



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GOP/01

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GOP

**SISTEMA DE PREVISIÓN DE CAUDALES AGUAS ABAJO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITAIPU
BINACIONAL**

**José Quevedo(*)
ITAIPU BINACIONAL**

**Giovanni Gomes
ITAIPU BINACIONAL**

**Auder Vieira
ITAIPU BINACIONAL**

**Mariana Werlang
ITAIPU BINACIONAL**

RESUMEN

La principal atribución de la División de Estudios Hidrológicos y Energéticos (OPSH) de la Itaipu Binacional es elaborar la previsión de caudales afluentes, aguas arriba y aguas abajo de la central, para el apoyo a la programación y planificación de la operación energética. Además, es responsable de la emisión del Boletín de Alerta Hidrológico (BAH), en caso de una inminente crecida o aumento importante de los niveles del Río Paraná en el tramo aguas abajo de la Itaipu.

El objetivo de este artículo, es presentar la nueva metodología utilizada por la OPSH para realizar estas tareas, basada en la implementación del modelo hidrodinámico HEC-RAS para el tramo de aguas abajo. La metodología incluye: a) adquisición y consistencia de datos, b) supervisión del sistema y definición de las descargas de las centrales, c) simulación de la red de aguas abajo con el modelo HEC-RAS, d) emisión de la previsión de caudales. La rutina de previsión de caudales afluentes consiste en proveer diariamente, el valor del caudal incremental en el tramo del río Paraná comprendido entre la central Itaipu y la estación hidrométrica R11. Este valor de caudal de discretización horaria, es de mucha importancia para la operación de la Central, porque permite estimar las cotas en la estación hidrométrica R11 para controlar las restricciones hidráulicas de niveles en esta sección del río Paraná establecidas en el Tratado Tripartito entre Argentina, Brasil y Paraguay. También permite estimar en forma horaria, los niveles en el canal de fuga y por ende el salto bruto de la Central, tanto en etapa de programación como en operación en tiempo real, dentro del proceso de generación. Con relación a la emisión del BAH, el objetivo es proveer información a los órganos responsables de la divulgación exterior de la Itaipu, sobre previsiones de niveles del río Paraná en un horizonte de cortísimo plazo, en situaciones de posibles inundaciones, que afectarán a poblaciones o instalaciones ubicadas aguas abajo de la central Itaipu, en territorio paraguayo y brasileño.

PALABRAS CLAVES

Previsión de caudales, modelo hidrodinámico, crecidas, alerta hidrológico.

(*) Supercarretera Itaipu y Hernandarias – Hernandarias, Alto Paraná, – Paraguay
Tel: (+55 595 61) 599-2654 – Email: quevedoa@itaipu.gov.py

1.0 - INTRODUCCIÓN

La Central Hidroeléctrica de Itaipú (CHI) es un emprendimiento binacional (brasileño-paraguayo) que cuenta con una potencia instalada de 14.000 MW, localizado en el río Paraná, aproximadamente a 22 Km aguas arriba del punto de frontera tripartita (Paraguay, Brasil y Argentina) como se muestra en la Figura 1. Su área de drenaje es de 820.000 Km², de los cuales 241.000 Km² no están regulados y responden por 20 a 50% de la afluencia promedio mensual al embalse.



FIGURA 1 – Ubicación de la Central Hidroeléctrica Itaipu

La División de Estudios Hidrológicos y Energéticos (OPSH) de la Itaipu Binacional tiene como atribución principal elaborar la previsión de afluencias de corto, medio y largo plazo para apoyo a la supervisión, programación y planeamiento de la operación energética, con especial atención a las condiciones en que ocurren variaciones excepcionales de niveles de agua, y con la ocurrencia de grandes caudales afluentes. La previsión de caudales se realiza tanto para aguas arriba como para aguas debajo de la central. La OPSH también es responsable de emitir el Boletín de Alerta Hidrológico (BAH) en caso de un inminente evento de crecida del Río Paraná aguas abajo de la Itaipu.

El Sistema de aguas abajo de la CHI (Figura 2), cuya área de drenaje es de aproximadamente 88.200 Km², está compuesto por: el río Paraná, tramo comprendido desde la CHI hasta la estación hidrometeorológica R11 aguas abajo de la confluencia con el río Iguazú (25 km); y tres ríos afluentes al Paraná, el río Iguazú (Brasil-Argentina), tramo comprendido desde la CH Salto Caxias hasta la confluencia con el río Paraná (220 km), el río Acaray y el río Monday (ambos en Paraguay). Dentro del sistema de telemetría de Itaipu, se tienen estaciones de control sobre los ríos Paraná (Canal de Fuga de la CHI, R4, Puente de la Amistad, Iate Clube Cataratas y R11), Iguazú (Porto Capanema y Hotel Cataratas) y Monday (Nuevo Puesto Silva), que proporcionan datos a cada hora de los niveles y caudales observados. Además de la CHI, en la red aguas abajo también se encuentran las centrales hidroeléctricas de Acaray (Paraguay) y la de Salto Caxias (Brasil).

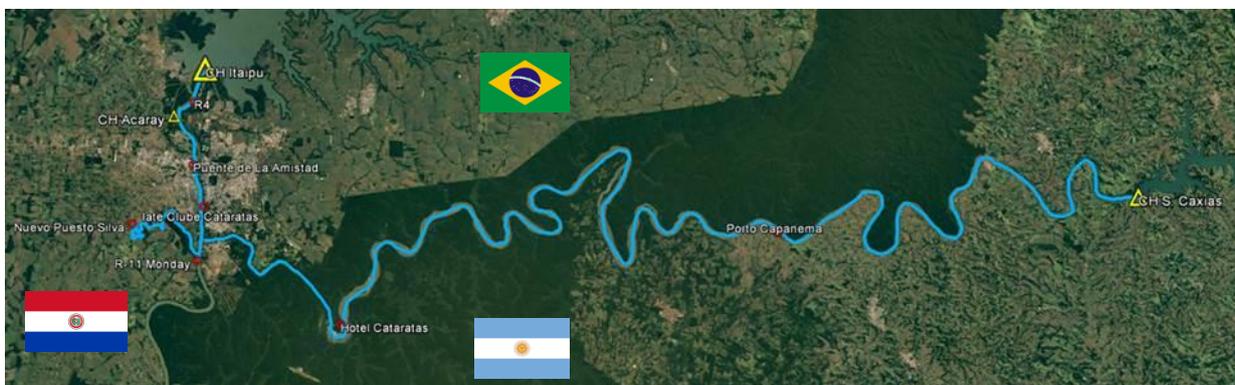


FIGURA 2 - Sistema de aguas abajo de la CHI

Debido a la magnitud y variación horaria de los caudales del río Iguazú y la forma de su confluencia (a 90°), termina ejerciendo mucha influencia en los niveles del Paraná, mediante el efecto de remanso. Además, estas condiciones son altamente dinámicas debido la operación de las centrales Itaipu y Salto Caxias.

Para la CHI existen dos motivos para realizar la previsión de caudales aguas abajo. El primero es el control de los niveles del río Paraná aguas abajo de la central para la “Programación Energética y Operación en Tiempo Real”, de manera a poder predecir (en forma horaria) las cotas del canal de fuga (y el salto bruto correspondiente) para cada serie de descargas de Itaipu, y cumplir al mismo tiempo las restricciones hidráulicas establecidas en el Acuerdo Tripartito (Argentina, Brasil y Paraguay del 19 de octubre de 1979).

Este acuerdo referente al Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Paraná, establece que Itaipu debe mantener los caudales aguas abajo de manera a no sobrepasar, en lo que depende a su operación, una variación de $\pm 2,0$ mts. en 24 horas y $\pm 0,5$ mts. en 1 hora, en la zona fluvial entre los tres países. Esta restricción se controla mediante la estación hidrométrica R11-Monday, ubicada en la margen derecha del río Paraná aguas abajo de las confluencias de los ríos Iguazú y Monday, como se muestra en la Figura 3.

Esta restricción es controlada en forma paralela por la COMIP (Comisión Mixta del Río Paraná Paraguayo-Argentino) con una estación en territorio argentino denominada Itá-Cajón, ubicada frente a la estación R11. Además, como parte del Acuerdo Tripartito, Itaipu se comprometió a enviar datos del comportamiento de los niveles y caudales en R11 en forma diaria a esta entidad.



FIGURA 3 - Ubicación de la estación R11

Un caso típico del comportamiento de R11 se observa en la Figura 4, con una variación de los niveles en R11 llegando casi a 2 metros entre los días sábado 09 y domingo 10 de abril de 2016. En este período de tiempo, los caudales del río Iguazú permanecieron relativamente estables, mientras que la descarga de la CH Itaipu tuvo una reducción importante relacionada a la menor demanda de energía de los mercados para el día domingo 10 de abril. En este escenario, Itaipu redujo su generación (y su descarga), de manera a controlar su restricción hidráulica en la región de las tres fronteras, llevándola al límite de sus posibilidades. Esto también se observa típicamente los días lunes, cuando aumenta la demanda de energía y con esto la descarga en relación a los domingos. En este caso, la CH Itaipu queda limitada por los niveles observados del domingo, de manera que al aumentar su generación (y su descarga) no sobrepase los límites establecidos en el Tratado Tripartito.

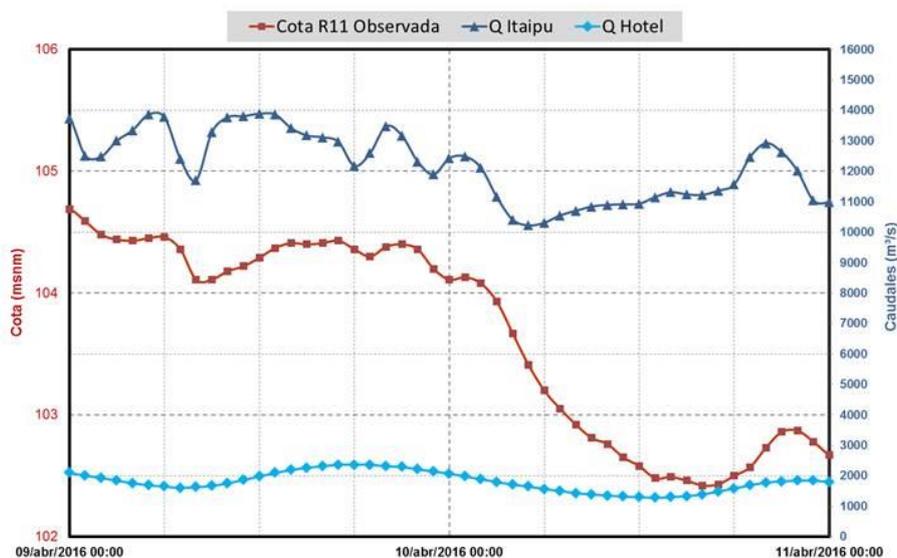


FIGURA 4 – Ejemplo de comportamiento de R11

El segundo motivo es el eventual aumento del nivel del río Paraná aguas abajo de Itaipu, a causa de los eventos de crecidas de los río Paraná y/o Iguazú, lo que ocasiona por un lado la disminución del salto bruto de la central afectando directamente la generación hidroeléctrica, y por otro lado, a las poblaciones e instalaciones paraguayas y brasileñas que se encuentran en zonas vulnerables.

Los niveles de alerta están definidos en el SOSEM (Sistemática de Operación en Situación de Emergencia Hidrológica) y se muestran en la Figura 5, con la curva de permanencia de las cotas en la estación hidrométrica Puente de la Amistad en el período 1983-2016, donde se puede observar que el 14% del tiempo los niveles se encuentran en Estado de Alerta 1-A o superior. Ante la posibilidad de alcanzar estos niveles, la OPSH emite el BAH, situación que sucede entre 3 y 4 veces por año en promedio.

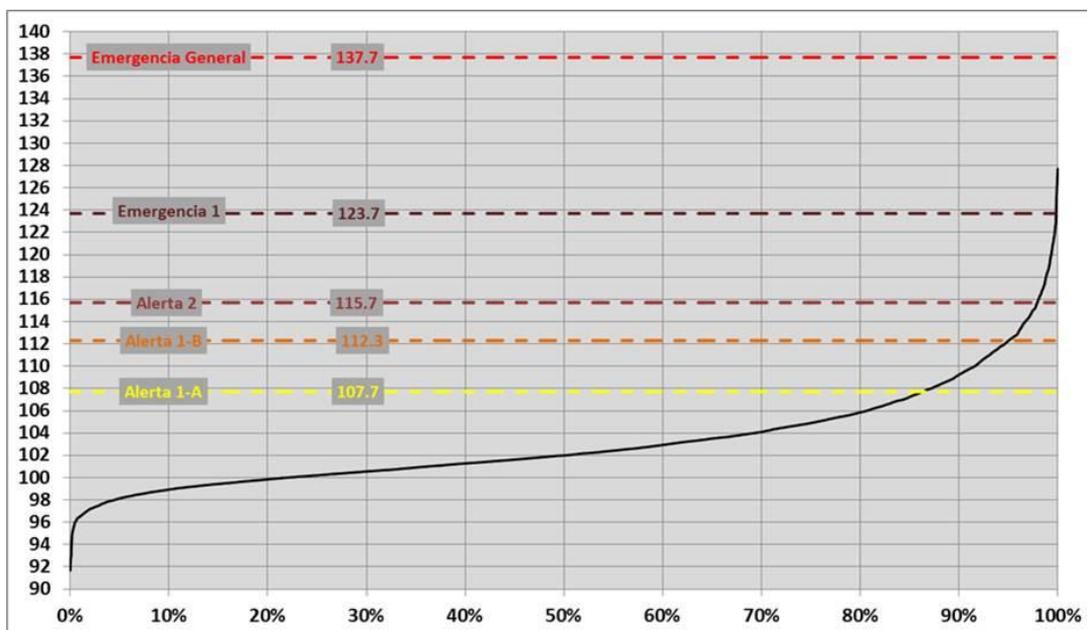


FIGURA 4 - Curva de permanencia de las Cotas en la estación Puente de la Amistad (1983-2016) y límites de los Estados de Situación (referidos a las cotas en la estación Puente de la Amistad)

2.0 - METODOLOGÍA

La construcción del Sistema de Previsión de Afluencia Aguas Abajo, tuvo dos etapas. La primera fue el proyecto de modelación hidrodinámica propiamente dicho, realizado por Gaete (2014) [1], en el que ha sido diseñada y calibrada la red utilizando el HEC-RAS. El esquema de la red se muestra en la Figura 5.

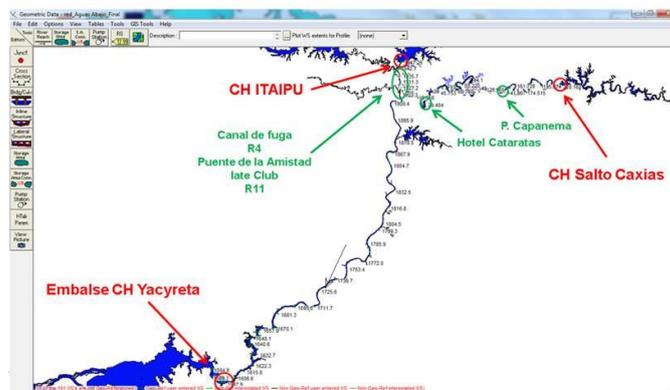


FIGURA 5 - Diseño en planta de la red de aguas abajo de la CHI

La segunda etapa, fue la implementación de esta red en los procesos de operación de la central, dentro de la rutina de previsión de caudales aguas abajo de la Itaipu. Esta etapa fue desarrollada dentro de la OPSH y tuvo como objetivo principal, automatizar la mayor cantidad de procedimientos de modo a agilizar la carga de datos (anteriormente manual) y la evaluación de los resultados, de forma a disponer mayor tiempo para el análisis inherente a la previsión de caudales y niveles en los puntos de interés, principalmente en momentos de alerta hidrológico. En la Figura 6 se muestra el Cotagrama de evaluación del HEC-RAS para la sección transversal R11, donde se nota la buena adherencia entre los valores observados y simulados.

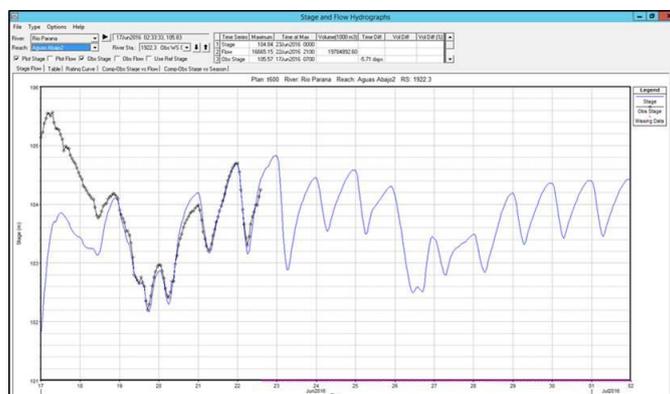


FIGURA 6 - Cotagramas en la estación R11 simulado y observado

El Sistema de Previsión incluye las siguientes tareas: a) adquisición y consistencia de datos, b) supervisión del sistema y definición de las descargas de las centrales, c) simulación de la red de aguas abajo con el modelo HEC-RAS, d) emisión de la previsión de caudales.

Los procedimientos implementados, presentados en la Figura 7, fueron realizados mediante el uso de planillas electrónicas MS Excel, rutinas desarrolladas en MS Visual Basic, el HEC-DSSVue (software de almacenamiento y gestión de datos desarrollado por el HEC), el HEC-DSS Data Exchange (plug-in de intercambio de datos entre MS Excel y el HEC-DSSVue) y el HEC-RAS.

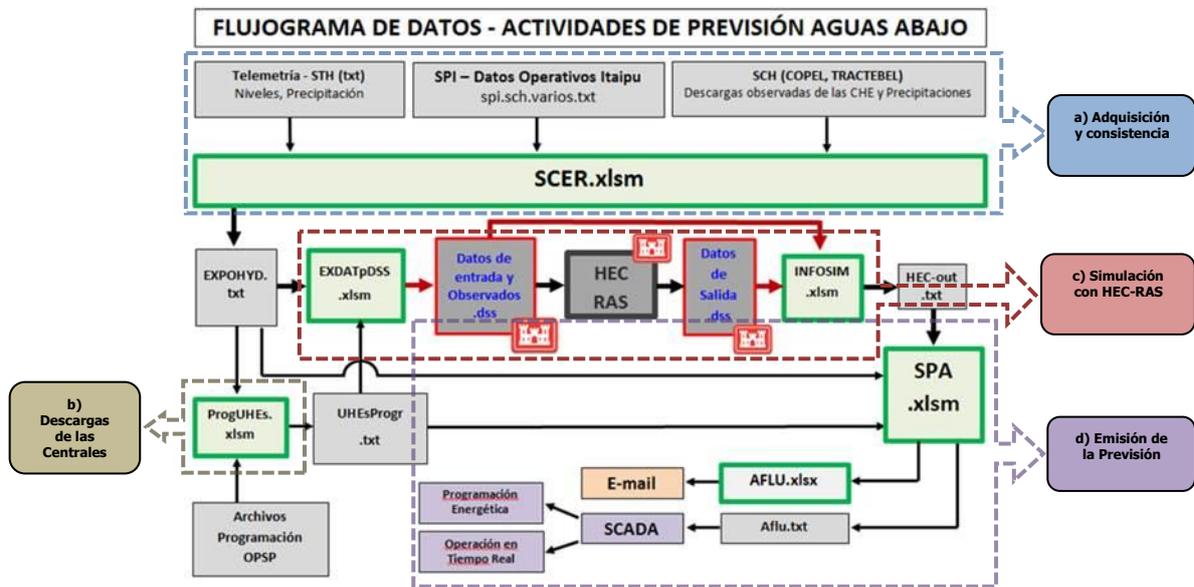


FIGURA 7 - Flujo de procedimientos de la previsión de caudales de aguas abajo de la CHI

3.0 - RESULTADOS

La implementación de este Sistema de Previsión, basado principalmente en la red calibrada en el modelo HEC-RAS, ha permitido mejorar las estimaciones de niveles en la estación R11 para la Programación Energética y la Operación en Tiempo Real de la CHI. La estación R11 es el punto de control principal para la operación de la CHI, debido a la restricción hidráulica establecida en el tratado tripartito. El mejor control de los niveles en R11, conlleva al mismo tiempo a mejorar las estimaciones de niveles de Canal de Fuga (consiguientemente el salto bruto) y el cálculo de Caudales Turbinados, para una determinada curva de demanda de energía, logrando así mejor precisión en la operación de la central. También permite mejorar las estimaciones de cotas durante eventos de crecidas, de manera a alertar con tiempo a las poblaciones sobre los eventuales impactos. Después de la implementación de este sistema, se ha evaluado y comparado su desempeño, simulando con datos observados el período comprendido del 01/08/2014 al 31/12/2016. Los valores simulados de cota en la estación R11 con el método de propagación de König (método anteriormente utilizado) y con el método basado en el HEC-RAS se compararon con los valores observados. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1 - Comparación de resultados de cota en la estación R11 [metros]

01/08/2014 al 31/12/2016	Observado-Konig	Observado-HEC
Error Máximo Positivo	3.062	0.759
Error Máximo Negativo	-1.719	-0.615
Error Promedio	0.397	-0.010
Error Promedio Absoluto	0.481	0.101
Error Medio Cuadrático	0.36294	0.01736
Coefficiente de correlación	0.9940	0.9995

4.0 - CONCLUSIONES

Con la implementación operativa de la nueva red diseñada en el HEC-RAS y los nuevos procedimientos adoptados, se ha obtenido una mejoría en la previsión de caudales y niveles en las secciones de los ríos, mejor visualización para evaluación de los resultados, menores tiempo computacionales (pasando de 2 minutos a 10 segundos), ampliación del horizonte de la previsión a 10 días (anteriormente de 2 a 5 días) con discretización horaria, carga de datos en menor tiempo y mayor confiabilidad, disminución de ocurrencias de errores involuntarios en el manejo de los datos y la posibilidad de realizar diferentes simulaciones en tiempo real.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Gaete, P. (2014). Modelación Hidrodinámica del Río Paraná con HEC-RAS. Asunción, Paraguay

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

	<p>José Mariano Quevedo Aguadé Nacido en Asunción, Paraguay el 10 de abril de 1982 Ingeniero Civil (2008) por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción. Trabaja en Itaipu Binacional desde 2011 en la División de Estudios Hidrológicos y Energéticos.</p>
---	--