



**Décimo Quinto Encuentro Regional
Ibero-americano del CIGRÉ
Foz de Iguazú-PR, Brasil
19 al 23 de mayo de 2013**



**ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN CONJUNTA UNA CENTRAL HIDRÁULICA
Y UN PARQUE EÓLICO**

Mario Beroqui*
IITREE-FI-UNLP
Argentina

Ramiro Canalis
IITREE-FI-UNLP
Argentina

RESUMEN

Se proponen esquemas para el funcionamiento conjunto entre una central de generación hidráulica existente y un parque de generación eólico a instalar, que comparten la red de transporte.

Se encuentran en primer lugar las limitaciones de la red de transporte para evacuar la potencia de ambas centrales. Se establecen limitaciones de potencia en ambas generaciones para evitar las limitaciones de la red.

Se analiza el mecanismo de despacho horario de potencia de la generación hidráulica, para utilizar el volumen de agua disponible de la manera más conveniente, en ausencia de la generación eólica.

Se evalúan las consecuencias (vertido de agua) de imponer la prioridad del despacho eólico. Y se analiza una alternativa con limitación de la generación eólica (vertido eólico).

Por último se realiza un análisis de las potencias y energías generadas por el conjunto de ambas centrales, para casos de despacho sin generación eólica, con generación eólica con prioridad de despacho y con un despacho alternativo con limitación de la generación eólica.

Se concluye que desde el punto de vista energético la alternativa de despacho, con limitación de la generación eólica resulta la más conveniente.

PALABRAS-CLAVE

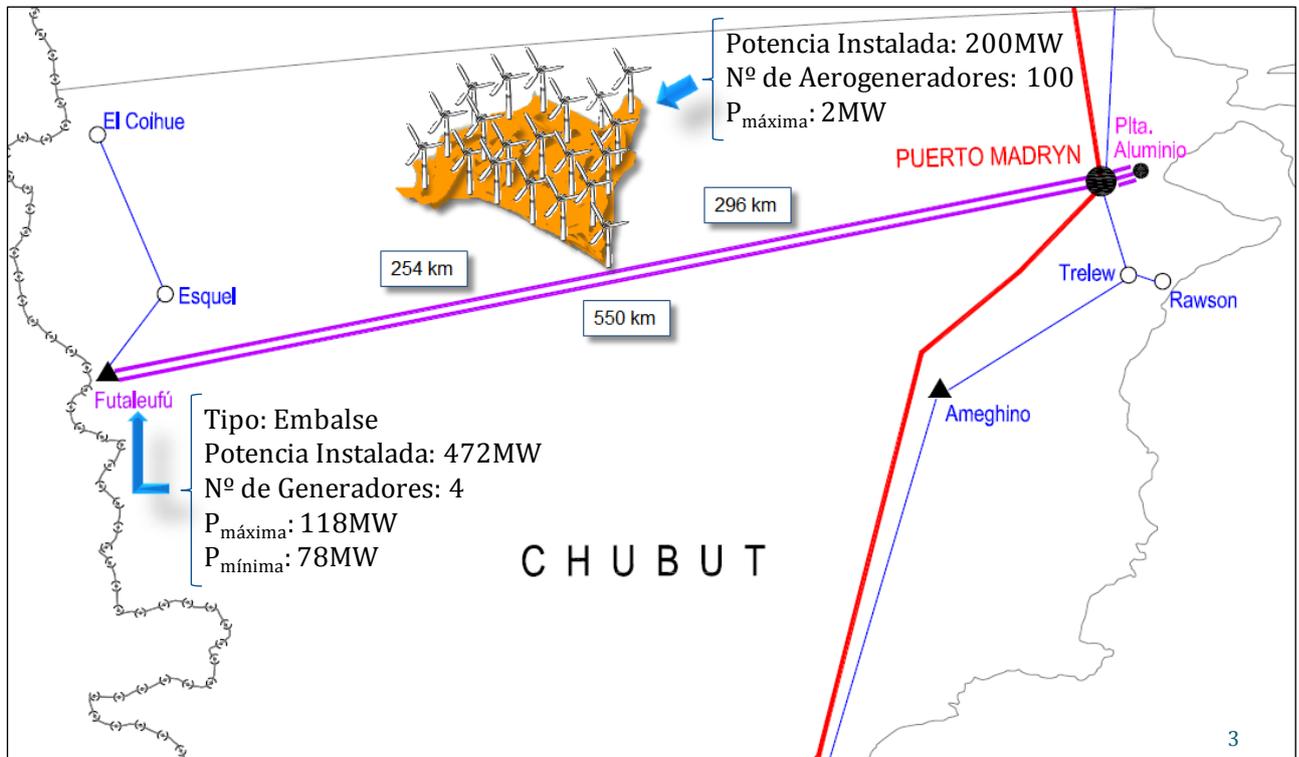
Generación eólica, despacho de carga, operación conjunta

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo es establecer esquemas para el funcionamiento conjunto entre una central de generación hidráulica existente y un parque de generación eólico a instalar, que comparten la red de transporte.

Como se indica en la Figura 1, se trata de la Central hidráulica de Futaleufú con una potencia instalada de 472 MW, dados por cuatro unidades con una potencia máxima de 118 MW y una mínima de 78 MW cada una.

Esta central se conecta al sistema Argentino de Interconexión de 500 kV en la barra Pto. Madryn a través de una doble terna de 330 kV de 550 km de longitud. Como se indica en la Figura 1 existe un proyecto de instalar el parque eólico El Angelito de 200 MW, constituido por 100 aerogeneradores de 2 MW cada uno, que se conectaría en la mitad de una línea de 330 kV.



En primer lugar se establecen las limitaciones de la red de transporte para evacuar la potencia de ambas centrales. Se establecen limitaciones de potencia en ambas generaciones para evitar las limitaciones de la red.

Se analiza el mecanismo de despacho horario de potencia de la generación hidráulica, para utilizar el volumen de agua disponible de la manera más conveniente, en ausencia de la generación eólica.

Se evalúan las consecuencias (vertido de agua) de imponer la prioridad del despacho eólico. Y se analiza una alternativa con limitación de la generación eólica (vertido eólico).

Por último se realiza un análisis de los despachos sin generación eólica, con generación eólica con prioridad de despacho y del despacho alternativo con limitación de la generación eólica.

2. ANÁLISIS DE LA RED ELÉCTRICA EN ESTADO ESTACIONARIO

En la barra de 330 kV de Pto Madryn existe una planta de aluminio con carga y generación propia del orden de 700 MW, pero toma del sistema solo una pequeña parte, que junto con su propia demanda, constituye una carga equivalente de 100 MW en la barra de Pto. Madryn 330 kV.

La potencia que llega desde la central hidráulica y el parque eólico alimenta esta carga equivalente y el resto es enviado al sistema de transporte a través de un transformador de 330/500 kV de 450 MVA.

En ausencia del parque eólico, la red de transporte es capaz de operar, tanto para la mínima potencia posible a generar en la central ($2 \times 78 = 156$ MW), como para la máxima ($4 \times 118 = 472$ MW), con las tensiones dentro de sus límites permitidos y sin sobrecarga en ningún elemento.

Si simultáneamente la generación hidráulica y el parque eólico generan sus máximas potencias, se produce la sobrecarga de la línea de 330 kV y del transformador de 330/500 kV. No existen problemas con la condición de mínima generación hidráulica y máxima eólica.

Como casos alternativos se encontró para la máxima generación hidráulica, cual es la mayor potencia eólica posible y para la máxima generación eólica, cual es la mayor potencia hidráulica posible, tal que se opere la red en condiciones de tensión y sin sobrecargas.

La presencia de generación eólica impone un límite a la máxima potencia hidráulica a despachar, que se ve restringida a 404 MW. En la tabla I se aprecian los valores asociados a cada caso analizado.

Tabla I: Resultados de Estado estacionario

	<i>Máx. P.H sin P.E</i>	<i>Mín. P.H sin P.E</i>	<i>Máx.P.H con Máx. P.E</i>	<i>Mín. P.H máx. P.E</i>	<i>ALTERNATIVA</i>	
					<i>Nº1 Máx. P.H P.E Lim.</i>	<i>Nº2 Máx. P.E P.H Lim.</i>
Tensiones dentro de los márgenes	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Sobrecarga en algún elemento del sistema	No	No	<i>Si ANGELITO-MADRYN_{330kV} sobrecargado 2,7% Transform. 330/500kV Sobrecargado 16,3%</i>	No	No	No
Potencia que sale de FUTA _{13,2} [MW]	472	156	472	156	472	404
Potencia que sale de ANGELITO ₁ [MW]	0	0	200	200	134	200
Potencia que llega a MADRYN ₃₃₀ [MW]	427,8	130,8	611,8	324,6	552,8	553,1
Potencia que sale de MADRYN ₃₃₀ [MW]	327,8	30,9	511,8	224,6	452,9	453,1

3. DESPACHO DE LA CENTRAL HIDRÁULICA

El manejo del embalse tiene como primera prioridad evitar que las crecidas que pueda traer la cuenca durante las épocas de mayores aportes provoquen inundaciones aguas abajo del embalse. Esto implica el cumplimiento de un nivel de cota máxima que permita la acumulación del agua para este tipo de situaciones.

En segundo lugar se debe regular el caudal aguas abajo del embalse teniendo en cuenta los emprendimientos productivos que necesitan el recurso hídrico para actividades de riego. Debe asegurarse un caudal mínimo aguas abajo en las épocas de menores aportes.

La producción de energía eléctrica es la última prioridad del embalse y por lo tanto debe estar sujeta al cumplimiento de un caudal mínimo y una cota máxima de embalse en cada semana del año.

3.1 Caudal de salida

Con la estimación del caudal que ingresará al embalse y la cota máxima permitida en cada semana del año, se calcula para cada semana el caudal de salida del embalse, que coincide con el turbinado en caso de que no haya vertimiento de agua. En la Figura 2 se presentan las curvas del caudal semanal de ingreso estimado, y el de salida necesario para alcanzar la cota permitida.

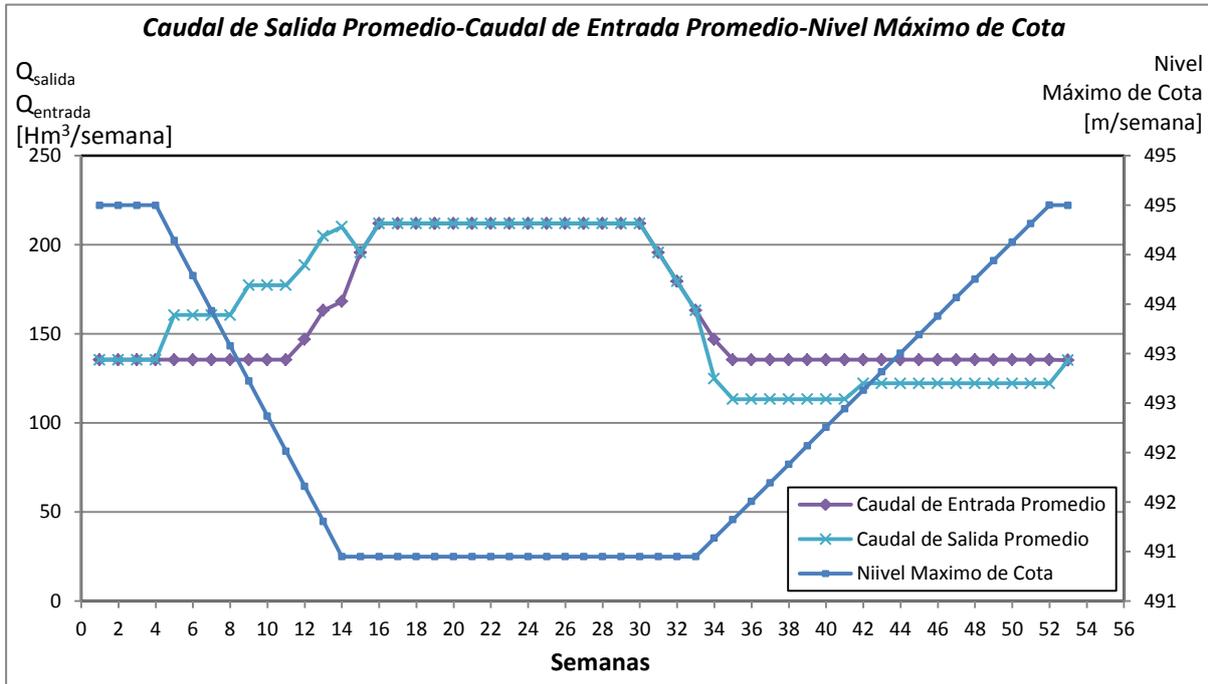


Fig. 2: Caudales de entrada y salida y cota del embalse.

El caudal de salida semanal, representa el “bloque” de energía que debe turbinarse semanalmente, es decir representa una cantidad de MWh semanales.

3.2 Despacho de potencia de las unidades generadoras

La potencia demandada por el sistema tiene una forma diaria como la indicada en la Figura 3. Como los precios de la energía, son más altos en el pico de carga que en el valle, el despacho de potencia de

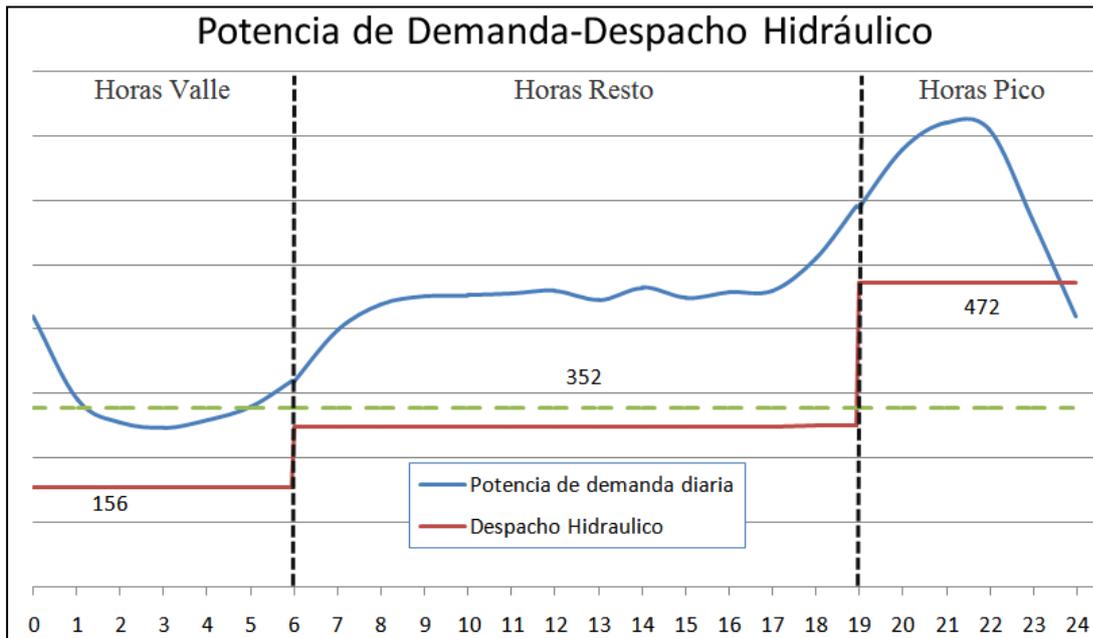


Fig. 3: Potencia de demanda y despacho hidráulico.

generación hidráulica más conveniente es el mínimo posible en el valle, el máximo posible en el pico y en el resto lo necesario para cumplir con el “bloque” de energía asignado.

En la Figura 3 se indica un posible despacho horario de la potencia de la central. En cada semana resultará un despacho distinto.

Realizando el despacho sobre todas las semanas del año, para el caso en que no exista generación eólica, se encuentra que no resulta necesario verter agua en ninguna semana, es decir se puede turbinar toda el agua que ingresa al embalse. Alcanzando una energía anual de 3083.7 GWh, lo que significa una potencia hidráulica media de 352 MW.

3.3 Despacho de potencia de las unidades generadoras hidráulicas en presencia del Parque Eólico

Cuando se considera la generación eólica con prioridad de despacho, hay que “reservar” 200 MW de la capacidad de transmisión, independientemente que el parque eólico genere en cada instante esa potencia. Por ello como se indica en la Tabla I, la máxima potencia hidráulica despachable resulta de 404 MW en lugar de los 472 MW de la central.

El despacho hidráulico debe desplazar parte de la energía que generaba en el pico a las horas restantes y eventualmente a las de valle, como se indica en la Figura 4.

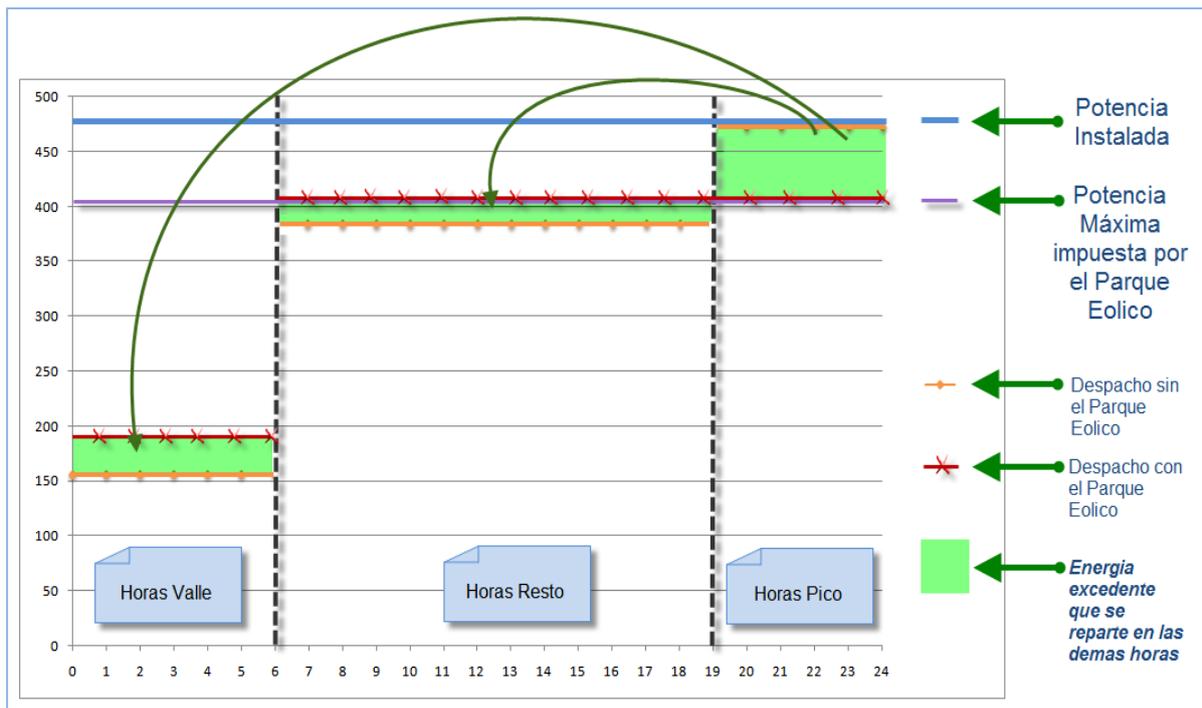


Fig. 4: Despacho hidráulico con y sin generación eólica.

Al realizar este nuevo despacho hidráulico resulta que, en las 18 semanas de mayores aportes de agua, se debe recurrir al vertido. Se alcanza una energía anual total de 3562.6 GWh, correspondiendo 2891.6 GWh a la generación hidráulica y 671 GWh a la eólica. Estos valores significan una potencia promedio de 330.1 MW en la hidráulica y 76.6 MW en la eólica.

3.4 Alternativa de despacho en presencia del Parque Eólico

Para evitar el vertido de caudal durante las semanas de mayores aportes, se debe generar toda la energía disponible en cada una de esas semanas, con la menor potencia en todas las zonas horarias.

Esto implicará la desconexión de un número determinado de aerogeneradores (vertido eólico) durante esas semanas en el parque eólico.

Al realizar este nuevo despacho hidráulico, se alcanza una energía anual total de 3682 GWh, correspondiendo 3050.8 GWh a la generación hidráulica y 631.2 GWh a la eólica. Estos valores significan una potencia promedio de 348.3 MW en la hidráulica y 72 MW en la eólica.

3.5 Resumen de resultados

En la Tabla II se presentan los resultados obtenidos, para comparar el caso sin generación eólica, con generación eólica con prioridad y el despacho alternativo.

Tabla II: Resultados en energía y potencia media

	Potencia Promedio Anual [MW/año]			Energía Anual [GWh/año]		
	Hidráulica	Eólica	Total	Hidráulica	Eólica	Total
<i>Despacho Hidráulico sin presencia del Parque Eólico</i>	352,0	-	352,0	3083,7	-	3083,7
<i>Despacho Hidráulico con en presencia del Parque Eólico</i>	330,1	76,6	406,7	2891,6	671,0	3562,6
<i>Despacho Alternativo</i>	348,3	72,0	420,3	3050,8	631,2	3682,0

En el primer caso toda la energía generada es de origen hidráulico y no hay vertido de agua (3083.7 GWh).

En el segundo caso se genera toda la energía eólica posible (671 GWh) y una menor cantidad de hidráulica (2891.6 GWh) debido a que hay vertido de agua en algunas semanas y al desplazamiento de generación que cambia los niveles de potencia a los cuales se genera, cambiando el rendimiento de las turbinas hidráulicas. La energía total generada aumenta (3562.6 GWh). La potencia media eólica resulta de 76.6 MW, que con respecto a los 200 MW instalados, constituye un factor de utilización del 38.3%.

En el tercer caso durante algunas semanas para evitar la posibilidad de vertido hidráulico, se genera una menor cantidad de eólica (631.2 GWh). A pesar de que no hay vertido hidráulico se genera una menor cantidad de energía hidráulica, con respecto al primer caso, debido al desplazamiento de generación que cambia el rendimiento de las turbinas hidráulicas. La energía total generada aumenta (3682 GWh). La potencia media eólica resulta de 72MW, correspondiendo a un factor de utilización del 36%.

Si no existiese limitación en la red, la energía que se podría obtener de ambas centrales sería de 3754.7 GWh (3083.7+671). En el sistema real, con limitaciones de red, con la prioridad del despacho eólico, se obtendría una energía total de 3562.6 GWh, es decir un 5.1% menos que en el caso teórico y la energía hidráulica resultaría un 6.2% menor.

Con el despacho alternativo en el cual se limita la generación eólica para evitar vertimiento de agua, se obtendría una energía total de 3682 GWh, es decir un 1.9% menos que en el caso teórico, la energía hidráulica resultaría un 1.1% menor y la eólica un 6% menor.



**Décimo Quinto Encuentro Regional
Ibero-americano del CIGRÉ
Foz de Iguazú-PR, Brasil
19 al 23 de mayo de 2013**



4. CONCLUSIONES

- Cuando se conecta el parque eólico al sistema, se pueden sobrepasar los límites de transmisión. La presencia de generación eólica impone un límite a la máxima potencia hidráulica a despachar, que se ve restringida a 404 MW en lugar de 472 MW.
- El despacho con prioridad del parque eólico, provoca el vertido de agua y el desplazamiento de generación hidráulica de las horas de pico hacia las de valle.
- Con la limitación parcial de la generación eólica puede eliminarse el vertido hidráulico.
- El desplazamiento y vertido de caudal provocan pérdidas energéticas y económicas en la generación hidráulica. Con respecto a la máxima energía teórica.
- La alternativa de despacho, con limitación de la generación eólica resulta la más conveniente desde el punto de vista energético, ya que permite una mayor generación conjunta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Análisis de la Generación Conjunta del Parque Eólico “El Angelito” y la Central Hidráulica Futaleufú” Ramiro Canalis. Trabajo final Facultad de ingeniería-UNLP. Diciembre 2011
- [2] “Reserva adicional necesaria en el SADI debido a la presencia de generación eólica” M. Beroqui, M. B. Barbieri, P.L. Arnera, R. Molina. XIV ERIAC. Paraguay Mayo 2011.
- [3] “Wind in Power Systems” T. Akermann. John Wiley & Sons. 2005