

Utilización de pronósticos de generación eólica y solar en la programación de corto plazo

Marcos Ribeiro
UTE
mribeiro@utel.com.uy

Programación Semanal, Programación diaria, Mantenimientos de unidades de generación, Bandas de confianza

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se transmitirá la experiencia y metodología que se ha implementado hasta ahora en el Despacho de Cargas (DC) para la incorporación de previsiones de generación eólica al proceso Programación del Sistema Interconectado Nacional (SIN).

El país inició en el año 2011 un proceso de fuerte incorporación de energía eólica la que alcanzará del orden de los 1500 MW de potencia instalada a fines del año 2017. Como referencia dicho valor representa aproximadamente el:

- 75 % de valor de pico de potencia histórico (2016)
- 30 % superior a la potencia media de demanda del SIN (año 2015).

Las características específicas de variabilidad y auto despacho, en conjunto con su alto nivel de participación de la matriz eléctrica están produciendo cambios profundos en las metodologías utilizadas para la Programación de Corto Plazo y la Operación del SIN.

Cabe destacar que el Sistema uruguayo presenta ventajas comparativas de relevancia para la alta introducción de generación de

origen renovable. Las principales características son:

- Importante interconexión síncrona con Argentina (sistema eléctrico del orden de 15 veces más grande)
- Importante capacidad de regulación por centrales hidráulicas
- Unidades térmicas de arranque rápido

Una de las actividades era contar con previsiones de generación eólica para su incorporación a las actividades de Programación y Operación del SIN, se estableció una estrategia con múltiples actividades dirigidas a incorporar al sistema la generación eólica, como forma de mantener los niveles de calidad, economía, trazabilidad y seguridad vigentes.

Se diseñó entonces con el apoyo de la Facultad de Ingeniería un sistema de previsiones de generación eólica que contemple las necesidades específicas del Despacho de Cargas (DC). Adicionalmente se incorporaron previsiones de empresas pronosticadoras con reconocida actividad internacional como forma de conocer el estado del arte en esta disciplina.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El DC tiene como parte de sus funciones la de realizar la Programación y Operación del sistema, en particular:

1. Elaboración de la Programación Semanal, definición de la política de Operación de las diferentes fuentes de generación y de Intercambios con países vecinos
2. Elaboración de la Programación Diaria, programa de potencias horarias para el suministro de la Demanda Eléctrica de acuerdo a la política de Operación vigente
3. Determinación de los excedentes exportables, determinación de perfiles de potencia excedentaria y bloques de energía
4. Análisis de los mantenimientos programados de unidades de generación y redes de transmisión

En la situación antedicha y frente a la variabilidad característica del recurso eólico en el corto plazo, es de fundamental importancia la incorporación de herramientas predictivas, tanto de potencia como de energía que permitan llevar a cabo las funciones antedichas de forma óptima manteniendo los criterios actuales de confiabilidad y seguridad del SIN.

Adicionalmente es de fundamental importancia la incorporación de criterios de confianza (como por ejemplo probabilidad de excedencia) dada la citada variabilidad.

METODOLOGÍA

Para la incorporación adecuada de la generación renovable se estableció un sistema de pronósticos de generación eólica y solar que presenta las siguientes características:

- Múltiples fuentes de pronósticos
- Desarrollo de capacidades locales y en particular en el DC a través de un convenio con la Universidad
- Previsiones de potencia con horizontes de hasta 10 días con paso horario y banda de confianza de 80 %

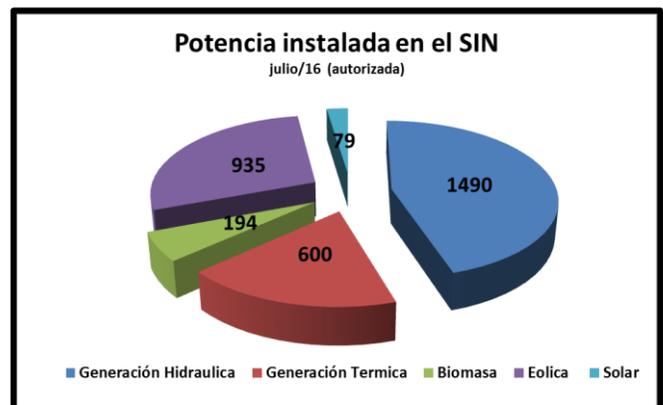
- Previsiones de energía acumulada semanal con banda de confianza
- Realización de un ensamble de previsiones

En el trabajo se describirá como se contemplan las diferentes previsiones en cada uno de los puntos (1, 2, 3, y 4).

Tipo Pronos			
Potencia horaria	Horizonte	Actualizacion	Aplicación
	6 horas	horaria	Operación tiempo real
	72 horas	4/dia	Prog. diaria
	240 horas	1/dia	Prog. diaria
Energia	2 semanas	1/dia	Prog. Semanal

Generalidades del Sistema Eléctrico Nacional

En los últimos años el SIN ha tenido fuertes cambios debido a la introducción de energías de origen renovable adicionalmente a la tradicional hidráulica ya instalada en el país.



Potencia instalada por tipo de fuente.

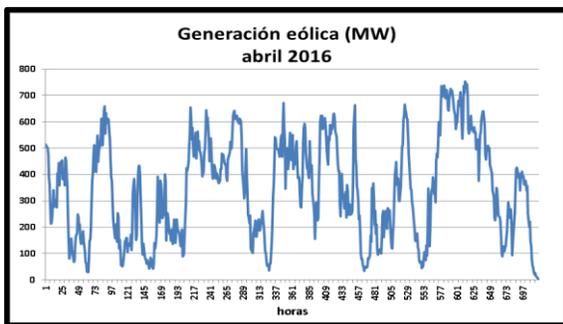
Adicionalmente:

- está en proceso de construcción de un ciclo combinado con potencia instalada de 540 MW

- a fines de 2017 se prevé alcanzar los 1500 MW de eólica y 230 MW de solar

El nuevo sistema de Generación cuenta con características resaltables que llevan a un cambio profundo en la metodología de Programación y Operación del SIN:

- La generación de origen eólica y biomasa cuentan en casi su totalidad con la característica de autodespacho (no se pueden acumular y por tanto con costo variable nulo). Por lo anterior dicha Generación cuenta con prioridad frente al resto de las fuentes, en particular Hidráulica y Térmica.
- Alta variabilidad en el corto plazo (horas a días, ver gráfico) de la generación eólica, pero menor variabilidad en el mediano plazo (característica opuesta al recurso hidráulico)



Generación eólica correspondiente al mes de junio de 2016

Centrales hidraulicas	Potencia instalada (MW)	Capacidad (semanas de vaciado)
Salto grande (binacional, cuota parte uruguaya)	900	2
Terra	145	20
Baygorria	100	0.2
Palmar	330	2

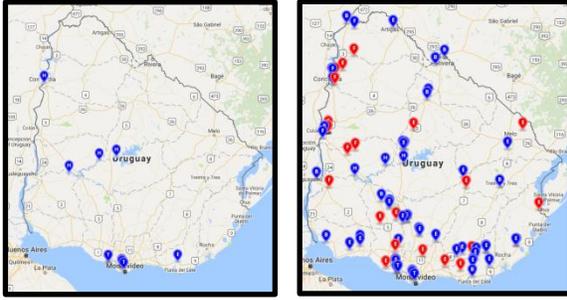
Datos de Potencia y capacidad de acumulación de centrales Hidro

Del cuadro anterior se desprende que la principal fuente de potencia firme del SIN esta instalada en las centrales Hidráulicas en particular SG y Palmar. A su vez las mismas son las principales responsables de mantener los márgenes operativos del SIN, es decir las reservas Primaria y Rotante, reservas imprescindibles para administrar las variaciones de la Frecuencia Eléctrica y de la Demanda Neta (Demanda con posibilidad de administrar, surge de la resta de la Demanda Eléctrica y la Generación con característica de autodespacho). Casi todas las centrales hidráulicas cuentan con una capacidad de acumulación de energía acotada con tiempos de vaciado corto en comparación con la reserva acumulada en el lago de Terra y con los eventos de aportes producidos por las precipitaciones). Por lo anterior es de particular relevancia mantener las cotas de dichas centrales en niveles operativos que hagan posible que realicen la función de regulación.

En resumen la Programación deberá asegurar la disponibilidad de energía a mínimo costo y a su vez el suministro de la Demanda Eléctrica (Potencia) con las condiciones de seguridad y calidad requeridas..

Red de transmisión

La red eléctrica del SIN cuenta con un circuito doble malla en 500 kV que une las principales fuentes de Generación (Salto Grande y Palmar) con Montevideo (responsable del 80 % de la Demanda eléctrica del país).



Generación Instalada 2011-2016 (a instalarse)

El sistema eléctrico comprende también una malla en 150 kV entre el centro del país y Montevideo, adicionalmente un conjunto de circuitos radiales en varias zonas del interior, los cuales están comenzando a mallarse. La incorporación de la generación distribuida sumado al desfase entre las obras en la redes y la instalación de la nueva generación está introduciendo desafíos muy importantes a la Operación y Programación de la Operación.

El proceso actual conlleva intrínsecamente un uso intensivo de la red actual y el refuerzo de la misma con obras puntuales de envergadura, como ser tendido de nuevas líneas y estaciones.

La gestión de la red, en particular el manejo de las sobrecargas de las instalaciones y la autorización de los mantenimientos se ha vuelto mucho más compleja. Adicionalmente a lo anterior se utiliza como criterio de Operación el n-1, es decir que la red pueda soportar la primera contingencia.

La situación anterior tiene implicancia directa sobre:

- La programación de las intervenciones de la red (programación y autorización de mantenimientos)

- Supervisión de eventuales sobrecargas de líneas y transformadores

1.- Programación Semanal

La programación semanal es un proceso cuyo objetivo es determinar la Operación Óptima (mínimo costo) del SIN en un marco de incertidumbre. Las principales fuentes de incertidumbre consideradas son las provenientes de los aportes hidrológicos a las represas, energía de origen renovable (principalmente eólica y solar), fallas de unidades generadoras y demanda eléctrica. Dicha incertidumbre ha sido fuertemente acotada mediante la incorporación de herramientas de previsión o la consideración de escenarios asociados a fuertes previsiones de precipitaciones.

La Programación Semanal debe determinar:

- El Orden de Despacho, es decir todas aquellas fuentes de energía que se utilizarán en la semana para el suministro de la Demanda Eléctrica.
 - o Programa Hidráulico, energía extraída de los diferentes lagos de las Centrales Hidráulicas
 - o Programa Térmico, energía a generar por las diferentes Centrales Térmicas del SIN
- Orden de Despacho, orden relativo de precios entre los diferentes recursos energéticos, en particular Hidráulicos y Térmicos
- Determinación de energía ofertable del SIN.
 - o Origen térmico
 - o Origen renovable (conjunto energía Eólica, Solar, Biomasa e Hidráulica)

- Programa diario de Generación e Intercambios
- Autorización de Mantenimientos de unidades térmicas e hidráulicas

En un sistema hidrotérmico con una capacidad de almacenamiento de agua (principalmente en el lago de Terra) el problema a resolver es el de valorizar el recurso hídrico.

Para lo anterior la Programación de la Operación se divide temporalmente en:

- Programación estacional, valorización del lago de Terra. Corridas con horizonte de 3 años y se presentan resultados para 6 meses
- Programación Semanal
 - o Corridas de mediano plazo, horizonte 9 meses, se determinan valores de agua adicionalmente de represas de Salto Grande y Palmar
 - o Corridas con horizonte semanal, paso horario

Los resultados de los diferentes programas son los valores de agua en función de las variables de estado definidas, las que pueden ser:

- o Discretización temporal
- o Volumen de los lagos
- o Señales climatológicas referidas a la hidraulicidad del tipo histórico o referidas a los efectos del Niño/Niña
- o Valor del petróleo

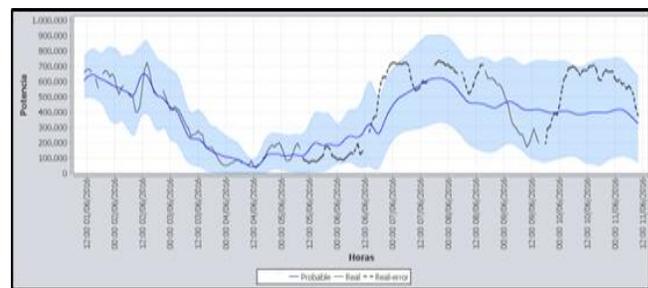
La utilidad de los pronósticos de Generación Eólica se encuentra en relación directa a la

validez temporal de los mismos (es decir cuando aportan mayor información en relación a la estadística). El periodo antedicho involucra un periodo no mayor a los 7 días por lo que son de aplicabilidad exclusiva de la Programación Semanal.

Para la Programación semanal se utilizan las siguientes previsiones:

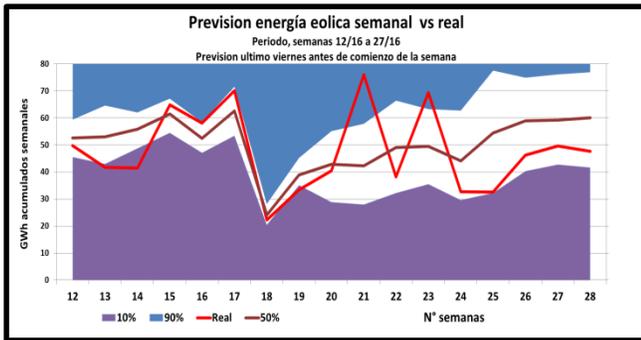
- o Potencia, horizonte temporal de 240 horas, potencia esperada con discretización horaria y banda de confianza de 80 % para el total de la generación eólica instalada
- o Energía, horizonte semanal, valor esperado de la energía acumulada para toda la potencia instalada en la semana con banda de confianza de 80 %

Cabe destacar que existen varias tecnologías para la determinación de las bandas de confianza de las previsiones. Una de las cuales es realizar un ensamble tomando en cuenta la dispersión de los pronósticos meteorológicos (p/ej 100 corridas) y hora a hora ordenar por potencia los resultados obtenidos. La banda de confianza se construye entonces seleccionando las posiciones correspondientes a las posiciones 90 y 10. Dicha construcción de la banda desde el punto de vista de Potencia es correcto, pero desde el punto de vista de Energía es Pesimista/Optimista puesto que siempre elige un peor/mejor caso. Lo anterior se observa claramente del siguiente gráfico.



Nota: Previsión Generación total país, fecha 1/6/16 horizonte 240 hs.

Para compensar lo anterior se construye una previsión no de potencia sino de energía acumulada, en particular de carácter semanal coincidente con la rutina de elaboración de la Programación Semanal. La precisión de la misma se muestra en el siguiente gráfico.



Nota: las semanas 15, 16, 17, 22, 23, 26, 27 y 28 cuentan con reducción de generación eólica.

En resumen se utilizan como datos de entrada para las corridas de los valores de la potencia en valor esperado de las previsiones de generación eólica.

Se realiza también, para determinar el Orden de Despacho y los volúmenes de energía exportables, una evaluación de la sensibilidad de los objetivos de la programación en función de la energía total acumulada. Para lo anterior se realizan nuevas corridas donde, como datos de las previsiones se mantiene la forma de la previsión en valor esperado pero que la energía acumulada sea igual a la de probabilidad 10 o 90 % (en particular se considera este caso para la determinación del volumen de energía exportable).

Programación Diaria

Diariamente se verifica la validez de las hipótesis y conclusiones de la Programación Semanal vigente.

Para lo anterior es necesario recabar la información de la Operación realizada (Demanda Eléctrica, Erogados de las Centrales, Generación por fuente, etc) y las previsiones

actualizadas de aportes hidráulicos, previsiones de generación eólica y solar etc.

En caso de constatarse apartamientos importantes de lo definido en la Programación Semanal, se realiza una Reprogramación. La misma sigue los mismos parámetros explicados anteriormente.

Adicionalmente se hacen contactos diarios con los Despachos de los países vecinos en particular CAMMESA con el objetivo de conocer la realidad de los sistemas como además de coordinar programas de intercambio y operación de CTM.

Se elabora entonces el programa diario, el mismo debe ser coherente con la Programación Semanal.

El Programa horario incluye:

- Demanda eléctrica
- Generación por fuente
- Intercambios internacionales
- Consignas diarias (guía para cubrir desvíos)
- Programa de mantenimientos de unidades de generación
- Precio Spot del sistema

Para el presente programa se utiliza la previsión en valor esperado para el total del país (horizonte de 72 horas).

Se han utilizado las bandas de confianza de dichos pronósticos para definir programas de pruebas de la convertora de Melo (interacción con el Sistema Brasileño) evaluando la factibilidad técnica de los mismos como su costo asociado.

También se ha utilizado la banda para definir programas de intercambio (en condiciones de despacho hidráulicos) donde se debe despachar generación térmica. Lo anterior se ejecuta realizando intercambios compensados, es decir se devuelve la misma energía cuando las condiciones de ambos sistemas lo permiten.

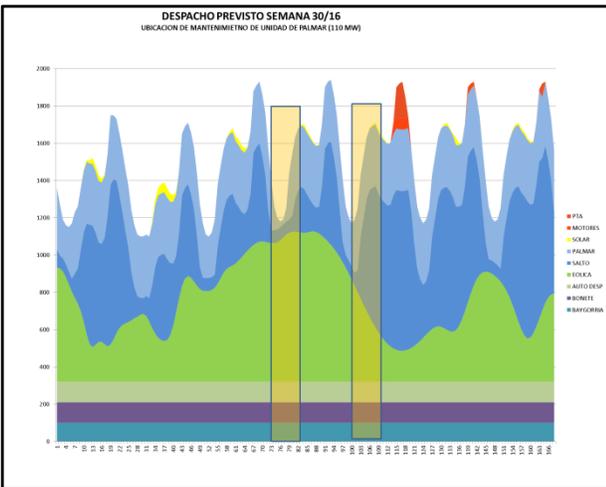
Autorización de mantenimientos de unidades Generadoras e intervenciones en la red de Transmisión

Existe una gama amplia de mantenimientos que se deben realizar a las unidades de generación.

Los mantenimientos largos, es decir de varias semanas se programan semestralmente a través del PAM (Plan Anual de Mantenimientos). Dichos mantenimientos finalmente son autorizados en la Programación semanal.

Pero a su vez existen una gama de mantenimientos de pocas horas generalmente asociados a la cantidad de horas de funcionamiento.

Dichos mantenimientos pueden tener un impacto económico en función de que en algunas condiciones pueda implicar generar con fuentes más caras (en particular generación Térmica).



Despacho previsto para semana 30-16, ubicación de indisponibilidad de U2 de Palmar (110 MW)

Como ejemplo de lo anterior se plantea la solicitud de indisponibilidad de la Unidad 2 de Palmar (110 MW). En el gráfico se muestra claramente que la variabilidad de la potencia eólica influye notablemente sobre la ubicación de dicho mantenimiento. En la primera posición no se debe despachar térmico para poder suministrar la demanda mientras que en la

segunda debido a la falta de potencia se debe utilizar centrales térmicas para suministrar la demanda

Se manejan 2 criterios para la autorización de los mantenimientos, estos son;

- Contar al menos con una potencia remanente (económica) equivalente a la maquina más grande en servicio utilizando la previsión en potencia esperada.
- Utilizando la previsión P90 no se debe utilizar generación más cara que la prevista.

Como se comentó anteriormente la gestión de la red se ha complejizado notoriamente. El proceso de autorización de una intervención en la red ha incorporado las previsiones de generación eólica.

Como criterio principal se entiende que no se debe (en lo posible) disminuir la confiabilidad del sistema, aplicando entre otros el criterio de n-1, es decir que el sistema pueda soportar la indisponibilidad más crítica manteniendo la integridad del sistema general controlando sobrecargas y tensiones post contingencia.

Dependiendo del trabajo y cual sea su afectación sobre la red se utilizan ambas bandas de confianza.

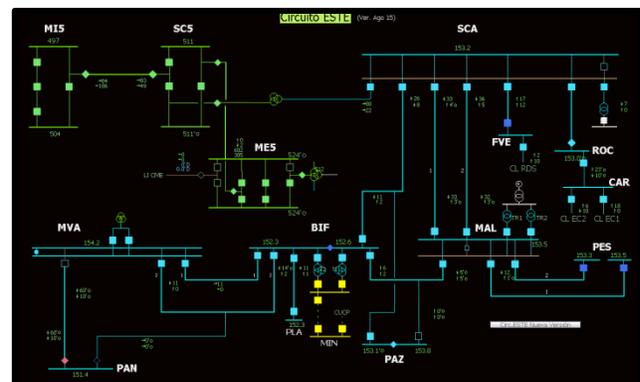


Diagrama unifilar del Circuito Este-Sur

Como ejemplo se tomara la solicitud de salida de la línea MVI – SCA de 500 kV. Dicha línea conecta Montevideo con la región Este del Uruguay. Dicha región se alimenta también a través de dos líneas de 150 kV que tienen una capacidad limitada y no pueden suministrar la demanda en cualquier situación del sistema eléctrico. Para la Programación de dicho trabajo y la autorización definitiva se chequea que la capacidad de una de las líneas (criterio n-1) no se vea sobrecargada (nivel admisible de corriente por una hora). Para ello se utilizan las previsiones de Generación Eólica y la Demanda Eléctrica de dicha región.

PRINCIPALES CONCLUSIONES

Las previsiones han demostrado ser una herramienta muy útil en varios aspectos, como ser:

- Ahorros por la correcta autorización de mantenimientos (Generación y Transmisión)
- Ahorros por la reducción de la generación de recursos térmicos por limitaciones en la red de Transmisión
- Ahorros por la reducción en los arranques de unidades térmicas
- Permiten elaborar programas de nuevos productos comerciales con confianza asociada
- Permiten realizar programas semanales de generación con una evaluación de la variabilidad del recurso eólico
- Permiten cumplir con los requisitos de países vecinos al realizar intercambios de ofrecer una curva acertada de los mismos y de la compra de energía a Salto Grande.
- Permiten programar intervenciones en la red sin reducir la confiabilidad de la red

PROXIMOS TRABAJOS A REALIZAR

La fuerte introducción de generación eólica y solar en forma masiva que se ha desarrollado en los últimos años en el mundo ha generado la necesidad del fuerte desarrollo de herramientas predictivas.

A su vez presenta también los desafíos de crear nuevas herramientas y una mayor integración con las actuales para la Programación y Operación del sistema.

Cabe destacar que cada Sistema cuenta con sus particularidades y las metodologías de trabajo deben adaptarse a nuestro SIN.

En particular revisten interés:

- Metodologías para poder obtener previsiones de generación en valor esperado a partir de varias fuentes diferentes de previsión
- Ídem para bandas de confianza
- Mejora en la precisión de las bandas de confianza
 - Herramientas operacionales como ser:
 - Representaciones graficas en tiempo real de las previsiones asociadas a zonas de interés eléctrico (sobre esquema de la red o sobre mapa del Uruguay)
 - Representaciones en tiempo real georreferenciadas del mapa de vientos presentes
 - Intercambio de información con el sistema SCADA
 - Implementación de un sistema automático de cálculo de flujos de carga
- Determinación de volúmenes de energía por poste
- Previsiones de precipitaciones y los aportes derivados de las mismas con probabilidad de ocurrencia

