



Estado Plurinacional de Bolivia
Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas
Dirección General de Energías Alternativas



Imagen: Archivo GIZ/ Evento en CNDC

Informe de diagnóstico: Automatización y optimización de procesos de los despachadores en Bolivia

Gestión 2018

MINISTERIO DE
ENERGÍAS

PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA DE LA COOPERACIÓN ALEMANA AL DESARROLLO

La Cooperación Alemana al Desarrollo a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y su Programa de Energías Renovables (PEERR) tiene como objetivo brindar asistencia técnica a través del Ministerio de Energías (MEN) a las entidades del sector eléctrico en el área técnica, normativa y formación de capacidades para el desarrollo de las Energías Renovables (EERR) y Eficiencia Energética (EE).

En este contexto, la información contenida en este documento es de carácter referencial y no representa necesariamente la política institucional del Ministerio de Energías ni de las entidades del sector eléctrico.



Implementada por:





Estado Plurinacional de Bolivia
Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas
Dirección General de Energías Alternativas



Imagen: GIZ/PEERR

Informe de diagnóstico: Automatización y optimización de procesos de los despachadores en Bolivia

Gestión 2018

MINISTERIO DE
ENERGÍAS

Ministro de Energías

Rafael Alarcón Orihuela

Viceministro de Electricidad y Energías Alternativas

José Bismar Canelas Revollo

Director General de Energías Alternativas

Raúl Gregorio Villarroel Barrientos

Responsable Técnico

Rudy Roberto Mamani Quisbert



Implementada por:



La Paz – Bolivia

2018

ÍNDICE

1	ALCANCE E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO “AUTOMATIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE LOS DESPACHADORES”	1
2	DOCUMENTACIÓN DE LA CAPACITACIÓN	4
2.1	Agenda llevada a cabo durante la capacitación	4
2.2	Participantes de la capacitación	5
2.3	Trasfondos, conclusiones y recomendaciones	6
2.3.1	El sistema de control, el Control Automático	6
2.3.2	Integración de ERV	8
2.3.3	Efecto de las ERV en las reservas de control.....	13
2.3.4	Provisión de pronóstico y medición de ERV en la sala de control.....	17
3	ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN DE DESPACHADORES	18
4	ADJUNTOS	20
4.1.1	Información de contacto del facilitador de la capacitación	20

1 ALCANCE E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO “AUTOMATIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE LOS DESPACHADORES”

De acuerdo con los Términos de Referencia de la GIZ, el objetivo del proyecto sobre la automatización y optimización de procesos de los despachadores fue el intercambio de experiencias. Este intercambio consideró toda la gama de herramientas de operación de sistemas, desde las nuevas funcionalidades SCADA hasta los nuevos métodos para el mantenimiento de frecuencias, el manejo de congestiones, el mantenimiento de tensión y el pronóstico de la inyección de energías renovables variables (ERV) así como el acoplamiento de procesos de parques de ERV. El objetivo del proyecto fue la implementación de mejoras en la operación del Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC) del Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Bolivia. Los servicios fueron provistos por Elia Grid International GmbH en cooperación con GridLab GmbH.

En el contexto del proyecto “Automatización y Optimización de Procesos de los Despachadores”, este proyecto incluyó la preparación y coordinación del contenido, así como la participación como expositor en reuniones de coordinación con partes interesadas en el sector eléctrico. También incluyó una capacitación de dos días sobre el intercambio de experiencias y un taller paralelo, con numerosas partes interesadas del sector eléctrico, la evaluación posterior a dicha capacitación y documentación de conclusiones y recomendaciones.

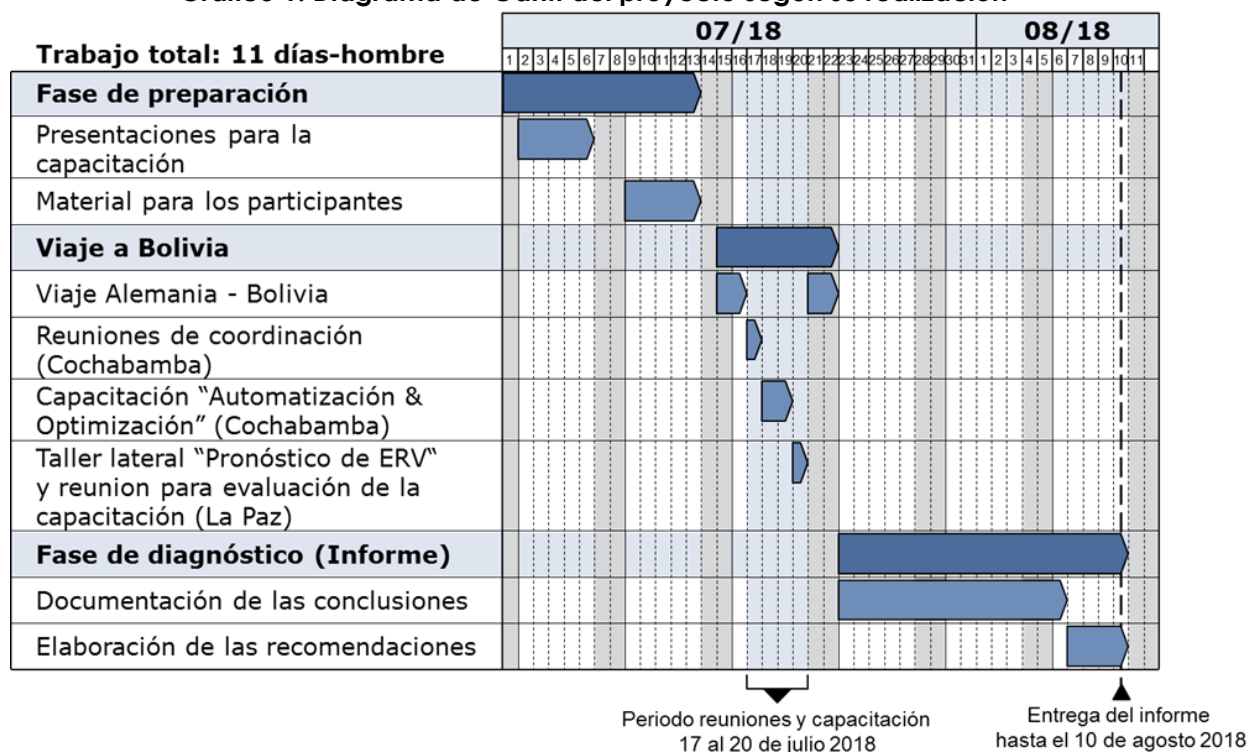
A continuación, se enlistan los servicios prestados a detalle:

- Preparación de las presentaciones en español para la capacitación en este idioma, como material de enseñanza para los participantes.
- Realización de reuniones de coordinación con las partes interesadas en el sector eléctrico boliviano y con participantes del CNDC en español (Cochabamba).
- Capacitación en español sobre “automatización y optimización de procesos de los despachadores” con participantes técnicos del sector eléctrico (llevada a cabo en Cochabamba, Bolivia), de acuerdo con los Términos de Referencia, considerando:
 - Presentación de experiencias en la automatización y optimización de procesos de los despachadores para los operadores de red de transmisión con una cuota dominante de ERV o de descentralización, especialmente en Alemania y la región.
 - Desempeño como moderador en el debate con las instituciones del sector eléctrico.
- Realización del taller paralelo en español con representantes del ministerio, de la universidad y de numerosas partes interesadas del sector eléctrico (en La Paz):

- Breve presentación introductoria sobre la aplicación de los sistemas de previsión en sistemas de energía eólica y fotovoltaica.
- Explicación de los requisitos mínimos de un sistema de pronóstico para garantizar el funcionamiento confiable de la red, con una proporción acumulativa de ERV.
- Efectuar la evaluación posterior a la capacitación, en español (en La Paz).
- Elaboración del informe de diagnóstico que incluye, la memoria-informe y resultados de la capacitación en español; reflexión sobre la identificación de fortalezas, oportunidades, requerimientos y recomendaciones para la automatización; y la optimización de procesos de los despachadores.

Los servicios fueron realizados de acuerdo con la planeación en el diagrama de Gantt, presentada a continuación (Gráfico 1):

Gráfico 1: Diagrama de Gantt del proyecto según su realización



Fuente: GridLab

La capacitación fue llevada a cabo por el Dr. Ing. Matthias Müller-Mienack, Director del Departamento de Investigaciones y Estudios de GridLab GmbH y Experto Internacional Senior en términos de planeación y operación del sistema. Tiene amplia experiencia en su carrera profesional: Después de su graduación en 2004, trabajó como Asistente de Investigación hasta 2005 y concluyó su doctorado en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la Universidad Tecnológica de Brandenburgo - Cottbus. A partir del 2005 hasta el 2012 él trabajó para la Transmisora 50Hertz Transmission GmbH (50Hertz) y para la anterior Vattenfall Europe Transmission GmbH (VE-T) con las siguientes

responsabilidades: Planeación estratégica de la red (hasta 2006), Director de Proyecto Offshore (2007), Director de Conceptos de Red Europeos (hasta 2010), Director del Equipo de Estrategia Corporativa (hasta 2012). Del 2009 al 2011, en paralelo a la posición en 50Hertz, fue Coordinador del grupo de trabajo "2050 Electricity Highways" de ENTSO-E y también miembro de los comités consultivos gubernamentales alemanes para sistemas eléctricos "Nuevas Tecnologías" y "Almacenamientos". Dentro del Grupo ELIA, a principios del 2013, Müller-Mienack tomó la responsabilidad de la Dirección Técnica en GridLab como "Centro Europeo de Entrenamiento e Investigación en Materia de Seguridad para Sistemas Eléctricos", brindando entrenamiento para operadores de red y seminarios para transportistas, distribuidoras y operadores de parques eólicos. En paralelo al enfoque de negocios hacia entrenamientos para operadores de red, estableció el enfoque hacia estudios y consultoría como parte integral del portafolio de GridLab. Desde comienzos del 2016, es responsable del Departamento de Investigación y Estudios en GridLab. De manera simultánea, es miembro del comité consultivo gubernamental alemán para sistemas eléctricos "Seguridad del Sistema".

2 DOCUMENTACIÓN DE LA CAPACITACIÓN

2.1 Agenda llevada a cabo durante la capacitación con las instituciones el 18 y 19 de Julio del 2018 y durante el taller paralelo el 20 de Julio del 2018

La agenda de la capacitación de dos días conducida según las premisas del CNDC en Cochabamba fue la siguiente:

- Capacitación, día 1 (18 de Julio del 2018)
 - 09:00 Bienvenida e introducción a la agenda de la capacitación.
 - 09:10 Breve introducción a GridLab.
 - 09:30 Experiencias del nuevo SCADA proyecto de 50Hertz de (Siemens).
 - 11:00 Monitorización remota y control remoto de subestaciones.
 - 11:30 Integración de ERV en el mantenimiento de la tensión y en la gestión de la congestión de la red.
 - 12:00 Almuerzo.
 - 14:30 Monitorización de líneas aéreas.
 - 15:30 Discusión.
 - 16:00 Fin del día 1.
- Capacitación, día 1 (19 de Julio del 2018)
 - 09:00 Recapitulación día 1.
 - 09:15 Control Automático de Generación y Controlador Potencia/Frecuencia.
 - 10:00 Provisión de pronóstico y medición de ERV en la sala de control
 - 11:00 Efectos de las ERV en las reservas de control en Alemania e implicaciones para Bolivia.
 - 12:00 Almuerzo.
 - 14:30 Entrenamiento y certificación de despachadores.
 - 15:30 Resumen de la capacitación y debate.
 - 16:00 Fin del día 2.

La agenda del taller paralelo de un día, conducida según las premisas de la GIZ en La Paz, fue la siguiente:

- Taller paralelo (20 de Julio del 2018)
 - 09:00 Introducción a la agenda

- 09:10 Breve introducción a GridLab
- 09:30 Experiencias referente de la implementación de sistemas de pronóstico de energía eólica y fotovoltaica incluido requisitos mínimos de un sistema de pronóstico de ERV
- 10:30 Resultados del informe de diagnóstico "Pronóstico de Generación Eólica y Solar en Bolivia" (del 29 de noviembre 2017)
- 11:30 Discusión de los posibles siguientes pasos para Bolivia
- 12:30 Fin del taller

Las presentaciones individuales de los puntos antes mencionados en la agenda fueron entregadas a la GIZ y están enlistadas en el Capítulo Adjunto.

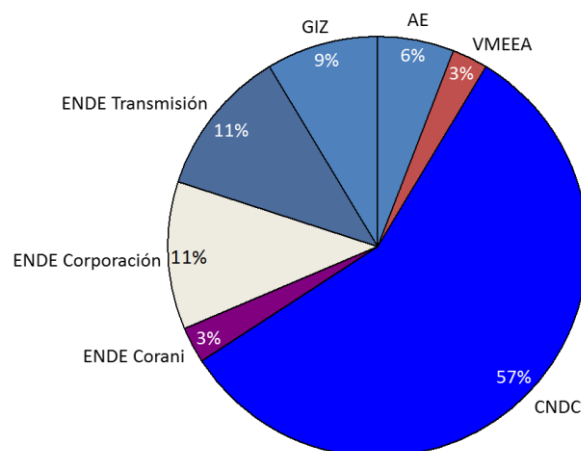
2.2 Participantes de la capacitación para instituciones interesadas y del taller paralelo

Además de los representantes de la GIZ Bolivia, participaron en los eventos los delegados de las siguientes instituciones:

- Ministerio de Energía (MEN) y Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas (VMEEA),
- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad (AE),
- Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC),
- Empresa Nacional de Electricidad (ENDE Corporación),
- ENDE Transmisión,
- ENDE Corani,
- Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

Además de los 3 participantes por parte de la GIZ, 34 asistentes de 6 instituciones relevantes del sector se incorporaron a la capacitación en Cochabamba. El diagrama a continuación muestra la distribución de los participantes de dichas instituciones.

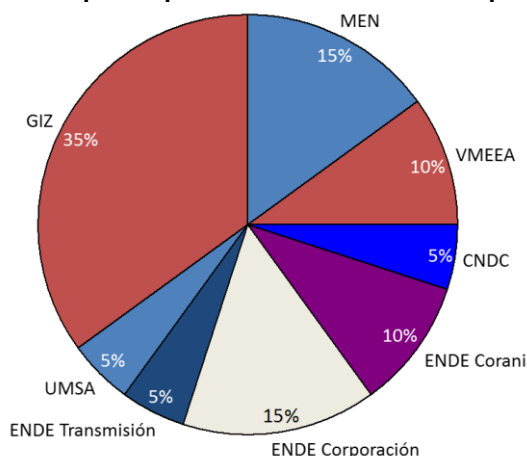
Gráfico 2: Distribución de los participantes durante la capacitación para instancias interesadas en Cochabamba



Fuente: GridLab

En el taller paralelo, además de los 7 participantes por parte de la GIZ, 34 asistentes de 14 instituciones relevantes se incorporaron en Cochabamba:

Gráfico 3: Distribución de los participantes durante del taller paralelo en Cochabamba



Fuente: GridLab

2.3 Trasfondos, conclusiones y recomendaciones finales de la capacitación

2.3.1 El sistema de control, el Control Automático de Generación y los acoplamientos de los procesos

La capacitación comenzó con un intercambio de experiencias sobre los proyectos anteriores de implementación de un nuevo sistema SCADA. Aunque 50Hertz, es como uno de los operadores de la red de transmisión en Alemania, posee y opera el sistema de control en sí mismo; ENDE es el responsable de la implementación y operación del sistema de control en Bolivia, pero el CNDC instruye a ENDE para que tome medidas por el sistema SCADA por teléfono.

Tanto 50Hertz como ENDE están siendo convertidos a Siemens Spectrum Power 7.0. Además de las funcionalidades básicas, el sistema SCADA de Siemens Spectrum Power 7.0 ofrece numerosos módulos adicionales. A pesar de que ENDE utiliza sólo una actualización de Siemens Spectrum Power 3.0, 50 Hertz está reemplazando un sistema de control de otro fabricante que tiene más de 20 años, junto con numerosos módulos separados, con el nuevo sistema de control de Siemens.

La reducción de los modelos de red, de varios módulos en paralelo, es un gran reto para la implementación del nuevo sistema de control de 50Hertz. Sin embargo, la implementación del **Control Automático de Generación** parece estar asociada a grandes desafíos para el nuevo sistema de control ENDE. Los siguientes aspectos del Control Automático de Generación, son relevantes para su implementación en Bolivia:

- La definición: El control automático de la inyección eléctrica de uno o más de los generadores por la sala de control, dentro del rango de carga definido como Reservas de Restauración Automática de Frecuencia.
- El objetivo: Controlar automáticamente las unidades de generación para mantener la frecuencia muy cerca de la frecuencia objetivo y asignar variaciones de carga a las diferentes unidades de generación. Se debe tener en cuenta la eficiencia y parámetros técnicos de las diferentes unidades de potencia.
- Más detalles:
 - Mantener la generación automática en cada área de control a un valor que permita mantener la frecuencia en el área dentro de los límites deseados y mantener el intercambio neto con las áreas adyacentes interconectadas, dentro de los límites programados.
 - Controlar la generación para seguir la carga interna y el intercambio programado del área de control, minimizando el costo de producción.
- Las funciones de planificación económica calculan la generación óptima para las unidades generadoras disponibles para el Control Automático de Generación, que satisfacen las necesidades de generación totales y de reserva del área de control.
- El controlador potencia/frecuencia funciona en tres modos: Regulación de frecuencia constante, intercambio neto constante o Tie-Line Bias. La función utiliza los generadores disponibles para el control automático de generación para realizar el seguimiento de la frecuencia programada y el intercambio programado regulando el error de Control de Área (CdA) a cero. Calcula el CdA basado en la desviación de la frecuencia actual, el intercambio y la generación de los valores programados, basados en el modo de operación.

- Porque Bolivia aún no tiene interconexiones con los países vecinos, sólo la siguiente función es relevante en el primer paso: Regulación de frecuencia constante. Esto incluye la reserva secundaria automática que sólo será provista por las unidades bajo la regulación del Control Automático de Generación. Pero tan pronto como haya interconexiones con los vecinos, las otras funciones también tienen relevancia para Bolivia.

El sistema SCADA en la sala de control y el control de las subestaciones, las centrales de generación y los parques de generación renovable deben conectarse mediante **acoplamientos de proceso**. Estos acoplamientos deben ser redundantes y son los requisitos previos para:

- La integración en el Control Automático de Generación, pero también para
- La especificación manual del valor objetivo de la inyección de potencia activa en caso de congestiones en la red o
- Para la especificación de un valor objetivo de tensión para mantener el rango de tensión.

Las siguientes normas internacionales son particularmente importantes para la implementación de acoplamientos de procesos:

- La norma IEC 60870-5-101. Se utiliza como protocolo general de transmisión entre sistemas de control (de red) y terminales de control remoto. Los mensajes se transmiten normalmente a través de conexiones serie.
- La norma IEC 60870-5-104. Es otro protocolo de transmisión general entre sistemas de control (de red) y subestaciones. Los telegramas se transmiten a través del protocolo de internet TCP/IP.
- La norma TASE.2. Se utiliza esta norma para interconectar diferentes estaciones de control de red. También se conoce como el Protocolo de Comunicaciones del Centro de Intercontrol (ICCP).

Los parques renovables en Bolivia aún no cuentan con acoplamientos de proceso que permitan al CNDC intervenir en la inyección de potencia activa o reactiva a través de la especificación de valores objetivos o la integración en el Control Automático de Generación. Es aconsejable iniciar conversaciones entre CNDC, ENDE y los operadores de parques renovables lo antes posible, para diseñar los acoplamientos de proceso.

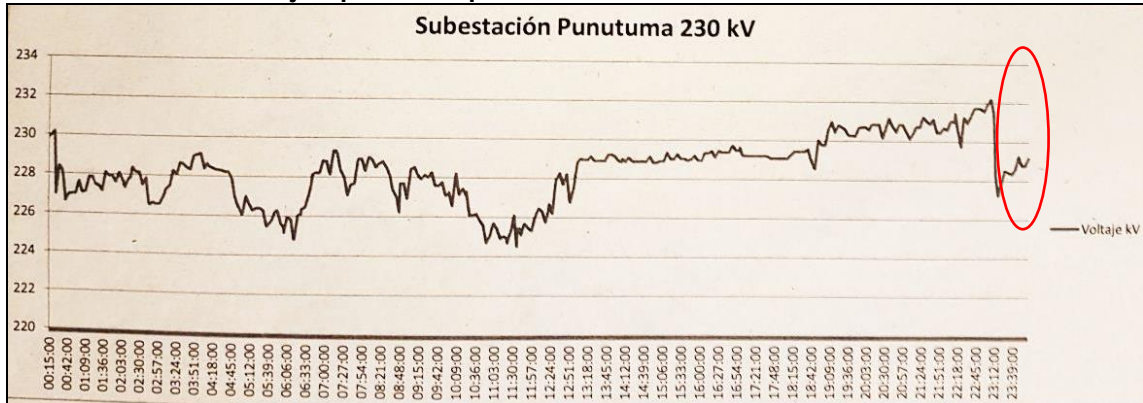
2.3.2 Integración de ERV en la participación de la tensión y que el despacho supervise la congestión de la red

Con el aumento de la participación de ERV que el despacho supervise la generación de energía, también aumenta la necesidad de que el despachador supervise exactamente el comportamiento de ERV e influya en

la inyección de potencia activa y reactiva de ERV, en caso de congestiones en la red o problemas con la estabilidad de la tensión.

El Gráfico muestra una curva de tensión típica en el plano de la red de 230 kV en Bolivia (subestación Punutuma). Aunque la tensión no salga del rango de tensión permitido, se pueden observar cambios de tensión bastante rápidos, por ejemplo, alrededor de las 23:00 horas.

Gráfico 4: Ejemplo de respuesta en tensión en Bolivia el 17.03.2018

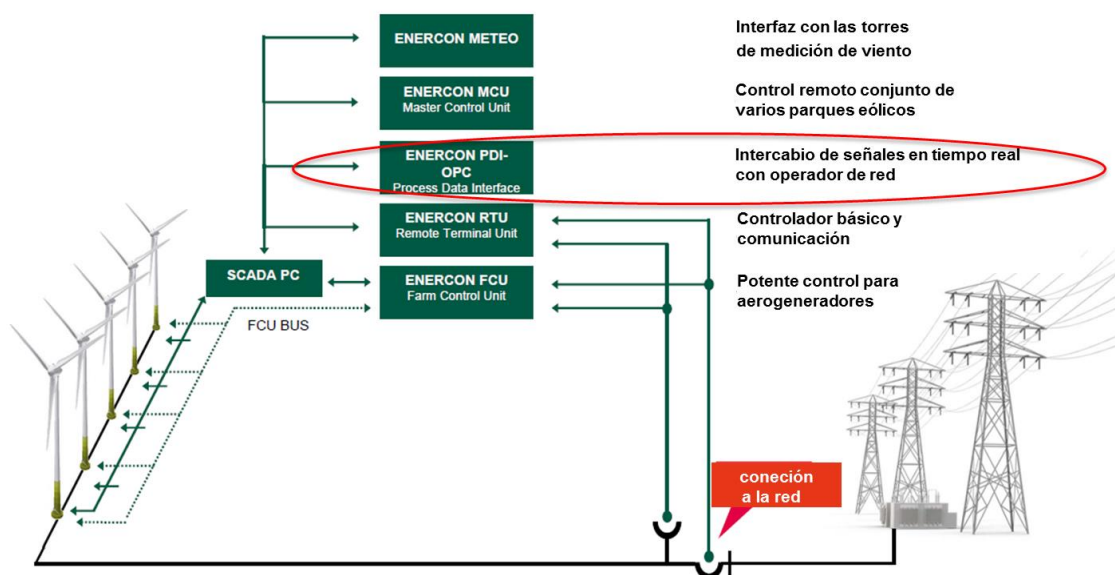


Fuente: CNDC

Si en el futuro, el despacho pudiera establecer un valor objetivo de tensión específico para parques eólicos o fotovoltaicos cercanos, mediante acoplamiento de proceso, los controladores de parque reaccionarían rápidamente a las desviaciones de tensión con respecto al valor objetivo. También podrían contrarrestarlas en el marco de la fuente de inyección de potencia reactiva en función del punto de funcionamiento actual.

El gráfico 5 muestra un ejemplo de acoplamiento de procesos por interfaz para control remoto de un parque eólico.

Gráfico 5: Ejemplo de acoplamiento de procesos por interfaz para control remoto de un parque eólico

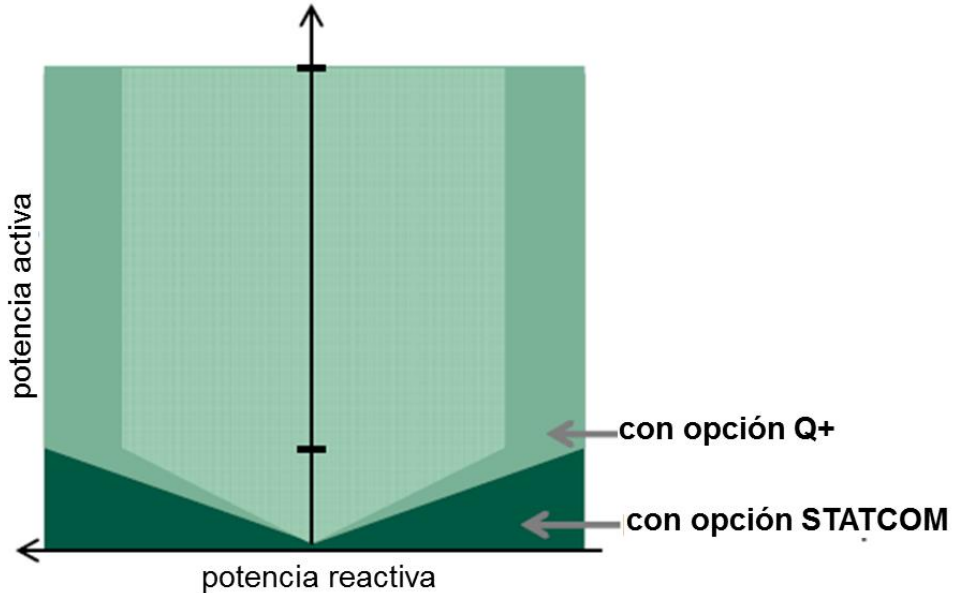


Fuente:

ENERCON

El siguiente diagrama (gráfico 6) muestra la potencia reactiva de los aerogeneradores en función de la potencia activa, para el ejemplo de ENERCON. Los aerogeneradores ofrecen control continuo y altamente dinámico de la potencia reactiva, mediante la tecnología FACTS sin transitorios, gracias a la conexión y desconexión de los sistemas de compensación. La extensión modular con la opción Q+ y STATCOM amplían significativamente la fuente de inyección de potencia reactiva, en el caso de una fuente de inyección de potencia activa débil.

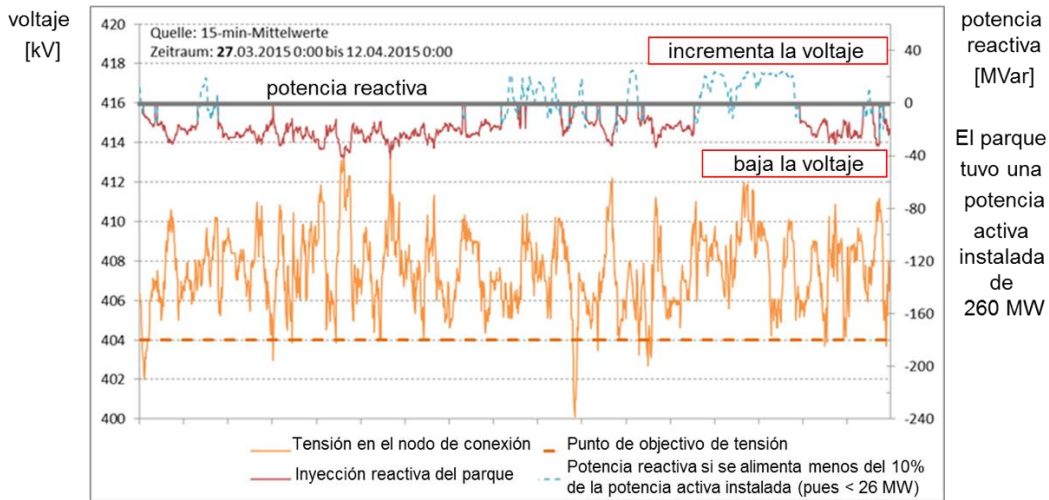
Gráfico 6: Potencia reactiva de los aerogeneradores en función de la potencia activa



Fuente: ENERCON

El Gráfico 7 muestra los resultados de una prueba de campo de una tensión objetivo de 404 kV para un nodo de red de 50 Hertz, al que se conecta un gran parque eólico. El parque eólico contribuye con hasta -40MVAR para alcanzar el valor objetivo de tensión. Esto no funciona, solo si la potencia activa de entrada es inferior al 10%, ya que el parque eólico no dispone de funcionalidad Q+ o STATCOM.

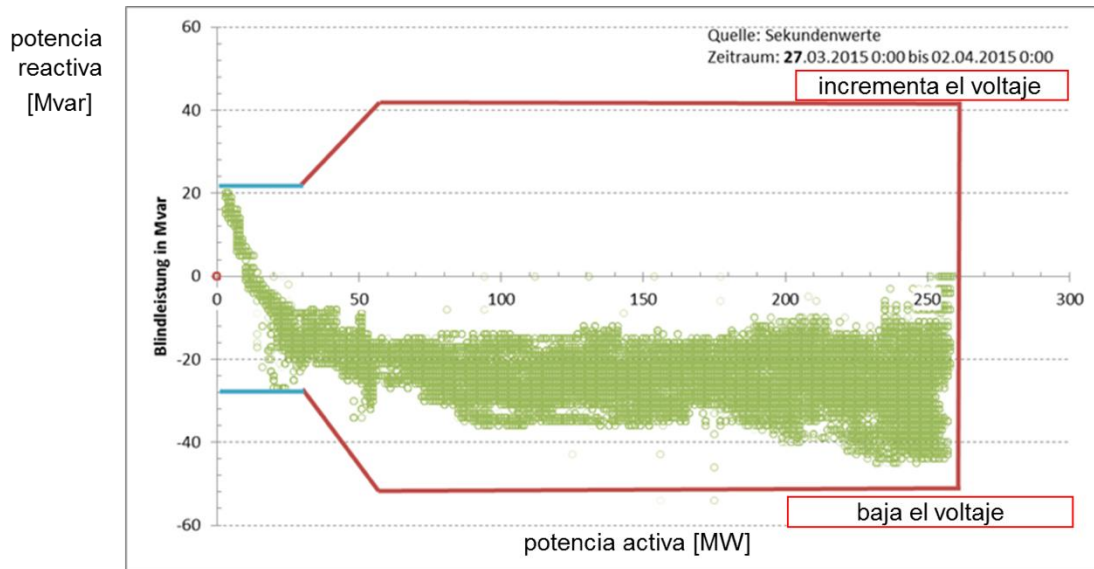
Gráfico 7: Prueba de campo de una tensión objetivo para un nodo de red de 50 Hertz



Fuente: 50Hertz

El gráfico 7, de la misma prueba de campo de los 50 Hertz, muestra que la entrada de potencia reactiva del parque eólico probado con conexión a la red de 50 Hertz puede ser regulada de acuerdo con el gráfico 8. En el área debajo de 10% de la inyección de potencia activa no funciona bien, únicamente porque el parque eólico no dispone de funcionalidad Q+ o STATCOM.

Gráfico 8: Misma prueba de campo de una tensión objetivo para un nodo de red de 50Hertz



Fuente: 50Hertz

En cuanto a la posibilidad de que el despacho influya en la inyección de potencia activa de los parques, se puede hacer referencia a la práctica de reducir la inyección de los parques eólicos conectados directamente en las congestiones de la red, que se ha demostrado durante muchos años por 50Hertz, en Alemania. Según la ley, la inyección de potencia activa de estos parques eólicos en Alemania sólo se reduce cuando no hay otra forma de aliviar las congestiones de la red.

Hasta ahora, el despacho de 50Hertz siempre realizaba estos ajustes manualmente utilizando el acoplamiento de procesos. En 50Hertz, sin embargo, se está preparando la prueba de manejo activo de congestiones N-1, que también tiene en cuenta el cierre rápido de los parques eólicos conectados directamente para eliminar las congestiones, que todavía no se tuvo en cuenta en el manejo pasivo de congestiones N-1. En otras palabras: Para la prueba planificada del manejo activo de la congestión de la red, se acepta temporalmente la superación de la carga N-1 de las líneas, en la medida en que esta sobrecarga pueda remediarse ágilmente, mediante el cierre rápido de los parques eólicos conectados directamente en la región, por medio del acoplamiento de procesos. Sin embargo, para este principio automático deben cumplirse varias condiciones concretas para la fase de prueba, en particular:

- Disponibilidad de líneas críticas y transformadores críticos.
- La capacidad de sobrecarga a corto plazo de los circuitos (120 % durante 10 minutos) debe ser factible.
- No hay tormentas eléctricas.
- No hay trabajo en las instalaciones que lleve a un aumento de probabilidades que se produzcan errores.
- Caminos de señalización que no deben ser perturbados.
- Pequeña desviación entre el valor medido y la estimación.
- Certeza de que se puede alcanzar el punto de ajuste en >10 minutos.

Existen aplicaciones concretas del cierre automático de parques de ERV en caso de congestiones en la red, por ejemplo, en España o Chile. El gráfico 9 muestra el ejemplo chileno en el que la inyección de potencia activa se reduce automáticamente mediante acoplamiento de proceso vía satélite. El corte automático de la inyección de parques eólicos está en operación desde 2015 con el objetivo de maximizar la transferencia de energía en la zona congestionada. Los parques eólicos y fotovoltaicos se reducen la inyección para mantener las restricciones de la red y evitar sobrecargas, pues la capacidad efectiva de transporte se duplicó gracias a este sistema.

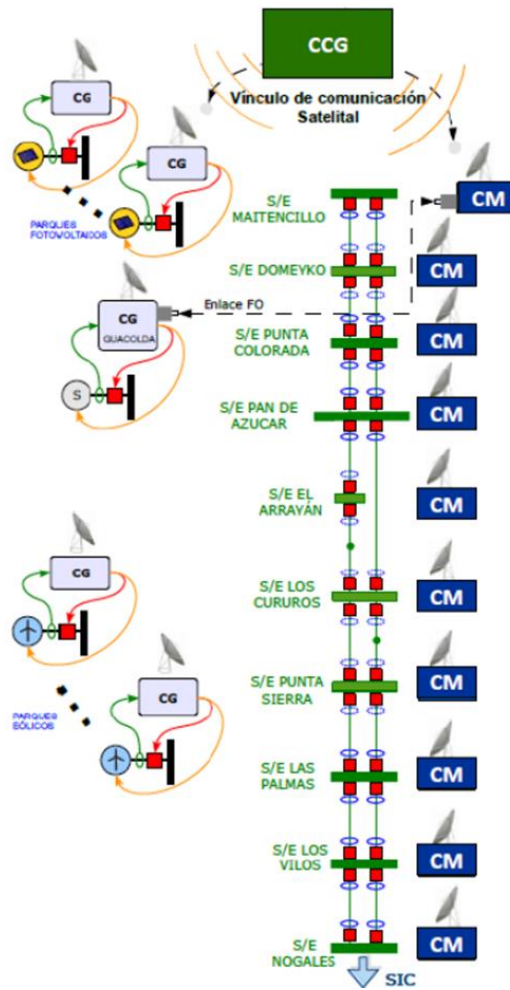


Gráfico 9: Ejemplo de manejo automático de congestiones (parques ERV en Chile)

Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional

Resumiendo: La condición para la especificación de los valores objetivos para la inyección de potencia activa o reactiva de los parques de ERV, por los despachadores de CNDC es el acoplamiento del proceso de los parques al sistema de control de ENDE.

2.3.3 Efecto de las ERV en las reservas de control

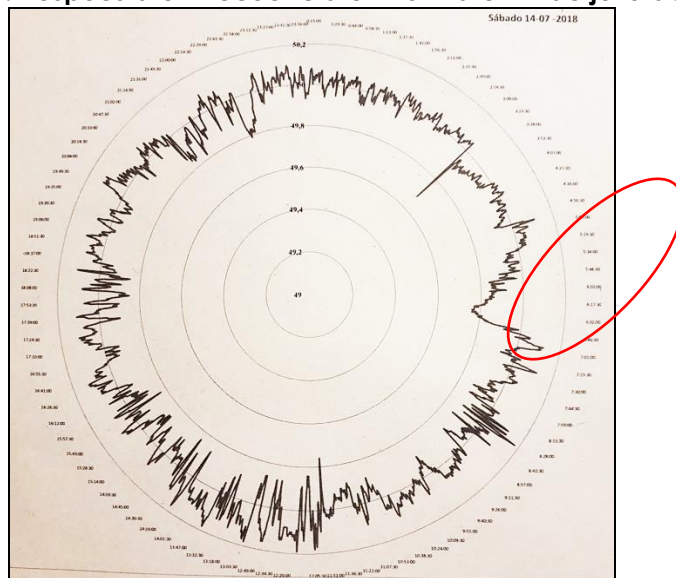
Especialmente para la red eléctrica boliviana como red independiente sin interconexión a los países vecinos, el suministro de energía de control para el mantenimiento de frecuencias es una cuestión muy importante para evitar interferencias grandes, especialmente en el caso de subfrecuencias. Aunque el dimensionamiento de las reservas de control no es una actividad de los despachadores, en el taller se discutieron procedimientos de dimensionamiento de las reservas de control probabilístico orientado al futuro. En vista de los objetivos de instalación previstos para Bolivia, los errores en el pronóstico de energía renovable pueden tener un mayor impacto en perspectiva que un fallo de una central eléctrica convencional (ver presentación).

Porque sólo la activación de la potencia de control primaria es actualmente automática en Bolivia y la potencia de control secundaria es actualmente activada manualmente, los despachadores en Bolivia están muy directamente integrados en el mantenimiento de frecuencia.

El gráfico 10 muestra que la frecuencia en Bolivia es muy sensible a las interferencias. Aproximadamente a las 3:15 de la madrugada del 14 de julio de 2018, una turbina de gas que había suministrado 40 MW falló. El repentino fallo de estos 40 MW provocó una caída de frecuencia de aproximadamente de 0,4 Hz. En el ejemplo del gráfico 10, se tarda media hora hasta que la frecuencia vuelve a alcanzar los 50,0 Hz.

A modo de comparación: Mientras que en Bolivia el fallo de 100 MW puede causar una caída de frecuencia a corto plazo de 1 Hz durante de la noche, en el sistema interconectado europeo aproximadamente de 15 a 20 GW tendrían que fallar por una caída de frecuencia a corto plazo de 1 Hz.

Gráfico 10: Respuesta en frecuencia en Bolivia el 14 de julio de 2018



Fuente: CNDC

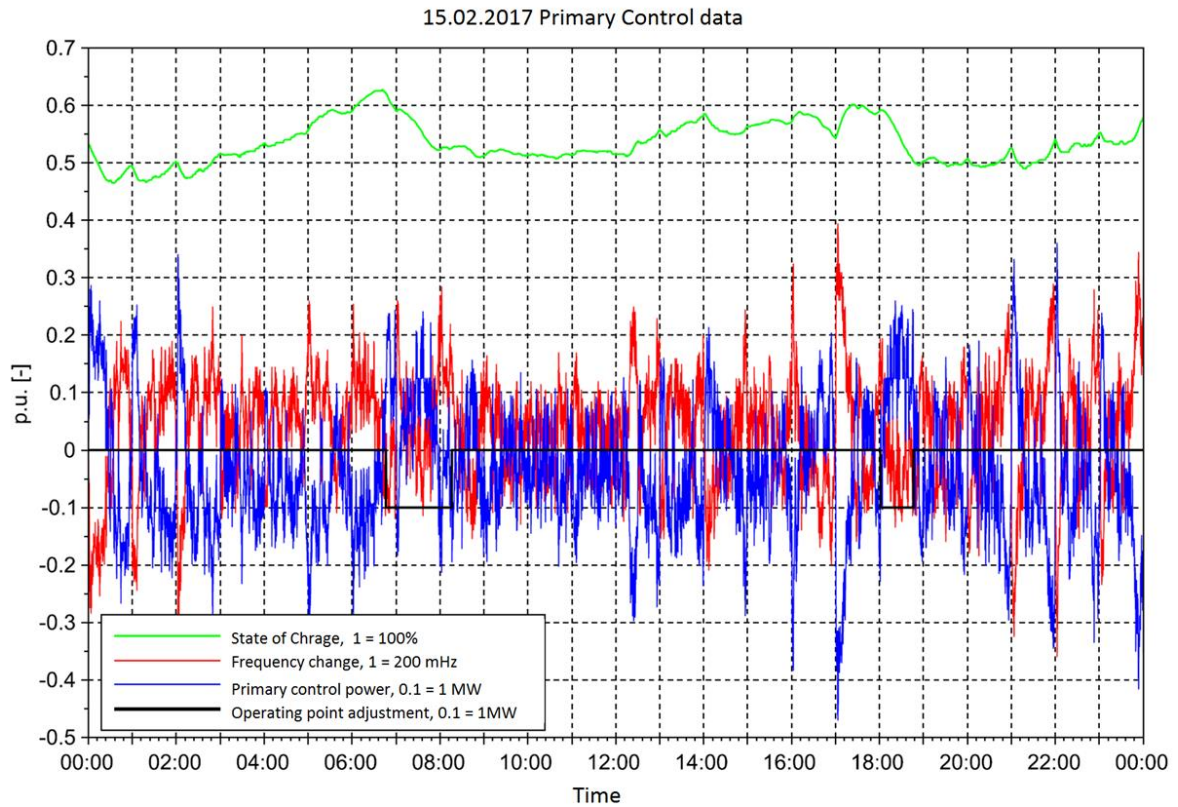
Incluso si este grave colapso de frecuencia durara poco tiempo, un colapso de frecuencia aún mayor podría provocar el fallo de unidades de generación adicionales. Por ejemplo, activando relés RoCoF (RoCoF: Rate of Change of Frequency) y, por lo tanto, un colapso de frecuencia aún más grave hasta el apagón total.

Especialmente en lo que se refiere al soporte de frecuencias a corto plazo en el segundo rango, los sistemas descentralizados tales como parques eólicos o fotovoltaicos o incluso baterías pueden contribuir muy rápidamente a limitar las caídas de frecuencia. Las baterías en Alemania ya representan una parte significativa de la potencia de control primaria con una característica mucho más rápida en comparación con las centrales eléctricas convencionales.

El gráfico 11 muestra la medición del comportamiento de control primario de una batería de 10 MW en la red de 50 Hz durante 24 horas. La batería

reacciona inmediatamente cuando se superan los límites de frecuencia preestablecidos, por lo que el punto de funcionamiento de la batería se mantiene siempre al 0% cuando la batería se carga a 50 Hz. Sólo cuando el cambio en el nivel de carga alcanza el 10%, el punto de funcionamiento de la batería (línea negra) se desplaza temporalmente, de forma ligera para alcanzar de nuevo el nivel de carga del 50%.

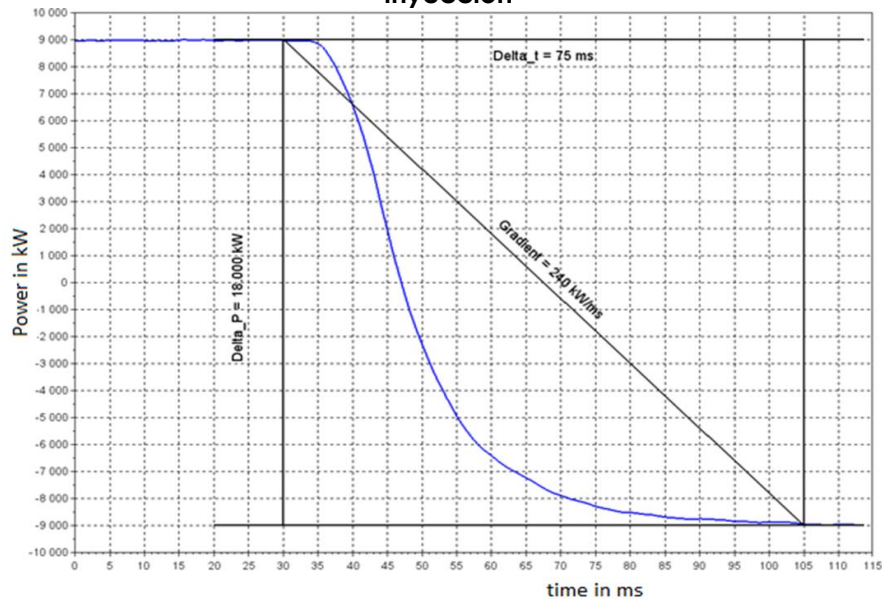
Gráfico 11: Respuesta en la potencia activa y la frecuencia por una batería



Fuente: ENERGIEQUELLE

El gráfico muestra, para la misma batería de 10 MW, que el suministro de batería puede cambiarse de + 9 MW a - 9 MW en sólo 100 ms con un tiempo de respuesta de sólo 5 ms.

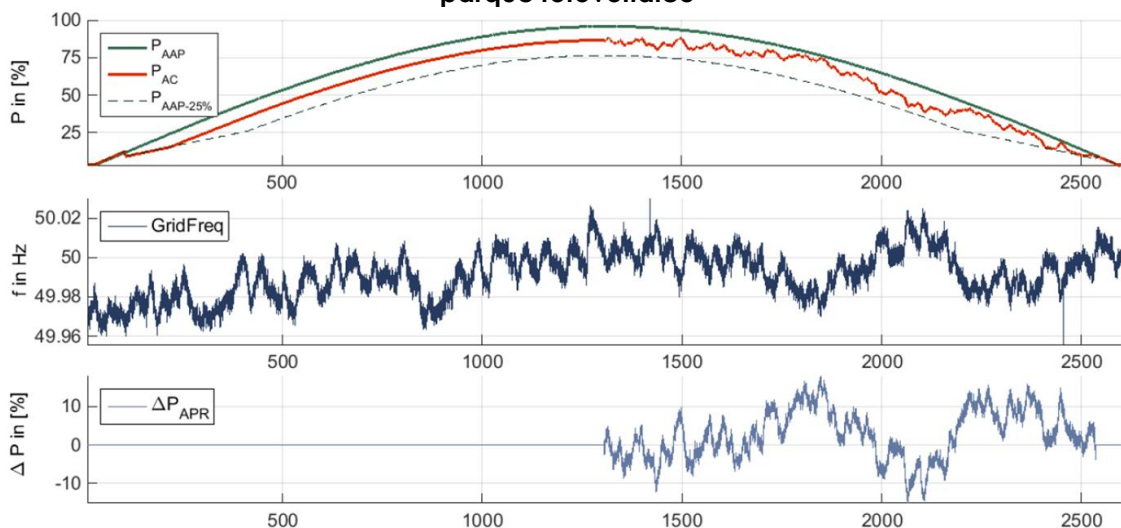
Gráfico 12: Tiempo de respuesta de la batería de 10 MW cuando cambia el valor de inyección



Fuente: ENERGIEQUELLE

Utilizando la función control estático de frecuencia de potencia también es posible realizar aportaciones a la potencia de control primario con parques eólicos o fotovoltaicos. Sin embargo, el requisito previo es que los parques no se alimenten a plena potencia, sino que siempre dejen alguna reserva, como ilustra el diagrama del suministro de potencia de control primario de un parque fotovoltaico.

Gráfico 13: Característica del suministro de potencia de control primario a través de un parque fotovoltaico

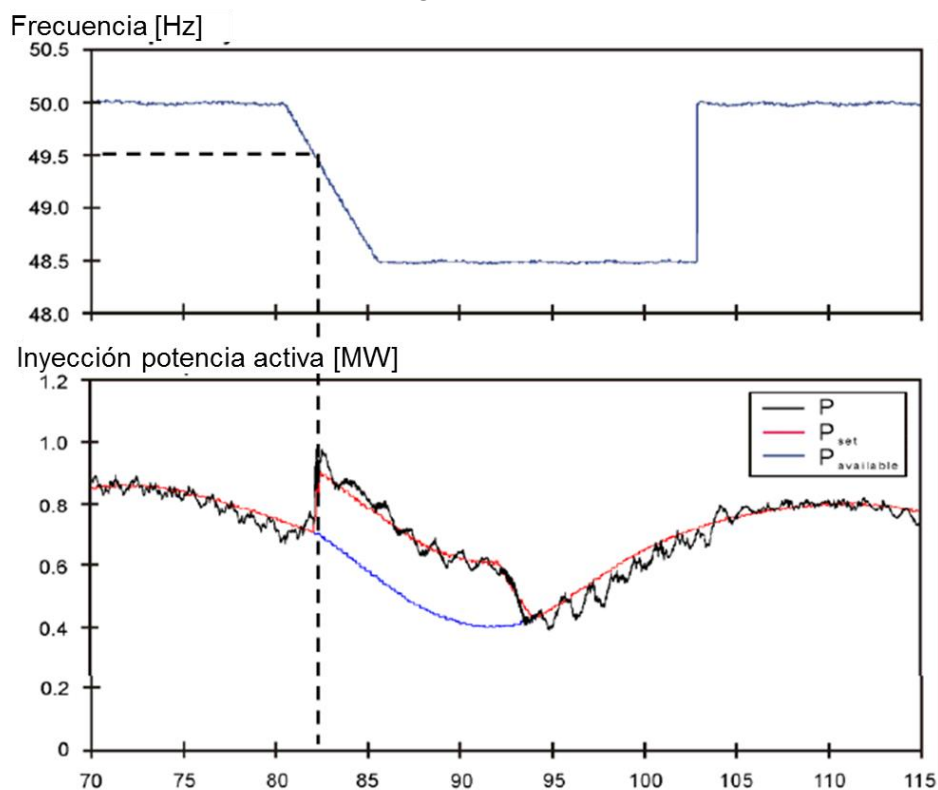


Fuente: SMA

En el caso de los aerogeneradores, también es posible proporcionar inercia artificial, incluso si el parque eólico ya ha sido operado a plena potencia. El gráfico 14 ilustra el principio de funcionamiento: se extrae brevemente la potencia adicional del rotor y se introduce en la red para contrarrestar la caída de frecuencia rápidamente. Después, la turbina eólica alimenta un

poco menos de energía a la red, pero esto es menos crítico que una caída de frecuencia inicial, que es demasiado grande.

Gráfico 14: Característica del suministro de inercia artificial a través de aerogeneradores



Fuente: ENERCON

Por lo tanto, las baterías y los parques de ERV pueden hacer contribuciones importantes al mantenimiento de la frecuencia tanto en la inercia como en la provisión de potencia de control primaria. Además, las aportaciones de potencia de control secundario también pueden realizarse a través de los parques. Sin embargo, esto requiere necesariamente de un acoplamiento de proceso suficiente, que también es adecuado en el marco de un principio de potencia de control secundario automático, que debería acoplarse a la implementación del control de generación automática.

2.3.4 Provisión de pronóstico y medición de ERV en la sala de control

Se presentó un resumen de los contenidos más importantes del seminario "Pronóstico de Generación Eólica y Solar en Bolivia" (15 y 16 de noviembre del 2017 in Cochabamba) sobre el aspecto de la provisión de pronósticos de inyección de ERV para despachadores y planificadores operativos. Las recomendaciones más importantes se encuentran en el informe correspondiente bajo el punto "2.4. Conclusiones y recomendaciones finales de la capacitación".

3 ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN DE DESPACHADORES

Al actualizar el sistema SCADA actual de Siemens Spectrum Power 3.0 a 7.0, ENDE o CNDC proporcionará también un módulo de entrenamiento para los despachadores. Esto ofrece ahora la oportunidad de llevar a cabo la formación de los expedidores sobre la base de simuladores, de la misma forma que debería ser la norma general para los operadores de red de transmisión europeos, de acuerdo con la nueva directriz de operación del sistema de la Comisión Europea.

En preparación para un entrenamiento de despachadores basado en simuladores, es importante desarrollar un concepto de entrenamiento de despachadores e incorporar los resultados de un análisis de las áreas de oportunidad y de entrenamientos de prueba. En este contexto, GridLab propone el siguiente procedimiento para establecer el entrenamiento de despachadores, basado en simuladores en Bolivia:

- Análisis de las áreas de oportunidad en la capacitación (incluye una visita en la sala de control de CNDC):
- Personal de GridLab hace una visita en sitio para evaluar las áreas de oportunidad tomando en cuenta los requerimientos locales y regionales. Si se desea, se puede incluir el estándar europeo ENTSO-E (Asociación Europea de Operadores de Red de Transmisión de Electricidad). Esta etapa concluye con la entrega de un "Reporte de las áreas de oportunidad en la capacitación" que servirá como base para la etapa 3, incluyendo despachadores de ENDE Transmisión S.A.
- Implementación del modelo de red eléctrica de CNDC en el simulador para entrenamiento de despachadores:
- Basado en un modelo de cálculo detallado en estado de reposo para la red eléctrica, GridLab apoya la implementación del modelo de red de transmisión de Bolivia en el módulo de entrenamiento del nuevo sistema de control Spectrum Power 7.0 de Siemens.
- Taller de capacitación en las instalaciones de los despachadores (incluye la posible participación ENDE Transmisión S.A.):
- En un taller en sitio por dos días, se presentarán los resultados del análisis en la primera etapa y se observarán necesidades nuevas. Este taller incluye la participación de ENDE Transmisión y repercute directamente en las capacitaciones de prueba. El taller será realizado por expertos de GridLab.
- Dos entrenamientos de prueba en Cochabamba con despachadores de CNDC, incluye la posible participación de ENDE Transmisión S.A.:
- Se basará en el modelo de red integrado. Las capacitaciones tendrán una duración de dos días con personal de CNDC, en ellas se pueden

incluir personal de ENDE Transmisión. El enfoque será el análisis detallado de las áreas de oportunidad en la capacitación.

- Programa de capacitación para CNDC (propuesta), incluye un concepto con perspectiva a futuro para los despachadores:
- Se elaborará un concepto para la capacitación del personal con seminarios y capacitaciones regulares. Este concepto cumplirá con los requerimientos locales y regionales (si se desea también con el estándar europeo (ENTSO-E) y será sujeto a aprobación por parte de los Directores de Operación. Basado en el concepto de capacitación aprobado, se preparará un programa de capacitación regular en el contexto del programa de certificación de GridLab.

La preparación del concepto de entrenamiento puede comenzar antes de la puesta en marcha final del nuevo sistema SCADA de ENDE en 2019, pero la ejecución de los entrenamientos de prueba requiere la puesta en marcha del nuevo sistema SCADA. Alternativamente, los entrenamientos de prueba también podrán llevarse a cabo en el Centro de Entrenamiento de Despacho de GridLab en Alemania, pero la puesta en marcha del nuevo sistema SCADA ofrece una muy buena oportunidad para hacer las funcionalidades de entrenamiento relevantes para ENDE o CNDC.

- Otras necesidades de capacitación del CNDC y ENDE

En la discusión final con los participantes del taller, independiente de operación del sistema, se abordó en particular el tema de la metodología de escalado de las curvas de carga y alimentación, en el marco de la planificación de la red a largo plazo. Por lo tanto, **GridLab propone una capacitación separada "Metodología de vanguardia para la planificación de redes a largo plazo" para el CNDC y ENDE.**

4 ADJUNTOS

Lista de presentaciones de la capacitación y del taller paralelo

Las presentaciones de la capacitación:

- 2018-07-18_0_Introducción a la agenda
- 2018-07-18_1_Breve introducción a GridLab
- 2018-07-18_2_Experiencias de SCADA proyecto de 50Hertz
- 2018-07-18_3_Monitorización remota y control remoto de subestaciones
- 2018-07-18_4_Mantenimiento de tensión y gestión de congestión por ERV
- 2018-07-18_5_Monitorización de líneas aéreas
- 2018-07-19_6_Control Automático de Generación y Controlador PotenciaFrecuencia
- 2018-07-19_7_Provisión de pronóstico y medición de ERV en la sala de control
- 2018-07-19_8_Efectos de las ERV en las reservas de control
- 2018-07-19_9_Entrenamiento y certificación de despachadores
- Las presentaciones de taller paralelo:
- 2018-07-20_10_Agenda al taller paralelo
- 2018-07-20_11_Breve introducción a GridLab
- 2018-07-20_12_Experiencias referente de la implementación de sistemas de pronóstico de ERV
- 2018-07-20_13_Resultatos del informe de diagnóstico

4.1.1 Información de contacto del facilitador de la capacitación

Dr. -Ing. Matthias Müller-Mienack

Director del Departamento de Estudios y Investigación

Correo electrónico: matthias.mueller-mienack@gridlab.de

Tel.: +49 30 600 866 80

LinkedIn: Matthias Müller-Mienack

Página de internet: <http://www.gridlab.de>

GridLab GmbH

Mittelstraße 7

12529 Schönefeld (cerca de Berlín)

Alemania



Título: Informe de diagnóstico:
Automatización y optimización de procesos de los despachadores en Bolivia

Autor: Dr. Ing. Matthias Müller-Mienack

Desarrollado por: Elia Grid International GmbH en cooperación con GridLab GmbH

Supervisado por: Ministerio de Energías a través del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas

Ejecutado por: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Programa: Programa de Energías Renovables (PEERR)

Programa Nø: 15.2035.2-001.0

Coordinador: Dr. Johannes Kissel

Equipo técnico: Arturo Loayza Ordóñez
Alejandra Prada Rivero

Fecha: Agosto, 2018

1 Este informe es apoyado por la Cooperación Alemana a través de la GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GmbH) y su Programa de Energías Renovables (PEERR).

2 Se autoriza la reproducción total o parcial del presente documento, sin fines comerciales y citando adecuadamente la fuente, previa autorización escrita por los coordinadores del estudio.

Ministerio de Energías

Calle Potosí esquina calle Ayacucho S/N, zona Central
Teléfono: 2188800
www.minenergias.gob.bo

Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas

Edificio Ex BBA, Av. Camacho N° 1413 Esq. calle Loayza
Teléfono: 2188800

Cooperación Alemana al Desarrollo con Bolivia

Oficina de la Cooperación Alemana al Desarrollo
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Av. Julio C. Patiño N° 1178, entre calles 17 y 18, Calacoto
Casilla 11400
La Paz, Bolivia

Oficina del Programa de Energías Renovables (PEERR)
Av. Sánchez Bustamante N° 504 entre calles 11 y 12 de Calacoto
La Paz, Bolivia
T +591 (2) 2119499
F +591 (2) 2119499, int. 102
E johannes.kissel@giz.de
www.giz.de

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ)

BMZ Bonn
Dahlmannstraße 4
53113 Bonn, Germany
T +49 (0) 228 99 535 -0
F +49 (0) 228 99 535-3500
poststella@bmz.bund.de
www.bmz.de

BMZ Berlín
Stresemannstraße 94
10963 Berlin, Germany
T +49 (0) 30 18 535 – 0
F +49 (0) 30 18 535-2501



Implementada por:

