

Nueva Curva de Rechazo de Carga vs Nivel del Canal de Fuga de ITAIPU Binacional**R.E. OVIEDO-SANABRIA, R.J. de ANDRADE, D.V. LÓPEZ-MALDONADO****ITAIPU BINACIONAL****Paraguay / Brasil / Colombia****RESUMEN**

ITAIPU posee una peculiaridad a su operación, que es la necesidad de control de la descarga en el punto R-11, ubicado en el Rio Paraná después del encuentro al Rio Iguazú. Este punto representa el lugar de medición de los límites de variación de niveles definidos en el Acuerdo Tripartito, firmado entre Paraguay-Brasil-Argentina. Este acuerdo limita los valores leídos en R-11 en cincuenta centímetros para variación horaria y dos metros para variación diaria. En función de la Potencia Rechazada en la central y del momento en que ocurra, puede tener como consecuencia una variación en la descarga, que pueda llevar a que sean superados los límites de variación en R-11. Siendo así, es importante establecer valores a partir de los cuales habría la necesidad, inmediata o no, de compensación de descargas de la central a través de caudal vertido. En 2007, se ha realizado un estudio en ITAIPU, que estableció una relación entre la Potencia Rechazada en la central y el nivel del canal de fuga, construida a partir de una condición ideal de estabilidad. Por lo que, fuera de esa condición los valores de potencia rechazados, que podrían provocar la violación del Acuerdo Tripartito, pueden ser sensiblemente menores. Además, la curva calculada en 2007 no considera la flexibilización de 20% en los límites de variación horaria y diaria en R-11, relativos a los límites adoptados en momentos de condiciones hidrológicas desfavorables. El presente estudio tiene como objetivo presentar una nueva metodología, contemplando condiciones operativas reales, definiendo nuevos límites a partir de los cuales la comparación inmediata de descarga de la central sería necesaria. A lo largo del trabajo, fueron elaboradas varias curvas para representar la variación máxima en R-11 en el momento del rechazo. Sin embargo, tal procedimiento traería una dificultad adicional, visto que el Despacho de Carga de ITAIPU (DC-IPU) tendría siempre que consultar la curva correspondiente al estado en el momento y en los casos en que no existiera, tendría que adoptar el caso más restrictivo. En este contexto, fue elaborada una solución dinámica, que contempla la actualización de los datos en tiempo real. Tal solución puede ser implementada en cualquier herramienta utilizada por el DC-IPU, permitiendo su visualización rápida y comprensión en el momento de un rechazo de carga.

PALABRAS CLAVE

ITAIPU Binacional, Regla R-11, Rechazo de Carga, Optimización, Descarga, Acuerdo Tripartito Paraguay-Brasil-Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

ITAIPU posee una peculiaridad a su operación, que es la necesidad de control de la descarga en el punto R-11, ubicado en el Rio Paraná después del encuentro al Rio Iguazú. Este punto representa el lugar de medición de los límites de variación de niveles definidos en el Acuerdo Tripartito, firmado

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

entre Paraguay-Brasil-Argentina. Este acuerdo limita los valores leídos en R-11 en cincuenta centímetros para variación horaria y dos metros para variación diaria.

Rechazos de carga en ITAIPU pueden ocurrir por actuación de las protecciones que lleven a la desconexión automática de las unidades generadoras [1],[2], o por la actuación del Esquema Suplementar de Protección (ESP) del 765kV [3] y de los Esquemas de Control de Emergencia del Sistema 50Hz [4], que pueden ocasionar el corte de unidades generadoras en la usina. Estos rechazos provocan variaciones en la descarga y consecuente impacto en los valores simulados de nivel y caudal en R-11.

Dependiendo de la potencia rechazada y del momento en que ocurra, puede llevar a que sean superados los límites, diario y/o horario, de variación del nivel en R-11, que constan en el Acuerdo Tripartito [5]. Siendo así, es importante establecer límites desde los cuales habría la necesidad de compensación de la descarga mediante apertura del vertedero.

La División de Programación y Estadística de la ITAIPU ha realizado un estudio en 2007 que establece la relación entre el rechazo de carga en ITAIPU y el nivel del canal de la usina. Esta relación ha definido dos regiones, una en que el Despacho de Carga de ITAIPU (DC-IPU) puede evaluar los efectos provocados por el rechazo de carga, y otra en que deberá ser hecha una compensación en la descarga, en la proporción de 1MW→1m³/s. El resultado es presentado en la Figura 1, conforme IOPI 44 R5 [6].



Figura 1: Curva “Potencia Rechazada vs Nivel de aguas abajo”

La Figura 1 fue construida desde una condición ideal de estabilidad, sin variaciones de descarga en las últimas 24 horas, y con el embalse en el nivel 220,00msnm. Entretanto, fuera de esta condición ideal, los valores de potencia rechazada que provocarían la violación del Acuerdo Tripartito pueden ser sensiblemente menores. La curva también no considera la flexibilización de 20% en los límites de variación del nivel en R-11, relativos al límite adoptado en los momentos de condiciones hidrológicas desfavorables.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

En 2019 la OPSP.DT ha elaborado un nuevo estudio, contemplando condiciones operativas más realistas, definiendo los nuevos límites desde los cuales la compensación de descarga debe ser inmediata, la cual será presentada en este trabajo.

A lo largo del trabajo, fueron elaboradas varias curvas para representar la variación máxima en R-11 en el momento del rechazo, conforme presentado en la Figura 2.

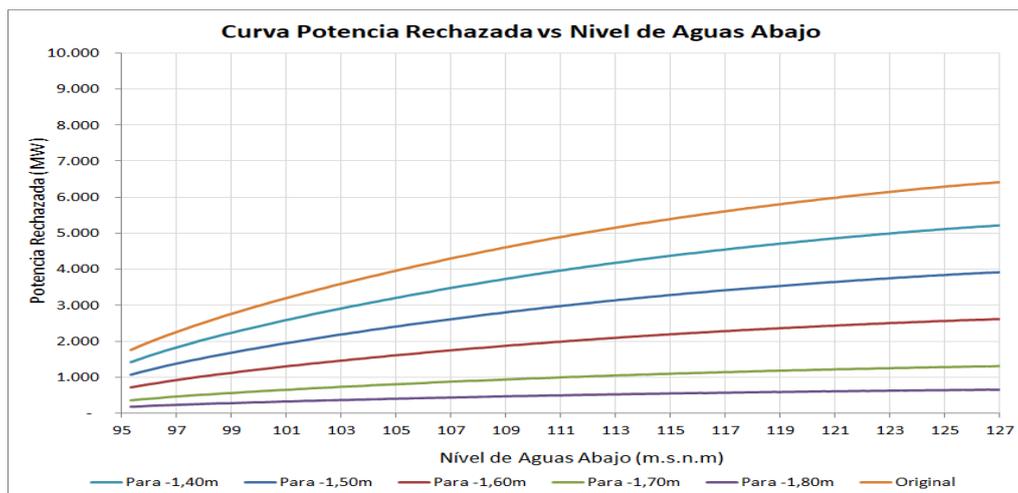


Figura 2: Curva potencia rechazada vs nivel de aguas abajo

No obstante, si implementado tal procedimiento, traería consigo una dificultad adicional al DC-IPU, en vista de que el despachante tendría siempre que consultar la curva correspondiente al estado en el momento del rechazo de carga, y en casos en que dicha curva no exista, sería adoptado el peor caso.

En este contexto, fue elaborada una solución dinámica que contempla la actualización de los datos en tiempo real, más adecuada por su robustez y simplicidad de interpretación por parte de los despachantes. Siendo posible implementar esta solución en cualquier herramienta utilizada por el DC-IPU

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología actual

La metodología para el cálculo de la curva propuesta en 2007 ha adoptado algunas premisas para su elaboración, siendo ellas enlistadas a continuación:

- Fue adoptado un intervalo entre $9.000\text{m}^3/\text{s}$ y $32.000\text{m}^3/\text{s}$ para el caudal en el punto de control en R-11, con incrementos de $200\text{m}^3/\text{s}$ y calculado el nivel correspondiente a cada valor de caudal.
- La descarga de ITAIPU fue considerada constante en $12.000\text{m}^3/\text{s}$.
- El nivel del embalse fue considerado constante en $220,00\text{msnm}$.
- Fue realizada la propagación de descarga hasta R-11.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

- e) Fue verificada cual es la variación de caudal en R-11 provocada por una reducción de 0,5m de su nivel en un intervalo de una hora, y la correspondiente variación de descarga en ITAIPU que la provocaría, con un margen de seguridad del 20%.

2.2 Metodología propuesta

La metodología propuesta adopta nuevos supuestos, basados en los valores registrados en el momento del rechazo de carga en una solución dinámica, como se explica a continuación:

- a) El caudal en R-11 es adoptado en un intervalo de $6.000\text{m}^3/\text{s}$ a $49.000\text{m}^3/\text{s}$, con incrementos de $250\text{m}^3/\text{s}$, y calculado el nivel correspondiente obtenido por la curva llave “Caudal vs Nivel en R-11” [7], [8]. En la Tabla I se presentan estas correspondencias.

Tabla I: Intervalo de caudal y nivel en R-11 adoptado

Caudal R-11 [m ³ /s]	Nivel R-11 [m]
6.000	90,15
6.250	90,75
6.500	91,32
6.750	91,86
7.000	92,37
⋮	⋮
49.000	126,63

- b) El nivel del embalse es actualizado en tiempo real con los datos del PI.
- c) Posibilidad del despachante indicar si los límites de variación en R-11 se encuentran flexibilizados en 20%, dadas las condiciones hidrológicas del momento.
- d) Considera la máxima variación negativa del nivel en R-11 de las últimas 24h, siendo actualizada a cada hora con los datos realizados del PI. En la Tabla II, son presentados los valores del ejemplo analizado en este estudio.

Tabla II: Ejemplo de valores del PI para o cálculo de la máxima variación negativa en R-11

Fecha	Nivel R-11 [m]	Fecha	Nivel R-11 [m]
21/03/2021 15:00	94,44	22/03/2021 04:00	94,94
21/03/2021 16:00	94,34	22/03/2021 05:00	94,70
21/03/2021 17:00	94,27	22/03/2021 06:00	94,56
21/03/2021 18:00	94,21	22/03/2021 07:00	94,40
21/03/2021 19:00	94,26	22/03/2021 08:00	94,32
21/03/2021 20:00	94,61	22/03/2021 09:00	94,26
21/03/2021 21:00	94,87	22/03/2021 10:00	94,16
21/03/2021 22:00	95,01	22/03/2021 11:00	94,17
21/03/2021 23:00	95,11	22/03/2021 12:00	94,19
22/03/2021 00:00	95,25	22/03/2021 13:00	94,22
22/03/2021 01:00	95,25	22/03/2021 14:00	94,25
22/03/2021 02:00	95,21	22/03/2021 15:00	94,57
22/03/2021 03:00	95,14		

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

- e) De los valores del ejemplo de la Tabla II, la máxima variación negativa diaria obtenida fue de -0,68m. en términos de valor absoluto, con relación al valor máximo de variación de 2,00m, se presenta una holgura de 1,32m. Pero del punto de vista de la variación horaria, solamente se cuenta con una holgura de 0,50m con relación al último valor registrado, siendo adoptado el menor valor entre los dos, siendo en este caso la holgura de 0,50m.
- f) El valor obtenido en e) es descontado de cada valor del nivel en R-11 del intervalo seleccionado en a) (Tabla III columna 3 color rojo). Los niveles obtenidos son transformados en caudal en R-11 (Tabla III columna 4 color azul).

Tabla III: Caudal y Nivel en R-11 correspondientes para a violación del Acuerdo Tripartito

Caudal R-11 [m ³ /s]	Nivel R-11 [m]	Nivel R-11* [m]	Caudal R-11* [m ³ /s]	Δ Caudal en R-11 [m ³ /s]
6.000	90,15	89,65	5.803	197
6.250	90,75	90,25	6.040	210
6.500	91,32	90,82	6.278	222
6.750	91,86	91,36	6.517	233
7.000	92,37	91,87	6.756	244
.
.
.
49.000	126,63	126,13	48.029	971

- g) Considerando las dos columnas de caudal en R-11 (Tabla III columnas 1 y 4), es calculada la diferencia de caudal entre ellas (Tabla III columna 5 color verde).
- h) Con el valor obtenido en g) es calculado el equivalente de variación de descarga en ITAIPU por la curva de propagación, con un factor de seguridad del 20% (1).

$$\text{Reducción de Descarga en IPU} = \frac{\Delta \text{Caudal en R11}}{0,10 (\text{KONIG}) + 0,02 (20\%, \text{seguridad})} \quad (1)$$

- i) Con el valor obtenido en h) es calculado el delta de descarga en ITAIPU (Tabla IV columna en rojo).

Tabla IV: Delta de Descarga en ITAIPU

Δ Caudal en R-11 [m ³ /s]	Δ Descarga en ITAIPU [m ³ /s]
197	1.642
210	1.750
222	1.850
233	1.942
244	2.033
.	.
.	.
971	8.092

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

- j) Cada uno de los valores de delta de descarga e ITAIPU obtenido en i) es asociada una productibilidad operativa (Tabla V columna 3 en rojo), dada en función del salto bruto. Con esa productibilidad es obtenido el Rechazo de carga en ITAIPU que teóricamente viole los límites del Acuerdo Tripartito (Tabla V columna 4 color azul).

Tabla V: Rechazo de carga en ITAIPU

Δ Caudal en R-11 [m ³ /s]	Δ Descarga en IPU [m ³ /s]	Productibilidad [MW/m ³ /s]	Rechazo de Carga en ITAIPU [MW]
197	1.642	1,0708	1.758
210	1.750	1,0684	1.870
222	1.850	1,0660	1.972
233	1.942	1,0637	2.065
244	2.033	1,0614	2.158
.	.	.	.
.	.	.	.
971	8.092	0,7930	6.416

- k) Con base en los datos de rechazo de carga en ITAIPU y Nivel Aguas Abajo fue ajustado un polinomio de 3er grado, para poder así calcular el punto de operación y el rechazo de carga necesario para violar el Acuerdo Tripartito.
- l) Con los valores obtenidos en k), se traza el grafico y el punto de operación en tiempo real (ilustrado en la Figura 3), con la opción de indicar si los límites de variación del nivel en R-11 están flexibilizados o no.
- m) Desde este punto, es definida la acción a ser tomada, donde el despachante evalúa si será necesaria una compensación inmediata en la descarga de ITAIPU o si es posible realizar simulaciones en el SCO (Sistema de Control de la Operación, utilizado por el DC-IPU).

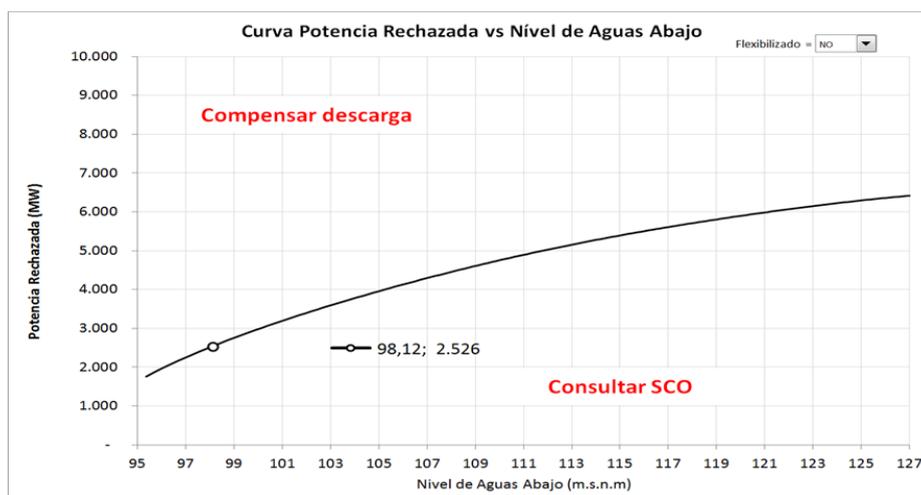


Figura 3: Curva “Potencia Rechazada vs Nivel de aguas abajo” para o ejemplo presentado

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

La Figura 4 presenta el mismo ejemplo, siendo los límites de variación en R-11 flexibilizados en 20%.

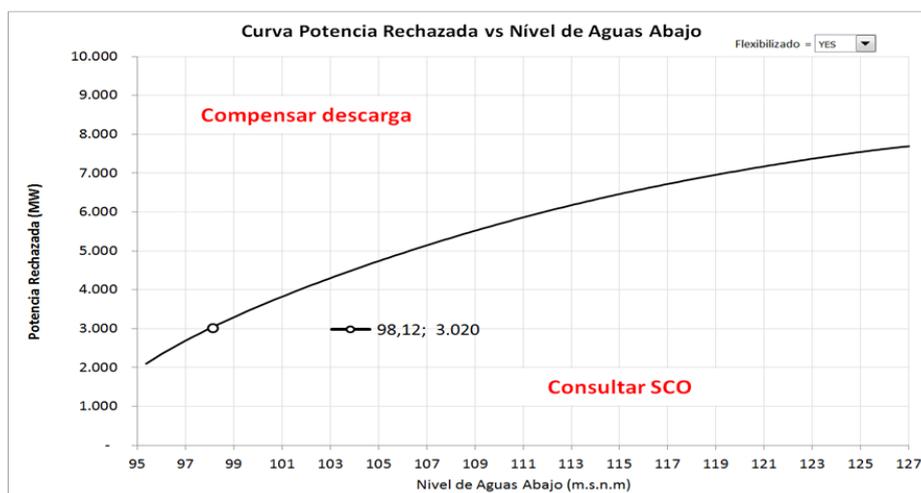


Figura 4: Curva “Potencia Rechazada vs Nivel de aguas abajo” para o ejemplo presentado

3. CONCLUSIONES

La curva actual de “Potencia Rechazada vs Nivel Aguas Abajo” fue construida a partir de una condición ideal de estabilidad, sin variaciones en la descarga de ITAIPU en las últimas 24 horas, y con el embalse en el nivel 220,00msnm. Entretanto, fuera de esta condición ideal, los valores de potencia rechazada que provoquen la violación del Acuerdo Tripartito pueden ser sensiblemente menores.

Además, la curva actual no considera la flexibilización de 20% en los límites de variación de nivel en R-11, relativo al límite adoptado en condiciones hidrológicas desfavorables.

A lo largo del trabajo fueron elaboradas varias curvas para representar la variación máxima en R-11 en el momento del rechazo de carga. No obstante, si implementado tal procedimiento, traería consigo una dificultad adicional al DC-IPU, en vista de que el despachante tendría siempre que consultar la curva correspondiente al estado en el momento del rechazo de carga, y en casos en que dicha curva no exista, sería adoptado el peor caso.

En este contexto, fue elaborada una solución dinámica que contempla la actualización de los datos en tiempo real, más adecuada por su robustez y simplicidad de interpretación por parte de los despachantes. Siendo posible implementar esta solución en cualquier herramienta utilizada por el DC-IPU.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

BIBLIOGRAFIA

- [1] Actuación de la Protección Eléctrica de la Unidad Generadora de ITAIPU – IOPI 42 R10. **ITAIPU Binacional**, Paraguay/Brasil, 2020, página 5.
- [2] Protecciones mecánica de las unidades generadoras de ITAIPU - IOPI 45 R4. **ITAIPU Binacional**, Paraguay/Brasil, 2020, páginas 15-16.
- [3] Operación de Esquema Suplementar de Protección del Sistema de 765kV - IOI 69 R44. **ITAIPU Binacional**, Paraguay/Brasil, 2020, páginas 12-15.
- [4] Descripción y Operación de los Esquemas de Control de Emergencia del Sistema de 50Hz - IOI 35 R52. **ITAIPU Binacional**, Paraguay/Brasil, 2020, página 3.
- [5] Acordo sobre Cooperaçao Técnico-Operativa entre os Aproveitamentos de ITAIPU e CORPUS. Brasil/Paraguay/Argentina, 1979. página 2.
- [6] Directrices y Procedimiento para la Operación del Vertedero de la Usina Hidroeléctrica de ITAIPU - IOPI 44 R5. **ITAIPU Binacional**, Paraguay/Brasil, 2020, página 12.
- [7] Referencia de las Grandezas Hidroenergéticas. Paraguay/Brasil, 2021, páginas 1-3.
- [8] Actualización Provisoria del Tramo Inferior de la Curva –Llave de R-11 - IAOP 01/2020. **ITAIPU Binacional**, Paraguay/Brasil, 2020, páginas 4-5.