Ministerio de RELACIONES EXTERIORES

GOBIERNO NACIONAL

Paraguay de la gente

# Informes

# Grupos de Trabajo

Grupo de Trabajo Técnico
Grupo de Trabajo Comercial
Grupo de Trabajo Económico
Grupo de Trabajo Jurídico

Marzo, 2022 / Número 5

## Contenido

## Seguridad energética y navegabilidad

**GT.T – 01** “Ampliación de la capacidad de generación de ITAIPU, nuevas unidades generadoras”

**GT.T – 02** “Flexibilización del Acuerdo Tripartito entre Paraguay, Brasil y Argentina”

**GT.T – 03** “Elevación del nivel operativo máximo del embalse de ITAIPU de 220,50 a 221,50 m.s.n.m.”

**GT.T – 04** “Compendio de los Informes N° 01, 02 y 03 del GT.T”

**GT.T – 08** “Modelo para la Operación Hidroenergética de la Cascada del Río Paraná”

**GT.J – 09** “Análisis sobre la potestad de las Altas Partes Contratantes para denunciar el Tratado de ITAIPU”

# *NEGOCIACIONES SOBRE EL TRATADO DE ITAIPU*

## *GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO*

## *INFORME Nº GT.T – 01*

***ASUNTO**: "Ampliación de la capacidad de generación de ITAIPU, nuevas unidades generadoras"*

***Fecha: 21.04.2020***

## GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO

## Informe Nº GT.T – 01

**Fecha:** 21.04.2020

**Asunto:** ***"Ampliación de la capacidad de generación de ITAIPU, nuevas unidades generadoras"***

**Participantes:**

Ing. Ubaldo Fernández, Coordinador, representante de ANDE; Coordinador del GT.T

Embajador Federico González, representante del MRE;

Ing. Leopoldo Lamas, representante de COMIP;

Ing. Martin González, representante de COMIP;

Ing. Felipe Mitjans, representante del VMME;

Ing. Luis Valdez, representante de Itaipu;

Ing. Hugo Zárate, representante de Itaipu.

---

### 1. Objeto

Analizar las informaciones disponibles sobre la posibilidad de Instalación de unidades adicionales en la Central Hidroeléctrica de ITAIPU.

### 2. Asuntos evaluados

Situación actual, la localización tentativa, el cronograma de implantación, el costo estimado del emprendimiento y el análisis eléctrico y energético.

### 3. Informaciones utilizadas

Informes de la Junta del Board de Consultores de ITAIPU 2006 a 2018, Relatorios de Información y Análisis Técnicos, Notas Técnicas de la Superintendencia de Operación de Itaipu, Plan Maestro de Generación y Transmisión – periodo 2014- 2023 de la ANDE.

### 4. Descripción y Desarrollo

#### 4.1. Introducción

A partir de las recomendaciones del Board (Junta) de Consultores Civiles del año 2006 sobre buscar

alternativas para el aumento en la generación de energía eléctrica, se realizaron los estudios hidrológicos a través de consultorías específicas contratadas por la ITAIPU Binacional.

En los estudios de la revisión de la Crecida Máxima Probable (CMP), se confirmó el aumento del caudal del río Paraná en ITAIPU debido a la alteración del uso del suelo ocurrido en las últimas décadas en la cuenca de influencia y a los cambios climáticos (serie de precipitaciones, etc.).

De esta forma, los caudales excedentes que serían eventualmente vertidos sugieren la instalación de unidades adicionales para aumentar la generación, aprovechando la mayor afluencia de agua en los meses lluviosos y, además, tener disponibilidad de potencia ampliada para las horas de máxima demanda de los sistemas paraguayo y brasileño.

### 4.2. Situación actual

En desarrollo en el Área de Ingeniería de ITAIPU, la Especificación Técnica para la contratación de los servicios del Estudio de Factibilidad y del Proyecto Básico.

Actualmente, por razones de priorización de su portafolio de proyectos, la ITAIPU ha suspendido temporalmente la elaboración de la citada Especificación Técnica.

### 4.3. Localización tentativa

Como parte de los estudios realizados para la elaboración de la propuesta se estudiaron diferentes alternativas para la instalación de nuevas unidades generadoras, sugiriéndose finalmente que la mejor localización para implantación del aprovechamiento es en la Margen Derecha (MD) entre el Vertedero y la Subestación Margen Derecha (ver figura en anexo) debido a:

- Los impactos en las estructuras existentes serían nulos;
- No interferirá en la generación;
- Facilidad para la ejecución de las obras civiles y electromecánicas debido a que los trabajos se realizarán en seco hasta la apertura del canal de aducción.

### 4.4. Cronograma de implantación

| | AÑO 1 | | AÑO 2 | | AÑO 3 | | AÑO 4 | | AÑO 5 | | AÑO 6 | | AÑO 7 | | AÑO 8 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Especificación técnica** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Contratación proyecto básico** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Elaboración del proyecto básico** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Licitación del emprendimiento** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Proyecto ejecutivo + emprendimiento** | | | | | | | | | | | | | | | | |

### 4.5. Costo estimado del emprendimiento

| Ítem | Descripción | Costo estimado US$ |
|---|---|---|
| **1** | Canal aductora | 1.200.000.000 |
| **2** | Casa de máquinas | |
| ***2.1*** | *Equipos (Generadores)* | *250.000.000* |
| ***2.2*** | *Obras civiles* | *40.000.000* |
| ***2.3*** | *Montaje electromecánico* | *45.000.000* |
| ***2.4*** | *Equipos mecánicos* | *60.000.000* |
| **3** | Transmisión | 5.000.000 |
| **Total general** | | **1.600.000.000** |

### 4.6. Análisis eléctrico y energético

La Central Hidroeléctrica de ITAIPU posee una capacidad instalada de 14.000 MW, dividida en dos sectores, 50 Hz y 60 Hz, con 10 unidades generadoras en cada sector. Está siendo vislumbrada la posibilidad de aumento de esta capacidad instalada.

El objetivo es evaluar las implicaciones eléctricas y energéticas de la instalación de hasta 2 (dos) nuevas unidades generadoras en ITAIPU, bien como verificar en cual sector sería mejor esta ampliación.

Fue considerada en la evaluación la inserción de hasta 1.400 MW en ITAIPU 50 Hz, conforme a lo siguiente:

- una unidad generadora de 700 MW;
- dos unidades generadoras de 350 MW, totalizando 700 MW;
- dos unidades generadoras de 700MW, totalizando 1.400MW;
- cuatro unidades generadoras de 350 MW, totalizando 1.400 MW.

### 4.6.1. Análisis eléctrico

El análisis eléctrico se realizó del punto de vista de flujo de potencia, estabilidad dinámica y superación de la capacidad de corte de los interruptores.

Apuntamos las siguientes conclusiones

- **La evaluación eléctrica de régimen permanente** muestra que la implantación de una unidad de 700 MW en cada sector no causa problemas de carga al sistema de transmisión existente.

La implantación de dos nuevas unidades generadoras en un único sector de la usina causa sobrecarga en los equipos de transmisión, cuando se considera el criterio N 1.

En el sector de 50 Hz el problema se soluciona sin costo adicional, con la implantación de las 2 nuevas unidades generadoras directamente a las barras de 500 kV de la SE MD.

En el sector de 60 Hz el problema es solucionado con el cambio de las llaves seccionadoras de línea en la SE-FI, implicando en un costo adicional.

En la configuración actual hay superación de los límites de régimen permanente cuando ocurre indisponibilidad de una línea de transmisión en la SE-IPU 50Hz o en la SE-IPU 60Hz, porque es adoptado el criterio N-1. Solucionar esta restricción es importante para permitir que ITAIPU pueda atender al SIN-BR y al SIN-PY con toda su capacidad de 10 unidades aún en caso de fuera de servicio de una de las líneas de 500 kV que salen de la casa de fuerza. Este problema no ocurre para las líneas que salen de la SE-MD 500kV para Foz do Iguaçu, que permiten transmitir la potencia máxima del sistema de corriente continua ante la indisponibilidad de una línea y adoptando el criterio N-1. Esta condición favorece a la instalación de las nuevas unidades en el sector de 50Hz, conectadas en la SE-MD 500kV.

Los estudios de régimen permanente no indican diferencia entre dos unidades de 350 MW o una de 700 MW, sin embargo, los estudios dinámicos, por cuestiones de estabilidad angular, es mejor una unidad de 700 MW que dos de 350 MW.

- **Los estudios de transitorios dinámicos** indican también que a implantación de una unidad de 700MW en cada sector es mejor que a implantación de dos unidades en un mismo sector, sea por cuestiones de estabilidad angular o por estabilidad de tensión, tanto en el sector de 50Hz como en el sector de 60 Hz.

En el sector de 50 Hz el problema de estabilidad de tensión es solucionado con la entrada en operación del segundo circuito de la LT 500 kV MD VHA.

En el sector de 60 Hz pasa por la evolución del sistema de transmisión en el SIN-BR, sobre este punto, no se observa hasta el momento ningún plan de expansión que solucione el problema.

- **En cuanto a la superación de la capacidad de corte**, no hay superación de interruptores de 500 kV para corto-circuitos simétricos, en el sector de 50 Hz o en el de 60 Hz, sea con una o con dos unidades generadoras adicionales.

Para el caso de interruptores de 220 kV, empeora con 2 unidades generadoras adicionales en el sector de 50 Hz, requiere la adopción de configuraciones especiales para operar con los seis transformadores 500/220kV en paralelo. Con las unidades adicionales solo será posible operar con cuatro transformadores en paralelo.

**4.6.2. Análisis energético**

El análisis energético fue hecho con base en los datos históricos de afluencia e buscando la mejor operación posible con las unidades adicionales.

Las unidades adicionales representan ganancia efectiva de energía en los meses de diciembre a abril, sea por aumento de la eficiencia o por aprovechar vertimientos. El resultado promedio esperado es que las unidades adicionales mantengan la producción observada con 19 unidades generadoras en operación.

Las unidades adicionales tendrán mayor importancia si son instaladas antes del inicio efectivo del trabajo de actualización tecnológica de las unidades generadoras, pues, permitirán mantener los niveles actuales de producción de energía.

Está previsto hasta 2023 un aumento sensible del intercambio ITAIPU/ANDE, limitando cada vez más la disponibilidad de energía del sector de 50 Hz para el SIN-BR.

Para efectos de apreciación, comparación y valoración del impacto de la presencia o no de las 2 nuevas unidades de 700 MW en Itaipu, se utilizan 2 valores de 2 series históricas de afluencias, una que representa un escenario de escasez (95%) y otra representa el escenario promedio.

***Escenario 1**:* Si consideramos afluencias desde 1931 hasta 2016 se observan ganancias en GWh de acuerdo a la siguiente tabla

| | **20 UGs** | **+1 UG** | **+2UGs** |
|---|---|---|---|
| **Energía Anual Disponible en 95% del tiempo** | 63.444 | 43 | 66 |
| **Energía Disponible Promedio Anual** | 87.421 | 1.208 | 2.080 |

***Escenario 2***: Si consideramos afluencias desde 1971 hasta 2016 se observan ganancias en GWh de acuerdo a la siguiente tabla

| | **20 UGs** | **+1 UG** | **+2UGs** |
|---|---|---|---|
| **Energía Anual Disponible en 95% del tiempo** | 86.768 | 667 | 1.062 |
| **Energía Disponible Promedio Anual** | 96.613 | 1.593 | 2.986 |

- Las unidades adicionales representan ganancia efectiva de energía en el periodo de diciembre a abril, y el uso de más de 18 unidades sincronizadas será más frecuente para aprovechar el mayor caudal o para aumento de la eficiencia especialmente en los meses de enero, febrero y marzo. Sin embargo, entre los meses de mayo a noviembre disponer de más de 18 unidades generadoras afecta marginalmente la energía disponible y su utilización solo podría justificarse por el lado de la utilización de excedentes de potencia.

- Las unidades adicionales tendrán mayor importancia si son instaladas antes del inicio efectivo del trabajo de actualización tecnológica de las unidades generadoras, pues, permitirán mantener los niveles actuales de producción de energía.

Durante el tiempo estimado de duración de la actualización tecnológica tendríamos 10 años con una máquina permanentemente desconectada y tendríamos las pérdidas apuntadas en la siguiente tabla sin la adición de nuevas unidades generadoras.

***Escenario 3:*** Si consideramos afluencias desde 1971 hasta 2016 se observan pérdidas en GWh de acuerdo a la siguiente tabla

| | **20 UGs** | **-1 UG** | **-2UGs** |
|---|---|---|---|
| **Energía Anual Disponible en 95% del tiempo** | 86.768 | -832 | -2.024 |
| **Energía Disponible Promedio Anual** | 96.613 | -1.802 | -3.869 |

Tomando estos valores anuales y si la actualización tecnológica lleva 10 años para concluir, resultaría en una reducción de la producción de al menos 8.320 GWh (95%) y 18.020 GWh si consideramos el promedio anual, esta producción se valora en al menos US$ 206 millones (95% tomando un precio de referencia de 24,84 US$/MWh) y de hasta US$ 56 millones en royalties para el mismo caso (95%). La instalación de nuevas unidades puede anular el efecto de pérdidas por la actualización.

## 5. Conclusiones - Resumen

Enumeramos los aspectos positivos de la instalación de 2 unidades generadoras de 700 MW de potencia nominal adicionales en ITAIPU resaltando que existen reales posibilidades de instalar las 2 nuevas unidades en la frecuencia de 50 Hz debido a ventajas del punto de vista de las instalaciones eléctricas, costos y espacio físico;

- Aprovechamiento del excedente de agua observado en los últimos años;

- Aumento de la capacidad de suministro de potencia al sistema eléctrico en horas de necesidad;

- Contribución positiva (aporte de potencia en punta) en el futuro en caso de que se logre la flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito y más adelante con la presencia de Corpus en mayor medida;

- Flexibilidad en las paradas de máquinas para la implantación de la Actualización Tecnológica de la Central Hidroeléctrica de Itaipu, sin pérdida de la capacidad actual de generación de la Central;

- Mayor movilidad para el plan de mantenimiento de las Unidades Generadoras

- Aprovechamiento de la capacidad ociosa de las líneas de transmisión de corriente continua de FURNAS, debido al aumento de la demanda de 50 Hz por el Paraguay;

- Consolidar nuevas tecnologías a ser aplicadas en la futura actualización tecnológica de las Unidades Generadoras actuales (Electromecánica).

## 6. Referencias

*Referencia de las Magnitudes Hidroenergéticas. (2012)* Nota Técnica, ITAIPU Binacional, Superintendencia de Operación, CHI.

*Evaluación de nuevas unidades generadoras en la usina de Itaipu.NT/OPS.DT/02/2018* Nota

Técnica, ITAIPU Binacional;

*Estudio del potencial de producción energética de Itaipu. OPSP:DT/RIAT 06/2018* Relato de Información o Análisis Técnico, Superintendencia de Operación, ITAIPU Binacional;

*Informe de la Junta – Board de Consultores de ITAIPU Binacional*, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018;

*Estudios de revisión de la crecida máxima probable en ITAIPU*, 2014 Superintendencia de Ingeniería Itaipu Binacional.

# *NEGOCIACIONES SOBRE EL TRATADO DE ITAIPU*

# *GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO*

## *INFORME Nº GT.T – 02 Rev.1*

***ASUNTO**: "Flexibilización del Acuerdo Tripartito entre Paraguay, Brasil y Argentina"*

***Fecha: 30.06.2020***

## GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO

## Informe Nº GT.T – 02 – Rev 1

**Fecha:** 30.06.2020

**Asunto:** ***"Flexibilización del Acuerdo Tripartito entre Paraguay, Brasil y Argentina".***

**Participantes**

Ing. Ubaldo Fernández, Coordinador, representante de ANDE; Coordinador del GT.T

Embajador Federico González, representante del MRE;

Ing. Leopoldo Lamas, representante de COMIP;

Ing. Martin González, representante de COMIP;

Ing. Felipe Mitjans, representante del VMME;

Ing. Luis Valdez, representante de Itaipu;

Ing. Hugo Zárate, representante de Itaipu.

---

### 1. Objeto

Determinar los efectos de la flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito, considerando la presencia (o no) de la Central Hidroeléctrica Corpus, sobre la operación hidroenergética de ITAIPU.

El alcance del estudio se extiende a la determinación del comportamiento de variables de naturaleza hidráulica e hidroenergética en el tramo comprendido desde la presa de ITAIPU y la isla Pindo'i, alternativa de emplazamiento para la Central Hidroeléctrica Corpus.

### 2. Asuntos evaluados

El Acuerdo Tripartito, el proyecto hidroeléctrico Corpus Christi, simulaciones con análisis de sensibilidad de entradas, construcción de los escenarios, sensibilidad de descargas diarias de ITAIPU, sensibilidad de la producción de ITAIPU y los efectos de la presa de Corpus en las velocidades del agua del Rio Paraná.

### 3. Informaciones utilizadas

Tablas de resultados de estudios realizado por COMIP; Nota Reversal del Acuerdo Tripartito, datos del proyecto Corpus Christi, modelación hidrodinámica (HEC RAS) del río Paraná y Notas técnicas.

## 4. Descripción y Desarrollo

### 1. Consideraciones sobre el estudio

### 1.1. Acuerdo Tripartito

La operación de la Central Hidroeléctrica ITAIPU se ve afectada fundamentalmente por restricciones de naturaleza física, como la cantidad de unidades generadoras disponibles para producción, almacenamiento del embalse, límites de transmisión de la red eléctrica, y otras. Además, restricciones de naturaleza regulatoria como el Acuerdo Tripartito [1], también tienen influencia en la operación de ITAIPU, sobre todo en lo relacionado con el control de las variables hidroenergéticas (producción, almacenamiento y niveles en los ríos). En consecuencia, el perfil de producción, además de la influencia propia de la curva de demanda de los sistemas interconectados, se ve afectado visto que los valores de producción en horario de mayor y menor demanda son el resultado de límites impuestos por tal restricción.

El control de las restricciones del Acuerdo Tripartito[1] se realiza en el punto R11, localizado a aproximadamente 22 km de la presa de ITAIPU, en la confluencia de los ríos Iguazú y Paraná. Básicamente, se controlan las variaciones de cota en el punto R11 en una ventana horaria y diaria, y tales variaciones deben estar dentro de ciertos valores, que se resumen en la Tabla 1.

| **Condición Hidrológica** | **Límite de Variación horaria** | **Límite de Variación Diaria** | **Velocidad Máx. del Agua** |
|---|---|---|---|
| **Normal** | ± 0,50 m | ± 2,00 m | 2,0 m/s |
| **Excepcional con flexibilización de 20%** | ± 0,60 m | ± 2,40 m | 2,4 m/s |

**Tabla 1 – Límites del Acuerdo Tripartito**

Para demostrar la influencia de los límites de Acuerdo Tripartito en la producción de ITAIPU, se grafica el siguiente ejemplo: en la Figura 1 se muestra un perfil de producción de ITAIPU en un día normal, donde se muestra la producción horaria y la descarga total (gráfico superior) y el correspondiente perfil de la cota en el punto R11 (gráfico inferior). En el gráfico inferior de la figura, también se observan curvas que corresponden a los valores límites del Acuerdo Tripartito, con la curva roja representando al límite de variación diaria, y la curva verde, el límite de variación horaria[1].

De la Figura 1 podemos inferir las siguientes evidencias:

- Existe una correlación positiva entre producción y descarga, es decir, tanto mayor la producción, mayor será la descarga total;
- La producción se encuentra en descenso desde el inicio del día hasta las 08h, cuando se observa una reversión hacia el aumento;
- La trayectoria de la cota en R11 (curva negra del gráfico inferior) sigue las tendencias de

[1] No se analiza la restricción de velocidad del agua visto que no se cuentan con datos de medición.

aumento/reducción de la producción de Itaipu; y

- La tasa de variación de la cota en R11 es aproximadamente proporcional a la tasa de variación de la producción.

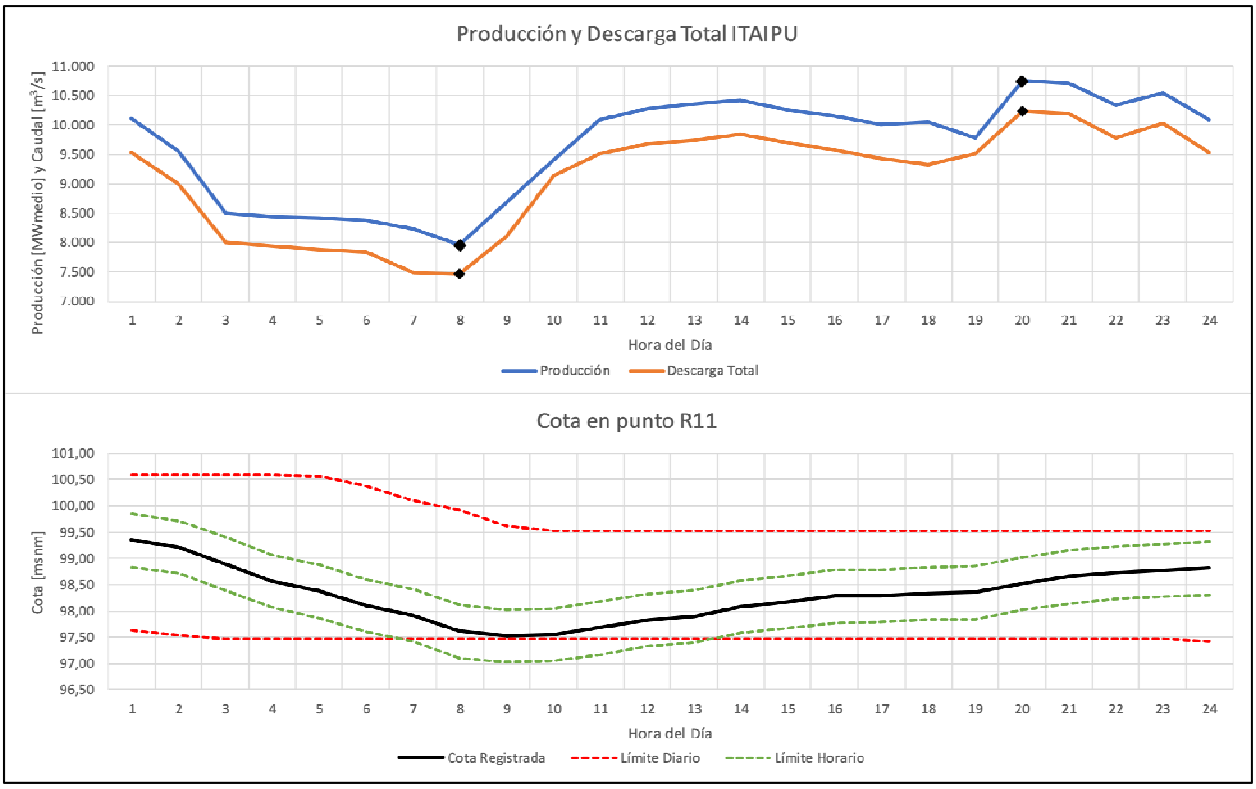



***Figura 1 – Ejemplo de la influencia de los límites del Acuerdo Tripartito en la producción de Itaipu.***

Se observa que, durante el periodo de reducción de la producción, la cota en R11 se aproxima al límite de variación diaria (curva roja), llegando a su mínimo entre las 09h y 10h. En caso de que se prosiguiera con la reducción de la producción, los valores de cota en R11 extrapolarían el límite diario, violando el Acuerdo Tripartito. De la misma manera, en el periodo de aumento de la producción, la trayectoria de la cota en R11 se aproxima al límite diario. El límite horario no se ve afectado significativamente, visto que la variación de la producción no es lo suficientemente elevada como para extrapolar los límites.

Como corolario del ejemplo podemos mencionar lo siguiente:

- El límite de variación diaria impone restricción en los lapsos de duración de aumento/reducción de la producción de ITAIPU. Esto es especialmente importante durante los horarios de carga mínima/máxima y en los fines de semana;

- El límite de variación horaria impone restricción sobre la tasa de aumento/reducción de la producción. Esto es especialmente relevante cuando se requiere realizar rampas de aumento/reducción de cargas, como eventos de perturbación.

## 2. Central hidroeléctrica CORPUS

El proyecto hidroeléctrico Corpus Christi contempla su localización aguas abajo de la presa de ITAIPU, teniendo como emplazamiento más probable a la isla Pindo'i en el municipio de Corpus, Misiones Argentina, en la progresiva fluvial km 1.658 [2].

En función de proximidad de la localización de la presa de Corpus con la presa de ITAIPU, se espera que la operación hidroenergética de ITAIPU sea fuertemente afectada. La principal consecuencia sería el aumento del nivel del canal de fuga (restitución) en la Central ITAIPU, provocado por la formación de un lago aguas abajo de su presa, con consecuente reducción del salto bruto disponible. En conclusión, la potencia disponible en ITAIPU se vería reducida, así como su potencial de producción anual.

## 3. Hipótesis planteadas en el estudio

Hipótesis planteadas a ser verificadas, en alineamiento con el alcance del estudio, son:

- El aumento de los límites del Acuerdo Tripartito crea:
    - aumento de la disponibilidad de potencia en horarios de mayor demanda;
    - menor descarga requerida para atender horarios de punta de carga;
    - aumento de las horas de atención de la punta; y
- La disponibilidad de potencia y energía de ITAIPU se ve reducida por la presencia de la Central Hidroeléctrica Corpus.

## 4. Consideraciones generales

Para el análisis del comportamiento de las variables de interés, se propuso simulaciones con análisis de sensibilidad de entradas, utilizando una red ajustada en el modelo hidrodinámico HEC-RAS [3] utilizado por la división de Estudios Hidrológicos y Energéticos de ITAIPU. Ese modelo es utilizado en la operación de ITAIPU, dentro de los procesos de Programación Energética y Operación en Tiempo Real, para estimar las cotas en el punto R11 como herramienta de control a las restricciones hidráulicas establecidas en el Acuerdo Tripartito (ver **Tabla 1**)., con buenos resultados.

## 5. Modelo hidrodinámico

Una red, denominada "Aguas Abajo" y mostrada en la Figura 2, que abarca el tramo del río Paraná comprendido entre la presa de ITAIPU y el Eje Encarnación Posadas, y el tramo del río Iguazú comprendido entre la Central Hidroeléctrica Baixo Iguaçu y la confluencia con el río Paraná será utilizada. Además, esta red considera el aporte de las cuencas de los ríos Monday y la Central Hidroeléctrica Acaray. En la Figura también se destacan las localizaciones de la estación R11 y la sección Pindo'i, lugar de emplazamiento de la Central Hidroeléctrica Corpus.

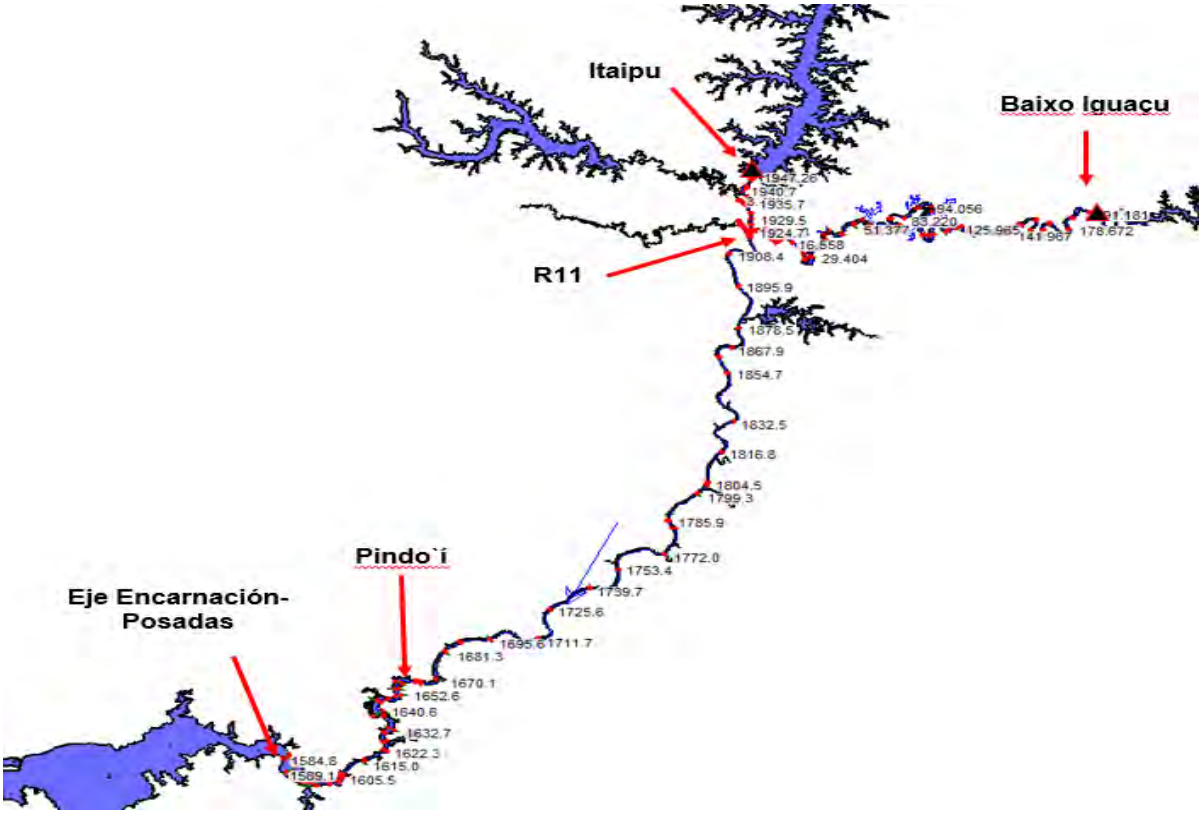



**Figura 2 – Red del Modelo Hidrodinámico aguas abajo de la presa de Itaipu**

En el EEP se considera en todo instante a cota 83 (cota de operación de Yacyreta) para las simulaciones en la condición actual (Sin Corpus). En la Figura 3 se presenta un perfil de la línea de agua en la condición actual.

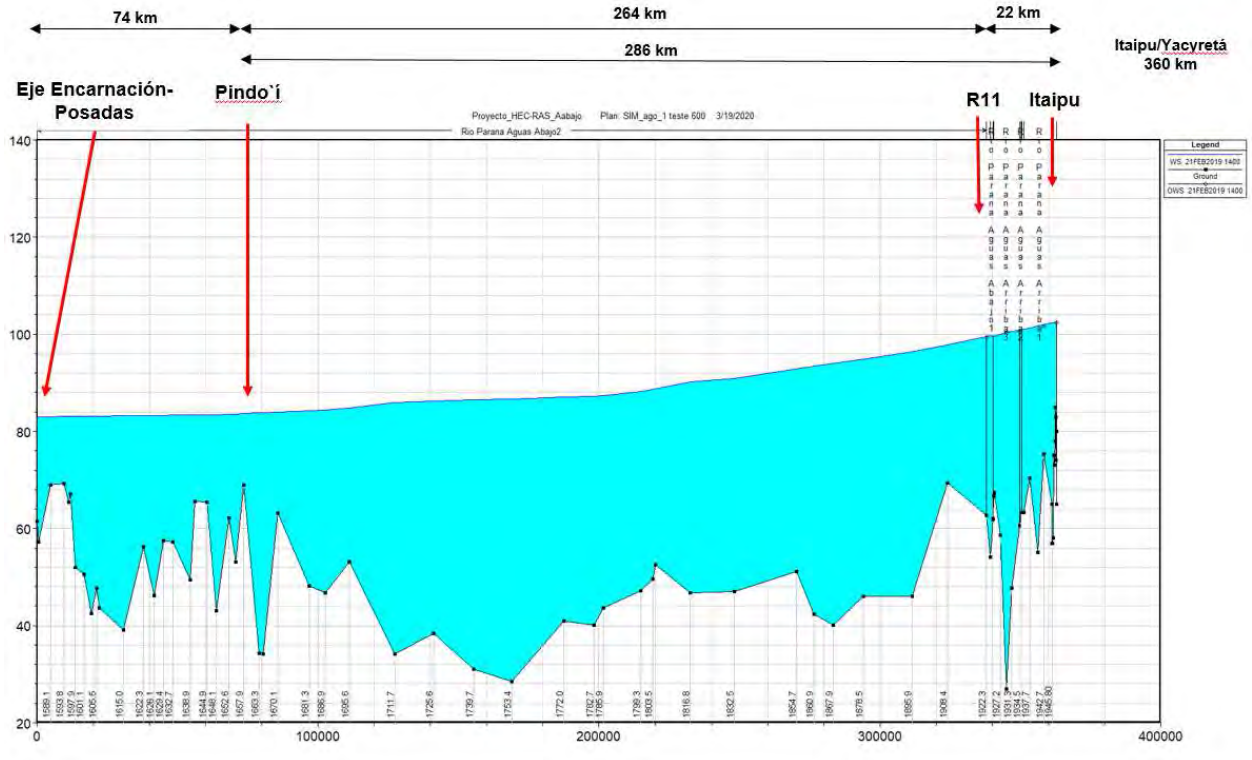



***Figura 3 - Perfil de la línea de agua de la Red Aguas abajo con la condición actual***

Para considerar los efectos de la presencia de Corpus, se agregó a la red “Aguas Abajo” una estructura con una regla de operación que mantenga el nivel en la región de Pindo’i (progresiva fluvial 1.658) a un valor constante. El perfil de la línea de agua de esta red se observa en la Figura 4.

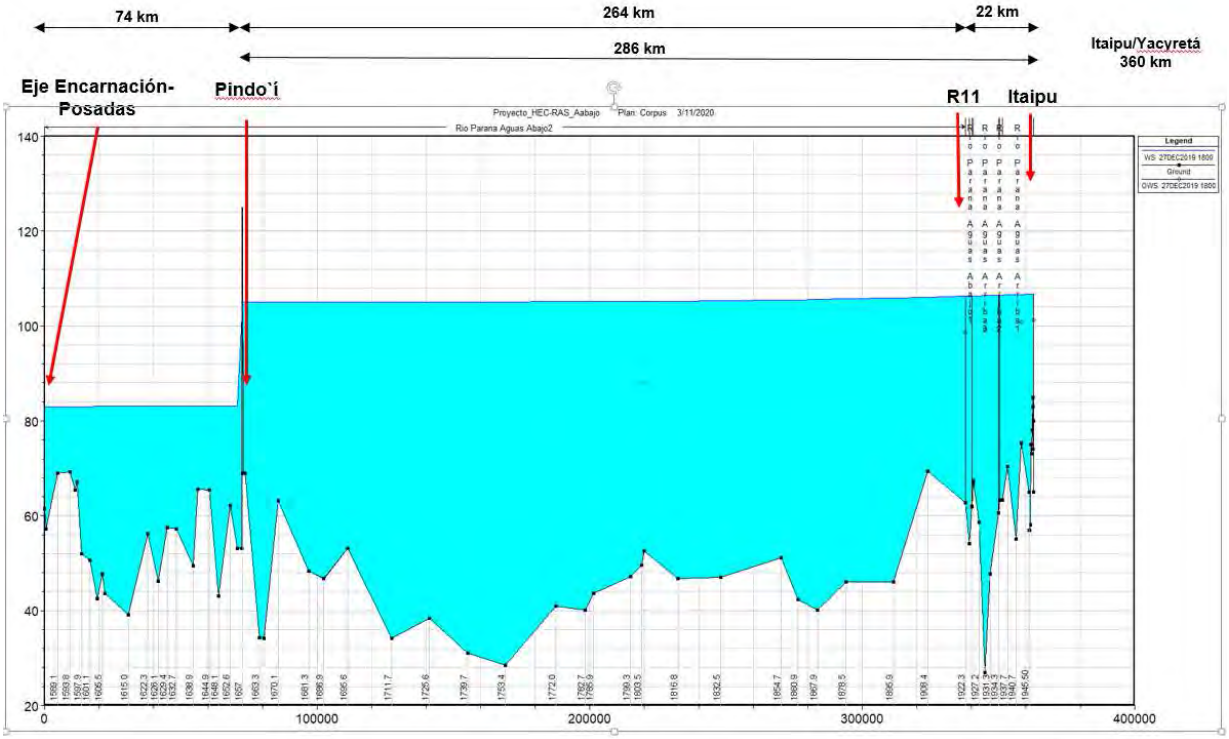



***Figura 4 - Perfil de la línea de agua de la Red Aguas abajo con Corpus***

## 6. Construcción de los escenarios

Los escenarios estudiados consideraron las siguientes condiciones:

- Variación de los valores de descarga promedio diaria de ITAIPU entre 9.000m$^3$/s y 12.000m$^3$/s;
- Flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito en un 50%, pasando a 3,00m de variación máxima diaria y 0,75m de variación máxima horaria;
- Descarga representativa de 12.600m$^3$/s como la necesaria en horario de punta de carga (descarga aproximada para una producción de 12.600MW);
- Para efectos de cálculo del salto bruto, considerada cota del embalse de ITAIPU en 220,00 msnm;
- Aporte lateral del río (descargas de Baixo Iguaçu, Acaray, río Monday y todos los ríos menores de la región), constante e igual a 1.600m$^3$/s;

## 5. Resultados obtenidos

### 5.1. Sensibilidad de descargas diarias de ITAIPU

Los resultados de las simulaciones con la red actual (Yacyreta a cota 83 msnm) y con la

presencia de la presa de Corpus en Pindo'i a cota 105,00 msnm, para sensibilidad de la descarga media diaria de ITAIPU y de los límites del Acuerdo Tripartito, se presentan en la Tabla **2** y Tabla 3 respectivamente. Se muestran los valores de descarga antes del pico, variación diaria y horaria máxima obtenidos, así como la cantidad de horas que se puede mantener el pico de descarga para cada escenario. Los valores de potencia media diaria por unidad generadora y producción media diaria son calculados conforme formulaciones en [4].

De la Tabla 2 se puede observar que, para el caso de flexibilización al 50% de los límites del Acuerdo Tripartito, es posible mantener por más tiempo la producción de punta, en promedio unas 2,8 horas más que el caso sin flexibilización. También se observa que existe una tendencia de reducción de la potencia disponible, resultado esperado ya que los valores de descarga van aumentando, y por ende la cota del canal de fuga también.

De la Tabla 2 se puede inferir la existencia, en promedio, de un aumento de 3MW/UG de la potencia disponible para el caso flexibilizado. En relación a la producción media, se observa que se logra ganancia de producción a partir de descargas de 11.000$m^3$/s para el caso de flexibilización del 50%. Este resultado es esperado puesto que el objetivo principal de la flexibilización es aumentar las horas de atención de la demanda de punta para descargas similares al caso no flexibilizado, priorizando la producción en esos horarios.

| | SIN LA PRESA DE CORPUS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ITAIPU Descarga Promedio | Cota R11 Δ± 24 hs | Cota R11 Δ± 1 hs | Q antes del pico | Horas de Punta Q = 12.600 m³/s | Potencia Media | Producción Media |
| | *m³/s* | *m* | *m* | *m³/s* | *hs* | *MW* | *MWmedio* |
| SIN FLEX. | 9.000 | 2,04 | 0,49 | 8.195 | 2,75 | 766 | 9.824 |
| | 10.000 | 2,01 | 0,43 | 9.112 | 5,25 | 756 | 10.814 |
| | 11.000 | 2,03 | 0,36 | 9.857 | 10,00 | 746 | 11.765 |
| | 12.000 | 2,19 | 0,27 | 10.543 | 17,00 | 734 | 12.682 |
| FLEX. 50% | 9.000 | 2,96 | 0,70 | 7.732 | 6,25 | 769 | 9.812 |
| | 10.000 | 3,04 | 0,58 | 8.440 | 8,00 | 759 | 10.809 |
| | 11.000 | 3,01 | 0,47 | 9.079 | 13,00 | 748 | 11.768 |
| | 12.000 | 2,76 | 0,38 | 9.720 | 19,00 | 736 | 12.694 |

***Tabla 2 – Resultados de las Simulaciones considerando sensibilidad de la descarga promedio diaria de Itaipu sin la presa de Corpus***

En la Tabla 3, las variaciones diarias y horarias para condiciones similares son menores con la presencia de la presa de Corpus. Eso se debe al remanso del embalse de Corpus, que amortigua la onda generada por las variaciones de descarga en ITAIPU. Comparando los casos sin flexibilización y con flexibilización 50% en un mismo rango de caudales, no existe variación significativa de la potencia media disponible en ITAIPU. De hecho, se observa un aumento promedio inferior a 1MW/UG de la potencia disponible.

| | CON PRESA DE CORPUS A COTA 105,00 msnm | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ITAIPU Descarga Promedio | Cota R11 Δ± 24 hs | Cota R11 Δ± 1 hs | Q antes del pico | Horas de Punta Q = 12.600 m³/s | Potencia Media | Producción Media |
| | *m³/s* | *m* | *m* | *m³/s* | *hs* | *MW* | *MWmedio* |
| SIN FLEX. | 9.000 | 1,20 | 0,28 | 8.195 | 2,75 | 699 | 9.224 |
| | 10.000 | 1,16 | 0,25 | 9.112 | 5,25 | 694 | 10.218 |
| | 11.000 | 1,17 | 0,25 | 9.857 | 10,00 | 689 | 11.147 |
| | 12.000 | 0,98 | 0,19 | 10.543 | 17,00 | 682 | 12.038 |
| FLEX. 50% | 9.000 | 1,62 | 0,46 | 7.732 | 6,25 | 699 | 9.224 |
| | 10.000 | 1,68 | 0,39 | 8.440 | 8,00 | 695 | 10.185 |
| | 11.000 | 1,61 | 0,32 | 9.079 | 13,00 | 689 | 11.123 |
| | 12.000 | 1,40 | 0,27 | 9.720 | 19,00 | 683 | 12.030 |

***Tabla 3 - Resultados de las Simulaciones considerando sensibilidad de la descarga promedio diaria de Itaipu con la presa de Corpus a cota 105,00 msnm.***

La potencia media disponible para el caso con la presa de Corpus es un 8% inferior al caso sin Corpus. Las demás variables analizadas en la sensibilidad con la presa de Corpus no sufrieron alteración significativa, incluso no fue posible obtener simulaciones que permitan una variación de cota en R11 próxima a los límites.

El efecto en el nivel del canal de fuga se observa en la Figura 5, donde se observan las curvas obtenidas del comportamiento de la cota del canal de fuga para diferentes valores de descarga total de ITAIPU y cotas del embalse de Corpus. Como ejemplo sencillo, una descarga de ITAIPU en torno a 11.400 m³/s, con Corpus a cota 105,00 msnm se tiene una pérdida del Salto Bruto de 5,4 metros para el caso sin Corpus.

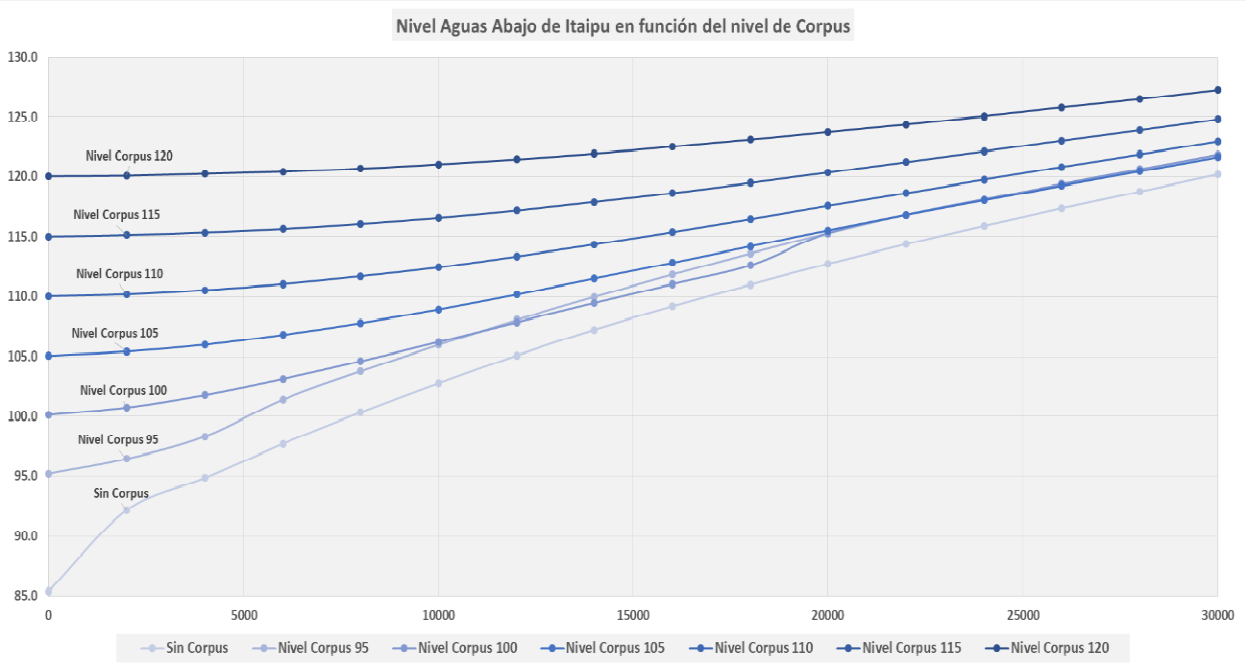



*Figura 5 – Curvas obtenidas para la cota del canal de fuga de Itaipu considerando varias cotas del embalse de Corpus.*

## 5.2. Sensibilidad de la producción de ITAIPU

Las trayectorias obtenidas en la Figura 5 para la cota del canal de fuga en ITAIPU son utilizadas para analizar las implicaciones en la disponibilidad energética. Fueron consideradas descargas promedio mensuales históricas para determinar el potencial de producción de referencia (condición actual) y realizar una comparación con la presencia de la presa de Corpus.

| MES | DESCARGA [m³/s] | PRODUCCIÓN [MWmedio] | SALTO BRUTO [m] | Unidades Generadoras |
|---|---|---|---|---|
| Enero | 13.192 | 13.563 | 113,63 | 20 |
| Febrero | 13.931 | 13.986 | 112,84 | 20 |
| Marzo | 12.518 | 13.090 | 114,36 | 20 |
| Abril | 11.855 | 12.554 | 115,08 | 20 |
| Mayo | 10.826 | 11.606 | 116,28 | 19 |
| Junio | 10.919 | 11.696 | 116,17 | 20 |
| Julio | 10.309 | 11.106 | 116,88 | 18 |
| Agosto | 9.802 | 10.611 | 117,48 | 18 |
| Septiembre | 9.873 | 10.683 | 117,40 | 18 |
| Octubre | 11.226 | 11.991 | 115,81 | 20 |
| Noviembre | 11.021 | 11.796 | 116,05 | 20 |
| Diciembre | 11.409 | 12.160 | 115,60 | 20 |
| PROMEDIO | 11.407 | 12.070 | 115,63 | 19 |

*Tabla 4 – Producción de Referencia para Itaipu*

En la Tabla 4 se muestra la producción de referencia para ITAIPU, obtenida aplicando formulaciones constantes en [4], para los valores de descarga media histórica, así como el salto bruto promedio[2] y número de unidades generadoras media requeridos.

En la Figura 6 se muestra la influencia de la presencia de la presa de Corpus sobre el potencial de producción, en relación a la producción de referencia. Se observa que, salvo en algunos meses, existe una tendencia de reducción de la producción con el aumento de la cota del embalse de Corpus. Una comparación simple muestra que existe una reducción en torno a 5% de la producción anual de Itaipu para una cota de 105,00 msnm de Corpus, llegando a 17% para una cota de 120,00 msnm.

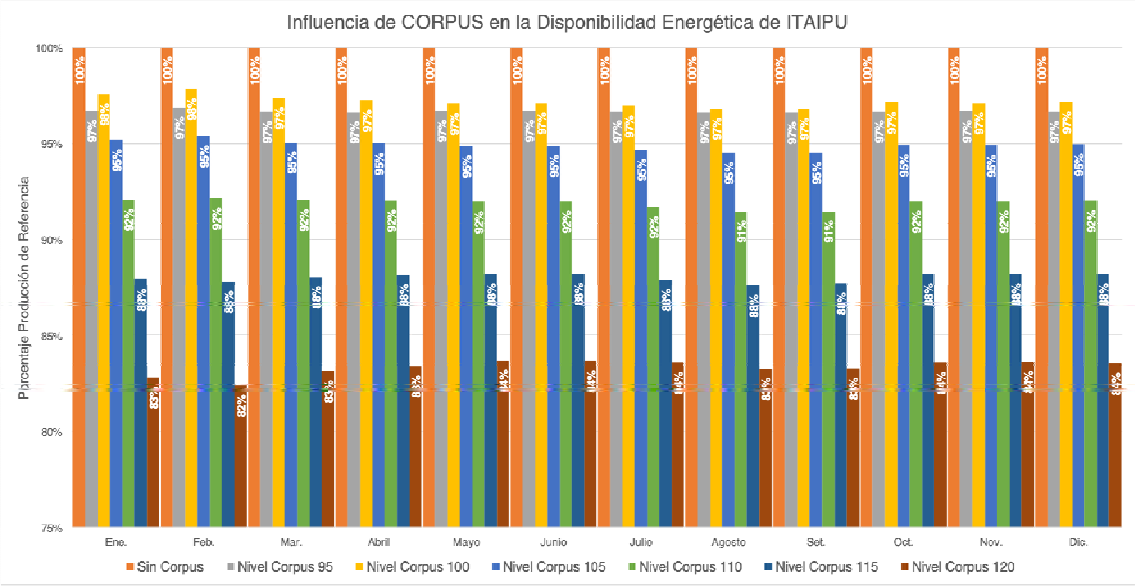



***Figura 6 – Efecto de la presencia de la presa de Corpus para distintos niveles de embalse en la disponibilidad energética de Itaipu***

En la Tabla 5 se muestra un comparativo entre los resultados del estudio para la producción de referencia y uno realizado por la Comisión Mixta del Río Paraná (COMIP) para los valores de producción anual promedio de referencial (71.973 GWh/año) [], donde se observa una diferencia porcentual bastante baja. Si bien los valores comparados son para referencias de producción distintas, existe una similitud entre las tendencias.

| COTA CORPUS [msnm] | DISMINUCIÓN (Simulaciones) | DISMINUCIÓN (Estudio COMIP) | DIFERENCIA |
|---|---|---|---|
| 95,00 | 3,31% | 1,82% | 1,49% |
| **100,00** | **2,80%** | **3,63%** | **-0,83%** |
| 105,00 | 5,07% | 5,88% | -0,81% |
| **110,00** | **8,08%** | **8,96%** | **-0,88%** |
| 115,00 | 12,00% | 12,41% | -0,41% |
| **120,00** | **16,69%** | **16,49%** | **0,20%** |

***Tabla 5 – Comparativo entre simulaciones y Estudio realizado por la COMIP***

[2] El salto bruto promedio fue calculado como la resta de la cota del embalse de Itaipu a 220,00 msnm y la cota del canal de fuga, obtenido por interpolación de las curvas para las descargas medias mensuales de la **Figura 5**.

### 5.3. Efecto de la presa de Corpus en las velocidades

Se realizaron simulaciones en la red Aguas Abajo utilizando escenarios de descarga baja (6.000 m³/s) y alta (10.500 m³/s) ITAIPU, de manera a evaluar aumentos de descarga de Itaipu que generen variaciones máximas diarias en R11 de 2,00m y 3,00m, y sus respectivos impactos en el tramo del río entre el punto R11 y el Eje Encarnación-Posadas.

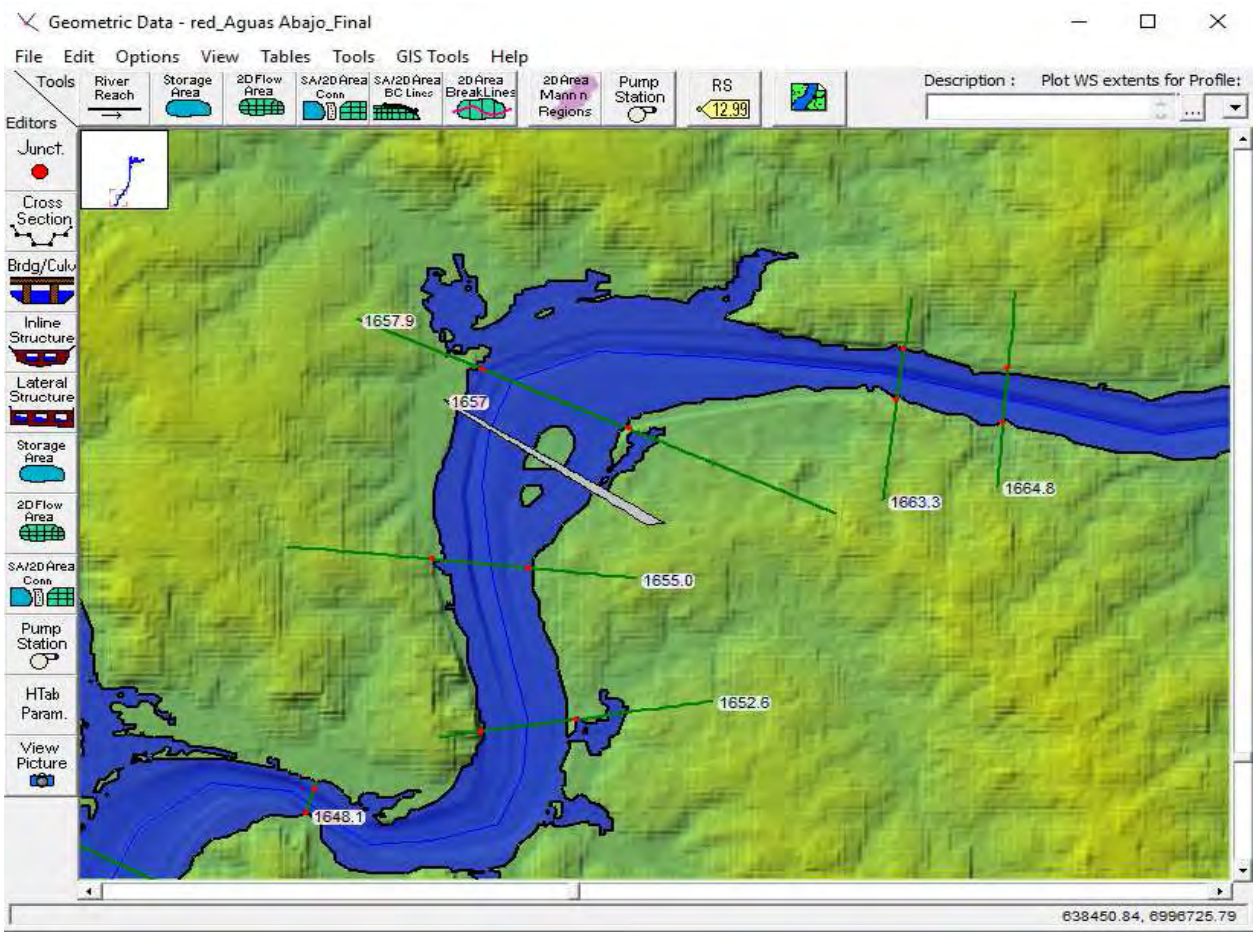



***Figura 7 – Planta del Modelo HEC-RAS en Pindo'i***

Las simulaciones se realizaron primero en la condición actual del tramo (Yacyreta a cota 83,00 msnm), y luego con la incorporación de la presa de Corpus (operando a cota 105,00 msnm) en la región denominada Pindo'i (progresiva fluvial km 1.657) como se observa en la Figura 7.

Se consideraron 3 casos considerando el aporte incremental aguas abajo con un valor constante de 1.500 m³/s:

1. **Red sin Corpus** – Variación diaria de R11 de 2,00m y 3,00m metros
2. **Red con Corpus** – Mismas descargas que caso anterior,
3. **Red con Corpus** – Variación diaria de R11 de 2,00 metros

Se realizan aumentos de descarga en ITAIPU, que generen aumentos de niveles en R11 de 2,00m y 3,00m metros con pasos de 500 m³/s por hora (casos 1 y 2). Para el caso 3 se hacen aumentos mayores, de manera a que el hidrograma de descarga sea similar al de los casos anteriores. Se mantuvo el valor pico por 15 horas, y se vuelve al valor de caudal base con la misma tasa de variación que el aumento.

Se analizaron los resultados de las simulaciones, en términos de la velocidad promedio en las

secciones transversales, considerando que el modelo unidimensional puede simular un solo valor de velocidad para toda el área del canal principal de la sección transversal.

En el caso 1, se pasa de descargas de 6.000 m³/s a 7.800 m³/s para obtener una variación diaria en R11 de 2,00m, y de 6.000m³/s a 8.800m³/s para 3,00m. De 10.500m³/s a 12.700 m³/s para obtener una variación diaria en R11 de 2,00m y de 12.700m³/s a 13.800 m³/s para 3,00m. En la Figura 8 se observan las variaciones diarias máximas en cada sección del tramo R11/EEP. Puede notarse como se disipa el efecto de la onda a lo largo del tramo.

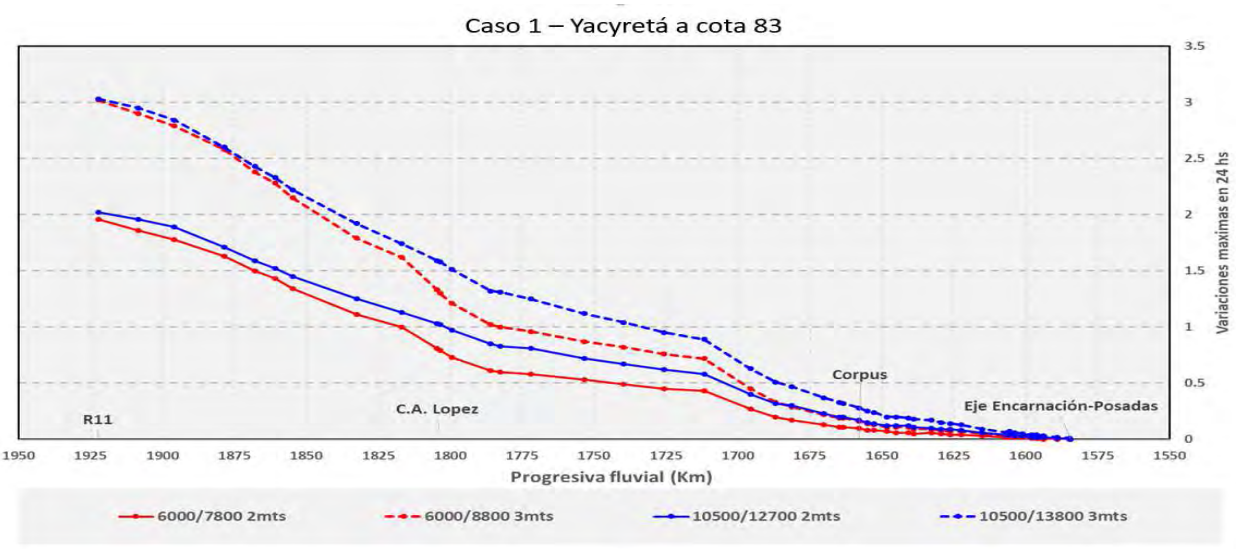



***Figura 8 – Variaciones máximas diarias para el caso 1***

En el caso 2, se repiten las descargas del caso 1 pero se adiciona a la red la presa de Corpus a cota 105,00 msnm. Los resultados de variaciones máximas diarias se presentan en la Figura 9, donde se observa que las mismas descargas producen variaciones máximas diarias menores debido al efecto del remanso de la presa de Corpus.

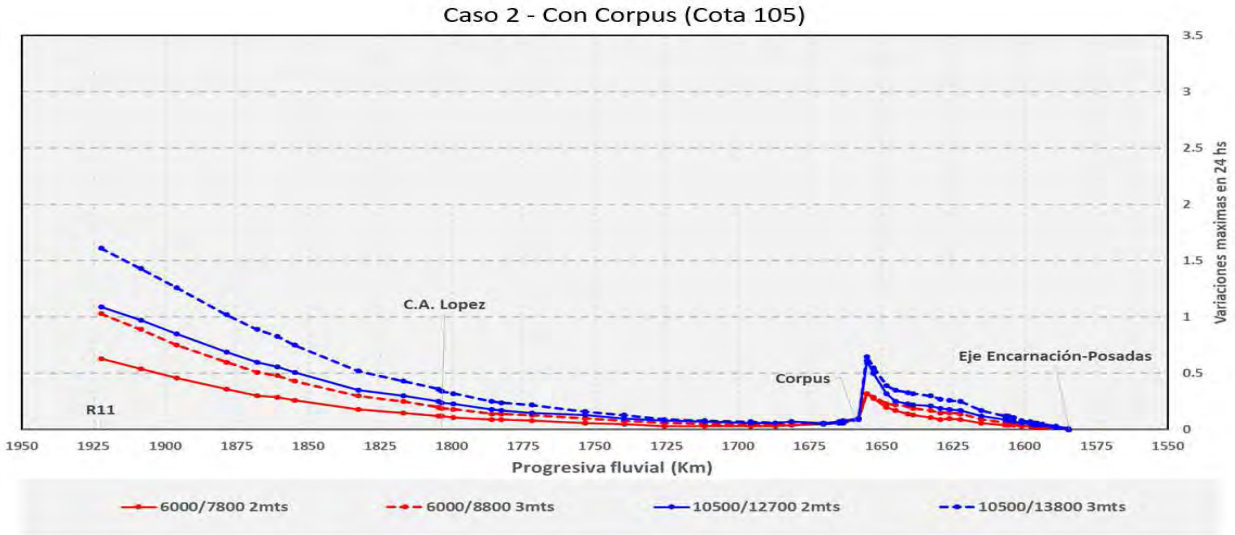



***Figura 9 – Variaciones máximas diarias para el caso 2***

En el caso 3 se pasa de descargas de 6.000m³/s a 11.000m³/s para obtener una variación diaria máxima en R11 de 2,00m, y de 6.000m³/s a 13.000m³/s para una variación de 3,00m. Los casos de caudales altos ya se descartaron por resultar en variaciones de descarga muy grandes. En la **Figura 10**, se observa las variaciones máximas de la onda se disipan en los primeros 120 km del tramo, afectando principal a esta parte del tramo.

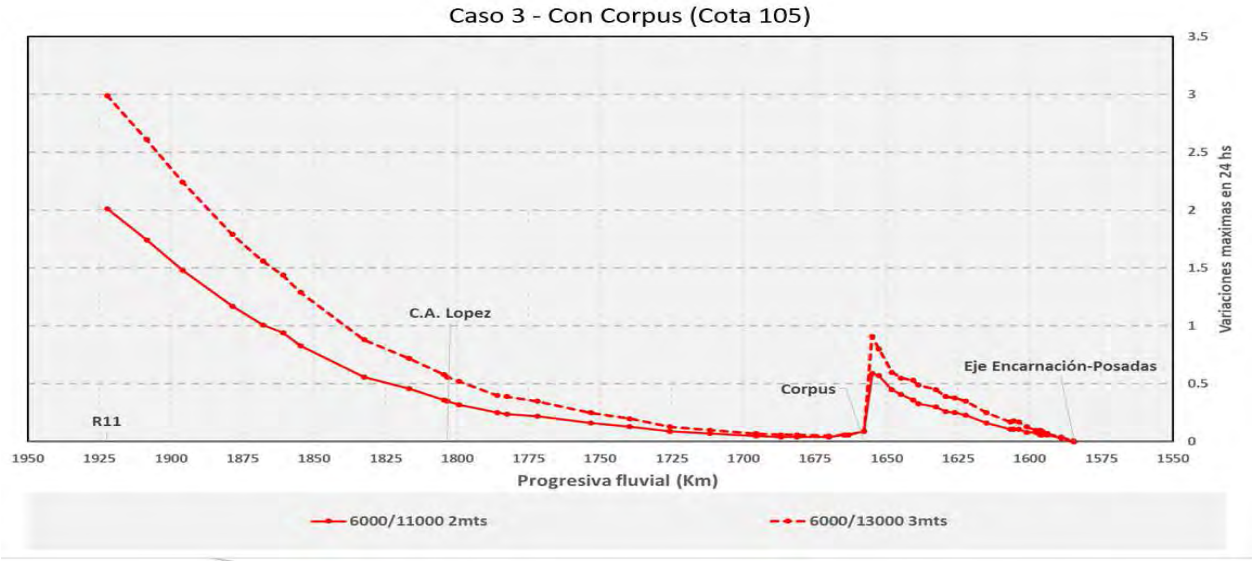



***Figura 10 - Variaciones máximas diarias para el caso 3***

Se tomaron los resultados de Velocidad Promedio en todas las secciones transversales del tramo entre R11 y el Eje Encarnación-Posadas, dentro del periodo de influencia de las maniobras simuladas en las horas 0, 6, 12, 18 y 24, y se calculó la Velocidad Promedio en este período.

Para el caso 1, tanto en caudales altos como bajos se observa que para variaciones de 3 metros se obtiene velocidades promedio levemente mayores que para las variaciones de 2 metros. En promedio al aumento de velocidades promedio en todo el tramo es de 3,2%. En la **Figura 11**, se observan las velocidades promedio en todo el tramo en m/s para el caso 1.

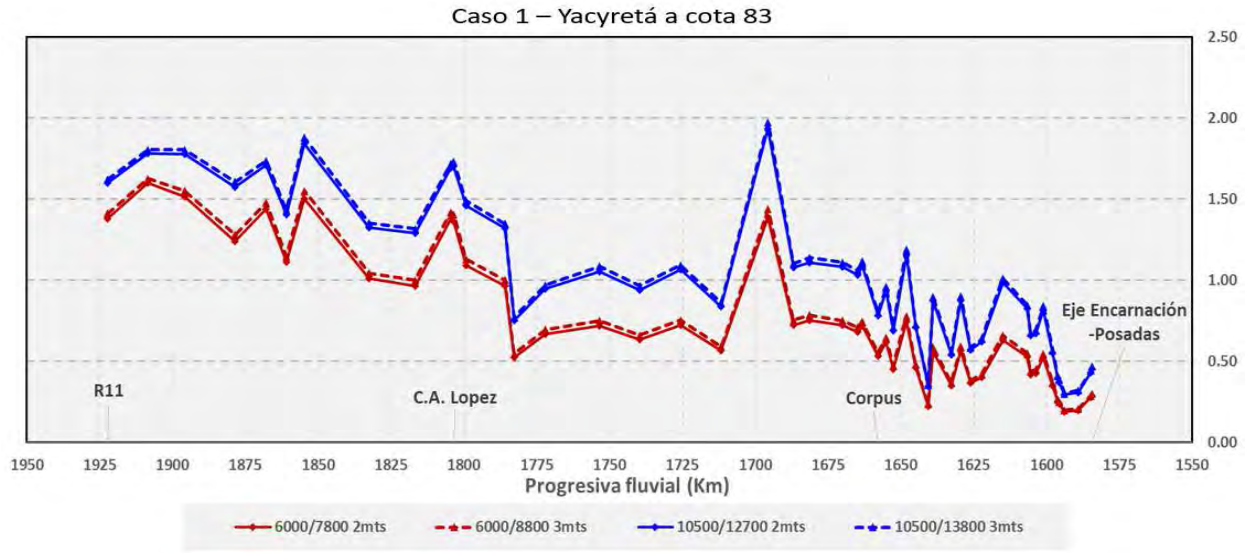



***Figura 11 – Velocidades Promedio para el caso 1***

Para el caso 2 las velocidades promedio obtenidas son menores que sin Corpus, debido al efecto del remanso. También puede notarse un aumento de la velocidad promedio de una variación de 3,00m en comparación a la de 2,00m. En este caso el aumento es de 5 % en la velocidad promedio en todo el tramo. En la **Figura 12**, se observan las velocidades promedio en todo el tramo en m/s para el caso 2.

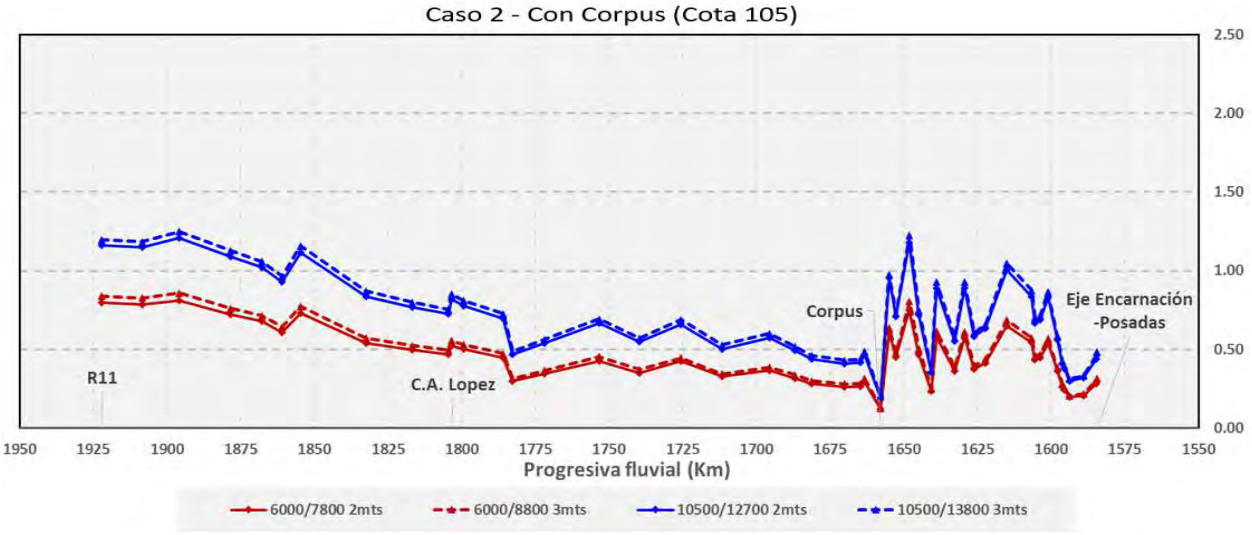



***Figura 12 - Velocidades Promedio para el caso 2***

Para el caso 3, las velocidades promedio obtenidas son mayores que en el caso 2 porque la onda es de mayor caudal. Esto produce velocidades promedio levemente mayores que en el caso 2, pero menores en el caso 1. También puede notarse en la Figura 13, un aumento de la velocidad promedio de una variación de 3,00m en comparación a la de 2,00m. En este caso el aumento es de 10,6 % en la velocidad promedio de todo el tramo.

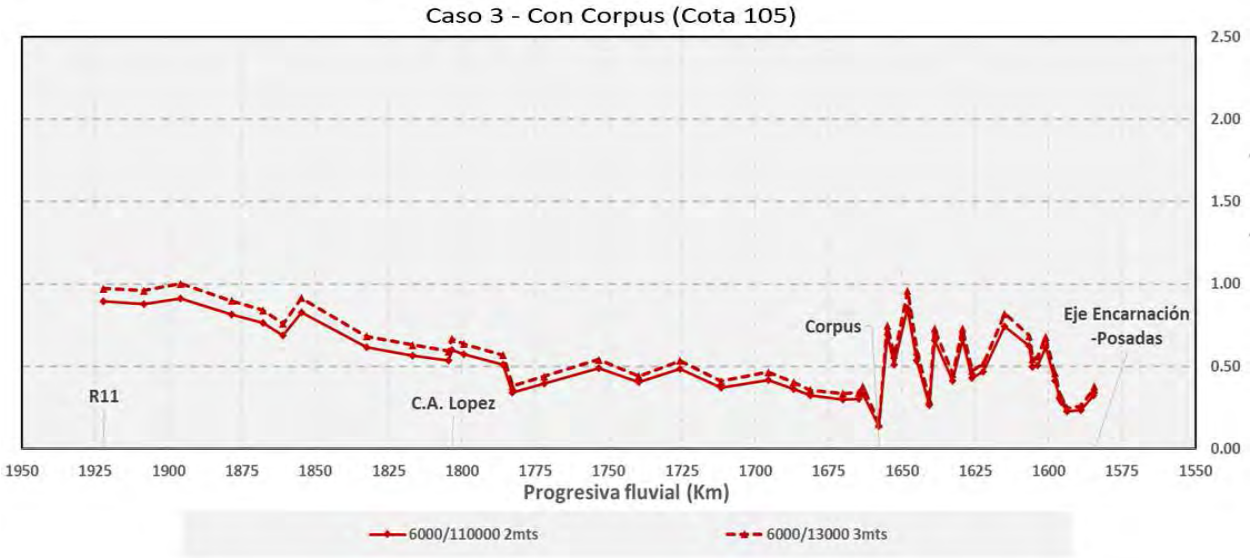



***Figura 13 – Velocidades Promedio para el caso 3***

## 6. Conclusiones - Resumen

La utilización del modelo hidrodinámico permitió realizar análisis del comportamiento de las variables hidráulicas, que fueron utilizadas como insumos para modelos energéticos de la operación de ITAIPU. Los resultados obtenidos de los análisis de sensibilidad determinaron las

influencias de la flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito, considerando la presencia (o no) de la Central Hidroeléctrica Corpus, sobre la operación hidroenergética de ITAIPU.

Como se puede apreciar en la Tabla 5, existe una fuerte adherencia con los resultados obtenidos por un estudio realizado por la COMIP (tabla de resultados en anexo) con el uso de otros métodos de simulación y otro modelo de propagación de caudales.

En relación a las hipótesis planteadas para el estudio se puede concluir:

- **La flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito al 50% sin CORPUS**

- permite un aumento de la capacidad de ITAIPU de atención de la carga en horarios de mayor demanda (aumento de atención en horarios de punta de carga). Tal evidencia es independiente de la presencia o no de la presa de Corpus;

- permite, en el caso sin la presa de Corpus, un aumento en promedio de 2,8 horas de atención de la demanda de punta considerada para la simulación (demanda de punta equivalente para una descarga de 12.600m3/s);

- permite un aumento promedio en torno a 3MW/UG de la potencia disponible en Itaipu para el caso simulado. Esto significa un adicional de potencia en torno a los 60MW para el caso de 20 UG en Itaipu, o el equivalente aproximado de 1 UG de la Central Hidroeléctrica Acaray;

- dota de flexibilidad para distribuir las descargas durante el día de forma a adecuar la disponibilidad de potencia acorde con la demanda;

- posibilita disminuir las descargas requeridas para atender demandas críticas, y en su defecto conservar almacenamiento. Eso reduce el riesgo de no atención a la demanda de punta en caso de caudales afluentes reducidos;

- no necesariamente permite una ganancia energética para descargas bajas (inferiores a 11.000m3/s de acuerdo a las simulaciones), pero permite aumentar la producción en horarios de mayor demanda. Las simulaciones muestran que la producción está mayormente a la cantidad de agua descargada;

- no crea variaciones de velocidad significativa en el tramo R11 a Eje Encarnación-Posadas.

- **La presencia de la presa de CORPUS en la localidad de Pindo'i**

- tiene efecto significativo sobre el salto bruto en ITAIPU, con consecuentes reducciones de disponibilidad de potencia. Para el caso simulado, existe una reducción de la potencia disponible media en torno a 61 MW/UG para la presencia de la presa de Corpus operando a cota 105,00 msnm, para compensar estas pérdidas, se debería también modificar el texto del Acuerdo Tripartito donde se limita la operación de ITAIPU a 18 unidades generadoras;

- la flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito al 50% no trae aumento significativo en términos de disponibilidad de potencia en ITAIPU (aumento promedio inferior a 1MW/UG);

- reduce el potencial de producción energético de ITAIPU. Para el caso simulado de una producción de referencia, existe una reducción en torno al 5% para la presa de Corpus operando a cota 105,00 msnm;

- tiene efecto atenuante de las ondas de propagación ante variaciones de descarga de ITAIPU;

Es importante tener en consideración la posibilidad de incorporar niveles mínimos en R11, de forma tal a permitir la navegación aguas abajo de dicho punto. Si bien no es punto trascendente para la revisión del Anexo C, debe ser evaluado convenientemente atendiendo a las situaciones que se han presentado en los años 2018 y 2020, en los cuales se tuvo que disponer vertimientos de agua en la CHI, de forma a permitir la navegación de productos nacionales en el rico Paraná.

## 7. Referencias

[1] Nota Reversal N° 16, «ACUERDO TRIPARTITO (PARAGUAY/BRASIL/ARGENTINA) REFERENTE AL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DEL RÍO PARANÁ,» Ciudad Pdte. Stroessner, 1979.

[2] COMIP, «Proyecto Corpus Christi - Situación Actual,» Octubre 2018. [En línea]. Available: https://www.comip.org.ar/Corpus/.

[3] P. Gaete, «Modelación Hidrodinámica del Río Paraná con HEC-RAS,» Asunción, 2014.

[4] C. Fukasawa, J. R. Ribeiro, A. P. do Nacimento, R. Favoreto, R. B. Machado, C. M. Villasanti e J. Zamodski, “Referência das Grandezas Hidroenergéticas,” CHI, 2012.

## 8. Anexos

Acuerdo Tripartito.ppsx

# Acuerdo Tripartito

# ACUERDO TRIPARTITO SOBRE

# CORPUS E ITAIPU

**19 de Octubre de 1979.**

CUADRO I.1. NIVELES DE RESTITUCION EN ITAIPU PARA DISTINTOS CAUDALES EN ITAIPU E IGUAZU Y DIFERENTE COTAS DE CORPUS.

| COTA CORPUS | CAUDAL ITAIPU m3/seg. | CAUDAL IGUAZU (m3/seg.) 200 | 1600 | 4000 | 5000 | 7300 | 30000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3000 | 88,2 | 90,6 | 93,8 | 95,8 | 98 | 118,7 |
| | 5000 | 92 | 94 | 97 | 98,8 | 101 | 119,9 |
| | 8000 | 97,6 | 99 | 101,5 | 103 | 104,8 | 121,5 |
| | 10000 | 100,7 | 102 | 104 | 105,3 | 107,1 | 122,6 |
| COND. | 14000 | 105,4 | 106,4 | 108,3 | 109,5 | 111 | 124,7 |
| | 18000 | 109,4 | 110,6 | 112,2 | 113,2 | 114,5 | 126,7 |
| NAT. | 22000 | 113,1 | 114 | 115,5 | 116,4 | 117,6 | 128,5 |
| | 28000 | 117,6 | 118,4 | 119,7 | 120,5 | 121,3 | 131 |
| | 32000 | 120,3 | 121,1 | 122,2 | 122,9 | 123,7 | 132,6 |
| | 38000 | 123,8 | 124,5 | 125,6 | 126,1 | 126,7 | 135 |
| | 2000 | 105,2 | 105,4 | 106,1 | 106,8 | 107,5 | 119,5 |
| | 4000 | 105,8 | 106,1 | 106,9 | 107,7 | 108,5 | 120,7 |
| | 7000 | 107 | 107,5 | 108,5 | 109,4 | 110,3 | 122,3 |
| | 10000 | 108,8 | 109,4 | 110,4 | 111,3 | 112,2 | 123,7 |
| 105 | 14000 | 111,2 | 111,8 | 113 | 113,8 | 114,7 | 125,7 |
| | 18000 | 113,8 | 114,3 | 115,4 | 116,2 | 117,1 | 127,6 |
| | 22000 | 116,2 | 116,8 | 117,8 | 118,6 | 119,4 | 129,4 |
| | 26000 | 118,5 | 119,1 | 120,1 | 120,8 | 121,6 | 131 |
| | 30000 | 120,7 | 121,4 | 122,3 | 123 | 123,8 | 132,6 |
| | 2000 | 130 | 130 | 130,1 | 130,2 | 130,3 | 131,1 |
| | 6000 | 130,1 | 130,2 | 130,4 | 130,5 | 130,6 | 133,8 |
| COTA | 10000 | 130,4 | 130,5 | 130,8 | 131 | 131,2 | 134,6 |
| | 16000 | 131,1 | 131,3 | 131,7 | 131,9 | 132,1 | 135,9 |
| 130 | 22000 | 132 | 132,2 | 132,6 | 132,8 | 133,1 | 137,4 |
| | 28000 | 133,1 | 133,3 | 133,8 | 134 | 134,3 | 138,9 |
| | 36000 | 134,7 | 134,9 | 135,4 | 135,6 | 136 | 140,9 |

CUADRO 1.2 ENERGIA MEDIA ANUAL EN ITAIPU EN GWh

| COTA CORPUS | ENERGIA MEDIA ANUAL | DISMINUCION | DISMINUCION % |
|---|---|---|---|
| Sin Corpus | 71.973 | 0 | 0 |
| 95 | 70.663 | 1310 | 1,82 |
| 100 | 69.358 | 2615 | 3,63 |
| 105 | 67.738 | 4235 | 5,88 |
| 110 | 65.521 | 6452 | 8,96 |
| 115 | 63.041 | 8932 | 12,41 |
| 120 | 60.106 | 11867 | 16,49 |
| 130 | 53.371 | 18602 | 25,84 |

CUADRO 1.3 ENERGIA MEDIA ANUAL EN ACARAY EN GWh

| COTA CORPUS | ENERGIA MEDIA ANUAL | DISMINUCION | DISMINUCION % |
|---|---|---|---|
| Sin Corpus | 963 | 0 | 0 |
| 95 | 938 | 25 | 2,59 |
| 100 | 915 | 48 | 4,98 |
| 105 | 886 | 77 | 7,99 |
| 110 | 847 | 116 | 12,04 |
| 115 | 803 | 160 | 16,61 |
| 120 | 753 | 210 | 21,8 |
| 130 | 643 | 320 | 33,23 |

CUADRO 1.4.

BALANCE ENERGETICO DEL TRAMO EN GWh

| | Régimen | COTA DE EMBALSE EN ITA-CURUBI | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Natural | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 |
| PRODUCCION DE ENERGIA MEDIA ANUAL | | | | | | | |
| Zona de Corpus* | 0 | 9.877 | 14.495 | 19.114 | 23.626 | 28.236 | 32.784 |
| Acaray | 963 | 938 | 915 | 886 | 847 | 803 | 753 |
| Itaipú ** | 71.973 | 70.663 | 69.358 | 67.738 | 65.521 | 63.041 | 60.106 |
| Total | 72.936 | 81.478 | 84.768 | 87.738 | 89.994 | 92.080 | 93.643 |
| GANANCIA DE LA PRODUCCION DE ENERGIA MEDIA COMPARADA CON EL REGIMEN NATURAL | | | | | | | |
| Zona de Corpus* | 0 | 9.877 | 14.495 | 19.114 | 23.626 | 28.236 | 32.784 |
| Acaray | 0 | -25 | -48 | -77 | -116 | -160 | -210 |
| Itaipú** | 0 | -1.310 | -2.615 | -4.236 | -6.452 | -8.932 | -11.867 |
| Total | 0 | 8.542 | 11.832 | 14.801 | 17.058 | 19.144 | 20.707 |

* Zona de Corpus : ITA-CURUBI F.C.I. = 0,54

** Itaipú : Caso 1 con 18 unidades.

CUADRO B-1

## INTERRELACIONES DE CORPUS E ITAIPU

### Régimen para 18 Grupos en Itaipú

| | Régimen Anual | | | Régimen Mensual | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Seco | Medio | Lluvioso | Mínimo | Máximo |
| 1. Caudales naturales en m3/seg | | | | | |
| - En Itaipú | 5.474 | 8.566 | 11.753 | 3.194 | 20.652 |
| - En Corpus | 9.404 | 11.802 | 16.152 | 5.211 | 23.549 |
| 2. Niveles de restitución de Itaipú | | | | | |
| - En condiciones naturales | 107.7 | 107.2 | 108.1 | 105.8 | 111.4 |
| - Con Corpus a cota 95 | 109.3 | 108.9 | 109.7 | 107.6 | 112.6 |
| - Con Corpus a cota 100 | 110.8 | 110.4 | 111.1 | 109.3 | 113.7 |
| - Con Corpus a cota 105 | 112.7 | 112.3 | 112.9 | 111.5 | 115.1 |
| - Con Corpus a cota 110 | 115.5 | 115.2 | 115.7 | 114.5 | 117.5 |
| - Con Corpus a cota 115 | 118.7 | 118.4 | 118.8 | 117.9 | 120.8 |
| - Con Corpus a cota 120 | 122.5 | 122.4 | 122.6 | 122.0 | 123.7 |
| 3. Pérdidas de caída de Itaipú en m | | | | | |
| - Con Corpus a cota 95 | 1.6 | 1.7 | 1.6 | 1.2 | 1.8 |
| - Con Corpus a cota 100 | 3.1 | 3.2 | 3.0 | 2.3 | 3.5 |
| - Con Corpus a cota 105 | 5.0 | 5.1 | 4.9 | 3.7 | 5.7 |
| - Con Corpus a cota 110 | 7.8 | 8.0 | 7.6 | 6.1 | 8.7 |
| - Con Corpus a cota 115 | 11.0 | 11.2 | 10.7 | 8.8 | 12.1 |
| - Con Corpus a cota 120 | 14.8 | 15.2 | 14.5 | 12.3 | 16.2 |
| 4. Régimen en condiciones naturales | | | | | |
| - Potencia en MW | 12.803 | 12.893 | 12.784 | 12.179 | 13.128 |
| - Energía en GWh | 48.423 | 71.973 | 91.524 | 2.479 | 9.627 |
| 5. Pérdidas de potencia de Itaipú en MW | | | | | |
| - Con Corpus a cota 95 | 274 | 286 | 269 | 195 | 305 |
| - Con Corpus a cota 100 | 519 | 538 | 499 | 387 | 595 |
| - Con Corpus a cota 105 | 836 | 864 | 808 | 621 | 956 |
| - Con Corpus a cota 110 | 1.311 | 1.354 | 1.271 | 1.019 | 1.467 |
| - Con Corpus a cota 115 | 1.845 | 1.898 | 1.796 | 1.485 | 2.042 |
| - Con Corpus a cota 120 | 2.492 | 2.554 | 2.439 | 2.064 | 2.724 |
| 6. Pérdidas de energía de Itaipú en GWh | | | | | |
| - Con Corpus a cota 95 | 863 | 1.340 | 1.704 | 62 | 218 |
| - Con Corpus a cota 100 | 1.764 | 2.615 | 3.254 | 115 | 408 |
| - Con Corpus a cota 105 | 2.859 | 4.235 | 5.262 | 180 | 657 |
| - Con Corpus a cota 110 | 4.276 | 6.452 | 8.180 | 260 | 1.027 |
| - Con Corpus a cota 115 | 5.864 | 8.932 | 11.469 | 347 | 1.433 |
| - Con Corpus a cota 120 | 7.670 | 11.867 | 15.495 | 443 | 1.924 |

CUADRO B-2

INTERRELACIONES DE CORPUS E ITAIPU

Régimen para 24 Grupos en Itaipú

| | Régimen Anual | | | Régimen Mensual | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Seco | Medio | Lluvioso | Mínimo | Máximo |
| 1. Caudales naturales en m3/seg | | | | | |
| - En Itaipú | 5.474 | 8.566 | 11.753 | 3.194 | 20.652 |
| - En Corpus | 9.404 | 11.802 | 16.152 | 5.211 | 23.548 |
| 2. Niveles de restitución de Itaipú | | | | | |
| - En condiciones naturales | 112.1 | 111.7 | 112.5 | 110.5 | 115.3 |
| - Con Corpus a cota 95 | 113.2 | 112.8 | 113.6 | 111.7 | 116.0 |
| - Con Corpus a cota 100 | 114.2 | 113.8 | 114.4 | 112.9 | 116.8 |
| - Con Corpus a cota 105 | 115.4 | 115.1 | 115.6 | 114.3 | 117.8 |
| - Con Corpus a cota 110 | 117.8 | 117.5 | 117.9 | 116.8 | 119.7 |
| - Con Corpus a cota 115 | 120.4 | 120.1 | 120.5 | 119.6 | 121.9 |
| - Con Corpus a cota 120 | 123.8 | 123.6 | 123.9 | 123.1 | 125.0 |
| 3. Pérdidas de caída de Itaipú en m | | | | | |
| - Con Corpus a cota 95 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 0.7 | 1.2 |
| - Con Corpus a cota 100 | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 1.5 | 2.4 |
| - Con Corpus a cota 105 | 3.3 | 3.4 | 3.1 | 2.5 | 3.8 |
| - Con Corpus a cota 110 | 5.7 | 5.8 | 5.4 | 4.4 | 6.3 |
| - Con Corpus a cota 115 | 8.3 | 8.4 | 8.0 | 6.6 | 9.1 |
| - Con Corpus a cota 120 | 11.7 | 11.9 | 11.4 | 9.7 | 12.6 |
| 4. Régimen en condiciones naturales | | | | | |
| - Potencia en MW | 16.073 | 16.176 | 15.998 | 15.370 | 16.439 |
| - Energía en GWh | 47.377 | 72.689 | 95.895 | 2.414 | 12.072 |
| 5. Pérdidas de potencia de Itaipú en MW | | | | | |
| - Con Corpus a cota 95 | 243 | 255 | 243 | 169 | 274 |
| - Con Corpus a cota 100 | 463 | 482 | 441 | 343 | 545 |
| - Con Corpus a cota 105 | 733 | 760 | 709 | 559 | 841 |
| - Con Corpus a cota 110 | 1.257 | 1.298 | 1.226 | 990 | 1.400 |
| - Con Corpus a cota 115 | 1.839 | 1.893 | 1.795 | 1.484 | 2.030 |
| - Con Corpus a cota 120 | 2.607 | 2.670 | 2.560 | 2.184 | 2.832 |
| 6. Pérdidas de energía de Itaipú en GWh | | | | | |
| - Con Corpus a cota 95 | 758 | 1.101 | 1.315 | 44 | 192 |
| - Con Corpus a cota 100 | 1.484 | 2.068 | 2.412 | 89 | 365 |
| - Con Corpus a cota 105 | 2.403 | 3.321 | 3.854 | 145 | 572 |
| - Con Corpus a cota 110 | 3.681 | 5.220 | 6.265 | 215 | 980 |
| - Con Corpus a cota 115 | 5.115 | 7.356 | 9.083 | 296 | 1.429 |
| - Con Corpus a cota 120 | 6.835 | 9.997 | 12.682 | 387 | 2.009 |

elc-MKI

ESTUDOS DOS RIOS DA REGIÃO DO

ALTO PARANÁ

(PARAGUAI)

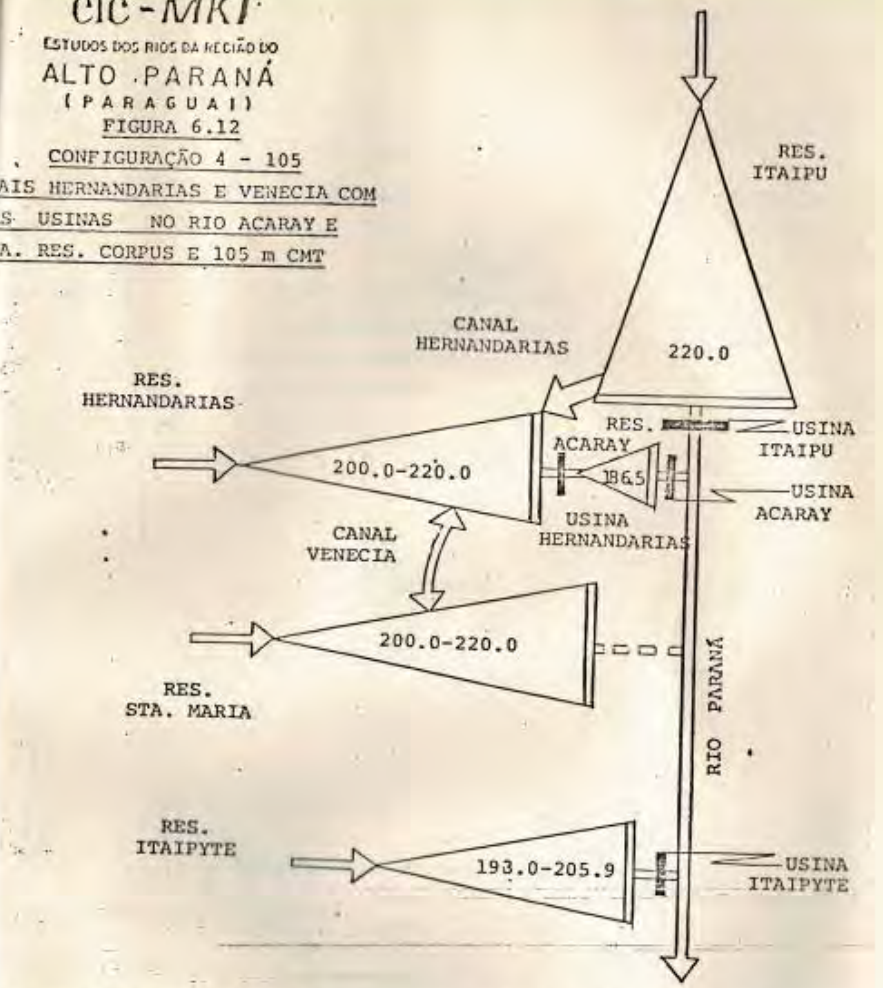
FIGURA 6.12

CONFIGURAÇÃO 4 - 105

AIS HERNANDARIAS E VENECIA COM

AS USINAS NO RIO ACARAY E

A. RES. CORPUS E 105 m CMT




NOTA: Cotas em metros CMT e percentual referido às curvas de duração.

| USINA | ENERGIA (MW MÉDIOS) | | | | | CAPACIDADE (MW) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PRIMÁRIA | SECUNDÁRIA | | | TOTAL | INSTALADA | GARANTIDA | | | |
| | | UTILIZÁVEL | NÃO UTILIZÁVEL | TOTAL | | | ITAIPU NA BASE | | ITAIPU NO PICO | |
| | | | | | | | 95% | 98% | 95% | 98% |
| Hernandarias | 123 | - | - | 35 | 158 | 310 | 243 | 174 | 243 | 174 |
| Acaray | 352 | - | - | 81 | 433 | 880 | 777 | 739 | 772 | 737 |
| Total | 475 | - | - | 116 | 591 | 1190 | 1020 | 913 | 1015 | 911 |
| Itaipyte | 33 | - | - | 3 | 36 | 80 | 65 | 61 | 62 | 59 |
| Total Arit. | 508 | 11 | 108 | 119 | 627 | 1270 | 1085 | 974 | 1077 | 970 |
| Total Integ. | 508 | 11 | 108 | 119 | 627 | 1270 | 1166 | 1124 | 1111 | 1063 |

ENERGIA FIRME VS.VOLUME USADO COM NOVAS CONDIÇÕES A JUSANTE PARA AS USINAS HERNANDARIAS, ACARAY, ITAIPYTE E ITAIPU, COM RESERVATÓRIOS HERNANDARIAS, SANTA MARIA E ITAIPYTE, E CANAIS HERNANDARIAS E SANTA MARIA (CONFIGURAÇÃO 4).

| DATA DA SIMULAÇÃO | CÓDIGO DA SIMULAÇÃO | RIOS ACARAY E MONDAY | | | | RIO ÑACUNDAY | | ENERGIA FIRME TOTAL | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Energia Firme | | | Volume Usado | Energia Firme Usina Itaipyte | Volume Usado | Três Rios | Itaipu | Três Rios Mais Itaipu |
| | | Usina Hern. (MW MÉD.) | Usina Acaray (MW MÉD.) | Total (MW MÉD.) | ($Hm^3$) | (MW MÉD.) | ($Hm^3$) | (MW MÉD.) | (MW MÉD.) | (MW MÉD.) |
| 1. JUSANTE 100 m | | | | | | | | | | |
| 4 set 76 | NE2A/A | 123 | 357 | 480 | 27590 | 20 | 210 | 500 | 6542 | 7042 |
| 7 set 76 | NE2A/B | 104 | 266 | 370 | 7890 | 30 | 1200 | 400 | 6547 | 6947 |
| 8 set 76 | NE2A/C | 114 | 306 | 420 | 15070 | 33 | 1640 | 453 | 6545 | 6998 |
| 15 set 76 | NE2A/D | 124 | 366 | 490 | 29660 | 35 | 2700 | 525 | 6542 | 7067 |
| 17 set 76 | NE2A/E | 125 | 370 | 495 | 30980 | 34 | 2010 | 529 | 6542 | 7072 |
| 2. JUSANTE 105 m | | | | | | | | | | |
| 4 set 76 | NE2B/A | 125 | 355 | 480 | 31570 | 20 | 234 | 500 | 6338 | 6838 |
| 7 set 76 | NE2B/B | 107 | 263 | 370 | 8890 | 30 | 1400 | 400 | 6342 | 6742 |
| 8 set 76 | NE2B/C | 116 | 304 | 420 | 17940 | 33 | 2310 | 453 | 6341 | 6794 |
| 15 set 76 | NE2B/D | 122 | 328 | 450 | 24150 | 33 | 2310 | 483 | 6339 | 6822 |
| 17 set 76 | NE2B/E | 124 | 346 | 470 | 29220 | 32 | 1710 | 502 | 6339 | 6841 |
| 3. JUSANTE 110 m | | | | | | | | | | |
| 3 set 76 | NE2C/A | 124 | 336 | 460 | 31580 | 20 | 266 | 480 | 6108 | 6588 |
| 7 set 76 | NE2C/B | - | - | - | - | 30 | 1630 | - | 6112 | - |
| 10 set 76 | NE2C/C | 120 | 300 | 420 | 21830 | 30 | 1630 | 450 | 6110 | 6560 |
| 15 set 76 | NE2C/D | 122 | 318 | 440 | 26300 | 31 | 2010 | 471 | 6109 | 6580 |
| 18 set 76 | NE2C/E | 124 | 326 | 450 | 29000 | 32 | 2830 | 482 | 6109 | 6591 |
| 22 set 76 | NE2C/F | 110 | 260 | 370 | 11830 | 26 | 990 | 396 | 6111 | 6507 |
| 4. JUSANTE 120 m | | | | | | | | | | |
| 7 set 76 | NE2D/B | 117 | 253 | 370 | 19020 | 20 | 475 | 390 | 5599 | 5989 |
| 10 set 76 | NE2D/C | 125 | 295 | 420 | 32310 | 20 | 475 | 440 | 5599 | 6039 |
| 15 set 76 | NE2D/D | 123 | 277 | 400 | 26000 | 24 | 1110 | 424 | 5599 | 6023 |
| 18 set 76 | NE2D/E | 124 | 286 | 410 | 29060 | 26 | 1480 | 436 | 5599 | 6035 |
| 22 set 76 | NE2D/F | 108 | 222 | 330 | 9980 | 28 | 2300 | 358 | 5600 | 5958 |

NOTA: Período de referência para energia firme é maio/52-novembro/55.

## Operación de Itaipu
### sin Corpus

| Afluencia IPU m3/s | Niv. med. C.F. IPU msnm | Con Corpus - vs - sin Corpus : en regimen Salto Bruto medio m | Red. med de S.B. m | Potencia p. unid. MW | Red. med. P.U. MW | Variaciones intradiarias S.B. min. m | Var. S.B. m | Potencia mínima MW | Var. Potencia MW | Var. R-11 m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9000 | 100.10 | 119.90 | | 784 | | 118.56 | 2.68 | 771 | 25 | 1.77 |
| 10000 | 101.45 | 118.55 | | 771 | | 117.35 | 2.4 | 760 | 23 | 1.59 |
| 11000 | 102.70 | 117.30 | | 759 | | 116.20 | 2.2 | 749 | 21 | 1.45 |

Rio Iguazú en confluencia : 1.600 m3/s

Fuente : Estudio de la Comisión Mixta

## Operación de Itaipu
### Corpus : 105

| Afluencia IPU m3/s | Niv. med. C.F. IPU msnm | Con Corpus - vs - sin Corpus : en regimen Salto Bruto medio m | Red. med de S.B. m | Potencia p. unid. MW | Red. med. P.U. MW | Variaciones intradiarias S.B. min. m | Var. S.B. m | Potencia mínima MW | Var. Potencia MW | Var. R-11 m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9000 | 108.30 | 111.70 | 8.2 | 706 | 78 | 109.88 | 1.65 | 688 | 15 | 1.30 |
| 10000 | 109.00 | 111.00 | 7.55 | 699 | 72 | 109.19 | 1.49 | 682 | 13 | 1.17 |
| 11000 | 109.50 | 110.50 | 6.60 | 694 | 65 | 108.70 | 1.35 | 677 | 12 | 1.05 |

Rio Iguazú en confluencia : 1.600 m3/s

Fuente : Estudio de la Comisión Mixta

# RESULTADOS DEL MODELO HIDRODINAMICO DE ITAIPU

## Potencias por unidad en horario de alta carga ( 17 a 22 horas )

### Defluencia durante dos horas : 12.600 m3/s

| horas | Defl.Ipu : 9000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. | Defl.Ipu : 10000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. | Defl.Ipu : 11000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. | Defl.Ipu : 12000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sin Corpus** | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 100.15 | 119.85 | 784 | 101.78 | 118.22 | 768 | 103.46 | 116.54 | 751 | 104.95 | 115.05 | 737 |
| 18 | 100.94 | 119.06 | 775 | 102.31 | 117.69 | 762 | 103.76 | 116.24 | 749 | 105.06 | 114.94 | 736 |
| 19 | 102.18 | 117.82 | 764 | 103.14 | 116.86 | 755 | 104.23 | 115.77 | 744 | 105.22 | 114.78 | 735 |
| 20 | 102.8 | 117.2 | 765 | 103.57 | 116.43 | 750 | 104.47 | 115.53 | 742 | 105.31 | 114.69 | 734 |
| 21 | 103.15 | 116.85 | 755 | 103.84 | 116.16 | 748 | 104.62 | 115.38 | 740 | 105.37 | 114.63 | 733 |
| 22 | 102.73 | 117.27 | 759 | 103.56 | 116.44 | 750 | 104.45 | 115.55 | 742 | 105.31 | 114.69 | 734 |
| **Corpus : 105** | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 108.49 | 111.51 | 703 | 109.22 | 110.78 | 696 | 109.98 | 110.02 | 689 | 110.77 | 109.23 | 682 |
| 18 | 108.95 | 111.05 | 699 | 109.55 | 110.45 | 694 | 110.19 | 109.81 | 688 | 110.84 | 109.16 | 680 |
| 19 | 109.62 | 110.38 | 693 | 110.03 | 109.97 | 689 | 110.48 | 109.52 | 684 | 110.95 | 109.05 | 679 |
| 20 | 109.94 | 110.06 | 689 | 110.27 | 109.73 | 687 | 110.62 | 109.38 | 683 | 111 | 109 | 679 |
| 21 | 110.18 | 109.82 | 687 | 110.45 | 109.55 | 684 | 110.74 | 109.26 | 682 | 111.05 | 108.95 | 678 |
| 22 | 109.91 | 110.09 | 689 | 110.26 | 109.74 | 682 | 110.62 | 109.38 | 683 | 111 | 109 | 679 |

# RESULTADOS DEL MODELO HIDRODINAMICO DE ITAIPU

## Potencias por unidad en horario de alta carga ( 17 a 22 horas )

### Defluencia durante cinco horas : 12.600 m3/s

| horas | Defl.Ipu : 9000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. | Defl.Ipu : 10000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. | Defl.Ipu : 11000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. | Defl.Ipu : 12000 / Afl.Izu :1600 Niv. C.F. | S.B. | Pot. un. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sin Corpus** | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 101.68 | 118.32 | 769 | 103.26 | 116.74 | 754 | 103.97 | 116.03 | 747 | 105.11 | 114.89 | 736 |
| 18 | 102.42 | 117.58 | 761 | 103.68 | 116.32 | 750 | 104.26 | 115.74 | 744 | 105.21 | 114.79 | 735 |
| 19 | 102.83 | 117.17 | 757 | 103.94 | 116.06 | 747 | 104.44 | 115.56 | 743 | 105.28 | 114.72 | 734 |
| 20 | 103.17 | 116.83 | 754 | 104.15 | 115.85 | 745 | 104.59 | 115.41 | 742 | 105.33 | 114.67 | 734 |
| 21 | 103.45 | 116.55 | 751 | 104.33 | 115.67 | 743 | 104.72 | 115.28 | 739 | 105.39 | 114.61 | 734 |
| 22 | 103.69 | 116.31 | 749 | 104.48 | 115.52 | 742 | 104.82 | 115.18 | 738 | 105.43 | 114.57 | 732 |
| **Corpus : 105** | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 109.37 | 110.63 | 695 | 110.04 | 109.96 | 688 | 110.33 | 109.67 | 686 | 110.86 | 109.14 | 681 |
| 18 | 109.75 | 110.25 | 691 | 110.27 | 109.73 | 687 | 110.5 | 109.5 | 684 | 110.93 | 109.07 | 680 |
| 19 | 110.02 | 109.98 | 689 | 110.44 | 109.56 | 685 | 110.63 | 109.37 | 683 | 110.94 | 109.06 | 679 |
| 20 | 110.25 | 109.75 | 687 | 110.59 | 109.41 | 683 | 110.74 | 109.26 | 682 | 111.03 | 108.97 | 678 |
| 21 | 110.41 | 109.59 | 684 | 110.69 | 109.31 | 682 | 110.82 | 109.18 | 681 | 111.06 | 108.94 | 678 |
| 22 | 110.54 | 109.46 | 683 | 110.78 | 109.22 | 682 | 110.88 | 109.12 | 680 | 111.08 | 108.92 | 678 |

*Embajada del Paraguay*

*Buenos Aires - Rca. Argentina*

EP-ARG-3-Nro.: 130/97

. . .

LA EMBAJADA DE LA REPUBLICA DEL PARAGUAY saluda al MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES, COMERCIO INTERNACIONAL Y CULTO y tiene el honor de referirse al Acuerdo sobre Cooperación Técnico-Operativa entre los Aprovechamientos de Itaipú y Corpus, del 19 de octubre de 1979, firmado entre los Gobiernos de la Argentina, del Brasil y del Paraguay (conocido como Acuerdo Tripartito), así como al proceso negociador iniciado entre los Cancilleres de los tres países en Viña del Mar, en noviembre del año pasado, al margen de la Cumbre Iberoamericana.

2. Las Notas Reversales DAM-I/97 del Brasil, y la No. 20, del Paraguay, ambas del 30 de octubre de 1978, establecieron la posibilidad de que la ITAIPU Binacional contara con hasta dos unidades generadoras además de las 18 unidades mencionadas en las referidas Notas Reversales. Los Gobiernos del Paraguay y del Brasil, luego de una serie de estudios técnicos realizados sobre el asunto, decidieron tomar las medidas necesarias para hacer viable la instalación de dichas unidades generadoras adicionales. Con ese fin, y teniendo en cuenta el objetivo de impulsar aún más la cooperación entre las Partes, previsto en el Acuerdo Tripartito, los Gobiernos del Paraguay y del Brasil, tienen el honor de proponer al Gobierno de la República Argentina las siguientes modificaciones al párrafo 5 del Acuerdo citado:

**ítem b)** *"Variación horaria de nivel"*: modificar de *"cincuenta centímetros"* a *"un metro"*;

*"Variación diaria de nivel"*: modificar de *"dos metros"* a *"tres metros"*;

Eliminar la frase: *"Velocidad superficial normal: dos metros por segundo"*;

**ítem c)** Modificar la expresión *"de las 18 unidades"* a *"de 18 de las 20 unidades"*.

Al Honorable
**MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES,**
**COMERCIO INTERNACIONAL Y CULTO**
Buenos Aires, República Argentina

...///...

# ANEXO I

# TABELA DE DISPONBILIDADE DE PONTA

| $m^3/s$ AFLUÊNCIA | $m^3/s$ IGUAÇU | DISPONIBILIDADE DE PONTA (MWH/H) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2,0 / 0,5 | 2,0/0,6 | 2,4/0,6 | 2,0 / 1,0 | 3,0 / 1,0 | 4,0 / 1,0 |
| 6.500 | 1.000 | 8.700 | 9.100 | 9.100 | 9.100 | 10.000 | 10.300 |
| | 2.000 | 8.800 | 9.100 | 9.100 | 9.100 | 10.100 | 10.400 |
| | 3.000 | 8.800 | 9.100 | 9.100 | 9.100 | 10.200 | 10.400 |
| | 4.000 | 8.800 | 9.200 | 9.200 | 9.200 | 10.300 | 10.500 |
| | 5.000 | 8.900 | 9.200 | 9.200 | 9.200 | 10.400 | 10.700 |
| | 10.000 | 9.200 | 9.600 | 9.600 | 9.600 | 10.700 | 10.700 |
| 7.000 | 1.000 | 9.300 | 9.600 | 9.600 | 9.600 | 10.600 | 10.700 |
| | 2.000 | 9.400 | 9.700 | 9.700 | 9.700 | 10.700 | 10.700 |
| | 3.000 | 9.400 | 9.700 | 9.700 | 9.800 | 10.700 | 10.700 |
| | 4.000 | 9.400 | 9.800 | 9.800 | 9.800 | 10.700 | 10.700 |
| | 5.000 | 9.400 | 9.800 | 9.800 | 9.900 | 10.700 | 10.700 |
| | 10.000 | 9.700 | 10.200 | 10.200 | 10.200 | 10.700 | 10.700 |
| 7.500 | 1.000 | 9.800 | 10.100 | 10.100 | 10.200 | 10.700 | 10.700 |
| | 2.000 | 9.900 | 10.200 | 10.200 | 10.300 | 10.700 | 10.700 |
| | 3.000 | 9.900 | 10.300 | 10.300 | 10.300 | 10.700 | 10.700 |
| | 4.000 | 10.000 | 10.300 | 10.300 | 10.400 | 10.700 | 10.700 |
| | 5.000 | 10.000 | 10.400 | 10.400 | 10.400 | 10.700 | 10.700 |
| | 10.000 | 10.200 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 |
| 8.000 | 1.000 | 10.400 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 |
| | 2.000 | 10.500 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 |
| | 3.000 | 10.500 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 |
| | 4.000 | 10.500 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 |
| | 5.000 | 10.600 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 | 10.700 |
| 8.500 | 1.000 | 10.900 | 11.200 | 11.200 | 11.200 | 12.000 | 12.000 |
| | 2.000 | 10.900 | 11.200 | 11.200 | 11.200 | 12.000 | 12.000 |
| | 3.000 | 11.000 | 11.300 | 11.300 | 11.300 | 12.000 | 12.000 |
| | 4.000 | 11.000 | 11.400 | 11.400 | 11.400 | 12.000 | 12.000 |
| | 5.000 | 11.000 | 11.500 | 11.500 | 11.500 | 12.000 | 12.000 |
| 9.000 | 1.000 | 11.500 | 11.800 | 11.800 | 11.800 | 12.000 | 12.000 |
| | 2.000 | 11.600 | 11.900 | 11.900 | 11.900 | 12.000 | 12.000 |
| | 3.000 | 11.600 | 11.900 | 11.900 | 11.900 | 12.000 | 12.000 |
| | 4.000 | 11.600 | 11.900 | 11.900 | 12.000 | 12.000 | 12.000 |
| | 5.000 | 11.600 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 |

Nota: Os valores de disponibilidade de ponta (MWH/H) podem ser atendidos durante 5 horas.

# ANEXO II

## TABELA NÚMERO DE HORAS DE ATENDIMENTO A PONTA

| $m^3/s$ AFLUÊNCIA | $m^3/s$ IGUAÇU | NÚMERO DE HORAS DE ATENDIMENTO A PONTA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2,0 / 0,5 | | | 2,0 / 0,6 | | | 2,4/0,6 | | | 2,0/1,0 | | | 3,0 / 1,0 | | | 4,0 / 1,0 | | |
| | | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 6.500 | 1.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 |
| | 2.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 |
| | 3.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 | 2 | 1 |
| | 4.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 |
| | 10.000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 |
| 7.000 | 1.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 |
| | 2.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 |
| | 3.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 |
| | 4.000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 2 | 5 | 4 | 2 |
| | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 3 |
| | 10.000 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| 7.500 | 1.000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 5 | 4 | 2 | 5 | 5 | 4 |
| | 2.000 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 |
| | 3.000 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| | 4.000 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| | 5.000 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| | 10.000 | 3 | 1 | 0 | 4 | 2 | 0 | 4 | 2 | 0 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 8.000 | 1.000 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| | 2.000 | 3 | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 4 | 2 | 0 | 3 | 2 | 1 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| | 3.000 | 3 | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 4 | 2 | 0 | 3 | 2 | 1 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| | 4.000 | 3 | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 5 | 2 | 0 | 4 | 2 | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| | 5.000 | 4 | 2 | 0 | 4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 8.500 | 1.000 | 5 | 1 | 0 | 5 | 1 | 0 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 2.000 | 5 | 1 | 0 | 5 | 1 | 0 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 3.000 | 5 | 2 | 0 | 5 | 2 | 1 | 5 | 4 | 2 | 5 | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 4.000 | 5 | 2 | 0 | 5 | 3 | 2 | 5 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 5.000 | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 2 | 5 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 9.000 | 1.000 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 2.000 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 3.000 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 4.000 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 5.000 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

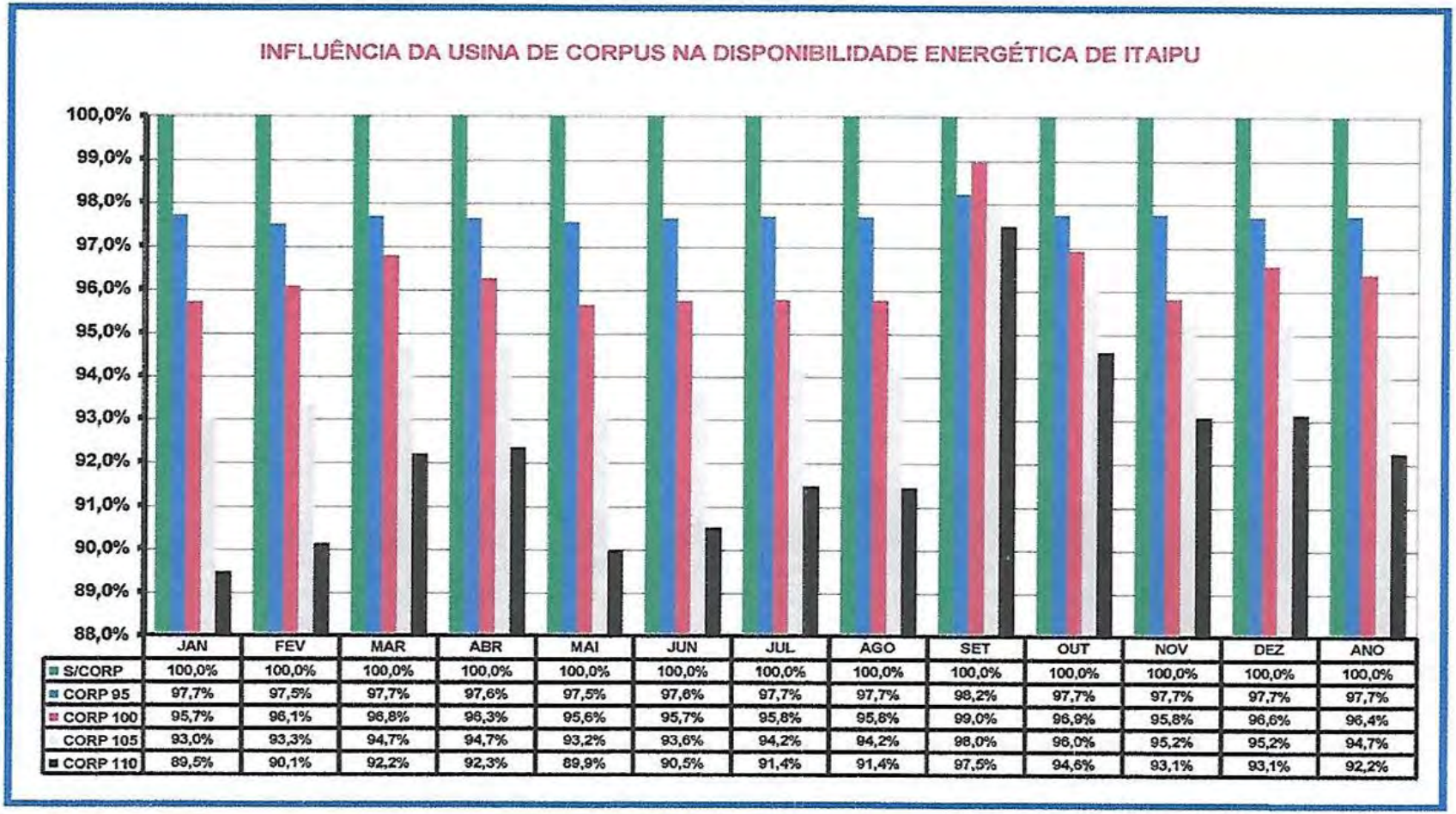
Nota: O número de horas de atendimento a ponta foram obtidos para um compromisso de atendimento contratual de : A=10700 MW , B=11350 MW e C=12000 MW .

# ANEXO III

# GANHOS DE GERAÇÃO ADICIONAIS NA UHE ITAIPU

| $m^3/s$ AFLUÊNCIA | $m^3/s$ IGUAÇU | GANHO DE GERAÇÃO ADICIONAL (MWH/H) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2,0 / 0,5 | 2,0/0,6 | 2,4/0,6 | 2,0 / 1,0 | 3,0 / 1,0 | 4,0 / 1,0 |
| 6.500 | 1.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 1.300 | 1.600 |
| | 2.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.300 | 1.600 |
| | 3.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.400 | 1.600 |
| | 4.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 1.500 | 1.700 |
| | 5.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.500 | 1.800 |
| | 10.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 1.500 | 1.500 |
| 7.000 | 1.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.300 | 1.400 |
| | 2.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.500 | 1.500 |
| | 3.000 | 0 | 300 | 300 | 400 | 1.300 | 1.300 |
| | 4.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 1.300 | 1.300 |
| | 5.000 | 0 | 400 | 400 | 500 | 1.300 | 1.300 |
| | 10.000 | 0 | 500 | 500 | 500 | 1.000 | 1.000 |
| 7.500 | 1.000 | 0 | 300 | 300 | 400 | 900 | 900 |
| | 2.000 | 0 | 300 | 300 | 400 | 800 | 800 |
| | 3.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 800 | 800 |
| | 4.000 | 0 | 300 | 300 | 400 | 700 | 700 |
| | 5.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 700 | 700 |
| | 10.000 | 0 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 8.000 | 1.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | 2.000 | 0 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| | 3.000 | 0 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| | 4.000 | 0 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| | 5.000 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 8.500 | 1.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.100 | 1.100 |
| | 2.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.100 | 1.100 |
| | 3.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 1.000 | 1.000 |
| | 4.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 1.000 | 1.000 |
| | 5.000 | 0 | 500 | 500 | 500 | 1.000 | 1.000 |
| 9.000 | 1.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 500 | 500 |
| | 2.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 400 | 400 |
| | 3.000 | 0 | 300 | 300 | 300 | 400 | 400 |
| | 4.000 | 0 | 300 | 300 | 400 | 400 | 400 |
| | 5.000 | 0 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |

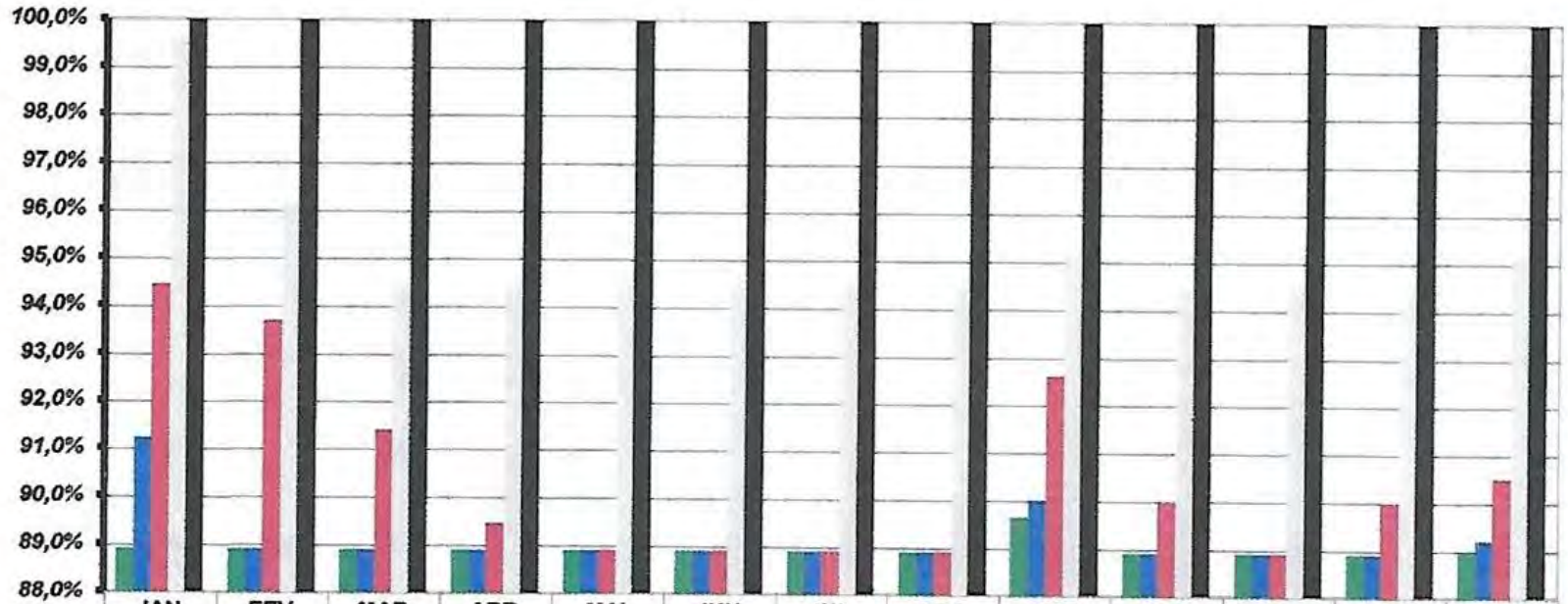
# INFLUÊNCIA DA USINA DE CORPUS NOS ASPECTOS HIDRO-ENERGÉTICOS DE ITAIPU




| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | ANO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S/CORP | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| CORP 95 | 97,7% | 97,5% | 97,7% | 97,6% | 97,5% | 97,6% | 97,7% | 97,7% | 98,2% | 97,7% | 97,7% | 97,7% | 97,7% |
| CORP 100 | 95,7% | 96,1% | 96,8% | 96,3% | 95,6% | 95,7% | 95,8% | 95,8% | 99,0% | 96,9% | 95,8% | 96,6% | 96,4% |
| CORP 105 | 93,0% | 93,3% | 94,7% | 94,7% | 93,2% | 93,6% | 94,2% | 94,2% | 98,0% | 96,0% | 95,2% | 95,2% | 94,7% |
| CORP 110 | 89,5% | 90,1% | 92,2% | 92,3% | 89,9% | 90,5% | 91,4% | 91,4% | 97,5% | 94,6% | 93,1% | 93,1% | 92,2% |

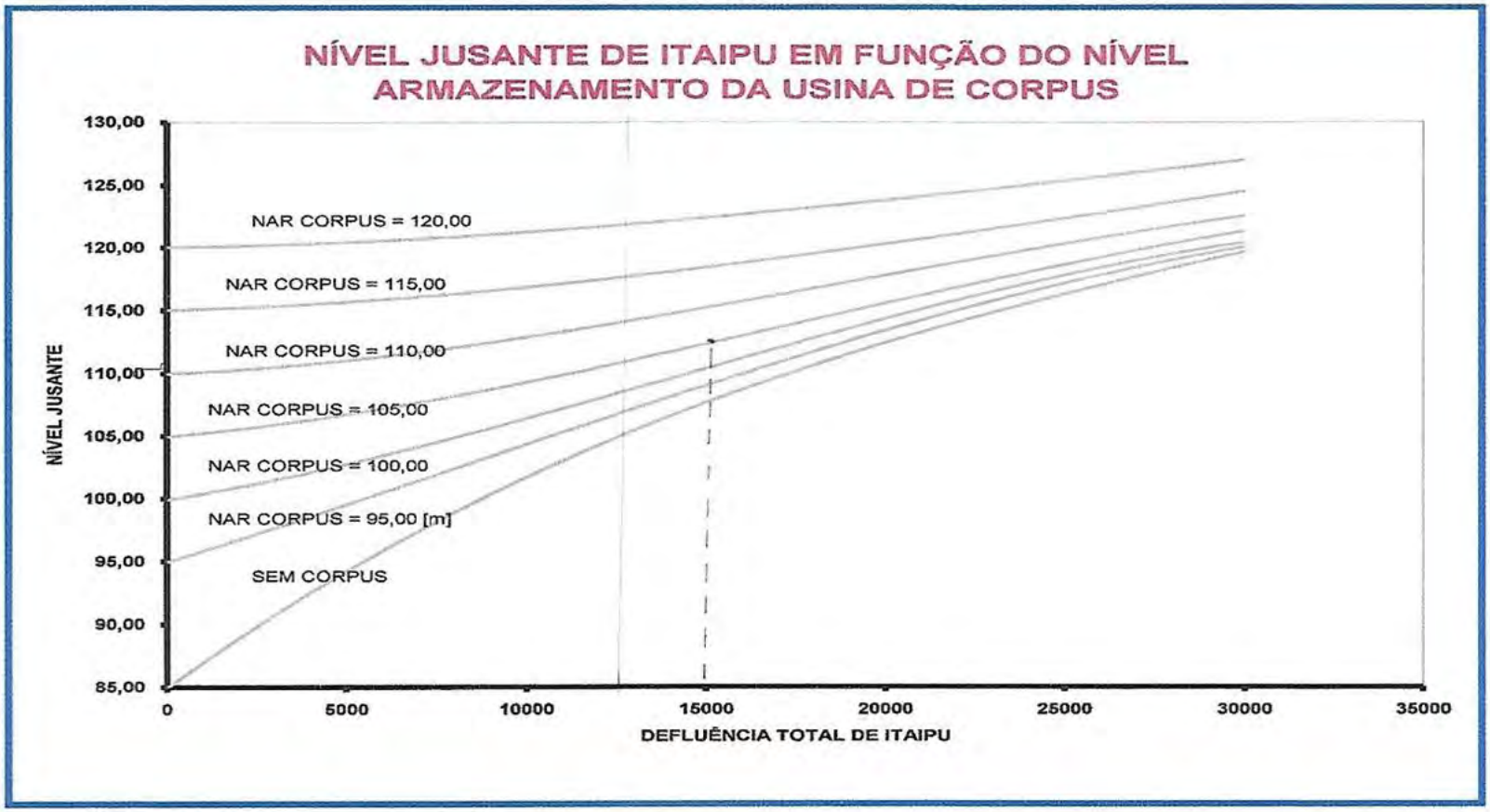
# INFLUÊNCIA DA USINA DE CORPUS NOS ASPECTOS HIDRO-ENERGÉTICOS DE ITAIPU

## INFLUÊNCIA DA USINA DE CORPUS NA DISPONIBILIDADE DE UNIDADES PARA ATENDIMENTO DO CONTRATO DA ITAIPU




| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | ANO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S/CORP | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 89,6% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% |
| CORP 95 | 91,2% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 90,0% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 89,2% |
| CORP 100 | 94,4% | 93,7% | 91,4% | 89,4% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 88,9% | 92,6% | 90,0% | 88,9% | 90,0% | 90,5% |
| CORP 105 | 99,6% | 96,2% | 94,4% | 94,4% | 94,4% | 94,4% | 94,4% | 94,4% | 95,2% | 94,4% | 94,4% | 94,4% | 95,1% |
| CORP 110 | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

# INFLUÊNCIA DA USINA DE CORPUS NOS ASPECTOS HIDRO-ENERGÉTICOS DE ITAIPU



**Influencia de Corpus y Yacyretá sobre Itaipú y Cataratas**

Trabajo realizado con el programa CLIV en régimen con las rugosidades definidas para cada una de las secciones que componen las dos redes usadas.

**Casos considerados:**

condición natural
con Yacyretá sin Corpus
con Corpus

**Condición aguas abajo:**

Primer caso: curva de descarga en Encarnación/posadas (Condición Natural)

Segundo caso: elevación 84.00/83.00 msnm en Encarnación Posadas (Yayretá XX)
Tercer caso: elevación 105.00 msnm en Corpus (Corpus 105) (IGN)

**Nivel de agua en el embalse de Itaipú:** 220 msnm. (?)

**Redes Usadas:**

| | |
|---|---|
| Condición Natural | c:/archivos de programa\cliv\itaipu\abajo\corpus\itapos.rde |
| Yacyretá | c:/archivos de programa\cliv\itaipu\abajo\corpus\itapos.rde |
| Corpus | c:/archivos de programa\cliv\itaipu\abajo\corpus\corpusop.rde |

**Régimen permanente – Itaipú 10000m$^3$/s e Iguazú 1000 m$^3$/s – Encarnación 83.00 msnm.**

| Niveles de agua obtenidos | Condición Natural | Yacyretá 83 | Corpus 105 |
|---|---|---|---|
| Canal de fuga(msnm) | 101.4 msnm | 102.6 | 109.4 |
| Cataratas (msnm) | 100.2 | 100.9 | 108.5 |
| Salto bruto(m) | 118.6 | 117.4 | 110.6 |
| Disminución(%) | 6.7 | 1.0 | 5.7 |

**Régimen permanente – Itaipú 10000 m$^3$/s e Iguazú 1000 m$^3$/s – Encarnación 84.00 msnm.**

| Niveles de agua obtenidos | Condición Natural | Yacyretá 84 | Corpus 105 |
|---|---|---|---|
| Canal de fuga(msnm) | 101.4 msnm | 102.7 | 109.7 |
| Cataratas (msnm) | 100.2 | 101.1 | 109.2 |
| Salto bruto(m) | 118.6 | 117.3 | 110.3 |
| Disminución(%) | 7.0 | 1.0 | 6.0 |

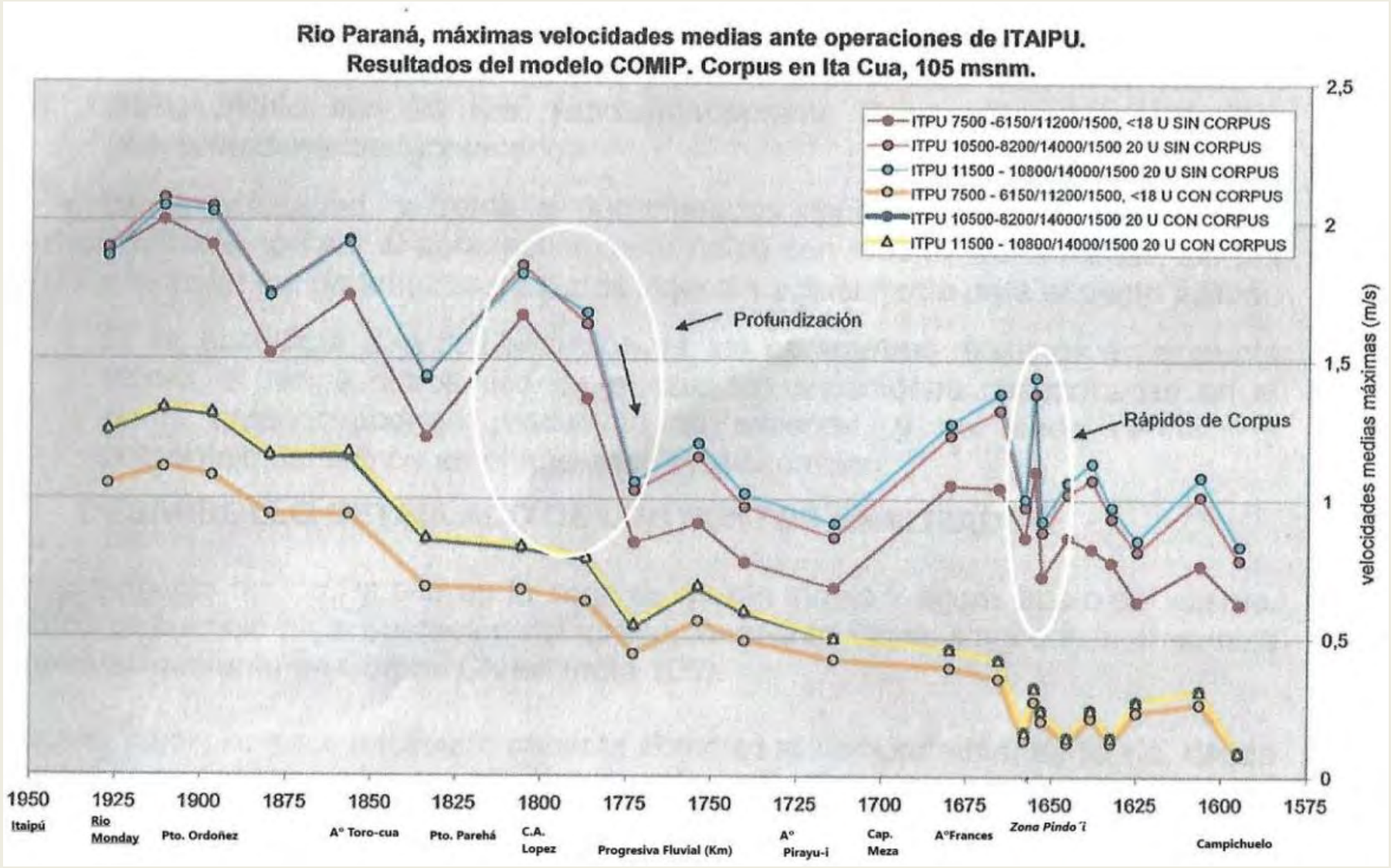
**Régimen permanente – Itaipú 12000 m$^3$/s e Iguazú 1600 m$^3$/s – Encarnación 83.00 msnm.**

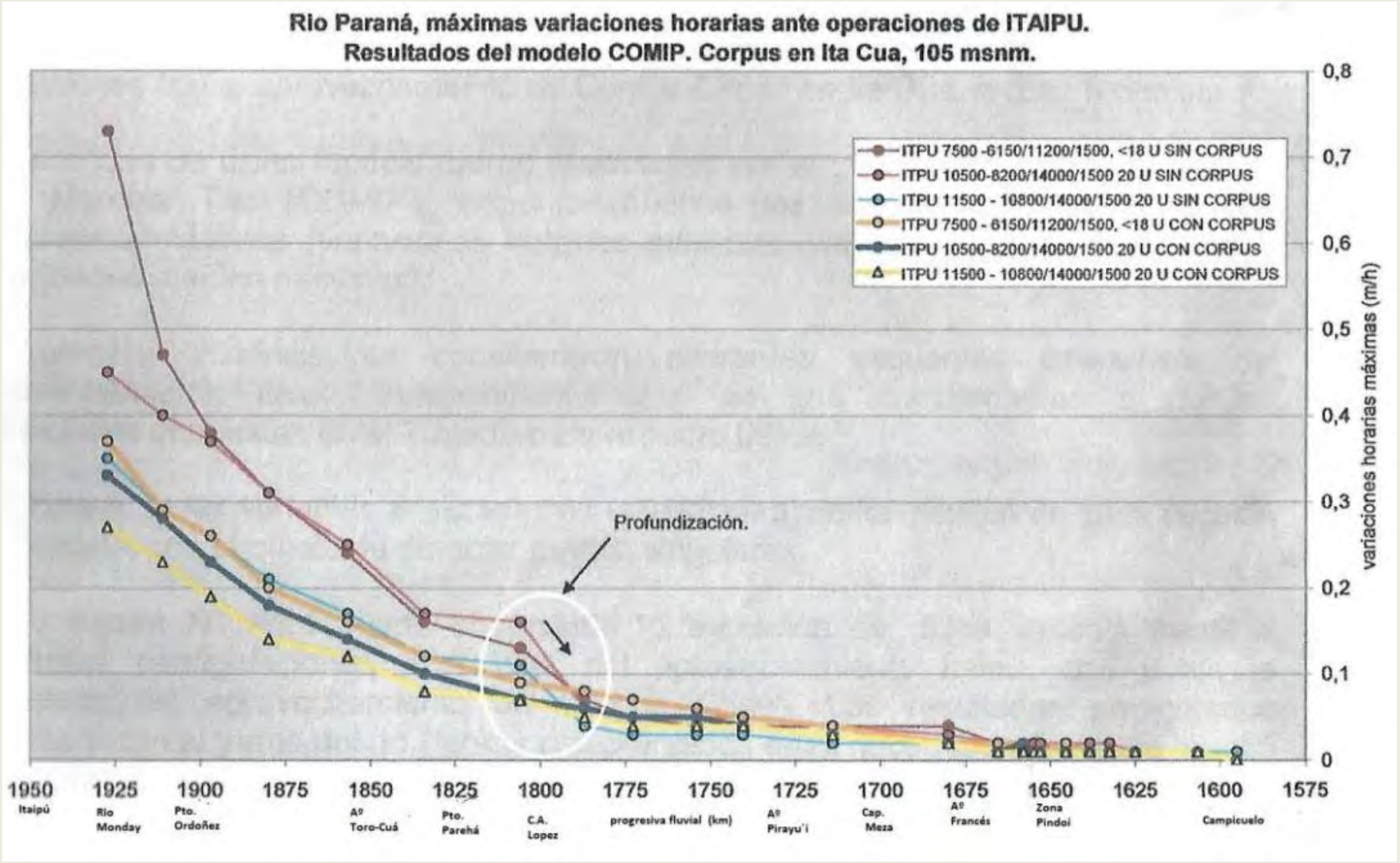
| Niveles de agua obtenidos | Condición Natural | Yacyretá 84 | Corpus 105 |
|---|---|---|---|
| Canal de fuga(msnm) | 105.3 msnm | 105.5 | 110.9 |
| Cataratas (msnm) | 104.4 | 104.4 | 110.1 |
| Salto bruto(m) | 114.7 | 114.5 | 109.1 |
| Disminución(%) | 4.8 | 0.2 | 4.6 |

**Régimen permanente – Itaipú 12000 m$^3$/s e Iguazú 1600 m$^3$/s – Encarnación 84.00 msnm.**

| Niveles de agua obtenidos | Condición Natural | Yacyretá 84 | Corpus 105 |
|---|---|---|---|
| Canal de fuga(msnm) | 105.3 msnm | 105.6 | 111.0 |
| Cataratas (msnm) | 104.1 | 104.4 | 110.3 |
| Salto bruto(m) | 114.7 | 114.4 | 109.0 |
| Disminución(%) | 5.0 | 0.3 | 4.7 |

| AFECTACIONES PARA Q = 14.400 m3/s | | | | |
|---|---|---|---|---|
| LOCALIDAD | PROGRESIVA (Km) | POSADAS NE = 83 m | PINDOI NE = 105 m | Δ (m) |
| | | COTAS (m) | | |
| 1- Isla Pindoi | 1,658.0 | 84.51 | 105.00 | 20.49 |
| 2- Puerto Bella Vista | 1,664.0 | 84.73 | 105.01 | 20.28 |
| 3- Sto. Pipo | 1,669.0 | 85.01 | 105.03 | 20.02 |
| 4- Pto.Pirapo | 1,688.5 | 85.87 | 105.09 | 19.22 |
| 5- Cap. Meza. | 1,703.0 | 86.45 | 105.14 | 18.69 |
| 6- Pto. Rico | 1,740.5 | 87.38 | 105.29 | 17.91 |
| 7- San Rafael | 1,761.0 | 88.35 | 105.44 | 17.09 |
| 8- Parana Guazu | 1,772.8 | 88.93 | 105.54 | 16.61 |
| 9- Pto. Piray | 1,800.0 | 91.00 | 105.86 | 14.86 |
| 10- Pto. El Dorado | 1,804.7 | 91.71 | 105.96 | 14.25 |
| 11- Pto. Victoria | 1,816.0 | 92.61 | 106.14 | 13.53 |
| 12- Pto. Mado | 1,834.0 | 93.55 | 106.39 | 12.84 |
| 13- Pto. Toro Cua | 1,840.0 | 93.85 | 106.47 | 12.62 |
| 14- Pto. Esperanza | 1,863.0 | 96.10 | 107.29 | 11.19 |
| 15- Pto. Yrigoyen | 1,868.0 | 96.52 | 107.51 | 10.99 |
| 16- Pto. Libertad | 1,877.5 | 97.28 | 107.80 | 10.52 |
| 17- Estacion R11 | 1,924.5 | 102.82 | 109.69 | 6.87 |
| 18- Itaipu | 1,949.0 | 105.50 | 110.89 | 5.39 |


Rio Paraná, máximas velocidades medias ante operaciones de ITAIPU.
Resultados del modelo COMIP. Corpus en Ita Cua, 105 msnm.
ITPU 7500 -6150/11200/1500, <18 U SIN CORPUS
ITPU 10500-8200/14000/1500 20 U SIN CORPUS
ITPU 11500 - 10800/14000/1500 20 U SIN CORPUS
ITPU 7500 - 6150/11200/1500, <18 U CON CORPUS
ITPU 10500-8200/14000/1500 20 U CON CORPUS
ITPU 11500 - 10800/14000/1500 20 U CON CORPUS
Profundización
Rápidos de Corpus
velocidades medias máximas (m/s)
2,5
2
1,5
1
0,5
0
1950
1925
1900
1875
1850
1825
1800
1775
1750
1725
1700
1675
1650
1625
1600
1575
Itaipú
Rio Monday
Pto. Ordoñez
A° Toro-cua
Pto. Parehá
C.A. Lopez
Progresiva Fluvial (Km)
A° Pirayu-i
Cap. Meza
A°Frances
Zona Pindo 'i
Campichuelo


Rio Paraná, máximas variaciones horarias ante operaciones de ITAIPU.
Resultados del modelo COMIP. Corpus en Ita Cua, 105 msnm.
ITPU 7500 -6150/11200/1500, <18 U SIN CORPUS
ITPU 10500-8200/14000/1500 20 U SIN CORPUS
ITPU 11500 - 10800/14000/1500 20 U SIN CORPUS
ITPU 7500 - 6150/11200/1500, <18 U CON CORPUS
ITPU 10500-8200/14000/1500 20 U CON CORPUS
ITPU 11500 - 10800/14000/1500 20 U CON CORPUS
Profundización.
variaciones horarias máximas (m/h)
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
1950
1925
1900
1875
1850
1825
1800
1775
1750
1725
1700
1675
1650
1625
1600
1575
Itaipú
Rio Monday
Pto. Ordoñez
Aº Toro-Cuá
Pto. Pareha
C.A. Lopez
progresiva fluvial (km)
Aº Pirayu'i
Cap. Meza
Aº Francés
Zona Pindoi
Campicuelo

## Hidrología

Tramo Rio Parana entre Progresivas Km 1927 - 1740,5

Influencia diferencial del cambio del parametro del Acuerdo Tripartito.

Escenario: sin el embalse de Corpus Christi.

**Variación máxima diaria: m/día**

| Lugar / Cond. | Punto 1 Desemb Rio Iguazú | Pto 2 Pto Peninsula | Punto 3 Aº Ituti | Punto 4 Domingo Martinez de Irala | Punto 5 Pto. Paranambú | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Actual | 2.0 | 1.34 | 1.61 | 1.37 | 1.27 | | | | | | |
| Futura | 3.0 | 2.77 | 2.43 | 2.09 | 1.94 | | | | | | |

## Hidrología

Tramo Rio Parana entre Progresivas Km 1927 - 1740,5

Influencia diferencial del cambio del parametro del Acuerdo Tripartito.

Escenario: sin el embalse de Corpus Christi.

**Variación Maxima Horaria (m/h)**

| Lugar / Cond. | Punto 1 Desemb Rio Iguazú | Pto 2 Pto Peninsula | Punto 3 Aº Ituti | Punto 4 Domingo Martinez de Irala | Punto 5 Pto. Paranambú | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Actual | 0.50 | 0.46 | 0 | 0.26 | | | | | | | |
| Futura | 1 | 0,88 | 0.66 | 0.45 | | | | | | | |

## Hidrología

Tramo Rio Parana entre Progresiva Km 1927 - 1740,5

Influencia diferencial del cambio del parametro del Acuerdo Tripartito.

Escenario: sin el embalse de Corpus Christi.

**Variación de Velocidades Medias máximas: (m/s)**

| Lugar / Cond. | Punto 1 Desemb Rio Iguazú | Pto 2 Pto Peninsula | Punto 3 Aº Ituti | Punto 4 Domingo Martinez de Irala | Punto 5 Pto. Paranambú | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Actual | 1,71 | 1,62 | 1,77 | 1,2 | 1,41 | | | | | | |
| Futura | 1,91 | 1,97 | 1,89 | 1,29 | 1,51 | | | | | | |

## Rca. Arg. Agenda negociación energética con Brasil. IX/2006

- Análisis y consideración de los parámetros establecidos en el Acuerdo Tripartito
- Participación brasileña en la construcción de la actual hidroeléctrica de Corpus Christi.
- Línea Itaipú – San Isidro (POSADAS). consideración del fortalecimiento de una red de conexión regional de energía eléctrica a partir de una LT 500KV.
- Acuerdo sobre intercambio de información hidrológica del río Iguazú.
- Reinventario de los aprovechamientos binacionales posibles sobre el río Uruguay, en particular el proyecto Garabí.

Rca. Arg. Interconexión regional con la construcción de la línea 500 KV que interconecte en 50Hz Itaipú – San Isidro

Brasil tendría una interconexión entre sus sistemas Noroeste y Sur (Itaipú – San Isidro – Rincón Santa María – Garabí).
Interconexión Brasil – Argentina – Chile
Mejora la estabilidad del Sistema Eléctrico Argentino, por aumento del momento de inercia.
Paraguay tendría todo su sistema eléctrico en 50Hz y un solo sincronismo con el mercado Argentino y Uruguayo.
Misiones podría mejorar la oferta en su sistema con una subestación 500/132 Kv en algún lugar intermedio de la línea de Itaipú – San Isidro.

# *NEGOCIACIONES SOBRE EL TRATADO DE ITAIPU*

## *GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO*

## *INFORME Nº GT. T – 03*

***ASUNTO**: "Elevación del nivel operativo máximo del embalse de ITAIPU de 220,50 a 221,50 m.s.n.m."*

***Fecha: 21.04.2020***

## GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO

## Informe Nº GT.T – 03

**Fecha:** 21.04.2020

**Asunto:** ***"Elevación del nivel operativo máximo del embalse de Itaipu de 220,50 a 221,50 m.s.n.m."***

**Participantes:**

Ing. Ubaldo Fernández, Coordinador, representante de ANDE; Coordinador del GT.T

Embajador Federico González, representante del MRE;

Ing. Leopoldo Lamas, representante de COMIP;

Ing. Martin González, representante de COMIP;

Ing. Felipe Mitjans, representante del VMME;

Ing. Luis Valdez, representante de Itaipu;

Ing. Hugo Zárate, representante de Itaipu.

---

### 1 Objeto

Analizar los estudios sobre el proyecto de elevación del nivel máximo operativo del embalse de ITAIPU, exponer los resultados y elaborar una conclusión respecto al asunto.

### 2 Asuntos evaluados

Recomendaciones del Board de consultores de ITAIPU, levantamiento de todas las gestiones, análisis, estudios relacionados al asunto que sean complementarios y contribuyan al objeto de este informe.

### 3 Informaciones utilizadas

Informes de la Junta del Board de Consultores de ITAIPU 2006 a 2018, Estudios de cuantificación de ganancia energética, Estudios de revisión de la CMP, Estudios con uso de modelos hidrodinámicos, Relatos de Información, Análisis Técnicos, Notas Técnicas de la Superintendencia de Operación de ITAIPU.

### 4 Descripción y Desarrollo

### 4.1 Introducción

El estudio de CMP, Creciente Máxima Probable fue realizado en la fase de estudio de viabilidad del proyecto de ITAIPU en la década del 70 con base en lo siguiente;

- Datos disponibles en la época;
- Condiciones de los embalses aguas arriba;
- Uso del suelo de la cuenca de aquel periodo.

Dicho estudio fue revisado en el año 1.987 para analizar el impacto de la gran inundación ocurrida en 1982 y 1983, los estudios se realizaron con los mismos criterios del estudio original y usando los mismos modelos hidrológicos de caudal y precipitaciones. Los resultados indicaron que los valores de la CMP no variaron por efecto de aquella inundación.

Posteriormente, en función de otros estudios realizados en 1996 por Tucci y Clarke, encomendados por ITAIPU, constataron un aumento significativo de caudales afluentes al embalse de Itaipu, este aumento fue identificado como siendo resultado del efecto de alteraciones de precipitación y modificaciones del uso del suelo ocurridos a partir de 1970, este escenario no fue considerado en la revisión de 1987. En el año 2006 este estudio fue presentado al Board de consultores y estos recomendaron un nuevo estudio de la CMP.

El nuevo estudio de la CMP realizado y aprobado en el año 2014 y entre otros resultados podemos citar lo siguiente:

- El efecto del uso del suelo mostró que, en el escenario actual la mayor deforestación produjo un aumento del volumen y de caudal máximo en las simulaciones, sin embargo, este efecto es compensado por la amortiguación de las inundaciones en las planicies de inundación;
- Comparando el caudal máximo afluente obtenido en 1987 con el caudal máximo obtenido en este estudio, resultó en una discrepancia mínima porque el efecto de la deforestación y uso del suelo se compensaría por las planicies de inundación en una situación de CMP.

Los estudios de viabilidad de la usina de ITAIPU que determinaron que su operación a pelo de agua y con un nivel máximo normal de operación en la cota 220,00 m.s.n.m. con un Borde Libre normal de 5,0 m y un Borde Libre Excepcional de 1,9 m para el paso de la CMP, se realizaron considerando el proyecto Ilha Grande, localizada inmediatamente aguas arriba de Itaipu.

Sin embargo, la usina de Ilha Grande fue excluida del plan de expansión del sistema eléctrico brasileño, con esto, el Borde Libre Excepcional aumenta para 3,2 m para el mismo valor de CMP, lo que permitiría la elevación del nivel normal del embalse hasta 2,5 m (El. 222,5) manteniéndose el Borde Libre Excepcional arriba de 2,0 m, conforme fueron confirmados con el estudio CMP realizado en 1987.

Estudios de amortiguación de la CMP, realizados en 2002, en las condiciones actuales, o sea, sin la presa de Ilha Grande, a partir de niveles de agua superiores al nivel máximo normal del proyecto El. 220,00 hasta la El. 222,50 m, indicaron que durante este evento serían alcanzados niveles máximos inferiores a aquellos especificados en el proyecto, conforme se resume en la siguiente tabla.

Tabla 1 - Niveles máximos (m.s.n.m) excepcionales alcanzados con y sin Ilha Grande

| **Nivel inicial del Embalse** | **Nivel Máximo CMP sin Ilha Grande** | **Nivel Máximo CMP con Ilha Grande** |
|---|---|---|
| 220,00 | 221,83 | 223,15 |
| 220,50 | 221,94 | 223,29 |
| 221,00 | 222,07 | 223,47 |
| 221,50 | 222,19 | 223,63 |
| 222,00 | 222,41 | 223,80 |
| 222,50 | 222,65 | 223,99 |

Entonces, durante una CMP sin Ilha Grande, aún con el nivel inicial del embalse en la cota 222,50, el nivel máximo quedaría por debajo de la El. 223,10, estipulado como nivel máximo excepcional para el proyecto ITAIPU.

Con los estudios de 1987 y la tranquilidad de los resultados del nuevo estudio de CMP del año 2014, con las constataciones de los estudios de Tucci y Clarke del año 1996 y considerando las condiciones actuales de funcionamiento de la CH de Itaipu se pasó a examinar las oportunidades de aumento de generación de energía que son:

- Aumento del nivel operativo y aprovechar el borde libre;
- Aumento de la generación con aumento de la potencia.

La pregunta principal es la siguiente: **¿es posible aumentar el nivel operativo de ITAIPU sin alterar la seguridad de la presa? En caso afirmativo, ¿cuál sería el nivel máximo que podría ser aumentado?**

## 4.2 Situación actual

La elevación del nivel operativo del embalse de ITAIPU requiere la instalación de deflectores de las compuertas del vertedero, actualmente está con la Especificación Técnica concluida y aprobada en la Cámara Técnica que es un órgano interno de la Dirección Técnica de Itaipu que define los proyectos que están en condiciones de ser presupuestados. La prosecución del proceso de licitación depende de la decisión del directorio ejecutivo binacional y de la obtención de recurso que se calcula en USD 20.000.000.

Además del costo citado se deben hacer relevamiento de otros costos como construcción de muros adicionales en ciertos puntos de la presa que según los estudios realizados en el año de 2006 estarían en USD 2.000.000.

El costo de las indemnizaciones a propietarios de tierras en la zona de Salto del Guairá y Guaíra deben ser calculados mediante resultados de estudios de altimetría que ya fueron realizados durante los años 2018 y 2019 y que están en fase de elaboración de los informes.

## 4.3 Principales Estudios Realizados

### 4.3.1 Cuantificación de la ganancia energética para distintas alternativas de elevación del nivel operativo del embalse de la Central de ITAIPU – Operación de la usina en el contexto sistémico - mayo 2005.

Estudio realizado por la Superintendencia de Operación con el propósito de cuantificar las ganancias energéticas para las distintas alternativas de elevación del nivel del embalse considerando la operación energética de la usina integrada al sistema hidroenergético brasileño. Para el estudio se consideró la operación de Itaipu con 20 unidades generadoras, manteniendo 2 unidades en mantenimiento.

Presentamos unas tablas de resultados del estudio.

Tabla 2 - Energía generada por el sistema (MWpromedio)

| **Escenarios** | | **Ref. cota 220 m** | **Ampl. 50 cm** | **Ampl. 100 cm** | **Ampl. 150 cm** | **Ampl. 200 cm** | **Ampl. 250 cm** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Periodo: Baja hidraulicidad (05/51 a 04/56) | **Med.** | 52.218 | 59.249 | 59.280 | 59.310 | 59.342 | 59.372 |
| | **Máx.** | 76.233 | 76.273 | 76.308 | 76.321 | 76.410 | 76.444 |
| Periodo: Alta hidraulicidad (06/81 a 05/84 | **Med.** | 74.996 | 75.061 | 75.127 | 75.194 | 75.258 | 75.324 |
| | **Máx.** | 97.768 | 97.845 | 97.922 | 97.999 | 98.077 | 98.155 |
| Periodo de 1983/2002 | **Med.** | 68.727 | 68.777 | 68.834 | 68.890 | 68.943 | 68.994 |
| | **Máx.** | 97.768 | 97.845 | 97.922 | 97.999 | 98.077 | 98.155 |
| Periodo de 1931 a 2002 | **Med.** | 65.999 | 66.042 | 66.088 | 66.134 | 66.178 | 66.220 |
| | **Máx.** | 97.768 | 97.845 | 97.922 | 97.999 | 98.077 | 98.155 |

Tabla 3 – Energía generada agregada al sistema por la elevación del embalse (MWpromedio)

| **Escenarios** | **Energía agregada** | **Ampl. 50 cm** | **Ampl. 100 cm** | **Ampl. 150 cm** | **Ampl. 200 cm** | **Ampl. 250 cm** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Periodo: Baja hidraulicidad (05/51 a 04/56) | **Med.** | 31 | 61 | 92 | 124 | 154 |
| | **Máx.** | 63 | 95 | 130 | 243 | 268 |
| Periodo: Alta hidraulicidad (06/81 a 05/84) | **Med.** | 66 | 132 | 199 | 262 | 329 |
| | **Máx.** | 125 | 233 | 321 | 467 | 566 |
| Periodo de 1983/2002 | **Med.** | 51 | 105 | 161 | 211 | 265 |
| | **Máx.** | 135 | 348 | 713 | 1.033 | 1.184 |
| Periodo de 1931 a 2002 | **Med.** | 43 | 88 | 134 | 178 | 220 |
| | **Máx.** | 126 | 352 | 717 | 1.036 | 1.188 |

Los resultados de las simulaciones fueron satisfactorios y demostraron que la ampliación del límite superior del nivel de operación del embalse, para cualquier escenario hidrológico, aporta una ganancia energética y de energía firme al sistema. La magnitud de la ganancia en ITAIPU está asociada al volumen turbinado y al aumento del salto bruto y en consecuencia de la productividad de la usina – MW/$m^3$/s propiciada por la ampliación.

A partir de los resultados de simulación, se concluye que la Energía Firme agregada es aproximadamente 65 MW promedio por cada 100 cm de elevación del embalse, si consideramos la ganancia energética promedio en la producción de energía del sistema, varía entre 61 MWpromedio y 132 MWpromedio. Si consideramos el periodo a partir del inicio de operación de ITAIPU (1984), la ganancia es aproximadamente 105 MWpromedio para cada 100 cm de elevación.

El estudio también analizó el costo de implementar una usina hidroeléctrica con capacidad instalada equivalente a la energía promedio producida, o sea, 100 MWpromedio por cada metro de elevación. Adoptando el valor de 1.000 USD/kW, para esa capacidad instalada se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 4 – Costos de implantación de usina de capacidad equivalente y factor de capacidad 0,6

| Cota (m.s.n.m) | Capacidad instalada equivalente (MW) | Valor millones de USD |
|---|---|---|
| 221,00 | 167 | 167 |
| 221,50 | 250 | 250 |
| 222,00 | 334 | 334 |
| 222,50 | 417 | 417 |

### 4.3.2 Estudio de viabilidad técnica de la elevación del nivel máximo normal del embalse de Itaipu – julio 2006

Este estudio incorpora los resultados del estudio que se describió en el ítem anterior y analizó otros aspectos de seguridad como:

Estabilidad de las estructuras: fueron verificadas las memorias de cálculo de toda la presa llegándose a la conclusión de que desde el punto de vista estructural hay suficiente margen de seguridad en cuanto a la estabilidad contra el deslizamiento y a las tensiones. Para los bloques más altos, el incremento de empuje es pequeño quedando dentro de la precisión de este tipo de cálculo y estos bloques tienen un margen de seguridad adecuada;

Protección contra olas: por debajo de la El. 222,00 m los riesgos de Overtop y los posibles daños son considerados aceptables, sin embargo, para la cota 222,50 m los riesgos de Overtop son considerados altos y para la presa de concreto podría ocurrir con cierta frecuencia sin mayores consecuencias, para la presa de tierra y de rocas, a pesar de ocurrir con rara frecuencia, podría causar daños y erosiones en la parte superior. Para el trecho localizado entre el final de la presa de tierra de la margen izquierda y la toma de agua del canal de Piracema se deberá construir un muro de protección contra las olas donde las cotas de terreno estén por debajo de la EL. 226,55 m

Dique de Hernandarias: para cotas superiores a la El. 221,50 m las aguas de la cuenca de drenaje del dique de Hernandarias deberán ser drenadas para otra cuenca o bombeadas para el lago.

Canal de Piracema: para el canal se necesitarán agregar más vueltas al circuito de escaleras para peces para mantener la velocidad del agua definidas para la escalada de peces.

Equipos Hidromecánicos: los equipos hidromecánicos del vertedero y de la toma de agua del Canal de Piracema deberán ser re manejados. El vertedero es la estructura más afectada porque será necesario aumentar la altura de las compuertas y los stoplogs, hasta la cota 221,50 m solo serán necesarias estas ampliaciones. Para la cota 222,50 m será necesario sustituir los cilindros de las astas de las compuertas.

Afectaciones, áreas inundadas: el estudio de viabilidad técnica-económica-ambiental solo podrá ser concluido luego de evaluar los efectos sobre el medio ambiente y sobre edificaciones erguidas en las márgenes del embalse.

Equipos Hidrogeneradores: varios aspectos de la operación de las turbinas y generadores fueron analizados por el consultor John H. Gummer, verificó todos los posibles problemas y concluyó que no

hay inconvenientes en cuanto a la carga hidráulica, cavitación, eficiencia de las turbinas, fluctuaciones de presión y presiones máximas.

La potencia máxima disponible por el equipo no será alterada. Por otro lado, para un salto mayor podrá disminuir el caudal turbinado para obtener la misma potencia, esto redunda en economía de agua y ésta podrá servir para producir energía adicional.

### 4.3.3 Estudios de Elevación del nivel operacional del embalse. Levantamiento de áreas afectadas – octubre 2014

Este estudio se trata de un proyecto piloto para establecer metodologías, parámetros, ajustes y precisiones que permitan la elaboración de las especificaciones técnicas más adecuadas para realizar el trabajo de relevamiento de las áreas afectadas, edificaciones y otras afectaciones de la infraestructura y el medio ambiente. Para el efecto Itaipu contrató la elaboración de los siguientes informes:

- Informe del plan de ejecución del perfilado a Laser;
- Informe del plan de vuelo;
- Informe de calibración del sistema LIDAR;
- Informe del plan de procesamiento de los datos LIDAR;
- Informe del perfilado a Laser posterior al vuelo;
- Trayectoria de la aeronave;
- Puntos de control y de calibración;
- Articulación del esquema de partición de datos;
- Modelo digital del terreno;
- Mosaico de curvas de nivel

Los resultados alcanzados comprueban que actualmente es muy difícil que otra tecnología supere las precisiones alcanzadas por los datos LIDAR. Se entiende que esos datos son los más recomendados para realizar estudios de elevación del nivel operativo del embalse y llevar adelante el necesario estudio y levantamiento de las áreas afectadas.

La adquisición de los datos LIDAR para el área de adyacencias al embalse traerá muchos beneficios además de aquellos inherentes a a la altimetría, pues, estos datos serán fundamentales para los estudios y análisis de impacto ambiental por efectos de la elevación del embalse en el área de dominio de Itaipu y de terceros aguas arriba de los municipios de Salto del Guairá y Guaíra.

Itaipu contrató el trabajo de relevamiento altimétrico con el uso de la tecnología LIDAR y los trabajos ya finalizaron. Actualmente está en la fase de elaboración de informes de resultados que deben ser entregados por la contratada aún este año 2020.

## 5 Conclusiones

Las ventajas de la elevación del nivel de operación del embalse de ITAIPU son manifiestas, no habiendo contraindicaciones técnicas importantes o mayores riesgos para las estructuras. El costo de las modificaciones y adaptaciones necesarias son bajos en comparación con el valor estimado para la ganancia energética.

No se recomienda elevar el nivel operativo arriba de 222,00 m.s.n.m., según se puede inferir de todos los estudios realizados la altura recomendada sería 221,50 m.s.n.m.

Los efectos de remanso aguas arriba de las localidades de Saltos del Guairá y Guaíra son significativos y se debe aguardar los resultados del trabajo de altimetría encomendado por ITAIPU, estos trabajos ya fueron realizados y los informes con resultados deben ser suministrados por la contratada todavía este año 2020, para evaluar los costos de indemnizaciones a terceros en base a los resultados.

## 6 Consideraciones Finales

La tendencia a largo plazo es de aumentos constantes de los costos de los combustibles fósiles debido al agotamiento de las reservas mundiales, por otro lado, también la producción de energía hidroeléctrica se vuelve más dispendiosa porque no se pueden construir en localizaciones cercanas a áreas pobladas y quedan apenas aquellos lugares lejanos de los centros de consumo. Por eso se vuelve extremadamente atrayente esta posibilidad de obtener energía a un costo marginal.

Por último, debemos mencionar en este informe que la decisión por la ***"elevación del nivel operativo del embalse"*** tendrá que superar eventuales obstáculos que pueden ser colocados por la parte brasileña puesto que el remanso que se ha de formar ocurrirá en territorio brasileño, aguas arriba de los municipios de Saltos del Guairá y Guaíra y que la ganancia energética que se consiga se divide en partes iguales.

## 7 Referencias


[1] Estudio de viabilidad de elevación del nivel máximo normal del embalse de Itaipu. - Especificación técnica - ESP 008/04 -2010.20.15200-P y E

[2] Criterios del Estudio de viabilidad para la elevación del nivel máximo normal del embalse de Itaipu. 2010.10.15200-P

[3] Cuantificación de la ganancia energética – Estudio energético mensual – Itaipu aislado. 2281.50.18001-E

[4] Cuantificación de la ganancia energética para distintas alternativas de elevación del embalse de la usina de Itaipu – Operación da usina en el contexto sistémico. - 2281-50-18000-P

[5] Estudio del remanso del reservorio de Itaipu. Viabilidad de la elevación del nivel del reservorio. - 2281-50-18002 E

[6] ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA DO ALTEAMENTO DO NÍVEL MÁXIMO NORMAL DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU – RELATÓRIO FINAL 2281-50-15402-P 19

[7] Estudos de viabilidade do alteamento do reservatório. Avaliação dos equipamentos hidromecânicos - 2281.50.15400-P

[8] Estudos de viabilidade do alteamento do reservatório. Avaliação dos aspectos de segurança - 2281.50.15401-P

[9] Feasibility studies for the raising of Itaipu maximum reservoir level. Turbine operation - 2281.50.15403-I

[10] Resoluciones del Directorio Ejecutivo

RDE -120/1993 - 471ª - Reunión Ordinaria – 10.09.1993

RDE -124/1994 - 491ª - Reunión Ordinaria – 21.07.1994

RDE -126/2000 – 623ª - Reunión Ordinaria – 24.08.2000

[11] Resolución del Consejo de Administración

RCA – 023/1994 – 135ª - Reunión – Extraordinaria – 11.11.1994

[12] Relatório Parcial - Avaliação dos impactos causados pelo reservatório de Itaipu sobre o arquipélago fluvial a montante de Guaíra.No. 01/94 – Grupo de Trabalho GT-RDE-120/93. Maio/1994.

# *NEGOCIACIONES SOBRE EL TRATADO DE ITAIPU*

# *GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO*

## *INFORME Nº GT.T – 04*

***ASUNTO**: "Compendio de los Informes Nº 01, 02 y 03 del GT.T"*

***Fecha: 21.04.2020***

## GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO

## Informe Nº GT. T – 04

**Fecha:** 21.04.2020

**Asunto:** ***"Compendio de los Informes Nº 01, 02 y 03 del GT.T"***

**Participantes:**

Ing. Ubaldo Fernández, Coordinador, representante de ANDE; Coordinador del GT.T

Embajador Federico González, representante del MRE;

Ing. Leopoldo Lamas, representante de COMIP;

Ing. Martin González, representante de COMIP;

Ing. Felipe Mitjans, representante del VMME;

Ing. Luis Valdez, representante de Itaipu;

Ing. Hugo Zárate, representante de Itaipu.

---

### 1 Objeto

Analizar los estudios contenidos en los Informes Nº GT.T 01, GT.T 02 y GT.T 03, ordenar las principales constataciones de cada uno de ellos, ponerlos en contexto de la suma de beneficios que podrían aportar al Paraguay si se concreta la realización de cada uno de los proyectos en el tiempo más conveniente, así como, aportar informaciones objetivas sobre las facilidades y dificultades de su obtención, amenazas, desafíos y oportunidades.

### 2 Asuntos evaluados

**a)** ***Proyecto de instalación de nuevas unidades generadoras en ITAIPU*** (ver Informe GT.T N°01)
**b)** ***Proyecto de flexibilización de límites del Acuerdo Tripartito (***ver Informe GT.T N°02)
**c)** ***Proyecto de elevación del nivel máximo operativo de ITAIPU*** (ver Informe GT.T N°03)

### 3 Informaciones utilizadas

Todo el contenido de los 3 informes del GT.T citados y todos los documentos listados en las referencias de estos estudios.

### 4 Desarrollo

#### 4.1 Introducción

Es importante señalar que el presente Informe, así como también los primeros 3 citados en el ítem 2, a rigor no hacen parte del Anexo C ni de su revisión, pero sí constituyen asuntos importantes que el Paraguay podría aprovechar introducirlos en la negociación, dado que son de su interés.

Estos estudios pretenden ilustrar sobre las condiciones de contorno que consideramos importantes y que, en su conjunto pueden significar la obtención casi inmediata de fuentes de potencia y de energía a costos muy bajos y hasta sin costo, que ayuden a ganar tiempo mientras se realizan otras inversiones de infraestructura de mayor envergadura que sean necesarias para garantizar el suministro de potencia y energía suficientes para el Paraguay.

### 4.2 Consideraciones Generales

Varios actores del sector energético coinciden que el mayor potencial existente de aumento de la producción energética se encuentra en la eficiencia.

Las modificaciones sugeridas, en relación a la ***"Elevación del nivel máximo operativo de ITAIPU***" y la ***"Flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito entre Paraguay, Brasil y Argentina",*** permiten aumentar la eficiencia de producción de manera tal que en una central del porte de ITAIPU representa inyección de energía a costo reducido, y eventualmente, desplazamiento temporal de inversiones en el parque de generación del Paraguay en el mediano plazo.

Si hacemos la distinción e identificamos a la ***"Elevación del nivel del embalse de ITAIPU"*** y a la ***"Flexibilización de límites del Acuerdo Tripartito"*** como proyectos que resultarán en un aumento de la eficiencia que resultará en aporte adicional de energía, debemos clasificar al proyecto de ***"Instalación de nuevas unidades generadoras en ITAIPU***" como proyecto de inversión y desarrollo de infraestructura de generación.

### 4.3 Análisis de los Informes Nº GT.T N° 01, 02 y 03

Como se puede apreciar en los 3 informes citados, individualmente todos esos proyectos son sumamente atractivos y su realización ofrece aspectos muy ventajosos para todas las partes puesto que, colocados en la balanza, los beneficios son muy importantes frente a los eventuales costos o dificultades.

Al analizar los tres proyectos en conjunto, vemos que es fundamental establecer el orden de ejecución de los mismos, habida cuenta de que modificar el Acuerdo Tripartito requiere negociación diplomática entre los tres países signatarios y eso demandará un tiempo que este GT.T no puede estimar, pero es claro que esta negociación es la piedra fundamental para la viabilidad del proyecto de ***"Ampliación del número de unidades generadoras en ITAIPU".***

Pasamos entonces a recordar los principales aspectos levantados en cada uno de los estudios citados y posteriormente trataremos de establecer los vínculos e interdependencias entre dichos proyectos.

#### 4.3.1 Flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito

El Informe Nº GT.T N° 02 en sus conclusiones valoró la flexibilización en dos tiempos y circunstancias diferentes, antes y después de Corpus.

#### 4.3.1.1 La flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito al 50% sin CORPUS

- permite un aumento de la capacidad de ITAIPU de atención de la carga en horarios de mayor demanda (aumento de atención en horarios de punta de carga);

- permite un aumento en promedio de 2,8 horas de atención de la demanda de punta considerada para la simulación (demanda de punta equivalente para una descarga de 12.600m3/s);

- permite un aumento promedio en torno a 3MW/UG de la potencia disponible en ITAIPU para el caso simulado. Esto significa un adicional de potencia en torno a los 60MW para el caso de 20 UG en Itaipu, o el equivalente aproximado de 1 UG de la Central Hidroeléctrica Acaray;

- dota de flexibilidad para distribuir las descargas durante el día de forma a adecuar la disponibilidad de potencia acorde con la demanda;

- posibilita disminuir las descargas requeridas para atender demandas críticas, y en su defecto conservar almacenamiento. Eso reduce el riesgo de no atención a la demanda de punta en caso de caudales afluentes reducidos;

- no necesariamente permite una ganancia energética para descargas bajas (inferiores a 11.000m3/s de acuerdo a las simulaciones), pero permite aumentar la producción en horarios de mayor demanda;

- no crea variaciones de velocidad significativa en el tramo R11 hasta el Eje Encarnación Posadas.

#### 4.3.1.2 La presencia de la presa de CORPUS en la localidad de Pindo'i

- tiene efecto significativo sobre el salto bruto en ITAIPU, con consecuentes reducciones de disponibilidad de potencia. Para el caso simulado, existe una reducción de la potencia disponible media en torno a 61MW/UG para la presencia de la presa de Corpus operando a cota 105,00 msnm. Para compensar estas pérdidas **se debería también modificar el texto del Acuerdo Tripartito donde se limita la operación de ITAIPU a 18 unidades generadoras, y de esta manera abrir camino a la instalación de nuevas unidades generadoras en ITAIPU** (ver Informe Nº GT.T N°01);

- reduce el potencial de producción energética de ITAIPU. Para el caso simulado de una producción de referencia, existe una reducción en torno al 5% para la presa de Corpus operando a cota 105,00 msnm;

- tiene efecto atenuante de las ondas de propagación ante variaciones de descarga de ITAIPU;

- la flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito al 50% **no trae aumento significativo** en términos de disponibilidad de potencia en ITAIPU (aumento promedio inferior a 1MW/UG);

- **permite un aumento** del tiempo de atención de la carga en horarios de mayor demanda (aumento de atención en horarios de punta de carga).

### 4.3.2 Ampliación de la capacidad de generación de ITAIPU; nuevas unidades generadoras

El estudio revela que lo más conveniente es la instalación de 2 unidades generadoras de 700 MW de potencia nominal adicionales en ITAIPU, pudiendo ser una unidad para cada frecuencia de operación, 50 y 60 Hz, resaltando que existen reales posibilidades de instalar las 2 nuevas unidades

en la frecuencia de 50 Hz debido a ventajas del punto de vista de las instalaciones eléctricas, costos y espacio físico;

- Aprovechamiento del excedente de agua observado en los últimos años en los meses de altas afluencias;
- Aumento de la capacidad de suministro de potencia al sistema eléctrico en horas de necesidad;
- Flexibilidad en las paradas de máquinas para la implantación de la Actualización Tecnológica de la Central Hidroeléctrica de ITAIPU, sin pérdida de la capacidad actual de generación de la Central;
- Mayor movilidad para el plan de mantenimiento de las Unidades Generadoras
- Aprovechamiento de la capacidad ociosa de las líneas de transmisión de corriente continua de FURNAS, debido al aumento de la demanda de 50 Hz por el Paraguay;
- Consolidar nuevas tecnologías a ser aplicadas en la futura actualización tecnológica de las Unidades Generadoras actuales (Electromecánica).

### 4.3.3 Elevación del nivel operativo máximo del embalse de Itaipu de 220,50 m.s.n.m. a 221,50 m.s.n.m.

El estudio concluye que es posible elevar el nivel máximo operativo del embalse de ITAIPU sin comprometer la seguridad estructural de la presa hasta el nivel de 221,50 msnm.

El costo de las modificaciones y adaptaciones necesarias son competitivos en comparación con el valor estimado para la ganancia energética que sería aproximadamente 100 MW promedio o alrededor de 885.000 MWh/año, lo cual para una inversión de aproximadamente USD 50.000.000 (costo estimado si las indemnizaciones a terceros no superan los USD 30.000.000), lo cual resulta en un costo marginal totalmente competitivo con respecto a nuevos emprendimientos.

Los efectos de remanso aguas arriba de las localidades de Saltos del Guairá y Guaíra son significativos y se debe aguardar los resultados del trabajo de altimetría encomendado por ITAIPU, trabajos que ya fueron realizados y los informes con resultados deben ser suministrados por la contratada por ITAIPU todavía este año 2020, para evaluar los costos de indemnizaciones a terceros en base a los resultados.

La tendencia a largo plazo es de aumentos constantes de los costos de los combustibles fósiles debido al agotamiento de las reservas mundiales. Por otro lado, la producción de energía hidroeléctrica se vuelve más dispendiosa vista la imposibilidad de construir en localizaciones cercanas a áreas pobladas y quedan apenas aquellos lugares lejanos de los centros de consumo. Además, se debe considerar que los costos ambientales, asociados a las áreas inundadas, son cada vez menos tolerables por la opinión pública general. Por eso se vuelve extremadamente atrayente esta posibilidad de obtener energía a un costo marginal.

Este informe menciona que la decisión por el ***"aumento de la máxima elevación operativa del embalse***" tendrá que superar eventuales obstáculos que pueden ser colocados por la parte brasileña puesto que el remanso que se ha de formar ocurrirá en territorio brasileño, aguas arriba de los municipios de Saltos del Guairá y Guaíra y que la ganancia energética que se consiga se divide en partes iguales.

Estos dos obstáculos sumados al costo de las indemnizaciones pueden hacer que el atractivo disminuya y hasta desaparezca desde la óptica brasileña.

## 5 Conclusiones

Al establecer vínculos y dependencias entre estos tres proyectos se puede verificar que:

- El único proyecto que no depende de los otros dos para ser realizado es el proyecto de ***"Elevación del nivel operativo máximo del embalse".*** Este proyecto se encuentra con los estudios de viabilidad prácticamente concluidos y solo se aguarda que la empresa contratada para hacer el trabajo de altimetría entregue sus informes con los resultados levantados; se espera que estos informes estén disponibles para el segundo semestre de este año 2020. Estos resultados servirán como base para otro estudio que buscará determinar el costo de las indemnizaciones a terceros, estos serían los propietarios de tierras que serían inundadas por efectos de la elevación del nivel de embalse. Se sabe que el área afectada solo abarca territorio brasileño, aguas arriba de los municipios de Saltos del Guairá (PY) y Guaíra (BR) puesto que aguas abajo de ambos municipios es área del embalse y ya fueron desafectadas por Itaipu.

Hasta el momento y como se puede leer en el Informe Nº GT.T N°03, todas las iniciativas de realizar los estudios se deben a que el proyecto Ilha Grande fue excluido del plan de expansión del sistema eléctrico brasileño y con eso se vislumbró una oportunidad de aumentar la eficiencia y así ampliar el potencial de generación de la Central de ITAIPU.

- El proyecto de ***"Ampliación de la capacidad de generación de ITAIPU"*** por medio de la instalación de nuevas unidades generadoras depende directamente del proyecto de flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito, en la parte donde habla de un máximo de 18 unidades generadoras en operación; o sea, actualmente disponemos de 20 unidades generadoras y por el Acuerdo Tripartito solo permite operar 18 en simultáneo. Si esta limitación permanece, no tiene sentido agregar dos nuevas unidades y no podría avanzar, aunque una de las Altas Partes manifieste su real y formal intención.
- Es fundamental que se logre cuanto antes la ***"Flexibilización de los límites del Acuerdo Tripartito"*** porque desde el mismo instante en que se logre, se estaría disponiendo de todos los beneficios citados más adelante en este informe. Las gestiones para iniciar las negociaciones sobre la flexibilización no necesitan aguardar las negociaciones futuras con ITAIPU mirando el año 2023; ganar tiempo considerando que los mayores beneficios aparecen en el tiempo anterior a la presencia de Corpus. Cabe señalar que incluso después de la presencia de Corpus, esta flexibilización sigue aportando beneficios, aunque en menor medida.

Es importante resaltar que los 3 proyectos son independientes de las negociaciones del Anexo C, tal como antes mencionado, sin embargo, su realización adquiere relevancia desde el punto de vista de la disponibilidad de potencia y energía para el cortísimo plazo, para el mediano y largo plazo.

Aclaramos que el estudio de ***"Ampliación de unidades generadoras"*** que busca determinar las ganancias de potencia y energía, no ha considerado la elevación del nivel máximo operativo del embalse. De igual manera, el análisis de ganancia energética realizado en el estudio de elevación del nivel máximo operativo del embalse no se consideró las 2 nuevas unidades de ITAIPU. Por tanto, estas ganancias deben ser superiores a las hasta ahora calculadas y queda pendiente realizar un estudio donde se contemplen la presencia de ambos proyectos.

Ahora, tratando de cuantificar beneficios podemos señalar que con la flexibilización del Acuerdo Tripartito y con la elevación del embalse se agregan:

- Como mínimo 60 MW de potencia durante las horas de máxima demanda, eso es como tener una máquina de Acaray a costo cero en las horas de máxima necesidad
- Se agregan 100 MWpromedio o 876.000 MWh cada año, esta cantidad de energía es equivalente al promedio de generación de la Central de Acaray

Cabe señalar que estos beneficios se alcanzan a un costo casi cero considerando que la ***"Flexibilización del Acuerdo Tripartito"*** no supone costos y que elevar el nivel del embalse tendría según de estima un costo que ronda USD 50.000.000.

Es importante señalar que estos valores no integran el estudio de crecimiento de la disponibilidad de potencia y energía de la ANDE por tratarse de beneficios provenientes de la optimización de recursos existentes y no de obras de infraestructura. Por otro lado, la ***"Ampliación de unidades generadoras"*** si está contemplado en el estudio de la ANDE como proyecto de infraestructura a ser realizado.

La ***"Ampliación de unidades generadoras"*** en ITAIPU presenta muchas ventajas puesto que sería posible instalarlas en un periodo aproximado de 8 (ocho) años a partir de la decisión y además, como se puede ver en el informe GT.T N°01, el costo de implementación es bajo considerando que se agrega al sistema 1.400 MW de potencia de los cuales 700 MW pertenecen al Paraguay.

La instalación de nuevas unidades en ITAIPU compensaría la reducción de potencia unitaria nominal disponible en ITAIPU por efecto de Corpus que sería de unos 2,14%.

## 6 Desafíos

Tanto el Acuerdo Tripartito, como el propio Tratado de ITAIPU, describen al proyecto ITAIPU como una central equipada con 18 Unidades generadoras de 700 MW cada una, por lo que todo análisis debería realizarse en base a dicha capacidad de generación. Además, en el numeral 5 del Acuerdo, inciso h), dice claramente que deben ser observados los límites relacionados en los incisos a), b) y c), y, en consecuencia, la eventual alteración de cualquiera de ellos será precedida de negociaciones entre las tres partes.

Se alerta que además de modificar el Acuerdo Tripartito se requerirá modificar el Anexo B del Tratado; para ello se debería definir la conveniencia o no, de formular el pedido de modificación de manera conjunta o de forma separada.

Entonces, se presentarán a continuación los siguientes desafíos:

Convencer a Brasil a solicitar en conjunto con Paraguay la ***"Flexibilización del Acuerdo Tripartito"*** para así aprovechar los beneficios de la optimización y convencer al Brasil de emprender juntos la ***"Ampliación de la capacidad instalada en ITAIPU"*** con la instalación de dos nuevas unidades generadoras y a continuación;

Convencer a la Argentina a ***"Flexibilizar el Acuerdo Tripartito",*** con el argumento de que no causa ningún tipo de daños aguas abajo de ITAIPU y además se debería aprovechar la revisión del Acuerdo para debatir la validez de introducir un valor de cota mínima en R 11. Recordemos que este Acuerdo fue a propuesta de la Argentina, con una visión geopolítica del momento (fundamentalmente con respecto a la utilización de máquinas de ITAIPU, aspecto ya abordado en

los informes), cosa que hoy día ha sufrido una importante variación;

En aquel entonces la variable de navegabilidad fue casi ignorada, atendiendo principalmente los elementos de esa época, donde la producción agrícola de nuestro país no representaba una variable importante, y debido a ello el transporte fluvial era casi accesorio. Y también no olvidemos que la navegación fluvial se veía restringida por los rápidos del Apipé;

Hoy, la determinación de cotas mínimas en la R 11 adquiere un importante factor para el Paraguay, atendiendo que una parte importante de la producción agrícola de la zona es exportada por la vía fluvial, y, como hoy ocurre, el caudal del rio hace prácticamente imposible que más de 3 millones de toneladas de granos puedan salir en forma adecuada a través del rio;

Convencer a Brasil de que al obtener estos beneficios deberá aceptar la instalación de Corpus, la consecuente elevación de la cota del canal de fuga de ITAIPU y la pérdida de rendimiento de la central de ITAIPU. Usar para ello el argumento de que, según el plan de implantación de Corpus, el embalse será llenado recién en el año 2036 y que cuando eso suceda, ITAIPU estará operando con 22 unidades generadoras que compensará en parte las pérdidas causadas por el embalse de Corpus;

Convencer a Brasil sobre el proyecto de Elevación del nivel operativo máximo del embalse considerando que el territorio inundado afectado por el mismo se da en territorio brasileño y sabiendo que la energía adicional obtenida será repartida en partes iguales con Paraguay.

En un escenario donde todos estos tres proyectos estén presentes, tendremos beneficios para todas las partes y lo que es más importante, esto mantendrá el interés de Brasil de seguir priorizando producción de energía en ITAIPU y así seguir manteniendo las descargas al embalse de ITAIPU en cantidades suficientes para la navegación y la operación coordinada de la futura cascada Itaipu/Corpus/Yacyreta (ampliada) e Itacorá/Itatí, conforme los tres Países ratificaron en el inciso g) del Acuerdo Tripartito y que deberán volver a ratificar en la revisión de dicho Acuerdo.

Finalmente es muy importante señalar, que a nuestro entender es la parte paraguaya la que debe iniciar las gestiones para el inicio de los tres proyectos; creemos que las otras dos partes no harán movimientos ni manifestarán interés en el corto plazo.

## 7 Referencias

Informe Nº GT.T N°01 y ref.

Informe Nº GT.T N°02 y ref.

Informe Nº GT.T N°03 y ref.

# *NEGOCIACIONES SOBRE EL TRATADO DE ITAIPU*

# *GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO*

## *INFORME Nº GT.T – 8*

## *<u>ASUNTO</u>: "Modelo para la Operación Hidroenergética de la Cascada del Río Paraná"*

***Fecha: 30.06.2020***

1. **GRUPO DE TRABAJO TÉCNICO**

2. **Informe Nº GT.T – 8**

**Fecha:** 30/06/2020

**Asunto:** ***"Modelo para la Operación Hidroenergética de la Cascada del Río Paraná"***

3. **Participantes:**

Ing. Ubaldo Fernández, Coordinador, representante de ANDE; Coordinador del GT.T

Embajador Federico González, representante del MRE;

Ing. Leopoldo Lamas, representante de COMIP;

Ing. Martin González, representante de COMIP;

Ing. Felipe Mitjans, representante del VMME;

Ing. Luis Valdez, representante de ITAIPU;

Ing. Hugo Zárate, representante de ITAIPU.

---

4. **Objetivo**

Implementar computacionalmente un modelo para la Operación Hidroenergética del Río Paraná en base a programación matemática, de forma a contar con una herramienta que permita determinar políticas de operación coordinada entre las centrales hidroeléctricas ITAIPU y YACYRETA.

El alcance del modelo se limita a la operación de las condiciones actuales de la cascada del Río Paraná aguas abajo de ITAIPU, y no considera posibilidad de coordinación de las centrales localizadas aguas arriba de la presa de ITAIPU y de aquellas sobre el río Iguazú.

5. **Justificativa**

El modelado de la cascada del Río Paraná en su condición actual, con las centrales de ITAIPU y YACYRETA, se justifica en función de la necesidad de obtener máximos beneficios de ambos emprendimientos, visto que la entrada en operación de grandes centrales planificadas no se tendrá hasta el año 2036, conforme indicado en el Informe GT.T N° 6.

Los modelos de operación coordinada de centrales en una misma cuenca hidrográfica son ampliamente utilizados en el contexto de maximizar el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles. Operar coordinadamente ITAIPU y YACYRETA permitiría establecer políticas de producción que beneficien al Paraguay, aumentando la eficiencia del uso de los recursos actuales.

Los recursos financieros necesarios para desarrollar un prototipo computacional no representarían una restricción significativa, puesto que las características propias de las centrales no requieren de infraestructura computacional intensiva. Recursos de software tipo open-source y computadoras personales pueden ser utilizados sin pérdida de precisión en el modelo, siendo el mayor recurso requerido horas-hombre para codificación del modelo.

## 6. Referencias documentales


- Grupo de Trabalho Hidroenergético – GHE (2017). *Referência das Grandezas Hidroenergéticas*. Departamento de Operação do Sistema, OPS.DT. ITAIPU Binacional, 2692-50-18000-P-R4.
- Manual de Operación y Mantenimiento del Embalse (2004). *Manual de Operación del Embalse.* Entidad Binacional YACYRETA.
- Grupo de Trabajo Técnico, GT.T (2020). *Requerimientos electro-energéticos futuros del Paraguay*. Informe N° GT.T 05. Negociaciones sobre el Tratado de ITAIPU.
- Grupo de Trabajo Técnico, GT.T (2020). *Disponibilidades de Potencia y Energía – Periodo 2020-2040*. Informe N° GT.T 06. Negociaciones sobre el Tratado de ITAIPU.


## 7. Descripción del Modelo

### 7.1. Sumario

Modelo de programación matemática del tipo no lineal continuo (NLP) determinístico, implementado en lenguaje Python utilizando librería Pyomo (Hart, et al., 2017). Utilizado solver Ipopt (Wächter & Biegler, 2006) para solución de instancias[1] del modelo. Todos los recursos de software utilizados son del tipo open-source, bajo términos de licencias BSD (Berkeley Software Distribution) y EPL (Eclipse Public License) respectivamente.

### 7.2. Descripción espacial y temporal del modelo

El modelo considera características particulares de la operación coordinada entre centrales hidroeléctricas localizadas sobre un mismo río, atendiendo los tiempos de transporte entre descargas de cada central hidroeléctrica. En la Figura 1 se muestra una representación para el acoplamiento espacial entre las centrales ITAIPU y YACYRETA, con los correspondientes flujos de agua y energía. Del acoplamiento espacial se deduce el acoplamiento temporal existente, que está relacionado básicamente a los tiempos de transporte de los flujos de agua.

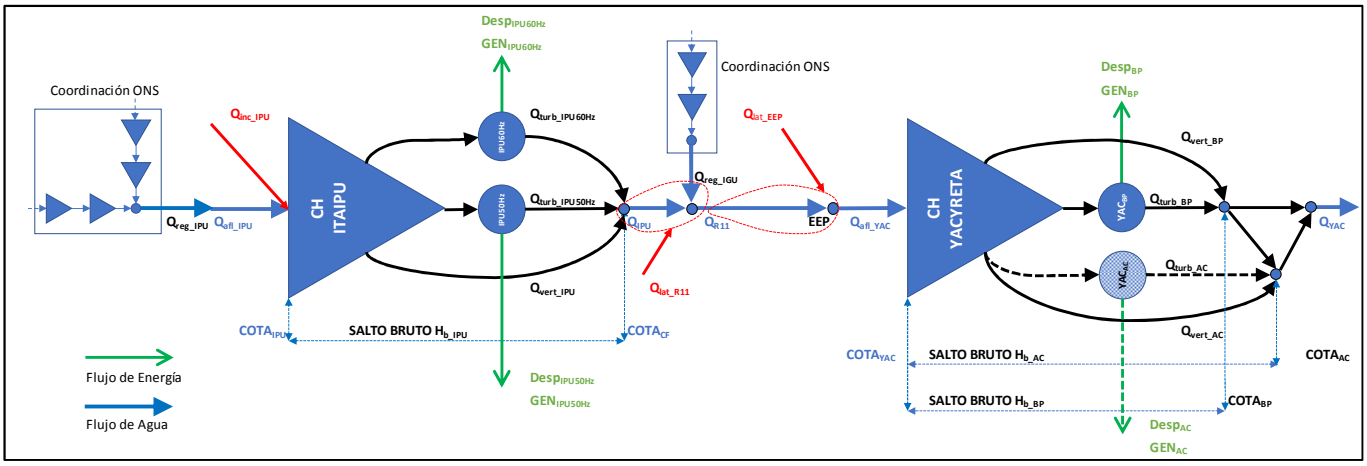



Figura 1 – Esquema de acoplamiento espacial de la cascada ITAIPU-YACYRETA

Las descargas de ITAIPU, $Q_{IPU}$, son utilizadas por YACYRETA para sus objetivos, sean de producción, navegación u otros usos para el agua en el embalse. El caudal que llega al embalse de YACYRETA es la suma entre el caudal propagado desde el punto R11 hasta el punto Eje Encarnación-Posadas, EEP, y el aporte lateral, $Q_{lat_EEP}$. El tiempo de propagación aproximado entre esos puntos es 24 horas, y es un parámetro ajustable del modelo. Una simplificación adoptada es la consideración de equivalencia entre el caudal en el punto EEP y el caudal afluente al embalse de YACYRETA, $Q_{aflu_YAC}$, sin pérdida considerable de precisión. De forma similar, el caudal que llega al

[1] Una instancia corresponde a una condición específica de entradas y parámetros de ajuste para el modelo.

embalse de ITAIPU es la suma de las componentes regularizadas aguas arriba de la presa de ITAIPU, $Q_{reg_IPU}$, y de la incremental a su embalse, $Q_{inc_IPU}$.

La componente propagada del caudal afluente a YACYRETA es controlable mediante ajuste de las descargas de ITAIPU. Luego, los perfiles de producción pueden ser ajustado de forma a lograr un objetivo común a ambas centrales, como maximizar la producción total de la cascada, satisfacer demandas contratadas, atender criterios de navegabilidad, y otros objetivos característicos de emprendimientos hidroeléctricos.

De la Figura 1 se observa que existen dos fuentes controlables que aportan agua a la cascada, los caudales aportados por las centrales aguas arriba de ITAIPU y de los embalses del río Iguazú. El aporte que ellos pueden realizar a la cascada es coordinado por el ONS, operador que realiza el despacho de las centrales de todo el sistema brasileño. Por tal motivo se consideran embutidos en la previsión de los caudales afluentes al embalse de ITAIPU y los aportes laterales al punto R11, que son las entradas del modelo.

### 7.3. Entradas y Variables del modelo

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se detallan las entradas y variables del modelo. Las entradas están asociadas a caudales dentro de las fronteras para el modelo, a saber, el caudal afluente a ITAIPU $Q_{aflu_IPU}$, y el aporte lateral desde el canal de fuga de ITAIPU hasta el punto R11 $Q_{lat_R11}$.

Tabla 1 – Descripción de las Variables y Entradas utilizadas para el modelo

| Acrónimo | Descripción | Magnitud | Tipo en el modelo |
|---|---|---|---|
| $Q_{turb_IPU50Hz}$ | Caudal Turbinado total sector 50Hz de ITAIPU | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Decisión |
| $Q_{turb_IPU60Hz}$ | Caudal Turbinado total sector 60Hz de ITAIPU | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Decisión |
| $Q_{vert_IPU}$ | Caudal Vertido ITAIPU | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Decisión |
| $Q_{IPU}$ | Descarga Total ITAIPU | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Estado |
| $Q_{reg_IPU}$ | Caudal de regularización de centrales aguas arriba de ITAIPU | Caudal en $m^3/s$ | Embutida en $Q_{aflu_IPU}$ |
| $Q_{aflu_IPU}$ | Caudal afluente al embalse de ITAIPU | Caudal en $m^3/s$ | Entrada |
| $Q_{inc_IPU}$ | Caudal Incremental al Embalse de ITAIPU | Caudal en $m^3/s$ | Como entrada en $Q_{aflu_IPU}$ |
| $Q_{lat_R11}$ | Caudal de aporte lateral entre el canal de fuga de Itaipu y el punto R11 | Caudal en $m^3/s$ | Entrada |
| $Q_{reg_IGU}$ | Caudal de regularización de la cascada del Río IGUAZU | Caudal en $m^3/s$ | Embutida en $Q_{lat_R11}$ |
| $Q_{R11}$ | Caudal en el Punto R11 | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Estado |
| $Q_{lat_EEP}$ | Caudal de aporte lateral entre tramos R11 y Eje Encarnación-Posadas (EEP) | Caudal en $m^3/s$ | Entrada |
| $Q_{aflu_YAC}$ | Caudal afluente al Embalse de YACYRETA | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Estado |
| $Q_{turb_BP}$ | Caudal Turbinado total por el Brazo Principal de YACYRETA | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Estado |
| $Q_{turb_AC}$ | Caudal Turbinado por el Brazo Añacua | Caudal en $m^3/s$ | No aplica |
| $Q_{vert_BP}$ | Vertido total por el Brazo Principal de YACYRETA | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Decisión |
| $Q_{vert_AC}$ | Vertido total por el Brazo Añacua de YACYRETA | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Decisión |
| $Q_{YAC}$ | Descarga Total YACYRETA | Caudal en $m^3/s$ | Variable de Estado |
| $COTA_{IPU}$ | Cota del Embalse de ITAIPU | Altura en msnm | Variable de Estado |
| EEP | Cota en el Eje Encarnación-Posadas | Altura en msnm | Variable de Estado |
| $COTA_{YAC}$ | Cota del Embalse de YACYRETA | Altura en msnm | Variable de Estado |

| Acrónimo | Descripción | Magnitud | Tipo en el modelo |
|---|---|---|---|
| $COTA_{CF}$ | Cota del canal de fuga de ITAIPU | Altura en msnm | Variable de Estado |
| $COTA_{BP}$ | Cota de restitución para el Brazo Principal de YACYRETA | Altura en msnm | Variable de Estado |
| $COTA_{AC}$ | Cota de Restitución para el Brazo Añacua de YACYRETA | Altura en msnm | Variable de Estado |
| $H_{B_IPU}$ | Salto Bruto en ITAIPU | Altura en m | Variable de Estado |
| $H_{B_BP}$ | Salto Bruto en el Brazo Principal de YACYRETA | Altura en m | Variable de Estado |
| $H_{B_AC}$ | Salto Bruto en el Brazo Añacua de YACYRETA | Altura en m | Variable de Estado |
| $GEN_{IPU50Hz}$ | Generación Total de ITAIPU 50Hz | Energía en MWh | Variable de Estado |
| $GEN_{IPU60Hz}$ | Generación Total de ITAIPU 60Hz | Energía en MWh | Variable de Estado |
| $GEN_{BP}$ | Generación Total por el Brazo Principal de YACYRETA | Energía en MWh | Variable de Decisión |
| $GEN_{AC}$ | Generación Total por el Brazo Añacua de YACYRETA | Energía en MWh | No aplica |
| $Desp_{IPU50Hz}$ | Unidades Generadoras despachadas ITAIPU 50Hz | Real Positivo | Variable de Decisión |
| $Desp_{IPU60Hz}$ | Unidades Generadoras despachadas ITAIPU 60Hz | Real Positivo | Variable de Decisión |
| $Desp_{BP}$ | Unidades Generadoras despachadas Brazo Principal YACYRETA | Real Positivo | Variable de Decisión |
| $Desp_{AC}$ | Unidades Generadoras despachadas Brazo Añacua YACYRETA | Real Positivo | No aplica |

Las variables del modelo son de dos tipos: estado o decisión. Las variables de estado determinan la condición del sistema modelado a cada momento, mientras que las variables de decisión son aquellas que pueden ser ajustadas por el optimizador para obtener la solución de una instancia del modelo.

Las ecuaciones que describen el comportamiento del sistema modelado corresponden a simples balances de masa y funciones de producción en relación al salto bruto (diferencia entre cotas del embalse y de restitución de la respectiva casa de fuerza) y caudal turbinado, conforme descrito en las referencias de la sección 7.6.

Para simplificar el modelo las variables de decisión asociadas al despacho de unidades generadoras fueron relajadas del dominio de los enteros positivos $\mathbb{Z}^+$ al dominio de los reales positivos $\mathbb{R}^+$. Esto permite la utilización de un solver del tipo NLP, cuyo estado del arte se encuentra en un elevado punto de madurez. Caso no fuese adoptada tal simplificación, sería necesario un solver del tipo MINLP para resolver el problema, el cual tiene costo elevado, y la solución no siempre está garantizada en tiempos computacionales razonables.

### 7.4. Función Objetivo

El modelo considera la maximización de la producción[2] de ambas centrales como objetivo prioritario. La ecuación abajo describe la función considerada:

$$\max_{\Phi} \sum_{k \in \Omega} \left[ \left( GEN_{IPU50Hz}^{k} + GEN_{IPU60Hz}^{k} \right) * FP_{IPU}\left(f(k)\right) + \left( GEN_{BP}^{k} + GEN_{AC}^{k} \right) * FP_{YAC}\left(f(k)\right) \right]$$

Donde:

Φ: es un conjunto con las variables de decisión relacionadas al modelo, conforme la Entradas y **Variables del modelo**

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se detallan las entradas y variables del modelo.

[2] La Generación del Brazo Añacua de YACYRETA, $GEN_{AC}$, no fue considerada en el prototipo desarrollado, por no contar con información suficiente que permita un modelado apropiado.

Las entradas están asociadas a caudales dentro de las fronteras para el modelo, a saber, el caudal afluente a ITAIPU $Qaflu_{_IPU}$, y el aporte lateral desde el canal de fuga de ITAIPU hasta el punto R11 $Qlat_{_R11}$.

Tabla *1*.

Ω: es un conjunto con el dominio del horizonte.

*k*: índice del conjunto con el dominio del horizonte. En el modelo es considerada la fecha y hora, y paso de 1 hora.

$FP$: factor de ponderación de la generación en relación al día de la semana y hora del día para cada central.

La función de ponderación $FP$ en la función objetivo del modelo es resultado del análisis del patrón de generación de ITAIPU en su histórico de operación, teniendo en cuenta el día de la semana y la hora del día. Este factor busca reproducir los horarios de menor y mayor demanda de los mercados a los cuales se encuentra interconectado ITAIPU. Como no se disponen de datos para la Central de YACYRETA se consideró el mismo factor para ambas centrales.

El acoplamiento de la red eléctrica del Sistema Interconectado Nacional (SIN-PY) al modelo hidroenergético de la cascada del río Paraná se encuentra en etapa de implementación, de forma a posibilitar el uso de funciones objetivos asociadas a la atención de la demanda al menor costo, con criterios preestablecidos de seguridad en el suministro.

### 7.5. Restricciones del Modelo

En la Tabla 2 se describen, de forma sucinta, las restricciones y límites físicos utilizados en el modelo.

Tabla 2 – Restricciones del Modelo y Variables Afectadas

| Restricción | Tipo | Forma de Control | Variables afectadas |
|---|---|---|---|
| Acuerdo Tripartito | Legal | Cota en el Punto R11 | Descargas de ITAIPU |
| Límites de Generación | Límite Físico | Operación dentro de la zona permitida de las Unidades Generadoras | Generación de ITAIPU 50Hz, ITAIPU 60Hz y Brazo Principal YACYRETA |
| Límites de Almacenamiento | Límite Físico | Operación dentro de cotas de almacenamiento mínimo y máximo de los embalses | Embalses de ITAIPU, YACYRETA y punto EEP |
| Límites de Vertido | Límite Físico | Inferior al máximo de descarga | Vertederos de ITAIPU, Añacua y del Brazo Principal de YACYRETA |
| Unidades Generadoras Despachadas | Límite Físico | Despacho dentro de los mínimos y máximos de máquinas disponibles | Unidades generadoras de ITAIPU y YACYRETA |

El modelo también tiene restricciones del tipo operativa, que describen el comportamiento de las variables de estado del sistema modelado. Para una mejor referencia, se sugiere consultar (Vera Moreira, 2016).

## 8. Resultados del Modelo

Como ejemplo ilustrativo se utilizan datos de caudales afluentes al embalse de ITAIPU, así como incrementales al punto R11, registrados en el mes de abril de 2020, para realizar una coordinación de la operación. Los parámetros descritos en la Tabla 3 son utilizados por el modelo para correr una instancia del modelo.

Tabla 3 – Parámetros utilizados para el modelo, considerando restricciones de límites físico y legales

| Parámetro | Descripción | Localización | Valor Mínimo | Valor Máximo |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $UG_{Desp}^{Lim}$ | Límite de Unidades Generadoras Despachadas | ITAIPU 50Hz | 6 UG | 10 UG |
| | | ITAIPU 60Hz | 5 UG | 10 UG |
| | | Brazo Principal | 10 UG | 20 UG |
| $Q_{vert}^{Lim}$ | Límites de Caudal Vertido | ITAIPU | 0 $m^3/s$ | 65.000 $m^3/s$ |
| | | Brazo Principal | 0 $m^3/s$ | 55.000 $m^3/s$ |
| | | Brazo Añacua | 1.000 $m^3/s$ | 40.000 $m^3/s$ |
| $GEN_{PH}^{Lim}$ | Límites de Generación* | ITAIPU 50Hz | - | 7.880 MW |
| | | ITAIPU 60Hz | - | 7.660 MW |
| | | Brazo Principal | - | 3.400 MW |
| TRIP | Límites del Acuerdo Tripartito | Horario | -0,6 m | 0,6 m |
| | | Diario | -2,4 m | 2,4 m |
| $EMB_{CH}^{Lim}$ | Límites de Almacenamiento | ITAIPU | 216,00 msnm | 220,30 msnm |
| | | YACYRETA | 75,00 msnm | 83,00 msnm |
| | | EEP | - | 83,00 msnm |

* Los límites de generación también son función del Salto Bruto disponible en la casa de fuerza.

El modelo también requiere de otros parámetros inherentes a condiciones iniciales para algunas variables de estado, como los almacenamientos iniciales y los finales. En la Tabla 4 se muestran los valores iniciales y finales de almacenamiento para correr una instancia del modelo, considerando el almacenamiento mismo de ITAIPU registrado al inicio y fin de abril de 2020.

Tabla 4 – Valores de Almacenamiento para los Embalses

| **Embalse** | **Valor inicial** | **Valor Final** |
|---|---|---|
| ITAIPU | 216,84 msnm | 219,16 msnm |
| YACYRETA | 82,50 msnm | - |
| EEP | - | 83,00 msnm |

Como datos de caudal lateral en el punto EEP se consideró una constante igual a 100 $m^3/s$, vista la falta de datos disponibles al respecto.

En la Figura 2 se muestra el perfil de generación y descarga obtenido de la solución del modelo. Se observa que existe una clara tendencia de modulación durante el día, característica afectada por el factor de ponderación de la función objetivo. También se observa que la generación de YACYRETA se mantienen baja, al principio de la simulación, para recuperar su almacenamiento antes de comenzar con la modulación.

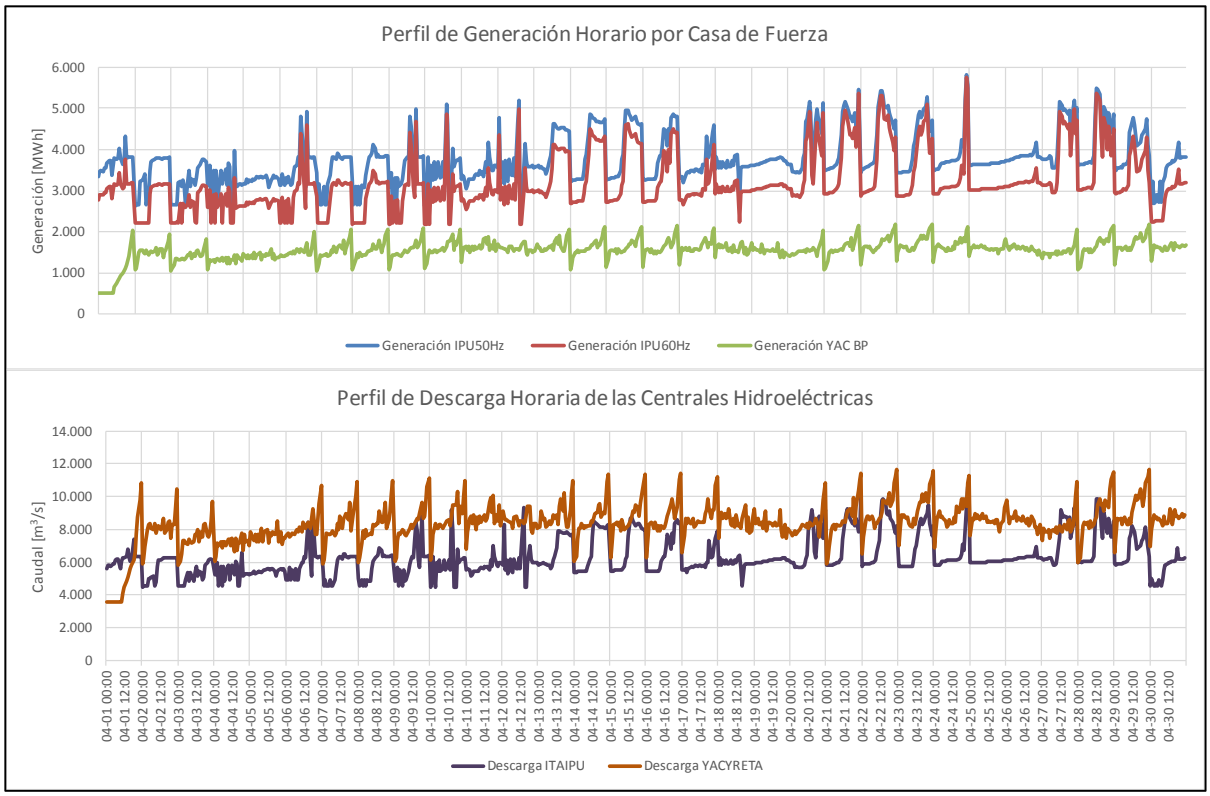



Figura 2 – Perfil de Generación y Descarga Horarios por Central Hidroeléctrica

En la Figura 3 se observan las trayectorias de los caudales como resultado de la coordinación de la operación, así como las trayectorias para los almacenamientos. Se puede observar cómo el modelo corrige las descargas de ITAIPU de forma a mantener siempre el máximo almacenamiento del embalse de YACYRETA, es decir, realiza una modulación de su producción.

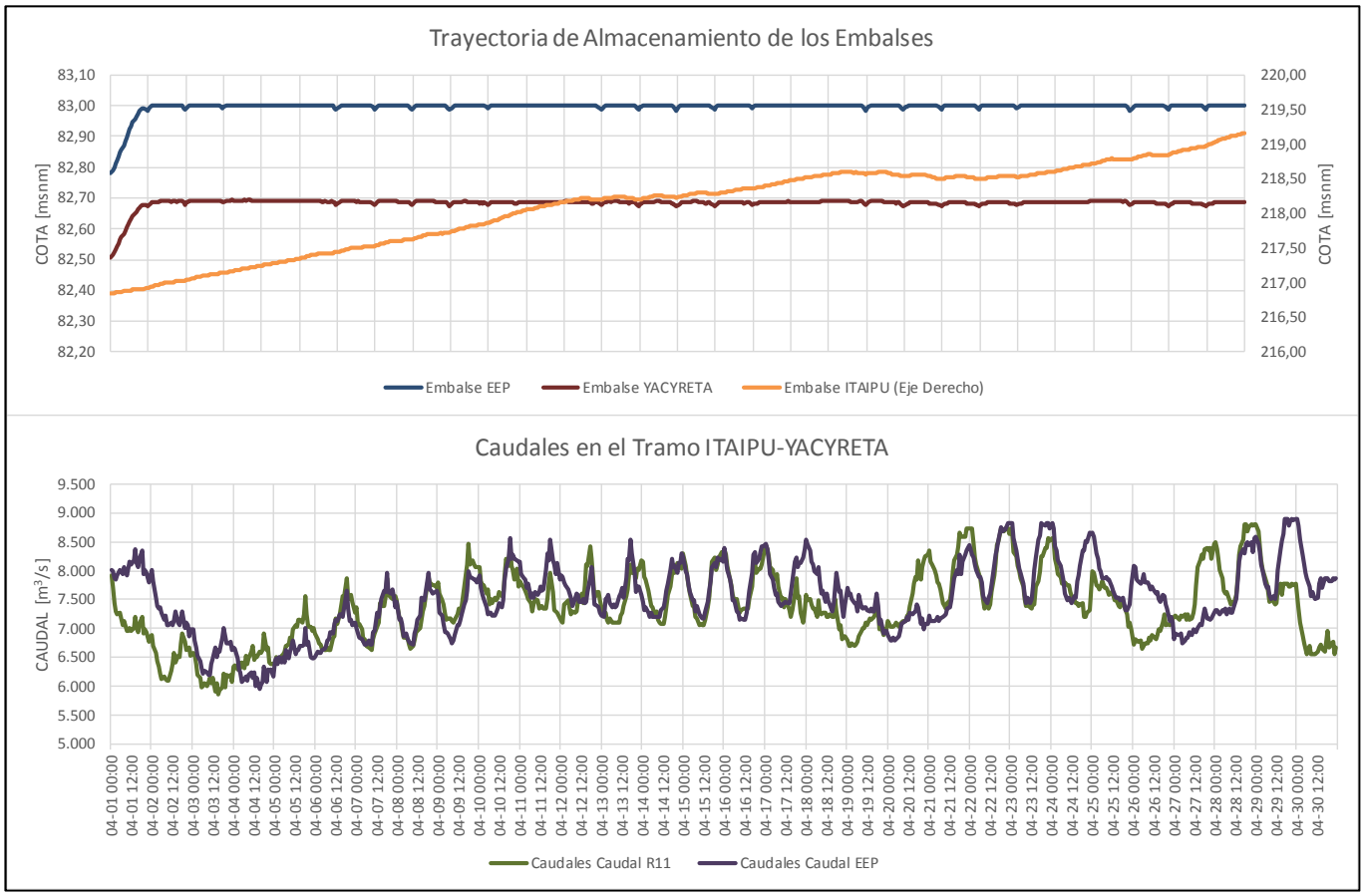



Figura 3 – Trayectorias de Almacenamiento y Caudales Coordinados

Estos resultados son solamente demostrativos, de forma a corroborar el funcionamiento adecuado del modelo implementado computacionalmente. La correcta propagación de las descargas de ITAIPU al punto y la convergencia en tiempo razonable, fueron las características principales observadas.

## 9. Discusiones

El objetivo del trabajo fue implementar computacionalmente un modelo para la operación coordinada de las centrales de ITAIPU y YACYRETA. Mediante estudios de casos del histórico de la operación de ambas centrales se podrá comprender mejor las relaciones existentes entre ambas, de forma a establecer políticas operativas coordinadas que obtengan el máximo beneficio conjunto.

La solución de instancias del modelo permitiría conocer perfiles de producción para cada central, requeridos para atender necesidades puntuales de forma eficiente, por ejemplo, caudales mínimos para navegación, control de crecidas, uso multipropósito del agua (irrigación, abastecimiento local, etc.). Políticas operativas padrones podrían ser construidas con los resultados obtenidos de múltiples escenarios de entrada.

Esto será de utilidad con vistas a utilizar de forma optimizada los recursos actuales de la cascada, con mayor impacto en caso de retraso en la entrada de emprendimientos de generación planificados (Grupo de Trabajo Técnico - GT.T, 2020), para mitigar posible falta de disponibilidad energética para satisfacer la demanda proyectada para el Paraguay (Grupo de Trabajo Técnico, GT.T, 2020).

La implementación computacional fue realizada de manera a permitir la adición de más unidades generadoras al modelo, como la central de ACARAY, e incluso otras casas de fuerza planificadas, como la casa de fuerza del Brazo Añacua, la central de CORPUS y la central ITATI-ITACORA (Grupo de Trabajo Técnico - GT.T, 2020).

Cabe destacar que se trata de un prototipo, y los resultados aún deben ser corroborados con datos reales.

## 10. Aplicabilidad

El modelo podrá ser empleado para distintos tipos de estudios tendientes a:

i. Determinar soluciones para establecer condiciones de navegabilidad, en cualquier periodo del año, en el tramo aguas abajo de ITAIPU mediante análisis de escenarios de entrada del modelo. Las entradas del modelo son dependientes de políticas operativas establecidas por el ONS (operador del sistema eléctrico interconectado del Brasil), y el modelo puede determinar valores de ajustes requeridos para viabilizar la navegación;
ii. Determinar valores mínimos de aporte de las centrales aguas arriba de ITAIPU para garantizar que la disponibilidad energética para el Paraguay sea la necesaria para atender su demanda;
iii. Maximizar la producción de YACYRETA, aprovechando situaciones coyunturales en la interconexión como elevada oferta hidrológica, o incluso posibilidad de exportación de excedentes a otros mercados con precio atractivo. Esto requiere ajuste de las descargas de ITAIPU en orden a establecer condiciones adecuadas para tal propósito, respetando las restricciones operativas y límites físicos;
iv. Gestionar las incertidumbres hidrometeorológicas para mitigar crecidas e inundaciones y mejor control del Tripartito. En caso de escenarios de aumento repentino de los caudales laterales, la función objetivo puede ser ajustada de forma a minimizar los caudales que llegan a YACYRETA, y así reducir el impacto del pico de la crecida;
v. Otras aplicaciones son posibles mediante modificación o adición de restricciones operativas al modelo, para considerar objetivos diversos o necesidades en otros sectores de la cascada como puntos aguas abajo de YACYRETA, y que puedan ser controlados mediante ajuste de las variables de decisión del modelo.

## 11. Comentario

Del análisis del modelo se observa claramente que una de las principales variables de entrada del mismo se constituye el caudal afluente a ITAIPU, el cual está compuesto mayoritariamente por el caudal regularizado a ITAIPU, el cual es totalmente controlado por el ONS, y manejado fundamentalmente en función a la optimización del sistema interconectado brasileño. Asimismo, atendiendo a que la descarga total de ITAIPU es el componente mayoritario del caudal afluente a YACYRETA, el Grupo Técnico entiende que, a fin de garantizar niveles adecuados de seguridad energética para el Paraguay, se deberá incluir en el marco de las negociaciones de Revisión del Anexo C el establecimiento de un mecanismo que garantice niveles mínimos de afluencia a ITAIPU, destinados para generación en 50 Hz.

## 12. Bibliografía

Fukasawa, C., Ribeiro, J. R., do Nacimento, A. P., Favoreto, R., Machado, R. B., Villasanti, C. M., & Zamodski, J. (2017). *Referência das Grandezas Hidroenergéticas.* Nota Técnica, ITAIPU Binacional, Superintendência de Operação, CHI.

Grupo de Trabajo Técnico - GT.T. (2020). *Disponibilidad de Potencia y Energía - Periodo 2020-2040.* Asunción: Negociaciones sobre el Tratado de ITAIPU.

Grupo de Trabajo Técnico, GT.T. (2020). *Requerimientos electro-energéticos futuros del Paraguay.* Asunción: Negociaciones sobre el Tratado de ITAIPU.

Hart, W. E., Laird, C. D., Watson, J.-P., Woodruff, D. L., Hackebeil, G. A., Nicholson, B. L., & Siirola, J. D. (2017). *Pyomo - Optimization Modeling in Python* (Second ed., Vol. 67). Springer.

Vera Moreira, J. J. (2016). Planeamiento de la Operación Hidroenergética de Corto Plazo de la Central Hidroeléctrica ITAIPU Binacional: Un abordaje No Lineal Determinístico. *XII Seminario del Sector Eléctrico Paraguayo - SESEP.* Asunción.

Wächter, A., & Biegler, L. (2006). On the Implementation of a Primal-Dual Interior Point Filter Line Search Algorithm for Large-Scale Nonlinear Programming. *Mathematical Programming, 106*(1), 25-57.

# *NEGOCIACIONES SOBRE EL TRATADO DE ITAIPU*

# *GRUPO DE TRABAJO JURÍDICO*

## *INFORME Nº GT.J – 09*

## *ASUNTO: "Análisis sobre la potestad de las Altas Partes Contratantes para denunciar el Tratado de ITAIPU"*

*Fecha: 7.7.2020*

**GRUPO DE TRABAJO JURÍDICO**

**Informe N.° GT. J – 09**

**Fecha: 7.07.2020**

**Asunto: *"Análisis sobre la potestad de las Altas Partes Contratantes para denunciar el Tratado de ITAIPU"***

**Participantes:**

- Ministro Julio César Duarte Van Humbeck, representante del Ministerio de Relaciones Exteriores, Coordinador del GTJ
- Abg. José Eduardo Pereira Sosa, representante del Ministerio de Relaciones Exteriores
- Dra. Lorena Beatriz Balbuena Soto, representante del Viceministerio de Minas y Energías
- Abg. Jorge Augusto Granada Torres, representante de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE)
- Abg. Iris Magnolia Mendoza Balmaceda, representante de la Entidad Binacional ITAIPU
- Abg. Jorge Ignacio Gross Brown, representante de la Entidad Binacional ITAIPU
- Abg. Sergio Coscia Nogués, Procurador General de la República del Paraguay
- Abg. María Belén Diana Franco, Procuradura Delegada de la PGR

# *Grupo de Trabajo Jurídico*

## *Equipo Negociador para la Revisión del Anexo C del Tratado de ITAIPU*

### ANÁLISIS JURÍDICO

**Asunto:** Análisis sobre la potestad de las Altas Partes Contratantes para denunciar el Tratado de ITAIPU.

**Fecha:** 7 de julio de 2020.

### CONSULTA:

¿Tienen las Altas Partes del Tratado de ITAIPU el derecho de denunciarlo?

### ANÁLISIS:

#### *i.* El Tratado de ITAIPU.

El Tratado de ITAIPU[1] (en adelante "Tratado") fue concluido en la ciudad de Brasilia, el 26 de abril de 1973. El mismo fue aprobado por el Brasil a través del Decreto Legislativo N° 23 del 30 de mayo de 1973, y por el Paraguay por Ley N° 389 del 17 de julio de 1973, y entró en vigor el 13 de agosto del mismo año.

Tal como su Artículo I lo indica, el objeto del Tratado es el de realizar "*en común*" el aprovechamiento hidroeléctrico de los recursos hidráulicos del río Paraná, pertenecientes en condominio a los dos países, desde e inclusive el Salto del Guairá o Salto Grande de Sete Quedas hasta la boca del río Yguazú[2]. Para tal efecto, las Altas Partes crearon "*en igualdad de derechos y obligaciones*" la entidad binacional ITAIPU, de conformidad con el Artículo III.

#### *ii.* Importancia de la regla *pacta sunt servanda* para el caso en cuestión.

Antes de analizar el fondo de la cuestión, cabe resaltar primeramente la importancia y aplicabilidad de la regla *pacta sunt servanda* a todo tratado internacional.

---

[1] Tratado entre la República del Paraguay y la República Federativa del Brasil para el aprovechamiento hidroeléctrico de los recursos hidráulicos del río Paraná, pertenecientes en condominio a los dos países, desde e inclusive el Salto del Guaira o Salto Grande de Sete Quedas hasta la boca del río Yguazu.

[2] **Artículo I** – Las Altas Partes Contratantes convienen en realizar, en común y de acuerdo a lo previsto en el presente Tratado y sus Anexos, el aprovechamiento hidroeléctrico de los recursos hidráulicos del río Paraná, pertenecientes en condominio a los dos países, desde e inclusive el Salto del Guairá o Salto Grande de Sete Quedas hasta la boca del río Yguazú.

El principio *pacta sunt servanda* es una regla bien establecida en el derecho internacional consuetudinario[3], a tal punto que el mismo preámbulo de la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados de 1969 (en adelante "CVDT" o "Convención") expresa que dicha regla se encuentra universalmente reconocida[4]. Igualmente, la misma se encuentra contenida en el Artículo 26 de dicha Convención, el cual dispone que "*todo tratado en vigor obliga a las partes y debe ser cumplido por ellas de buena fe*".

Esta regla, que constituye "*el principio fundamental del derecho de los tratados*" según la Comisión de Derecho Internacional[5], se encuentra además reflejada en otros artículos de la CVDT cuya aplicación afectaría la regla mencionada. Este es el caso de aquellos artículos referentes a la terminación de un tratado, como por ejemplo, el Artículo 42[6], que establece que la terminación, denuncia o retiro de una parte de un tratado solo se puede llevar a cabo como resultado de la aplicación del mismo tratado o de la Convención[7]; el Artículo 54[8], que dispone que la terminación de un tratado podrá tener lugar conforme a las disposiciones del mismo o por consentimiento de las partes[9]; y el Artículo 56[10], que establece que un tratado que no contenga disposiciones sobre su terminación, ni prevea la denuncia o retiro del mismo, solamente podrá ser denunciado en caso de que (a) conste que fue intención de las partes permitir esa posibilidad; o (b) que tal derecho pueda inferirse de la naturaleza del tratado[11].

---

[3] Ver M. Villiger, *Commentary on the 1969 Vienna Convention on the Law of Treaties* (Martinus Nijhoff Publishers, 2009), p. 368; ver también, K. Schmalenback, 'Article 26 – Pacta Sunt Servanda' en O. Dörr y K. Schmalenback (eds), *Vienna Convention on the Law of Treaties – A Commentary* (2da ed., Springer, 2012), p. 475; B. Lepard, *Customary International Law – A New Theory with Practical Applications* (CUP, 2010), pp. 40-41.

[4] El párrafo reza cuanto sigue: "*Advirtiendo que los principios del libre consentimiento y de la buena fe y la norma "pacta sunt servanda" están universalmente reconocidos;*"

[5] (Traducción no oficial) Draft Articles on the Law of Treaties with commentaries – 1966, p. 211. Disponible en <https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/commentaries/1_1_1966.pdf>.

[6] Ver M. Villiger (n3), p. 42; ver también K. von der Decken, 'Article 42 – Validity and continuance in force of treaties' en O. Dörr y K. Schmalenback (eds) (n3) pp. 791,793; A. Aust, *Modern Treaty Law and Practice* (3ra ed., CUP, 2013) pp. 160-161.

[7] **Artículo 42 – Validez y continuación en vigor de los tratados.** 1. La validez de un tratado o del consentimiento de un Estado en obligarse por un tratado no podrá ser impugnada sino mediante la aplicación de la presente Convención. 2. La terminación de un tratado, su denuncia o el retiro de una parte no podrán tener lugar sino como resultado de la aplicación de las disposiciones del tratado o de la presente Convención. La misma norma se aplicará a la suspensión de la aplicación de un tratado.

[8] Ver Villiger (n3), p. 684; ver también Thomas Giegerich, 'Article 54 - Termination of or withdrawal from a treaty under its provisions or by consent of the parties' en O. Dörr y K. Schmalenback (eds) (n3) p. 1018.

[9] **Artículo 54 – Terminación de un tratado o retiro de él en virtud de sus disposiciones o por consentimiento de las partes.** La terminación de un tratado o el retiro de una parte podrán tener lugar: a) conforme a las disposiciones del tratado, o b) en cualquier momento, por consentimiento de todas las partes después de consultar a los demás Estados contratantes.

[10] Ver Villiger (n3) pp. 701,706; Thomas Giegerich, 'Article 56 - Denunciation of or withdrawal from a treaty containing no provision regarding termination, denunciation or withdrawal' en O. Dörr y K. Schmalenback (eds) (n3) p. 1040; R. Kolb, *The Law of Treaties – An Introduction* (Edward Elgar Publishing, 2016), p. 217.

[11] **Artículo 56 – Denuncia o retiro en el caso de que el tratado no contenga disposiciones sobre la terminación, la denuncia o el retiro.** 1. Un tratado que no contenga disposiciones sobre su terminación ni prevea la denuncia o el retiro del mismo, no podrá ser objeto de denuncia o de retiro a menos: a) que conste que fue intención de las partes admitir la posibilidad de denuncia o de retiro; o b) que el derecho

Teniendo en cuenta lo anterior, no debe perderse de vista que cualquier análisis sobre la terminación o denuncia de un tratado, necesariamente estará ligado a esta regla que constituye un principio rector del derecho de los tratados.

### *iii.* Artículo XXV del Tratado de ITAIPU. Normativa aplicable.

Ahora bien, en lo que refiere al Tratado de ITAIPU, antes de analizar sus disposiciones, primeramente cabe aclarar que la CVDT no resulta directamente aplicable al mismo, ya que la entrada en vigor del Tratado de ITAIPU tuvo lugar de forma previa a la entrada en vigor de la Convención, y esta no puede ser aplicada de forma retroactiva, en virtud de su Artículo 4[12]. No obstante, sí pueden aplicarse aquellas normas de la Convención que ya pertenezcan al derecho internacional consuetudinario.

Habiendo aclarado esto, y analizando el cuerpo normativo del Tratado de ITAIPU, no se ha encontrado una disposición expresa que permita la denuncia del mismo por alguna de las Altas Partes. Se puede observar igualmente que el Tratado no dispone una fecha precisa de terminación, y regula su vigencia en los términos del Artículo XXV que dispone cuanto sigue:

> *El presente Tratado entrará a regir en la fecha del canje de los Instrumentos de Ratificación y estará en vigencia hasta que las Altas Partes Contratantes, mediante nuevo acuerdo, adopten la decisión que estimen conveniente.*

Por tanto, la determinación de la existencia o no de un derecho de denuncia deberá ser fruto de una interpretación del presente artículo, lo que daría lugar a dos posibles supuestos de interpretación, como se expone a continuación.

Por una parte, el primer supuesto se daría en caso de que el Artículo XXV sea considerado como una disposición referente a la terminación del Tratado, lo que impediría la aplicación de la regla contenida en el Artículo 56 de la CVDT, ya que la misma es aplicable solamente en tratados que no contengan disposiciones sobre su terminación, denuncia o retiro.

En este contexto, teniendo como base que el artículo expresa que la vigencia del Tratado se extenderá hasta que las Altas Partes adopten una nueva decisión mediante nuevo acuerdo, se deberá determinar con la interpretación del mismo si las Altas Partes excluyeron cualquier otra posibilidad de terminación que no sea una por consenso. De ser este el caso, tendría como efecto la inexistencia de un derecho de

---

de denuncia o de retiro pueda inferirse de la naturaleza del tratado. 2. Una parte deberá notificar con doce meses, por lo menos, de antelación su intención de denunciar un tratado o de retirarse de él conforme al párrafo 1.

[12] **Artículo 4 – Irretroactividad de la presente Convención.** Sin perjuicio de la aplicación de cualesquiera normas enunciadas en la presente Convención a las que los tratados estén sometidos en virtud del derecho internacional independientemente de la Convención, esta solo se aplicara a los tratados que sean celebrados por Estados después de la entrada en vigor de la presente Convención con respecto a tales Estados.

denuncia del Tratado, ya que de conformidad con la regla *pacta sunt servanda*, las partes deben cumplir el Tratado de buena fe.

Por otra parte, en el segundo supuesto, el hecho de que el Tratado no contenga una fecha específica de terminación y que sujete su vigencia a una condición indeterminada –lo que en la práctica lo convierte en un tratado de duración indefinida– podría también ser interpretado como que el mismo no contiene una disposición sobre su terminación, lo que activaría la aplicación del Artículo 56[13], habilitando la posibilidad de un derecho de denuncia que se encontraría sujeto indefectiblemente a la existencia de uno de los siguientes dos supuestos: (a) si consta que fue la intención de las partes permitir esa posibilidad; o (b) si se puede inferir esa posibilidad de la naturaleza del Tratado.

Resulta interesante mencionar que en doctrina se señalan ciertos tipos de tratados que por su naturaleza podrían permitir este derecho, aclarando, sin embargo, que dicha naturaleza por sí sola no es un factor concluyente. Así, se mencionan por ejemplo a los tratados comerciales; de cooperación militar; cooperación técnica en asuntos económicos, sociales, culturales, científicos, de comunicación; de arbitraje; tratados constitutivos de organizaciones internacionales; entre otros[14]. Con respecto a los tratados de carácter comercial en particular, se señala que dicho carácter no será decisivo especialmente cuando el tratado se refiera a una empresa conjunta[15]. La Comisión de Derecho Internacional menciona como otro ejemplo los tratados de alianza, aunque recuerda que en general, la intención de las partes es un asunto fundamental a fin de determinar si tal derecho se encuentra implícito en cualquier tratado[16].

### *iv.* Existencia o inexistencia de posibilidad de denuncia. Análisis sobre la interpretación del Artículo XXV del Tratado de ITAIPU.

Sobre la base de lo expuesto en los puntos anteriores, se puede afirmar que, ya sea que el Artículo XXV sea considerado o no como una disposición referente a la terminación del Tratado –dando lugar o no a la aplicación de la regla contenida en el Artículo 56 de la CVDT como norma de derecho internacional consuetudinario–, la respuesta a la pregunta de si las Altas Partes del Tratado de ITAIPU tienen el derecho de denunciarlo se encuentra sujeta ineludiblemente a una interpretación de buena fe del mismo. Esto implicará necesariamente analizar no solo el sentido corriente de los términos del artículo, sino también el contexto de estos, así como el objeto y fin del Tratado, entre otros elementos, de conformidad con la regla consuetudinaria contenida en el Artículo 31[17] de la CVDT[18]. Solamente de esta manera podrá determinarse si el

---

[13] Giegerich (n10), pp. 1047-1048.
[14] Villiger (n3), p. 703; Giegerich (n10), p. 1051; Aust (n6), p. 257.
[15] Aust (n6), p. 257.
[16] Draft Articles on the Law of Treaties with commentaries (n5), p. 251
[17] **Artículo 31 – Regla general de interpretación.** 1. Un tratado deberá interpretarse de buena fe conforme al sentido corriente que haya de atribuirse a los términos del tratado en el contexto de éstos y teniendo en cuenta su objeto y fin. 2. Para los efectos de la interpretación de un tratado el contexto

artículo en cuestión permite terminar el Tratado únicamente por consenso o si, por el contrario, consta de alguna manera que ambos países tuvieron la intención de permitir dicho acto unilateral o que tal derecho puede inferirse de la naturaleza del Tratado.

En este sentido, en el presente caso se deben tener en cuenta también varios factores inherentes a la naturaleza de entidad binacional con personalidad de derecho internacional público, cuyo objeto es el aprovechamiento hidroeléctrico de los recursos hidráulicos del río Paraná. Consecuentemente, ITAIPU realiza de forma cotidiana actividades de operación, mantenimiento, administración, y comercialización de energía, que se encuentran sujetas a su tratado constitutivo y a las normas internas de la Entidad. Así, cabría preguntarse con qué base jurídica operaría la Entidad si el Tratado –y por ende sus normas derivadas– es terminado unilateralmente por la denuncia de una de las partes. Más aún, cabría preguntarse si jurídicamente la entidad podría seguir operando, ya que el Tratado no solamente crea dicha entidad binacional, sino que la crea para cumplir con el objetivo estipulado por el propio Tratado, que es el "*aprovechamiento hidroeléctrico de los recursos hidráulicos del río Paraná*"[19]. En este sentido, el Artículo V del Tratado dispone expresamente que la ITAIPU posee autorización para realizar el aprovechamiento hidroeléctrico objeto del tratado "*durante la vigencia*" del mismo[20]. Por ende, si el tratado dejase de estar vigente, ITAIPU no podría seguir realizando sus actividades ya que el objeto mismo del Tratado desaparecería.

Por tanto, como se puede observar, el problema no sería solamente jurídico sino también operacional. Los recientemente señalados, son solo algunos aspectos que deberán ser tenidos en cuenta al momento de interpretar de buena fe el Tratado y, en particular, su Artículo XXV.

---

comprenderá, además del texto, incluidos su preámbulo y anexos: a) todo acuerdo que se refiera al tratado y haya sido concertado entre todas las partes con motivo de la celebración del tratado: b) todo instrumento formulado por una o más partes con motivo de la celebración del tratado y aceptado por las demás como instrumento referente al tratado; 3. Juntamente con el contexto, habrá de tenerse en cuenta: a) todo acuerdo ulterior entre las partes acerca de la interpretación del tratado o de la aplicación de sus disposiciones: b) toda práctica ulteriormente seguida en la aplicación del tratado por la cual conste el acuerdo de las partes acerca de la interpretación del tratado: c) toda forma pertinente de derecho internacional aplicable en las relaciones entre las partes. 4. Se dará a un término un sentido especial si consta que tal fue la intención de las partes.

[18] La jurisprudencia de la Corte Internacional de Justicia reiteradamente ha afirmado que un tratado debe ser interpretado de buena fe conforme al sentido ordinario que haya de atribuir a sus términos en su contexto y a la luz de su objeto y fin, según el derecho internacional consuetudinario, y que esta regla ha encontrado su expresión en el artículo 31 de la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados, Véase: CORTE INTERNACIONAL DE JUSTICIA, Asunto sobre la diferencia territorial entre Libia y Chad (1994), p. 22; CORTE INTERNACIONAL DE JUSTICIA, Asunto de las plataformas petroleras entre Irán y Estados Unidos (1996), p. 812; CORTE INTERNACIONAL DE JUSTICIA, Asunto LaGrand (2001), párr. 99; y CORTE INTERNACIONAL DE JUSTICIA, Asunto Avena y otros nacionales mexicanos (2004), p. 48.

[19] Ver (n2).

[20] **Artículo V** – Las Altas Partes Contratantes otorgan autorización a la ITAIPU para realizar, durante la vigencia del presente Tratado, el aprovechamiento hidroeléctrico del trecho del río Paraná referido en el Artículo I.

Al respecto, cabe traer a colación la sentencia de la Corte Internacional de Justicia en el caso *Gabcikovo-Nagymaros Project (Hungary/Slovakia)*[21], en el cual Eslovaquia y Hungría disputaban, entre otras cosas, la validez de la denuncia o terminación unilateral por parte de Hungría, por medio de una Nota Verbal remitida en 1992, de un tratado bilateral concluido en 1977 para el establecimiento de una represa sobre el río Danubio la cual, entre otras cosas, produciría energía eléctrica para ambos países:

> *98. La pregunta, tal como se formula en el Artículo 2, párrafo 1 (c), del Acuerdo Especial, se refiere al derecho de los tratados, ya que se le pide a la Corte que determine cuáles son los efectos legales de la notificación de la terminación del Tratado. La cuestión es si la notificación de Hungría del 19 de mayo de 1992 puso fin al Tratado de 1977 o si no cumplía los requisitos del derecho internacional, con la consecuencia de que no terminó el Tratado.*
>
> *99. La Corte se ha referido anteriormente a la cuestión de la aplicabilidad al presente caso de la Convención de Viena de 1969 sobre el Derecho de los Tratados. La Convención de Viena no es directamente aplicable al Tratado de 1977 en la medida en que ambos Estados ratificaron esa Convención solo después de la conclusión del Tratado. En consecuencia, solo las normas que declaran el derecho consuetudinario son aplicables al Tratado de 1977. Como el Tribunal ya ha indicado anteriormente (véase el párrafo 46), este es el caso, en muchos aspectos, de los artículos 60 a 62 de la Convención de Viena, en relación con la terminación o suspensión de la operación de un tratado. Sobre esto, las Partes también estaban en general de acuerdo.*
>
> *100. El Tratado de 1977 no contiene ninguna disposición sobre su terminación. Tampoco hay indicios de que las partes pretendan admitir la posibilidad de denuncia o retirada. Por el contrario, el Tratado establece un régimen de larga data y duradero de inversión conjunta y operación conjunta. En consecuencia, no habiendo las partes acordado lo contrario, el Tratado solo podría rescindirse por los motivos limitados enumerados en la Convención de Viena.*

Se puede observar que, tal como ocurriría en el caso del Tratado de ITAIPU, la Corte encontró que la CVDT no resultaba directamente aplicable al caso debido a la irretroactividad de la misma. En este contexto, podría argumentarse que no obstante, la Corte aplicó implícitamente el Artículo 56 de la Convención (párrafo 100 del fallo) y que por lo tanto consideró esta regla como perteneciente al derecho internacional consuetudinario[22]. En este sentido, cabe resaltar que esta interpretación encuentra sustento en elementos doctrinarios encontrados, según los cuales la regla

---

[21] *Gabcikovo-Nagymaros Project (Hungary/Slovakia), Judgment, I.C.J. Reports 1997, p. 7.*
[22] Villiger (n3), pp. 705-706.

contenida en el artículo 56 de la CVDT pertenece o, en su defecto, puede haber generado en la actualidad una nueva regla de derecho internacional consuetudinario[23], ya que el artículo fue aprobado por vasta mayoría en la Conferencia[24].

Además, cabe resaltar la Corte no solo encontró que el tratado no podía ser denunciado, sino que también concluyó que, sobre la base de la regla *pacta sunt servanda*, ambos países debían encontrar "*una solución acordada dentro del contexto cooperativo del Tratado*"[25], y además, que ambas debían negociar de buena fe y "*tomar todas las medidas necesarias para garantizar el logro de los objetivos del Tratado de 16 de septiembre de 1977*"[26]. Igualmente, la Corte afirmó que "*a menos que las Partes acuerden lo contrario, debe establecerse un régimen operativo conjunto*"[27] de conformidad con el Tratado de 1977.

En la misma línea, en una Opinión Consultiva donde la Corte debatía la aplicación del Artículo 56 de la CVDT, la misma encontró que este se debe aplicar en concordancia con la "*obligación de actuar de buena fe y tener razonable consideración hacia los intereses de la otra parte del tratado*"[28].

## *v.* Conclusiones

El Tratado de ITAIPU no contiene una fecha específica de terminación, pero su Artículo XXV dispone expresamente que el mismo tendrá vigencia hasta tanto las partes decidan lo que estimen conveniente.

Este artículo podría ser considerado como referente a la terminación del Tratado, en cuyo caso debe ser interpretado a fin de determinar si las Altas Partes excluyeron otra forma de terminación que no sea una por consenso, lo que imposibilitaría su denuncia. Por otra parte, teniendo en cuenta que el artículo no dispone una fecha de terminación –es un tratado de duración indefinida–, se podría interpretar que el Tratado no contiene una disposición sobre su terminación, lo que, sobre la base de la regla consuetudinaria contenida en el Artículo 56 de la CVDT, permitiría su denuncia solamente si se cumple uno de los siguientes supuestos: (a) si consta que fue la intención de las partes permitir esa posibilidad; o (b) si se puede inferir esa posibilidad de la naturaleza del Tratado.

En definitiva, sea cual fuere el caso, la intención de las Altas Partes juega un rol fundamental a fin de llegar a una determinación, y la decisión a ser tomada debe

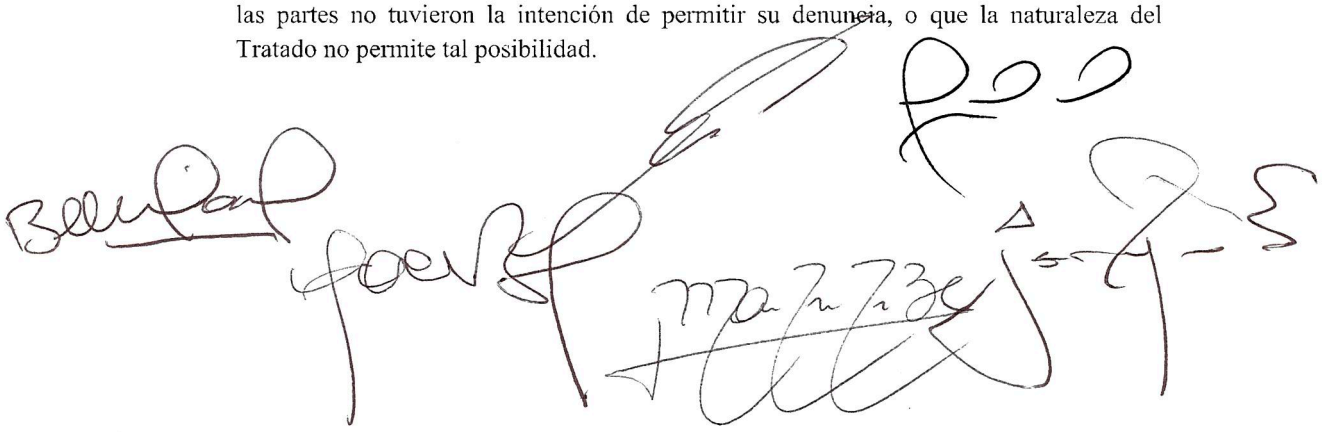
---

[23] Villiger (n3), p. 705, Giegerich (n10), p. 1058.
[24] Villiger (n3), p. 700: *Article 56 was adopted in 1969 by 95 votes to none, with six abstentions—the abstaining States expressing worries as to the impact of subpara. 1(b) on the stability of treaty regimes in international law.*
[25] (Traducción no oficial) *Gabcikovo-Nagymaros Project (Hungary/Slovakia)* (n21), párr. 142.
[26] (Traducción no oficial) *Gabcikovo-Nagymaros Project (Hungary/Slovakia)* (n21), párr. 155.
[27] *Ibid.*
[28] (Traducción no oficial) *Interpretation of the Agreement of 25 March 1951 between the WHO and Egypt, Advisory Opinion, I.C.J. Reports 1980, p. 73*, párr. 47.

estar necesariamente vinculada a una interpretación de buena fe del Artículo XXV y del Tratado de ITAIPU en su conjunto.

En este sentido, no debe dejar de tenerse en cuenta que en el caso de que una parte decida denunciar el Tratado, la otra parte podría presentar su objeción a tal acto, lo que daría lugar a un conflicto y activaría el Artículo XXII, que dispone que las Altas Partes deberán recurrir a los medios diplomáticos usuales a fin de resolver las divergencias, sin interrumpir la operación del aprovechamiento hidroeléctrico y de sus obras e instalaciones auxiliares[29].

Igualmente, cabe también aclarar que por más que el Tratado no lo disponga expresamente, en el caso de que las Altas Partes no resuelvan el conflicto por medios diplomáticos, el mismo deberá ser resuelto por algún otro medio de solución pacífica de controversias, de conformidad con el derecho internacional aplicable[30]. Así, en caso de que sea necesario que la controversia sea eventualmente resuelta por un tercero imparcial, debe contemplarse la posibilidad de que dicho tercero encuentre que las partes no tuvieron la intención de permitir su denuncia, o que la naturaleza del Tratado no permite tal posibilidad.



[29] **Artículo XXII** – En caso de divergencia en cuanto a la interpretación o la aplicación del presente Tratado y sus Anexos, las Altas Partes Contratantes la resolverán por los medios diplomáticos usuales, lo que no retardará o interrumpirá la construcción y/o la operación del aprovechamiento hidroeléctrico y de sus obras e instalaciones auxiliares.

[30] Véase el Tratado Americano de Soluciones Pacíficas o "Pacto de Bogotá" del 30 de abril de 1948, del cual tanto Paraguay como Brasil son parte.