

ESCLUSAS

1. Generalidades

Los canales no pueden salvar pendientes, como las carreteras y las vías del tren, pero pueden hacerse en varios tramos escalonados. Donde hay tramos a diferentes niveles, los barcos se transfieren de uno a otro mediante *esclusas*.

Las *esclusas* son una serie de compuertas diseñadas para que una embarcación pase de un nivel de agua a otro. Constituyen una sección del canal cerrada por compuertas en sus dos extremos y donde el nivel del agua aumenta o disminuye a voluntad mediante válvulas o aliviaderos hasta alcanzar el nivel de la parte más alta o el de la parte más baja; cuando el nivel de la *esclusa* se ha igualado con el del tramo del canal la compuerta correspondiente se abre y el barco entra o sale de la esclusa.

Las compuertas típicas son de doble hoja y se sitúan en los extremos del vaso, al que cierran, formando un diedro, de donde les viene la denominación de puertas "de mitra" con el ángulo obtuso a contra corriente, lo que permite que la presión del agua ayude a cerrarlas.

Desde el punto de vista de la ingeniería los aspectos fundamentales en el diseño de una *esclusa* son:

- ubicación planialtimétrica en el cuerpo de la presa
- determinación y diseño del sistema de llenado desde el punto de vista hidráulico
- el cálculo estructural resistente (cuenco)
- el diseño de las partes electro mecánicas (compuertas y sistema de bombeo)

El nivel factible de salvar con una sola *esclusa* ha ido creciendo con los años, siendo actualmente, en casos generales, de unos 35m.

Las *esclusas*, que se utilizan en la mayoría de los canales de varios tramos, tienen ciertos inconvenientes. Los costos de construcción y mantenimiento son muy elevados; cuando los barcos son de gran tonelaje, resulta difícil mantener el suministro de agua para alcanzar el nivel del tramo superior, y además se crean corrientes que tienden a igualar los niveles, lo que hace que se produzcan grandes pérdidas en los niveles superiores en cada operación.

2. Funcionamiento

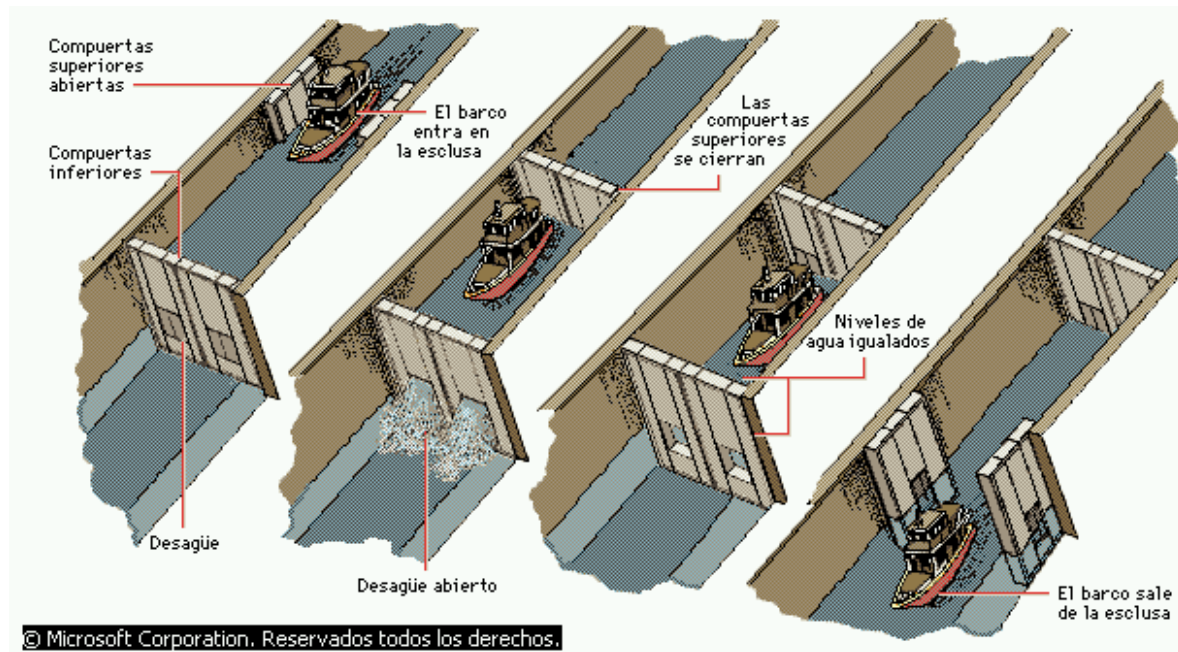
Estructuralmente la *esclusa* es un canal que comunica los niveles de agua aguas arriba y debajo de una presa, debiendo cumplir dos requisitos opuestos:

- que la *esclusa* se llene lo más rápidamente, en no más de 15 minutos, para no alterar el tráfico de buques y barcazas.

-que el llenado no sea tan rápido como para causar esfuerzos peligrosos en los cables de amarre de las embarcaciones, evitando que éstas choquen contra los muros o entre sí.

Durante el proceso de llenado, las embarcaciones presentan una escasa revancha bajo quilla, entrando agua con carga elevada. Durante el proceso de vaciado, esta situación no se presenta, por lo que la condición crítica se da durante el llenado.

El siguiente esquema explica el funcionamiento de la *esclusa*.



La operación de llenado y vaciado se hace a través de un sistema de conducción, ubicado en los muros de las esclusas y auxiliados por bombas. Es necesario disponer de estas últimas para uniformar la carga y la descarga.

Si las válvulas se abrieran en forma instantánea, una onda abrupta viajaría a lo largo de la esclusa y luego se reflejaría, sometiendo la embarcación a esfuerzos longitudinales que romperían las embarcaciones y las estrellarían contra las compuertas. Si la apertura es parcial, este desbalanceo es menor y se amortigua rápidamente, aumentando, sin embargo, el tiempo de llenado.

La presencia de embarcaciones produce efectos secundarios que obligan a estudiar el fenómeno mediante modelos físicos.

Los conductos de llenado y vaciado pueden colocarse en los muros laterales y/o en la losa de fondo con entradas ubicadas a todo lo largo de los muros para lograr un llenado y vaciado uniforme.

El tiempo de llenado se calcula en función de las fórmulas de orificio.

$$A \cdot dh = C \cdot F \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2} \cdot dt$$

Siendo A: área transversal de la esclusa

h: altura total de la esclusa

F: sección transversal de los conductos de llenado

C: coeficiente de descarga que varía entre 0.75 y 0.95, según el tipo de Llenado adoptado

Si las válvulas de la esclusa se abren en forma instantánea, el tiempo de llenado (T) vale:

$$-A \cdot dh / C F (2g)^{1/2} h^{1/2} = dt$$

$$\int dt \text{ (entre 0 y T) } = -A / (C F (2g)^{1/2}) \int h^{-1/2} dh \text{ (entre 0 y H)}$$

$$T_i = 2 A H^{1/2} / C F (2g)^{1/2} \quad \text{tiempo de llenado instantáneo}$$

Suponiendo, como es más lógico, que las válvulas se accionen de manera que el área F aumente linealmente con el tiempo y que la igualdad de niveles se logre antes de la abertura total de las válvulas se tiene:

$$A dh = C F t (2gh)^{1/2} dt / T_1$$

Para $t = T_1$ la válvula está totalmente abierta, para $t = T_1/2$, la abertura vale $F/2$

T_1 = tiempo de apertura de la válvula

$$-A T_1 / C F (2g)^{1/2} \int h^{-1/2} dh \text{ (entre 0 y H) } = \int t dt \text{ (entre 0 y T)}$$

$$T^2 / 2 = 2 A H^{1/2} T_1 / C F (2g)^{1/2}$$

$$T_{a.g.} = 2 (A T_1 H^{1/2} / C F (2g)^{1/2})^{1/2} \quad \text{tiempo de llenado con abertura gradual}$$

Resulta entonces

$$T_{a.g.} = (2T_1)^{1/2} T_i.$$

Existe una tercera condición de llenado, aquella en la cual la igualdad de niveles se logra después que la válvula esté totalmente abierta.

En este caso se tiene:

$$T \text{ llenado} = T_1/2 + 2 A H^{1/2} / C F (2g)^{1/2}$$

En la práctica se fija T del orden de los 15 minutos y se calcula F.

Canal de Panamá

Como obra colosal de ingeniería se debe mencionar el funcionamiento de las esclusas del *Canal de Panamá*.

Las compuertas deben moverse con facilidad y al mismo tiempo soportar una enorme presión. Poderosos brazos de acero conectan las hojas de las compuertas de las esclusas a enormes engranajes maestros empotrados dentro de las paredes de las esclusas. Cada engranaje maestro de 20 pies de diámetro, colocado horizontalmente, es movido por un motor eléctrico. Cuando están en operación, el engranaje y el brazo funcionan como la rueda y la vara conectora de la locomotora de un ferrocarril al abrir y cerrar las compuertas.

En las esclusas de Miraflores, cada cámara de las esclusas, excepto las de las esclusas inferiores, tiene un juego de compuertas intermedias. El propósito de estas compuertas es conservar agua al reducir el tamaño de la cámara, si el barco en tránsito no es uno de los gigantes Panamax y puede ser acomodado dentro de una cámara de 600 pies.

Las compuertas del Canal con mayor tamaño son las que se encuentran en el último nivel de las esclusas de Miraflores y son éstas las que soportan las mareas del Océano Pacífico. En el lado del Pacífico hay tres escalones, dos se encuentran en Miraflores y el otro restante en las esclusas de Pedro Miguel, luego en el Atlántico hay otros tres escalones todos localizados en las esclusas de Gatún.

Las compuertas se mueven como puertas dobles. La construcción hueca e impermeable de las mitades inferiores las hace flotar en el agua, reduciendo grandemente el trabajo de las bisagras.

Las naves que van hacia el Océano Pacífico suben en las esclusas de Gatún hasta unos 85,54 pies sobre el nivel del mar y los bajan en los tres escalones siguientes en las dos esclusas siguientes.

Cada cámara de las esclusas tiene la misma medida de 110 pies de ancho por 1000 pies de largo, con dos vías cada una.

El agua es de vital importancia para poder llenar o vaciar cada escalón del Canal; para lograrlo se alimenta mediante gravedad desde el Lago Gatún, que es uno de los cuerpos de agua artificiales más grandes del mundo. El agua entra y sale por enormes túneles que corren a lo largo de las paredes centrales y laterales de las esclusas.

Los túneles principales se comunican con alcantarillas que están debajo del piso de la cámara, y cada alcantarilla se comunica con el piso por medio de grandes orificios. Cada cámara tiene 105 orificios por donde entra o sale el agua según se abran o cierren las enormes válvulas.

Las válvulas rectangulares controlan el flujo de agua en los túneles grandes y válvulas cilíndricas controlan el paso del agua a las alcantarillas. Para llenar las cámaras, las válvulas que se abren son las del extremo superior y se cierran las del extremo inferior, así el agua fluye de manera uniforme, sin turbulencias que puedan mover al barco. Aproximadamente en ocho minutos entran o salen 26,000,000 de galones de agua para que una nave pueda subir o bajar los escalones.

3. Esclusas en la República Argentina (existentes o en etapa de proyecto)

3.1 Yacyretá

En la República Argentina hay una única esclusa en funcionamiento en la presa de Yacyretá, 90 km aguas abajo de Posadas, al norte de la Provincia. de Corrientes, sobre el río Alto Paraná.

Para la construcción del complejo se necesitó cerrar el río, embalsarlo con una presa y de esta forma elevar el nivel de las aguas.

Esta altura así ganada, permite descargar el agua con gran fuerza a través de las turbinas que se utilizan para la generación de energía hidroeléctrica.

Con 67 km. de presa se forma un embalse de 1.600 km² (9 veces la superficie de Bs. As.) Este lago artificial cambió el paisaje de la zona. Bajo sus aguas quedaron las islas Talavera y un 80% de la isla Yacyretá.

En la zona, de fondo rocoso, previo a la construcción de Yacyretá, existían muchos rápidos y las barcazas se traccionaban. Con la presa se inundaron los rápidos y por el efecto de embalse se creó un gran lago, sin problemas de profundidad para las barcazas. Aparecieron los problemas del viento soplando sobre un espejo de agua, es decir el oleaje corto, que constituye un problema para las embarcaciones fluviales que no están preparadas para soportarlo.

La esclusa permite salvar un desnivel máximo de 24m. Su estructura permite el paso de embarcaciones de hasta 12 pies (3.6m) de calado. Puede acceder un tren de 4 x 2 barcazas. La barcaza tipo que se utiliza en el Río Paraná es la barcaza del Río Mississippi que tiene una eslora de 60m y una manga de 12m con una capacidad de carga de 1500 toneladas base trigo

Las características más relevantes de las esclusas son las siguientes:

Navegación

Calado máximo	12 pies
Gálibo (Q= 35.000m ³ /seg)	21,50m
Tiempo de esclusado	45m
Dimensiones	
Long. útil total cuenco	270m
Long. útil cuenco	236m
Ancho cuenco	27m

Cota de coronamiento	86m
Operación	
Desnivel máximo	23,60m
Volumen esclusado	160.000m ³
Compuertas	
Aguas arriba	plana a rodillos
altura	9.0m
Aguas abajo	busco
altura	30,3m
Producción máxima de energía	20000GW/h

Ubicación:



3.2 Salto Grande

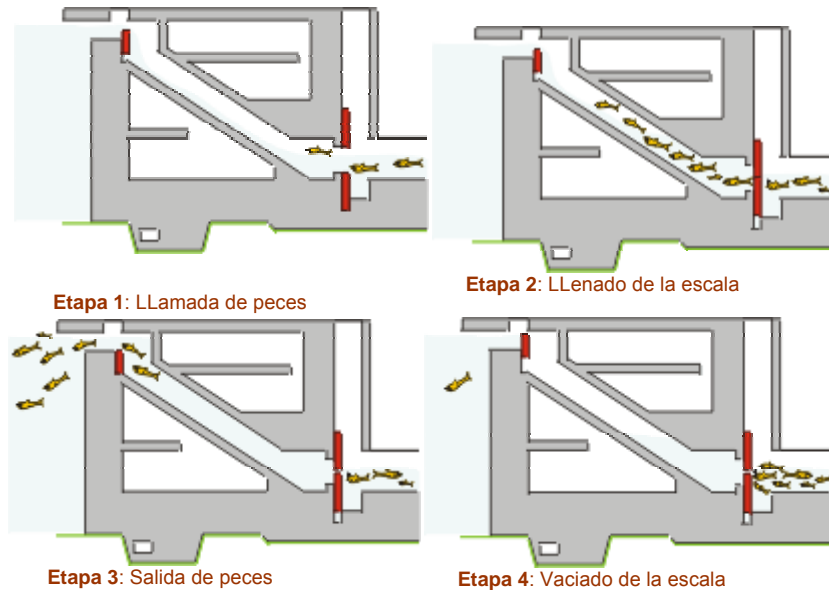
El complejo de Salto Grande se encuentra ubicado al norte de las capitales de Argentina y Uruguay (a 450km de Buenos Aires y 500Km de Montevideo)

El Salto Grande era una zona de rápidos y desniveles rocosos, en el Río Uruguay. En 1946 se firmó el Convenio Binacional por el que se formó la Comisión Técnica de Salto Grande, formada por integrantes de Argentina y Uruguay. La obra se inició en 1974 y en 1979 comenzó a generar electricidad.

La central está equipada con 14 generadores accionados por turbinas tipo Kaplan y un vertedero central de 19 compuertas radiales a accionamiento hidráulico. Posee dos descargadores de fondo para crecidas excepcionales.

En el coronamiento, aguas arriba de la presa, se encuentra el puente internacional ferroviario.

Se dispone de escala de peces, una por margen, con esclusas automáticas.

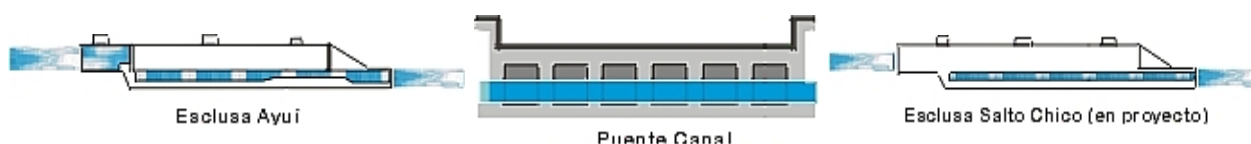


El canal de navegación (proyectado) a construir sobre la margen argentina tiene como propósito prolongar la navegación del Río Uruguay, en 144 km aguas arriba de Concordia y Salto, trasponiendo la presa, para embarcaciones de hasta 9 pies de calado.

El sistema de navegación en proyecto consta de:

1. Esclusa de Ayuí, cuyas obras civiles ya fueron totalmente ejecutadas y sólo falta el equipamiento electromecánico.
2. Canal de navegación: tiene una longitud aproximada de 13 km entre ambas esclusas y se construye sobre una planicie aluvional adyacente al Río Uruguay. En cada extremo del canal se incorpora una zona de espera para las embarcaciones. Los conductos del sistema hidráulico permiten el ingreso y la salida de agua de las esclusas.
3. Esclusa Salto Chico

Se analizaron 16 alternativas. Finalmente se adoptó la solución indicada, manteniéndose la binacionalidad de su ubicación.



Las características más relevantes son las siguientes:

Embalse

Cota nominal del embalse	35,00 mts
Área del embalse	783,00 km ²
Volumen del embalse	5.500,00 hm ³
Longitud del embalse	140,00 km
Ancho máximo del embalse	9,00 km aprox.
Caudal medio del río Uruguay (Serie histórica)	4.622,00 m ³ /seg.
Caudal máximo registrado (desde 1898)	37.714,00 m ³ /seg. (09/06/92)
Caudal mínimo registrado (desde 1898)	109,00 m ³ /seg. (03/02/45)
Capacidad total de evacuación de la obra	64.000,00 m ³ /seg.

Obras civiles

Longitud total de la presa	2.486,70 mts
Casa de máquinas	2 (una por margen)
Edificio de mando, aguas abajo	2 (uno por margen)
Descargadores de fondo	6 (tres por margen)
Vanos de vertedero	19
Escalas de peces	2 (una por margen)
Compuertas escalas de peces	4
Cota puente ferrovial	+ 39,50 m
Volumen de hormigón de la represa	1.500.000 m ³
Volumen del movimiento de tierra para la presa de margen	1.800.000 m ³

izquierda	
Volumen del movimiento de tierra para la presa de margen derecha	1.300.000 m ³
Volumen total de excavación	2.500.000 m ³
Profundidad máxima excavada en el lecho del río	30,50 m

Obras para la navegación

El sistema de navegación a construirse consta de un canal y dos esclusas que salvan un salto de agua de 33m	
Long. del canal con las dos esclusas	13,5km
Long. total de la esclusa aguas arriba	282m
Longitud total de la esclusa aguas abajo	253.5m
Long. útil de cada esclusa	135m
Ancho de cada esclusa	24m
Salto total	33m
Ancho en el fondo del canal	60m
Profundidad mínima sobre piso de esclusas	4m

Ubicación



3.3 Presa de Corpus

En 1979 fue suscripto el Acuerdo Tripartito sobre Corpus e Itaipú, por los gobiernos de Argentina, Brasil y Paraguay, a través del cual se fijó el nivel máximo de 105m sobre el nivel del mar.

Actualmente, se encuentran en análisis dos alternativas, denominadas Pindo-í e Itacurubi

El proyecto Pindo-í se localiza a la altura del km 1616 del Río Paraná. Se prevé la instalación de 20 turbinas Kaplan. Se ha previsto la instalación de un sistema de transferencia de peces. Inmediatamente hacia la derecha se ubica la esclusa de navegación, con dimensiones iguales a la de Yacyretá, que permite el paso de un tren de 6 barcas, alineadas de a dos respecto al remolcador. Entre la isla y la margen derecha se ubicó el vertedero de 130m de largo, con 28 vanos equipados con compuertas radiales de 15m x 20m y un cuenco amortiguador de 120m de longitud, con capacidad para evacuar 95.000m³/seg

El proyecto Itacurubi se ubica en el Km 1641, en una amplia zona del Paraná. El vertedero, de iguales dimensiones que el de Pindo-í, se ubicó en el centro del cauce. A cada lado se ubican sendas centrales, cada una con 10 grupos generadores de 144 Mw, que totalizan, al igual que la otra alternativa, una potencia instalada de 2880 Mw. Se prevé también un sistema de transferencia de peces. Sobre la margen izquierda se ubica la esclusa de navegación, de iguales dimensiones a la de Pindo-í. Dada la topografía del sitio, se podría también colocar en la otra margen.

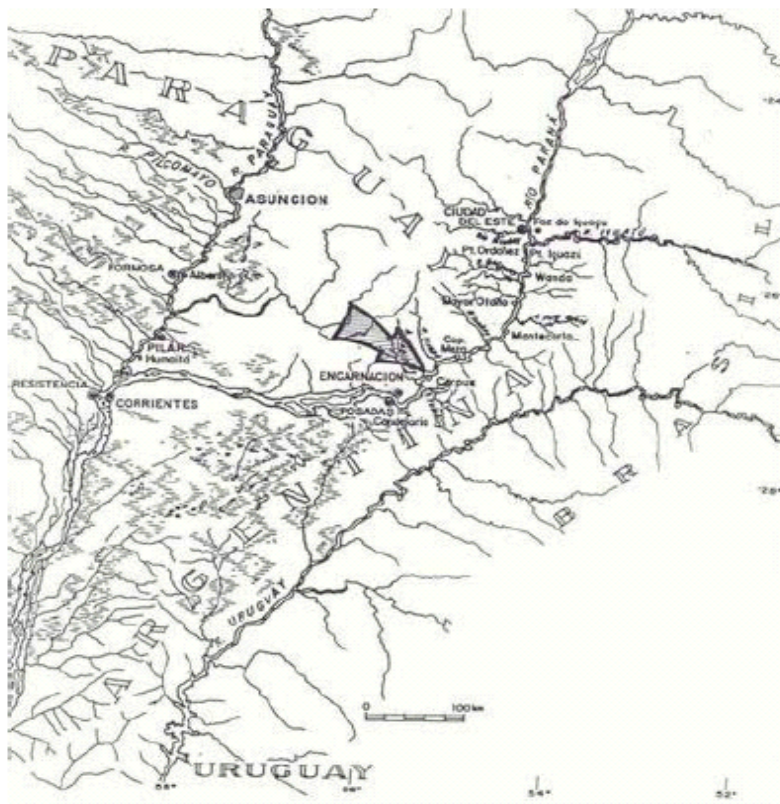
Las características más relevantes de ambas alternativas son las siguientes:

	PINDO-Í	ITACURUBI
Progresiva	Km 1656	Km 1641
Localidad argentina más cercana	Corpus	San Ignacio
Longitud total del cierre Estructuras de hormigón Presas laterales	2080m 1400m	2010m 1620m
Potencia instalada	2880 MW 20 grupos Kaplan de 144MW	
Generación media anual	19000GWh	
Casa de máquinas	1 con 20 grupos generadores	2 con 10 grupos generadores
Estructuras		
Aliviadero	Capacidad: 95.000m ³ /seg (con 3m de sobrecarga) 28 vanos	

Esclusa de navegación	Calado: 12 pies Manga: 27m Capacidad: 6 barcazas de 1500TPB y remolcador
Transferencia de peces	Estructuras ubicadas en los extremos de cada canal
Presas laterales	Materiales sueltos, núcleo impermeable y protección de rip rap

Itacurubi alternativa a bulbo: longitud de cierre 1720m + 1500m
 aliviadero con 26 vanos
 2 casas de máquina con 24 grupos generadores

Ubicación



3.4 Proyecto de presas en el Paraná Medio

En 1972 Agua y Energía de la Nación comenzó los estudios básicos para la utilización integral del Paraná Medio. A sus efectos se creó la Jefatura de Estudios y Proyectos Paraná Medio, con sede en la ciudad de Santa Fe.

Esas obras cambiarían profundamente los métodos de navegación en el río Paraná e influenciarían seguramente en forma considerable la economía de la zona.

La propuesta de esta Jefatura comprende dos alternativas:

- Presa y embalse de Chapetón o Cierre Sur

Está localizada en el kilómetro 630 a contar desde la desembocadura del Río Paraná al Río de La Plata. Es una presa de uso múltiple, energía, navegación, riego y recuperación de tierras actualmente sujetas a inundaciones. Desde el punto de vista de la navegación la presa creará un embalse de gran longitud, llegando su remanso al pie del segundo proyecto del Paraná Medio. Permitirá extender la navegación hacia aguas arriba por barcos de ultramar. Las esclusas tendrán capacidad para el pasaje de barcos de por lo menos 12 000 toneladas. Este proyecto se encuentra en fase de proyecto definitivo y en los primeros meses de 1982 se llamó a licitación para la confección del cronograma de obras. Este aspecto es sumamente crítico pues las mismas no deben afectar la navegación del río Paraná.

- Presa y embalse de Machuca Cué ,Patí, o Cierre Norte

Se encuentra localizada en el km 915. Hasta el momento solo se han realizado los estudios preliminares, Conjuntamente con la presa de Chapetón permitirán la entrada de los barcos de ultramar hasta la confluencia del río Paraguay.

La considerable longitud de los embalses determina un fetch suficientemente grande como para permitir la formación de olas que dificulten la navegación de barcazas por empuje. La solución a este problema sería la utilización de barcazas fluviomarítimas las que cubrirían el tramo hasta Confluencia. Aguas arriba se deberían utilizar barcazas de empuje y efectuar un trasbordo en esa zona. Sin embargo el estudio de la solución técnica más aconsejable para la navegación en todo el sistema de la Cuenca del Plata aún no ha sido definido.

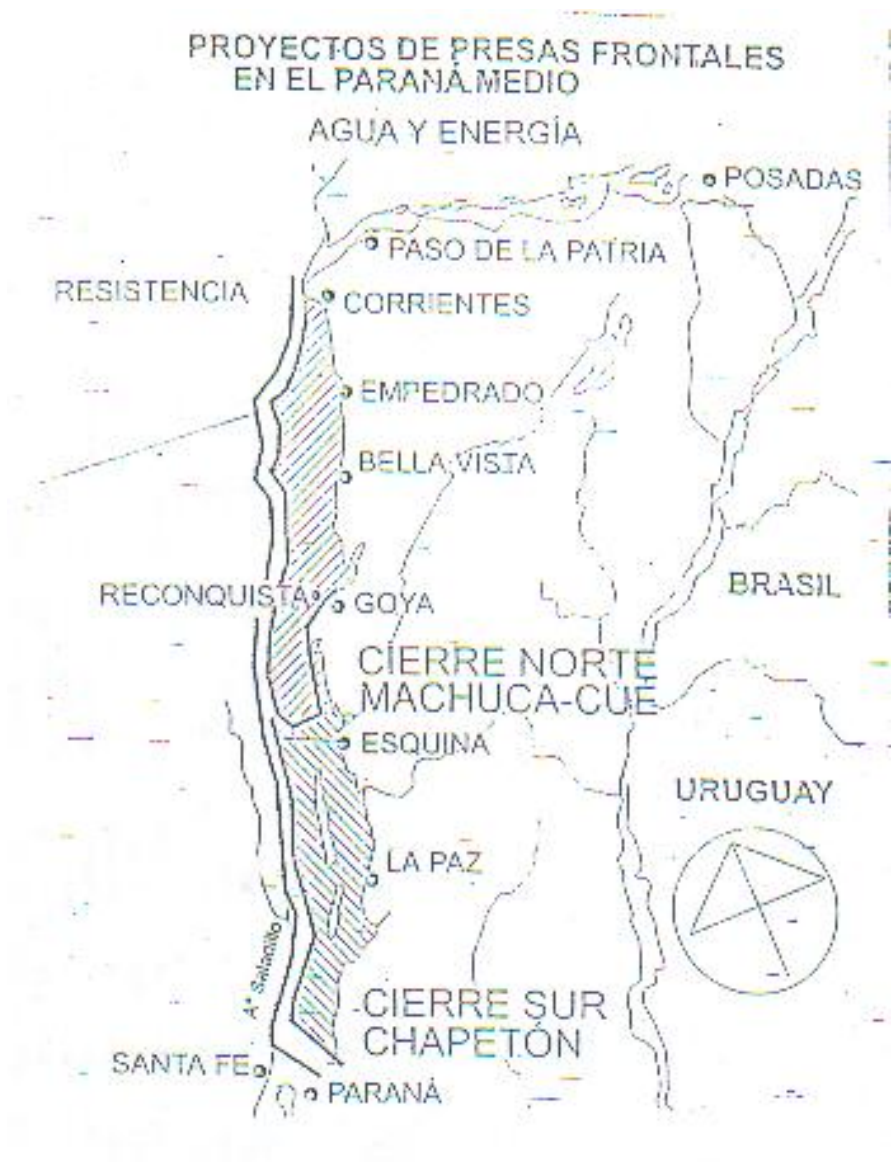
Ese estudio debería ser encarado conjuntamente por los países interesados e incluir también el sistema de transporte multimodal, carretero y ferroviario, alimentadores de la red de navegación fluvial, y los puertos existentes y los que pudieran surgir del estudio.

Las características más relevantes son las siguientes:

PRESA	Chapetón	Patí
Desnivel	14,5m	14,5m
Largo	340 a 400m	340 a 400m
Ancho	39m	39m
Profundidad de la esclusa	6,40m	6,40m
Capacidad a instalar	3000MW	3000MW

Capacidad de generación	18578GWh/año	18578GWh/año
-------------------------	--------------	--------------

Ubicación



4. Referencias bibliográficas

-Apuntes de la materia Hidráulica Aplicada (Facultad de Ingeniería, U.B.A.)

-Búsqueda avanzada en Internet:

.www.saltogrande.org/saltogrande/canalde/htm

.www.nautigalia.com/panamacanal/index1.htm

.www.energia.mecon.gov.ar/publicaciones/htm

.www.centros5.pntic.mec.es/ies.sem.tob/funcionamiento.htm

-*Enciclopedia Encarta 2002* , Microsoft

-*Geoestrategia para la Integración Regional*, Nicolás Boscovich, Editorial de Ciencia y Cultura, República Argentina, 1999