorar la utilización de las aguas de los ríos Limay y Neuquén.

lubricando las partes más sensibles de la turbina, logrando así una apertura de álabes liviana. La turbina comienza a girar a 88 vueltas por minuto. Allí se produce un campo magnético de 16.000 voltios que pasan por los interruptores a los transformadores donde se elevan a 500.000 voltios de tensión que es lo que se lleva a la línea.

Tres líneas salen de la Central. Al llegar a la subestación 500, dos líneas parten hacia Ezeiza (Buenos Aires) donde se conectan al Sistema Interconectado Nacional y la tercera línea se conecta al sistema Interconectado Regional alimentando a la región del Comahue (Alto Valle).

El embalse, un lago artificial llamado Exequiel Ramos Mexía, ocupa una superficie aproximada del valle del río Limay de 830 km² y contiene un volumen total de agua de 20.000 Hm³. Su longitud máxima es de 68 km. y el ancho de 22 km., la profundidad máxima de 64 mts., la media de 24 mts. y la longitud de costa de aproximadamente 565 km. En el mes de diciembre de 1972 entró en servicio comercial la primera turbina de la Central El Chocón. Las obras concluyeron en el año 1977 con la habilitación del sexto generador. Con el objeto de optimizar el uso del recurso hídrico se inició en el año 1976 la construcción del dique compensador Arroyito, situado aguas abajo de El Chocón, sobre el río Limay, entrando en servicio comercial el primer turbogruppo en julio de 1983 y el tercer y último turbogruppo se habilitó en marzo de 1984. La eficiencia y la necesidad de esta obra se demostró en algunos años muy secos (1988, 1989, 1990, 1999) en donde la escasez fue controlada con éxito y permitió el riego de toda la zona afectada. Es de destacar, que todas estas obras se realizaron gracias a los estudios y proyectos de Ingeniería Hidráulica Argentina y la colaboración de algunos profesionales extranjeros.

Hitos

1890

Se inaugura el dique de San Roque, en Córdoba. Fue el primer dique en levantarse en Sudamérica.

1947

Se crea Agua y Energía, encargada de la producción, distribución y comercialización de energía eléctrica, así como la evaluación y construcción de obras de ingeniería hidráulica.

1967

Se crea Hidronor cuyo primer proyecto es el complejo El Chocón - Cerros Colorados.

1983

Inauguración de la represa Salto Grande, con 14 turbinas y una potencia instalada de 1.890 Mw.

1998

Inauguración parcial de Yacyretá - Apipé. Las obras se completaron en 2011 alcanzando una producción de 3.100 Mw.

Central Nuclear J. D. Perón, pionera en Latinoamérica

La Argentina ingresó al mundo de la generación de energía nuclear en la década del 70, luego del inicio de la operación de la entonces llamada Central Nuclear Atucha. Es un símbolo de excelencia, que continúa entregando 362 megavatios al mercado energético.

Ing. José Luis Antúnez

Fue en 1965 cuando comenzaron a realizarse los estudios de factibilidad para la construcción de una central nuclear en la Argentina. Casi una década más tarde, en junio de 1974, comenzaba su operación comercial la Central Nuclear Atucha I, hoy llamada Juan Domingo Perón, obra clave en la historia de la generación de energía en el país.

Se trata de la primera central nucleoelectrica de América Latina. Además de ser pionera, siempre fue un ejemplo de excelencia y performance admirable. Sigue operando hasta el día de hoy; cuenta con una potencia eléctrica bruta de 362 megavatios eléctricos, y se prepara para extender su vida útil por 16 años más a plena potencia. Desde sus comienzos, esta Central se destacó como escuela de formación de profesionales y técnicos en la operación de centrales nucleares, lo que permitió nutrir de personal a otros emprendimientos como las centrales nucleares Embalse y Néstor Kirchner-Atucha

II, y colaborar con otras plantas latinoamericanas.

La Central, que fue diseñada y construida por la firma alemana KWU (Kraftwerk Union), está situada a orillas del Río Paraná de las Palmas, a poco más de 100 km. de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a 11 km. de la localidad de Lima, partido bonaerense de Zárate. Cuando entró en operación, los cálculos de gestión y la fabricación de los elementos combustibles también estaban a cargo de KWU. En 1978 la Argentina comenzó a producir los primeros elementos combustibles y en 1979 personal de la Central se hizo cargo de los cálculos necesarios para esta gestión, reduciendo considerablemente los costos de producción.

Los indicadores de operación de la Central Nuclear Juan Domingo Perón la ubicaron en varias oportunidades entre las centrales más destacadas del mundo. La planta logró factores de disponibilidad superiores al 80 por ciento y factores de carga de más del 90%. Durante 2007, con un factor de carga del 93,10%,

- **Diseño:** La Central, fue diseñada y construida por la firma alemana KWU (Kraftwerk Union).



- _ **91.584.672 Mwh.** es la generación histórica de energía a junio de 2015.
- _ **99,5%** es el factor de carga utilizado por la Central en 2013/14.
- _ **41 años** de operación cumplió la Central en junio de 2015.

superó a su mejor antecedente porcentual obtenido en el período de generación de 1997 con un 92,91%. El diseño está basado en uno del tipo PWR (reactor de agua a presión) y la experiencia ganada en el prototipo alemán MZFR de 50 megavatios eléctricos. Esta Central pertenece al tipo de reactores PHWR (reactor de agua pesada presurizado), es refrigerada y moderada con agua pesada (D2O) y en un principio empleaba uranio natural (0,72%) como combustible. El recambio de combustible se realiza durante la operación normal, en estas condiciones a un promedio de 1,4 elementos combustibles por día de plena potencia. Actualmente, el núcleo del reactor está compuesto de 250 posiciones con canales refrigerantes. Dentro de cada uno de ellos se alojan los elementos combustibles que contienen el uranio en forma de pastillas de dióxido de uranio (UO₂) sinterizadas. En 1981, se iniciaron los estudios de prefactibilidad para usar uranio levemente enriquecido (0,85%) en vez de uranio natural. Esto implicó cambios en la física del reactor y en los elementos combustibles. Personal de Física del Núcleo de Nucleoeléctrica Argentina, en conjunto con grupos del área de combustibles de la Comisión Nacional de Energía Atómica, se encargaron de hacer los cambios necesarios y realizar los seguimientos, junto a revisores externos. Este proyecto recién comenzó a implementarse en 1993. El primer elemento combustible de este tipo se colocó en enero de 1995. En ese momento, comenzó un proceso gradual y continuo de reemplazo que finalizó en julio de 2001, cuando se extrajo el último elemento combustible con uranio natural. Además, la Central J. D. Perón se propuso optimizar el quemado de extracción y por lo tanto el consumo de elementos combustibles. Para ello, se realizó un cambio en la estrategia de movimientos de combustibles del reactor. Esto significó implementar un esquema denominado de

siete zonas de recambios con dos caminos de irradiación, en lugar de tres zonas, como era el original. El cambio trajo como consecuencia una mejora de un 7% en el quemado de la extracción. En términos prácticos esto significa que en 100 días de operación a plena potencia, en vez de utilizar 140 elementos combustibles se pasaron a usar 129. El resultado conjunto impactó directamente en la economía de generación, se pasó de un quemado de 6.000 a 11.000 megavatios día por tonelada de uranio y el consumo bajó de 1,40 a 0,72 elementos combustibles por día de plena potencia. La optimización de gestión de combustibles continúa con otra innovación: la utilización de elementos combustibles de 37 barras, una barra más que los originales. Durante marzo y abril de 2010 se colocaron en el reactor nuevos elementos combustibles de 37 barras, que progresivamente reemplazaron a los elementos de 36 barras. Este proyecto fue desarrollado por personal de Nucleoeléctrica Argentina y es el resultado final de un proceso orientado a optimizar el consumo de esos elementos y la gestión de combustible que diariamente es realizada en la planta. El trabajo se dividió en tres etapas. La primera consistió en irradiar 12 elementos combustibles para verificar su funcionamiento, en la segunda se irradiaron 100 y en la última se realizó el ingreso masivo de los elementos combustibles de 37 barras al reactor, llegándose a núcleo completo en junio de 2014. El nuevo diseño trae varias ventajas: Los elementos combustibles de 37 barras contienen mayor masa de uranio que mejora el quemado de extracción aproximadamente un 3%, bajando por lo tanto el consumo anual de elementos combustibles, y una menor masa de zircaloy que disminuye el costo de la fabricación. Además, este nuevo modelo produce una mejor distribución de la potencia total del reactor. Todos estos avances permitieron extender la vida útil de las piletas donde se almacenan los elementos

La Central cuenta con una potencia eléctrica bruta de 362 megavatios eléctricos, y se prepara para extender su vida útil por 16 años más a plena potencia.

combustibles irradiados. Se disminuyó el uso de la máquina de carga y bajó la dosis del personal para hacer los trabajos de mantenimiento.

La Central J. D. Perón ha permitido un importante ahorro de recursos naturales con menor impacto ambiental, colaborando con el cuidado de la capa de ozono y evitando el calentamiento de la atmósfera y la lluvia ácida.

La planta ha implementado prácticas de avanzada como las de garantía de calidad, seguridad industrial, mantenimientos preventivos y predictivos, análisis probabilísticos de seguridad y robótica en empresas de la zona, exigiendo a sus proveedores locales el cumplimiento de determinadas normas para su calificación. Al igual que todas las sedes de la empresa, dispone desde el año 2003, de la certificación de su sistema de gestión medioambiental, según la norma ISO 14001.

La promoción y realización de simulacros de emergencia en la zona de influencia es otro de los logros de la Central, que se ocupa de concientizar a la población acerca de la necesidad de organizarse y capacitarse para enfrentar cualquier tipo de siniestros que puedan presentarse en nuestra región.

Esta planta continúa produciendo energía eléctrica aplicando las prácticas utilizadas internacionalmente, recomendadas por la Organización Internacional de Energía Atómica, la Asociación Mundial de Operadores Nucleares y buenas prácticas aconsejadas por varios operadores. Se impulsa la búsqueda de la excelencia continua realizando talleres de trabajo y revisiones internas en la central con la participación de especialistas extranjeros. La exitosa operación de la Central Juan Domingo Perón es fruto de la unión de un diseño confiable, el desarrollo de los conocimientos de sus operadores y la implementación de tecnología de punta. El desempeño de esta planta ha sido un aporte significativo al mercado eléctrico nacional y un ejemplo en la aplicación de nuevas tecnologías con fines productivos.

Hitos

1965

Se realizan los primeros estudios de factibilidad para la construcción de la primera central nuclear de la Argentina y de América Latina.

1974

La Central Juan Domingo Perón inicia su operación comercial.

1978

La Argentina comienza a producir los elementos combustibles necesarios para la operación de la Central.

1993

Comenzó a implementarse el proyecto para la utilización de uranio levemente enriquecido.

2014

De septiembre de 2013 a septiembre de 2014 la Central mantuvo su operación ininterrumpida con un factor de carga del 99,5%.



- Puente Zárata - Brazo Largo. Planta de premontaje de las estructuras de acero.

Complejo ferroviario Zárate - Brazo Largo

Una de las mayores obras de la ingeniería civil argentina, que implicó un gran desafío técnico, operativo y financiero. Su ejecución permitió conectar la valiosa vía del Mercosur, reduciendo costos de transporte y carga.

Ing. Eduardo Baglietto

El complejo Ferroviario Zárate - Brazo Largo fue una obra trascendental en materia de puentes en el país y su ejecución implicó uno de los más grandes desafíos técnicos y profesionales. Sin duda se ubica entre las tres mayores obras de la historia de la ingeniería civil argentina, junto con la construcción de las presas de El Chocón y Salto Grande.

Se la pensó y diseñó a fines de la década 60 y se comenzó a trabajar en 1970. La construcción de esta monumental obra tuvo un sustancial impacto en el país al conectar dos regiones altamente productivas como la Mesopotamia argentina y la provincia de Buenos Aires. Creó una vía de comunicación internacional que acrecentó sensiblemente el intercambio comercial con países del Mercosur como Brasil, Uruguay y Paraguay, al tiempo que vinculó a las distintas poblaciones en la región.

Estos dos puentes atirantados, que se encuentran a unos 30 km de distancia entre sí, son producto de un esfuerzo ingenieril que permitió superar dos brazos del río Paraná -Paraná de las Palmas y Paraná Guazú-, cruzándolos con una autopista de cuatro carriles y una vía de circulación ferroviaria que agilizó la carga comercial.

La Dirección Nacional de Vialidad licitó la obra en base a un proyecto original del ingeniero Ricardo Morandi, de Italia, pero el consorcio Techint-Albano SC, que ganó la licitación, presentó una variante propia de diseño de los puentes principales que consistía en disponer el ferrocarril al mismo nivel que las calzadas carreteras. Esta opción evitó los cruces entre el ferrocarril y la carretera en los viaductos, y exigió menor longitud en los viaductos de acceso, reduciendo sus costos.

La realización de este complejo contó con el asesoramiento externo en cuestiones de diseño, entre

_550 mts. Es la longitud de cada uno de los dos puentes.

_US\$ 250 millones Es lo que costó construir este complejo sobre el Paraná.

_ 50 mts. Es la altura sobre el nivel de los ríos que tienen los puentes.

ellos el ingeniero Morandi, el profesor Fabrizio De Miranda y el estudio alemán Leonhardt y Andrä, pero tuvo un enorme aporte de tecnología nacional. Tanto el proyecto como la fabricación y su ejecución material se realizaron casi íntegramente en el país y con profesionales y técnicos argentinos. El componente importado, por todo concepto, ascendió a solamente 7% del valor contractual. La obra tiene características realmente excepcionales. Cuenta con más de 16 km de viaductos y dos grandes puentes de 550 metros de longitud cada uno. La gran altura de los puentes sobre el río (50 metros) exigió la ejecución de accesos carreteros de gran longitud, que alcanzan los 6,5 km. En la sección del ferrocarril, que admite menores pendientes, llegan a 10 km de longitud. Para resumir, sus dimensiones, su uso ferroviario y carretero, sumado al sistema de suspensión atirantado mediante cables de hilos paralelos, hacen del puente un prototipo a nivel mundial.

En su fabricación se utilizaron materiales de características nada convencionales hasta ese momento. La política de compras y suministros que se implementó para reducir al máximo las adquisiciones en el exterior tuvo un impacto en la industria local, generando nuevas tecnologías y líneas de producción. En especial la construcción de diversos prototipos, que luego dieron origen a nuevos elementos de producción standard como plantas dosificadoras de hormigón, elementos para sistemas de pretensado de vigas de hormigón, apoyos elásticos y rígidos para puentes, equipos hidráulicos especiales, bulones de alta resistencia, aceros especiales para armaduras, etc.

En cuanto al sistema estructural de los puentes, se optó por una viga continua, suspendida de cables aproximadamente rectilíneos, anclados en el extre-

mo superior de pilas de hormigón armado, a aproximadamente 70 metros por encima del tablero. Se trata de un esquema estático de puente atirantado, que resultaba el más adecuado desde el punto de vista técnico y económico. Este tipo de estructura presentaba características muy favorables, como la particular rigidez que se necesitaba para soportar las cargas ferroviarias, y la elevada resistencia a deformaciones torsionales del tablero que brinda el doble plano de cables verticales.

Un importante desafío fue la realización del cálculo y dimensionamiento de las estructuras, en virtud de las cargas actuantes. Por un lado surgió la singularidad de las relevantes cargas ferroviarias, que hacía imperiosa la resolución de la estructura espacialmente, hecho poco común en la ingeniería de puentes. Y por otro la elevada relación entre sobrecargas y cargas permanentes que obligó a realizar un profundo estudio de los fenómenos de fatiga y vibraciones.

Los cálculos dinámicos también significaron un esfuerzo técnico, ya que los puentes de grandes luces, por sus características elásticas y reducido valor de amortiguación estructural, son sensibles a las oscilaciones inducidas por el viento. Todo esto se superó en virtud pruebas y ensayos con túneles de viento, y con nuevos criterios de diseño.

El tablero de cada puente se encuentra totalmente suspendido de los cables. Estos cables están situados en dos planos verticales a cada lado del tablero, uno para el sector ferroviario y otro para el carretero. La disposición de cada plano es simétrica respecto al centro del puente. El extremo superior de cada cable está anclado a un elemento metálico que corona el extremo de las pilas principales, denominado sillín, y el

La obra resultó de una envergadura notable. Hay que tener en cuenta que se trabajó sobre una topografía particular, caracterizada por tierras bajas, inconsistentes y pantanosas.

inferior a una prolongación del tablero.

La gran mayoría de los cables están constituidos por un solo elemento. En cambio los que vinculan los extremos del tablero con el extremo de las pilas principales son múltiples y están formados por seis elementos en el sector ferroviario y tres en el carretero. También los que soportan el tramo central del lado ferroviario son dobles. Cada cable está constituido por hilos paralelos de 7 mm de diámetro, con una resistencia a rotura de 180 kg/mm².

Si se toma todo el complejo, la obra resultó de una envergadura notable. Hay que tener en cuenta que se trabajó sobre una topografía particular, caracterizada por tierras bajas, inconsistentes y pantanosas. Las fundaciones de los viaductos de acceso estaban compuestas, en general, por pilotes de gran diámetro vinculados superiormente por cabezales de hormigón armado.

Se enfrentaron además dificultades particulares que impuso el pilotaje en agua. Toda la operación debió realizarse desde medios flotantes, para lo que se dispuso un gran pontón que se constituyó en una verdadera isla flotante sobre la cual se ubicaron todos los equipos para la ejecución de la tarea. El montaje de la estructura de acero fue otro capítulo aparte que demandó equipamiento especial.

Construir este vital complejo llevó 5 años y costó 250 millones de dólares. Trabajaron más de 2.500 personas como mano de obra directa, y otra cantidad similar en subcontratos y proveedores. Una obra monumental, que hoy disfruta el país.

Hitos

1973

Puente General Manuel Belgrano, sobre el río Paraná, entre Resistencia y Corrientes.

1976

Puente Internacional Gral. San Martín, sobre el río Uruguay, conecta Entre Ríos con Uruguay.

1977

Complejo Ferroviario Zárate Brazo Largo, entre las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos.

1990

Puente Internacional San Roque González de la Santa Cruz, ferroviario sobre el río Paraná, entre Misiones y Paraguay.

2003

Puente Rosario - Victoria, sobre el río Paraná, entre las ciudades de Santa Fe y Entre Ríos.

- ARSAT-2: aun siendo más complejo, su construcción demandó menos horas de trabajo gracias a la experiencia adquirida con ARSAT-1.



Cómo llegamos al ARSAT

La construcción de los dos satélites geoestacionarios de comunicaciones ARSAT-1 y ARSAT-2, constituye un hito fundamental para el desarrollo espacial nacional y un logro de ingeniería de nuestro país, reconocido por el resto de los actores a nivel internacional.

Ing. Guillermo Benito

Gerente de Proyectos Espaciales de INVAP SE

Estos satélites tienen un plan de negocios asociado que los hace rentables en sí mismos, generando a lo largo de su vida útil un retorno que le permite a la empresa ARSAT S.A., recuperar la inversión inicial y generar ganancias. Particularmente en el caso de ARSAT-2, por su cobertura regional sobre toda América, es posible además la exportación de servicios de comunicación con la consiguiente obtención de divisas.

Adicionalmente al rédito económico, el hecho de haberlos desarrollado y construido en el país tiene beneficios adicionales muy importantes, como lo son el ahorro de divisas, la retención de recursos humanos altamente capacitados, la autonomía para gestionar nuestras necesidades planteando las soluciones más adecuadas a los intereses en materia de telecomunicaciones satelitales y la capacidad de exportación de este tipo de tecnologías. Argentina comenzó su actividad en materia espacial en la década del '50 con los primeros desarrollos de

cohetes llevados adelante por la Fuerza Aérea Argentina (FAA). El primer satélite argentino, el LUSAT-1 puesto en órbita en enero de 1990, fue desarrollado por AMSAT, una asociación de radioaficionados argentinos. Sin embargo, el desarrollo de las capacidades que hicieron posible a la Argentina tomar la decisión de diseñar y fabricar sus propios satélites de comunicaciones, inició en 1991 con la creación de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y el programa SAC de satélites de aplicación científica, llevado adelante en conjunto con la agencia espacial NASA de los EEUU.

En el marco del programa SAC se realizaron cuatro misiones, SAC-A, SAC-B, SAC-C y SAC-D, que le permitieron a nuestro país madurar la tecnología espacial en satélites de órbita baja (300 a 1.200 km de altura), con objetivos científicos y de observación de la Tierra para el monitoreo de los recursos naturales de nuestro territorio. En este programa, la empresa

- _ 7 años demandó la construcción del ARSAT-1 .**
- _ 36.000 Km de altura es la órbita final del satélite ARSAT-1.**
- _ 16 m es su envergadura con los paneles solares desplegados.**

estatal INVAP fue elegida por CONAE como contratista principal para la provisión de los satélites. La última de estas misiones, SAC-D/Aquarius, consistió en un satélite de 1.300 kg puesto en órbita en junio de 2011, con el objetivo principal de obtener el primer mapa global dinámico de salinidad de los océanos para mejorar nuestro entendimiento de los fenómenos climatológicos, meta que se cumplió con todo éxito. Paralelamente al desarrollo de estas capacidades, se fue gestando la necesidad cada vez más acuciante de actuar para retener una de las dos posiciones orbitales que fueran otorgadas a nuestro país por la Unión Internacional de Telecomunicaciones -el organismo especializado de la ONU que atribuye el espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a escala mundial-, ya que corría serios riesgos de ser reasignada a otro país por la falta de previsión e inversión de NahuelSat, empresa privada extranjera a la que Argentina había concesionado estas posiciones. Esta situación concluyó en el año 2006 con la ley de creación de la empresa estatal ARSAT S.A. en la órbita del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación, cuyo estatuto establece la misión de proteger y usufructuar estas posiciones orbitales con satélites desarrollados en el país. Los activos de NahuelSat y principalmente los profesionales que se capacitaron con la operación del satélite geoestacionario Nahuel-1, fueron transferidos entonces a ARSAT y de esta manera confluyeron las capacidades y la decisión política para iniciar, en el año 2007 con INVAP SE, el desarrollo del primer satélite argentino de comunicaciones ARSAT-1. Un satélite geoestacionario de comunicaciones representa nuevos desafíos respecto de los satélites de órbita baja para observación de la Tierra. La vida útil de diseño de estos satélites es de 15 años mientras que en los satélites de observación típicamente es de 4 a 6 años, con el agravante que representa el am-

biente de radiación considerablemente más agresivo para la órbita geoestacionaria que para órbitas bajas. Otra diferencia importante es que en el caso de los satélites de órbita baja, el vehículo lanzador deja al satélite directamente en su órbita final mientras que en los satélites geoestacionarios el lanzador los libera en una órbita de transferencia y es el propio satélite que debe propulsarse hacia su órbita final a 36.000 km de altura. Por último, el objetivo comercial de estas misiones hace que la gestión de riesgos y la disponibilidad operativa sean esenciales para que la inversión pueda ser asegurada internacionalmente. El satélite ARSAT-1 mide, en su configuración de lanzamiento, 2m x 2m x 4m de altura, pesa cerca de 3.000 kg y con los paneles solares desplegados alcanza los 16m de envergadura. Tiene cobertura sobre todo el territorio nacional en la banda de frecuencia Ku con una potencia de aproximadamente 3,5 kW. El desarrollo de este primer satélite demandó 7 años desde el inicio en 2007, hasta su lanzamiento en octubre de 2014. En su diseño y construcción se invirtieron más de 1,5 millones de horas de profesionales y técnicos argentinos trabajando sostenidamente en equipos multidisciplinarios. Requirió además un desarrollo importante en materiales, componentes y procesos para la industria espacial, destacándose la tecnología de fibra de carbono, el uso de tubos de calor embebidos, la adecuación de electrónica para el ambiente geoestacionario y el desarrollo íntegro del software de control y supervisión. El satélite ARSAT-2 es similar pero tiene cobertura sobre todo el continente americano en banda Ku y en banda C. Este satélite, aun siendo más complejo que el ARSAT-1, demandó menos de 5 años de trabajo y menos de 1 millón de horas en su desarrollo hasta el lanzamiento, gracias a la experiencia adquirida con el ARSAT-1. Otro aporte importante a las capacidades del sector espacial argentino que dejaron las misiones ARSAT-1

Las misiones ARSAT son un logro de la ingeniería argentina que ha alcanzado relevancia y respeto internacional.

y ARSAT-2, fue la creación de la empresa CEAT SA, Centro de Ensayos de Alta Tecnología. Anteriormente, los satélites construidos en el país se probaban en la facilidad de ensayos de satélites del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), en Brasil. Una campaña de ensayos de esta naturaleza demanda entre 6 y 9 meses intensivos de pruebas, tanto funcionales como ambientales (vibraciones, ciclado térmico en vacío y radiofrecuencia) y la logística necesaria para realizarlos fuera del país agrega un costo importante al proyecto. Pero el tamaño del ARSAT-1 resultaba incompatible con algunos de los equipos del INPE y por lo tanto se hubiera requerido trasladar el satélite para ser ensayado en Europa. En lugar de contratar esta campaña en el exterior, Argentina decidió capitalizarse, comprando los equipos para estos ensayos a través de la empresa ARSAT y construyendo la instalación donde montarlos conexas al edificio de integración de satélites de INVAP. Así se creó CEATSA, una sociedad entre ARSAT e INVAP para la realización de ensayos de alta tecnología, inicialmente orientada al sector espacial. Esta decisión se tomó en 2010 y en tiempo récord se construyó la obra civil, se adquirieron, montaron y calificaron los equipos, el personal y los procesos para poder iniciar a mediados de 2013 de manera confiable, la campaña de ensayos del ARSAT-1. En definitiva, las misiones ARSAT son un logro de la ingeniería argentina que ha alcanzado relevancia y respeto internacional y son el fruto de la construcción de capacidades a lo largo de años y de la decisión política de confiar en estas capacidades nacionales y potenciarlas. Es importante tomar conciencia de que los procesos de desarrollo son incrementales y para que se transformen en mecanismos de industrialización e inclusión social, es fundamental darles continuidad a través del tiempo, transformándolos en objetivos y políticas de estado de largo plazo.

Hitos

1961

Se lanza en la Pampa de Achala el Alfa Centauro, primer cohete argentino realizado por la Fuerza Aérea.

1990

En enero de 1990 se pone en órbita el primer satélite argentino, el LUSAT-1, desarrollado por una asociación de radioaficionados argentinos.

1991

Se crea la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)

2011

Se pone en órbita el SAC-D/Aquarius, satélite de 1.300 kg, con el objetivo principal de obtener el primer mapa global dinámico de salinidad de los océanos.

2014

Se pone en órbita el ARSAT-1 y en 2015, el ARSAT-2.



Centro Argentino de Ingenieros

Cerrito 1250

(C1010AAZ) Buenos Aires, Argentina

Tel.: (54 11) 4811 0570 / 4811 3630

www.cai.org.ar

***Y en este afán de bienestar para todos,
la ingeniería desentraña misterios,
utiliza leyes de la naturaleza, estimula la
creación de nuevos caminos.***

Ing. Roberto P. Echarte