



Operación de la Central Hidroeléctrica Yacyreta en crecida excepcional del Río Paraná

Christian Ferreira

E.B.Y. Departamento Técnico-Sector Operación. Área pre y post Operación

christian.ferreira@eby.gov.py

Paraguay

RESUMEN

El río Paraná presenta fluctuaciones de caudal causadas por las condiciones climáticas en toda la cuenca del Paraná, estas variaciones de caudal afluente al embalse de la Central Hidroeléctrica Yacyreta afectan la operación de la central por lo cual se adoptan diferentes modos de operación de acuerdo a la situación en tiempo real, a través de un monitoreo y previsión diarias.

La CHY es una central de pasada por lo tanto el excedente de agua afluente al embalse que no puede ser turbinado debe ser necesariamente vertido, para este fin la central cuenta con dos vertederos; el Vertedero Brazo Aña Cuá y el Vertedero Brazo Principal.

Durante el periodo de caudal afluente mayor a la capacidad de descarga por las turbinas y el vertido correspondiente al caudal ecológico en el vertedero brazo aña cuá, la central opera en el modo “Operación a Máxima Generación con Vertimiento”. En este régimen de vertimiento el caudal excedente se descarga por el vertedero brazo aña cuá, y si la crecida es extraordinaria se procede al vertimiento por el vertedero principal.

En la situación especial de Operación a Máxima Generación con Vertimiento y Vertedero Brazo Principal abierto, se presentan varios inconvenientes asociados a la reducción de salto por el aumento del nivel de restitución, siendo esta modalidad de operación muy desfavorable para la central hidroeléctrica.

Con el Salto Neto reducido la potencia firme de las unidades generadoras disminuye.

En el último período estival la crecida del río por las precipitaciones en la cuenca del Paraná fue superlativamente afectado por el fenómeno el Niño, causando una crecida excepcional en relación al régimen estacional del río normal o frecuente. En estas circunstancias la CHY procedió al vertido por vertedero principal.

PALABRAS CLAVES

CHY (Central Hidroeléctrica Yacyreta), Operación, Crecida, Vertimiento, Caudal, Restitución, Salto neto, Potencia, Regulación. VBP (Vertedero brazo principal). Caudal turbinado.

1. Operación de la Central Hidroeléctrica Yacyreta en crecida excepcional el Río Paraná

1.1 Central Hidroeléctrica Yacyreta

El Complejo Hidroeléctrico Yacyreta abarca un área de 1.600 Km², compuesto por el embalse sobre el Río Paraná, la Central Hidroeléctrica, el Vertedero brazo principal y la Esclusa de Navegación en el brazo principal del río; y el Vertedero del brazo Añá cuá.

La Central Hidroeléctrica Yacyreta está equipada con 20 unidades turbogeneradoras con una potencia total instalada de 3.200 MW. Un Vertedero (VBP) provisto de 18 compuertas radiales y una Esclusa de Navegación, además de dos escalas para peces.

En el brazo añá cuá se encuentra otro vertedero situado a 20 km de la central hidroeléctrica, está compuesto por 16 compuertas radiales, por el cual se realiza la descarga del caudal ecológico mínimo de 1.000 m³/s durante todo el año y bajo cualquier modo de operación, pudiendo acrecentarse la descarga de acuerdo al caudal afluente al embalse.

1.1.1 Unidades generadoras

La central cuenta con 20 unidades generadoras con una potencia nominal de 155 MW y 830 m³/s de caudal máximo turbinable cada una, totalizando un caudal turbinable máximo de 16.600 m³/s. Salto promedio en condiciones óptimas de operación 23 metros.

2. Modos de Operación de la CHY

En el transcurso del año el río Paraná presenta fluctuaciones de caudal causadas por las condiciones climáticas en toda la cuenca del Paraná, estas variaciones de caudal afluente al embalse de la Central Hidroeléctrica Yacyreta afectan la operación de la central por lo cual se adoptan diferentes modos de operación de acuerdo a la situación en tiempo real, a través de un monitoreo y previsión diarias.

Los modos de Operación de la CHY son:

- Vertimiento
- Riesgo de vertimiento
- Máxima Generación
- Restringida o Empuntada.

Observación: Se agrega la participación en los servicios asociados a la potencia (RPF, RSF, Reservas Operativas), si se realizan los mismos.

El modo de operación en Vertimiento, implica que el caudal de descarga por Vertedero Brazo Añá Cuá (VBAC) es mayor a 1.000 m³/s (Caudal ecológico mínimo).

En el modo con Riesgo de Vertimiento el caudal vertido por VBAC es de 1.000 m³/s.

En el modo de operación a Máxima Generación, todas las unidades disponibles se encuentran generando a la potencia máxima correspondiente conforme a la instrucción operativa N° IT 09.213 (Rev. 35) Límites de operación de unidades. Se le agrega al modo de operación a Máxima Generación si es con Riesgo de Vertimiento o Vertimiento, de acuerdo a la condición presente.

En el modo de operación Restringida o Empuntada, se permite la variación de potencia de unidades de acuerdo a la solicitud de los operadores de los sistemas interconectados o a las restricciones por condiciones hidrológicas.

2.1 Operación a Máxima Generación con Vertimiento y Vertedero Brazo Principal abierto

Durante el periodo de caudal afluente mayor a la capacidad de descarga por las turbinas y el vertido correspondiente al caudal ecológico en el vertedero brazo aña cuá, la central opera en el modo “Operación a Máxima Generación con Vertimiento”. En este régimen de vertimiento el caudal excedente se descarga por el vertedero brazo aña cuá, y si la crecida es extraordinaria se procede al vertimiento por el vertedero principal.

3. Crecida excepcional del Río Paraná

La cuenca del Río Paraná fue afectado por un gran sistema de precipitaciones extraordinarias debido al fenómeno el Niño, causando una crecida excepcional en relación al régimen estacional del río normal o frecuente, abarcó los meses de noviembre y diciembre del 2015; y enero del año 2016. Estos meses son los tomados para realizar el estudio, además del mes anterior a la crecida, octubre del 2015.

3.1 Días de crecida

El 01/11/15 el caudal afluente al embalse fue de 13.626 m³/s incrementándose durante el transcurso del mes hasta llegar a 22.566 m³/s el 20/11/15, fecha en la cual se procedió a la apertura del vertedero brazo principal (VBP), con un caudal promedio vertido por el mismo de 1.130 m³/s en ese día, el vertido por el VBP continuó por todo el resto del mes aumentando el caudal vertido progresivamente, prosiguió en el siguiente mes en el que alcanza un pico de 9.853 m³/s en fecha 17 de diciembre.

El VBP sigue abierto hasta el 27 de diciembre donde se cierra por tres días, abriéndose nuevamente el 31/12/15 y siguió abierto hasta el 27 de enero del 2016. El Vertedero Brazo Principal estuvo abierto durante un total de 76 días de noviembre a enero.

4. Reducción de salto promedio por apertura de VBP

Al operar con Vertedero Brazo Principal abierto el aumento de caudal de agua descargada en el brazo principal produce la suba del nivel de restitución, por lo que se reduce el salto al mantenerse el nivel de embalse normal.

Con el Salto Neto reducido la potencia firme de las unidades generadoras disminuye. Ésta variación de potencia se realiza conforme a la instrucción operativa N° IT 09.213 (Rev. 35) Límites de operación de unidades. En la cual se detallan las restricciones de potencia máximas operativas aplicadas a cada unidad.

5. Caudal Turbinado durante el período.

Durante el tiempo de crecida y para compensar en forma mínima la brusca reducción de potencia firme de las unidades generadoras a causa del menor salto neto, el caudal turbinado por unidad aumenta. Las unidades pueden operar en un rango de caudales comprendidos entre 376 y 830 m³/s cada una.

6. Potencia media unitaria, caudal turbinado promedio unitario y salto neto promedio.

Para realizar un análisis comparativo entre los valores de potencia media, caudal turbinado y salto neto, es necesario hacer unas simplificaciones y reducir la potencia media operada de la central y el caudal turbinado a valores que impliquen una formulación unitaria, es decir obtener valores que reflejen todo el comportamiento de la central como si se tratara de una sola unidad generadora que sea el promedio de todas las unidades.

6.1 Salto neto promedio

Los valores de salto promedio fueron obtenidos realizando la resta entre el nivel de embalse y restitución de cada día.

6.2 Potencia media unitaria diaria

La potencia media unitaria se corresponde con la potencia media diaria real de todas las unidades, que se obtiene dividiendo la energía generada diaria de la central por las horas totales diarios efectivos de funcionamiento del conjunto de unidades. De éste modo se tiene la potencia media unitaria diaria.

Ejemplo 1: la energía diaria generada por la central del 18/12/15 fue de 59.799 MWh, y las horas de funcionamiento total efectivo del conjunto de unidades fueron 449,2 hs en este día. Dividiendo los valores tenemos una Potencia Media Unitaria efectiva o real de 133,1 MW.

6.3 Caudal turbinado promedio diario

El caudal turbinado promedio unitario se obtiene dividiendo el caudal turbinado total de la central por la cantidad de unidades en funcionamiento efectivo diario, es decir horas de funcionamiento total dividido 24.

Ejemplo 2: la cantidad de unidades en funcionamiento efectivo durante el día 18/12/15 se obtiene dividiendo las horas totales 449,2 hs. por 24 hs, esto da 18,9 unidades en funcionamiento durante el día.

Dividiendo el caudal promedio turbinado de la central del 18/12/15 que fue de 13.605 m³/s entre 18,9 se obtiene 726,9 m³/s, que es el caudal turbinado promedio unitario del día.

Para poder realizar una comparación práctica por motivos de escala y mejor visualización de las relaciones entre todos los valores implicados, en los gráficos siguientes en los cuales se presentan todos los valores calculados, se divide cada caudal turbinado diario promedio por el escalar 5.

7. Análisis con gráficos de la correlación Potencia media, Caudal turbinado y Salto neto.

En los gráficos están dispuestos los valores correspondientes a lapsos de tres meses, representando el comportamiento reflejado de la central en valores unitarios.

7.1 Análisis y Gráfico meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2015

En el mes de octubre, desde el 1 al 5, la central operó en el modo “Empuntada sin RPF”. Desde el día 6 al 7 operó en modo “Máxima Generación con Riesgo de Vertimiento”. Desde el día 8 de octubre la central pasó a operar en modo “Máxima Generación con Vertimiento” manteniéndose en este modo de operación durante todos los meses siguientes.

Al inicio del mes de octubre puede observarse en la **figura 1** una variación brusca de la potencia media debido a que la central operaba en modo Empuntada, en el día 4/10/15 la central redujo la generación a solicitud del operador del sistema argentino reduciendo la potencia, cómo el salto neto se mantiene, se puede ver claramente como el caudal turbinado acompaña la curva de potencia media.

Éste comportamiento en donde la potencia media y caudal turbinado son curvas proporcionales similares se mantiene a lo largo del mes de octubre y hasta el 20/11/15, en donde se procede a la apertura de compuertas del Vertedero Brazo Principal, desde ésta fecha la tendencia de la curva de la potencia en acompañar la

curva del salto, que reduce sus valores normales, es alterado por el comienzo de un mayor caudal turbinado, contribuyendo a compensar en forma mínima la brusca reducción de potencia firme de las unidades generadoras a causa del menor salto neto.

En la **figura 1** se representa el comportamiento de la central reflejado a valores unitarios. Donde:

Pot unit= Potencia media unitaria diaria. $Q_{\text{turb unit}/5}$ = Caudal turbinado unitario dividido por escalar 5.

Salto= Salto neto promedio diario.

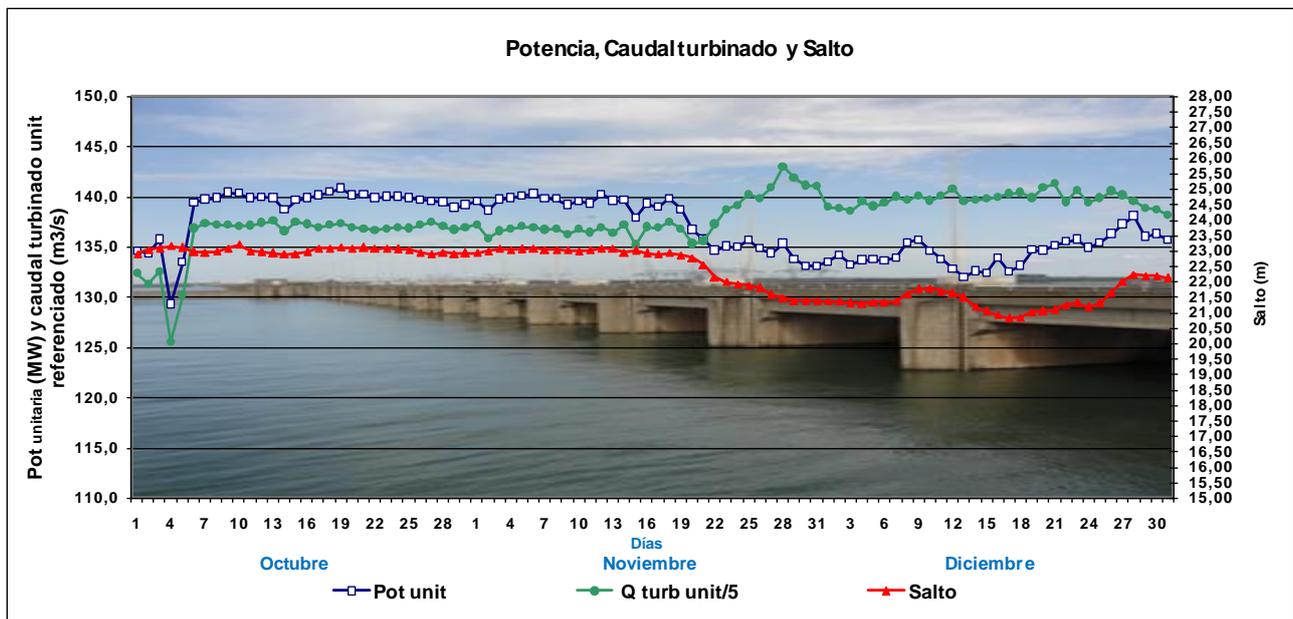


Figura 1: Curvas de caudal turbinado, salto y potencia media

7.2 Gráfico correspondiente a los meses de noviembre, diciembre del 2015 y enero del 2016

Los meses de noviembre a diciembre del 2015 y enero del 2016 se corresponden a los meses de crecida excepcional de Río Paraná, meses durante los cuales el modo de operación de la central fue de “Operación a Máxima Generación con Vertimiento” con el Vertedero Brazo Principal abierto en la mayor parte de los tres meses.

En la **figura 2** puede observarse la evolución de las curvas de potencia media, caudal turbinado y salto, presentándose variaciones en donde los días de disminución de salto son correspondidos con un mayor caudal turbinado en donde la curva de potencia va tomando una forma no uniforme ni similar a ninguna curva de los dos componentes, pero manteniendo alguna tendencia de acuerdo a las alteraciones de salto diario.

Donde:

Pot unit= Potencia media unitaria diaria. $Q_{\text{turb unit}/5}$ = Caudal turbinado unitario dividido por escalar 5.

Salto= Salto neto promedio diario.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

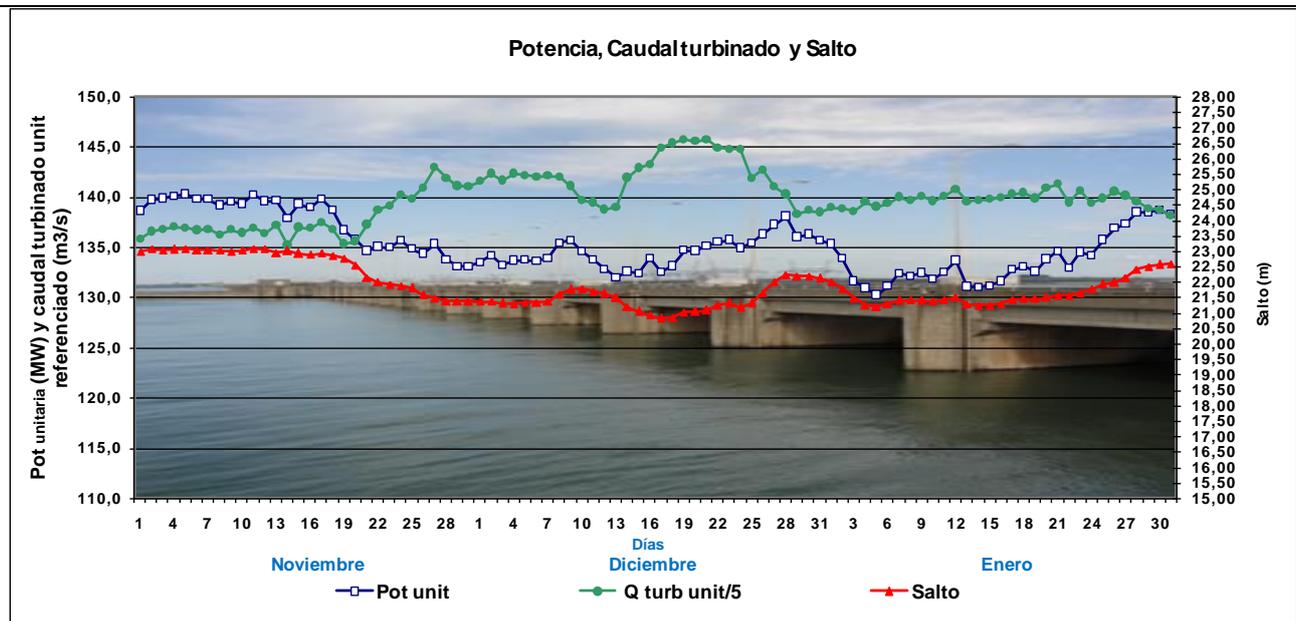


Figura 2: Curvas de caudal turbinado, salto y potencia media

7.2.1 Análisis cuantitativo de valores promedios en las curvas de la Figura 2

Desde el 1/11/15 hasta el 19/11/15 un día anterior a la apertura del VBP, la potencia unitaria promediada de esos días fue de 139,3 MW, el salto promedio de los días en ese lapso fue de 23 metros, y el caudal turbinado promediado de los mismos días fue de 683 m³/s, correspondiente a 136,6 m³/s en el gráfico, valores promedios a escala para mejor comparación en la figura 2.

En una primera etapa a partir del día 20/11/15 fecha de apertura del VBP hasta el cierre del mismo en fecha 29/12/15, la potencia unitaria promediada de esos días fue de 134,3 MW, el salto promedio de los días en ese lapso fue de 21,5 metros, y el caudal turbinado promediado de los mismos días fue de 709 m³/s, correspondiente a 141,8 m³/s en el gráfico, valores promedios a escala para mejor comparación en la figura 2.

En la segunda etapa de apertura del VBP entre el 31/12/15 hasta el 27/01/16, la potencia unitaria promediada de esos días fue de 133,1 MW, el salto promedio de los días en ese lapso fue de 21,54 metros, y el caudal turbinado promediado de los mismos días fue de 699,1 m³/s, correspondiente a 139,82 m³/s en el gráfico, valores promedios a escala para mejor comparación en la figura 2.

7.2.2 Análisis comparativo de valores promedios durante salto normal y operación a salto reducido.

Examinando las dos etapas de apertura del Vertedero Brazo Principal en los tres meses considerados y comparados a la primera parte del mes de noviembre con VBP cerrado, tenemos:

Primera etapa desde 20/11/15 a 29/12/15: La reducción de Potencia por la disminución de salto neto, comparados a los días con salto normal promedio de 23 m. en los primeros días de noviembre es del orden de 5 MW unitario, con una reducción de salto promedio en torno a los 1,5 m. Y el aumento de caudal unitario reflejado a escala es de 5,2 m³/s, correspondiente a un promedio de 26 m³/s más de caudal turbinado.



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

Segunda etapa desde 31/12/15 a 27/01/16: La reducción de Potencia por la disminución de salto neto, comparados a los días con salto normal promedio de 23 m. en los primeros días de noviembre es del orden de 6,2 MW unitario, con una reducción de salto promedio en torno a los 1,4 m. Y el aumento de caudal unitario reflejado a escala es de 3,2 m³/s, correspondiente a un promedio de 16 m³/s más de caudal turbinado.

8. Estimaciones de Potencia y Energía no generada por la CHY

Las variaciones de salto a causa de la apertura del VBP durante una crecida, afectan en gran medida a la potencia disponible y por ende a la capacidad de generación de la CHY, ya que teniendo en cuenta que una variación de 5 a 6,2 MW por unidad, multiplicado por la cantidad de unidades disponibles (20 en condiciones óptimas), resulta de 100 a 124 MW no disponible, correspondiente a entre 3,22 y 4 % de la potencia nominal de la CHY, con la consiguiente disminución de energía generada disponible a los sistemas. La apertura de VBP por la crecida totalizó 76 días, resultando la CHY con una afectación de gran importancia económica por la energía no generada.

8.1 Estimaciones comparativas de energía no generada en días con disponibilidad plena de CHY

En los días comprendidos entre el 24/12/15 y 31/12/15, la CHY operó con las 20 unidades disponibles y en funcionamiento a máxima generación. La energía generada diaria promedio de los 8 días fue de 65.370,9 MWh a un salto promediado de 21,86 metros y una potencia media unitaria promediada de 136,2 MW.

En los días de noviembre sin apertura de VBP la potencia media unitaria promediada fue de 139,3 MW y salto promedio de 23 metros; esto nos da una diferencia de 3,1 MW con respecto a los 8 días con disponibilidad de 100% de unidades del mes de diciembre.

La diferencia de 3,1 MW es menor a las obtenidas anteriormente en el ítem 7.2.2 de la primera etapa porque incluye los días con VBP cerrado del mes diciembre (27 al 30).

La reducción de capacidad de generación de los 8 días, incluso con 4 días de VBP cerrado, comparados a los días sin creciente ni apertura de VBP fue por lo tanto del orden del 2,21%. Haciendo una estimación con respecto a la energía promediada diaria de 65.370,9 MWh, se tiene que ésta energía en condiciones favorables de salto óptimo, podría acrecentarse en un 2,21%, que representan 1447,11 MWh diario.

Teniendo en cuenta que la energía diaria promediada suministrada por la CHY al SINP (Sistema Interconectado Nacional Paraguayo) en ese mismo lapso de 8 días fue 6.582,2 MWh, se puede apreciar que, la energía no generada estimada por el menor salto neto de 1447,11 MWh, representa el 22% de las necesidades energéticas diarias del SINP asociado a la Central Hidroeléctrica Yacyreta en el periodo considerado.

El promedio de energía suministrada diaria por la CHY al SADI (Sistema Argentino de Interconexión) en el lapso de 8 días con disponibilidad plena fue de 58.115 MWh, la energía no generada estimada por el menor salto neto de 1447,11 MWh representa el 2,5% del suministro promedio.

9. Conclusión

Los valores de energía estimadas en el estudio tienen una importancia relativa al contexto de con cuál sistema se compara, en cualquier caso significan una pérdida de productividad al ser energía no generable, y por lo tanto que no se comercializa. La afectación es magnificada por la cuestión no menos importante de la situación temporal en que se presentan recurrentemente las crecidas de éste tipo, el periodo de verano, cuando las necesidades energéticas de los dos países Paraguay y Argentina son superlativas, con un grado de importancia socio económica altísima.

Las crecidas excepcionales del Río Paraná tienen un gran impacto económico y social en toda la región, acrecentadas por la falta de infraestructura adecuada aguas abajo de la CHY, que producen un malestar recurrente en la población afectada, que predispone a su vez en desinformación y malos entendidos sobre las implicancias técnicas que acarrea el fenómeno natural.

La Central Hidroeléctrica Yacyreta al ser una central de pasada, no dispone de capacidad de almacenamiento de agua excedente, ni posibilidad de regulación del río aguas abajo del embalse, y al contrario de la idea preconcebida en la población del beneficio supuesto que tiene la central al tener gran disponibilidad de agua en una crecida, ésta suposición, aunque basado en algún sentido común, no tiene fundamentación técnica sino mas bien es producto del desconocimiento sobre el funcionamiento de centrales del tipo de la CHY.

Las crecidas que motivan la apertura del VBP afectan a la CHY, disminuyendo su capacidad de generación por unidad y presentan además otros varios inconvenientes asociados. Los periodos de crecidas excepcionales del Río Paraná son muy desfavorables para la operación de la Central Hidroeléctrica Yacyreta.

10. BIBLIOGRAFIA

- Informe Mensual Sector Operación Octubre 2015. Entidad Binacional Yacyreta-Dpto Técnico, Paraguay-Argentina, 2015, páginas 01-24
- Informe Mensual Sector Operación Noviembre 2015. Entidad Binacional Yacyreta-Dpto Técnico, Paraguay-Argentina, 2015, páginas 01-25
- Informe Mensual Sector Operación Diciembre 2015. Entidad Binacional Yacyreta-Dpto Técnico, Paraguay-Argentina, 2015, páginas 01-26
- Informe Mensual Sector Operación Enero 2016. Entidad Binacional Yacyreta-Dpto Técnico, Paraguay-Argentina, 2015, páginas 01-26
- Instrucción operativa N° IT 09.213 (Rev. 35) Límites de operación de unidades. Entidad Binacional Yacyreta-Dpto Técnico, Paraguay-Argentina, 2016.