

Parques solares en la puna: desafíos técnicos

Acerca de la experiencia de construcción y operación de los parques solares Puna y Altiplano, en la puna salteña.

FIE

Foro de Ingeniería Eléctrica
fie.editores.com.ar

Glosario de siglas

- » AIS: *Air Insulated Switchgear*, 'aparamenta aislada en aire'
- » CAMMESA: Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico
- » EDESA: Empresa Distribuidora de Electricidad de Salta
- » FIE: Foro de Ingeniería Eléctrica
- » GIS: *Gas Insulated Switchgear*, 'aparamenta aislada en gas'
- » NOA: Noroeste Argentino
- » PSFV: parque solar fotovoltaico
- » RAEE: residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
- » SADI: Sistema Argentino de Interconexión
- » UV: ultravioleta

La expansión de la minería es impensable sin un desarrollo de la red eléctrica. Y si de la puna se trata, baste la conclusión que sacó EDESA en su momento: para abastecer 400 MW de demanda, se requeriría un camión de combustible de 35.000 litros descargando cada treinta segundos.

La expansión eléctrica en la puna es una necesidad.

La expansión eléctrica en la puna es una necesidad. En la actualidad, por lo menos en la zona salteña, hay una línea de abastecimiento radial que puede llegar a transportar 650 MW y es alimentada con generación solar, lo cual significa que el flujo va desde la puna hacia los centros de consumo. Instalar un centro de consumo en la zona aliviaría esa línea y permitiría, además, mayor ingreso de generación solar. El futuro se puede vislumbrar, pero el camino no está exento de desafíos. Por eso, cuatro expertos fueron convocados a dialogar sobre el tema en el marco del Foro de Ingeniería Eléctrica que se llevó a cabo en la ciudad de Salta en 2025. El ingeniero Alejandro Naessens fue el moderador:

- » Ing. Alejandro Naessens, jefe de SSEE y Lat Interandes, AES Argentina
- » Ing. Mario Basso, gerente de Operaciones PSFV Altiplano y Puna en Neoen
- » Ing. Carlos González, PT SER Growth Leader Latam GE
- » Ing. Benjamín Dahrouge, Operaciones en EDESA

En esta oportunidad, una parte del diálogo en donde se ahondó en la construcción y mantenimiento de los parques solares de la puna salteña. Se trata de proyectos que surgieron por las rondas Renovar I y II de CAMMESA, de 200 MW en total, operados por Neoen.

URL estable: <https://www.editores.com.ar/node/8498>

Alejandro Naessens. —Mario, ¿cuáles fueron los desafíos técnicos de construcción de los parques solares?

Mario Basso. —Trabajar a 4.000 msnm conlleva distintos niveles de aislación. Trabajar sobre una línea radial hace que la corriente de cortocircuito sea baja. Para toda la aislación de las celdas de medida de tensión de los parques se usó tecnología GIS, lo mismo que para la estación transformadora. Eso permitió hacer una estación transformadora encapsulada, lo cual permite una facilidad de mantenimiento: hay un puente grúa, no se requiere de grúa para hacer un cambio.

Alejandro Naessens. —¿Cuáles son los beneficios en cuanto a la operación y al mantenimiento de la tecnología GIS en la puna?

Carlos González. —La tecnología GIS es la mejor opción tecnológica para la altura porque no está atada a los niveles de resistencia eléctrica.

FORO ingeniería
ELÉCTRICA

Más sobre este tema:

Los próximos 20 y 21 de mayo de 2026, Foro de Ingeniería Eléctrica en Jujuy:

- » Bloque "Del éxito de Cauchari al cuello de botella del SADI"
- » Bloque "La red de la puna y el desafío de la 'última milla' minera"
- » Y muchos bloques más.

Más información: fie.editores.com.ar

Funciona a presión de gases SF6 encapsulada, y no se ve afectada por la densidad del aire. A diferencia de la opción AIS, no sufre dieléctricamente. Todo eso implica esfuerzos de mantenimiento muy bajos. La inversión inicial es alta, los costos son un poco más elevados en relación respecto de una subestación convencional, pero eso se ve contrarrestado con la reducción en costos de mantenimiento y procedimientos.



Subestación transformadora del Parque Solar Cauchari

Fuente: Manuel Arequipa

Alejandro Naessens. —¿Qué características tiene el suelo? ¿Cómo afecta a la construcción de un parque solar?

Mario Basso. —La puna tiene un coeficiente de resistividad del suelo muy bajo. Eso conlleva desafíos para la regulación de las protecciones. Si hay una protección de impedancia, al localizador de falla le cuesta actuar por la baja resistividad de las puestas a tierra de todas las torres. Por eso se impulsan tecnologías como usar directamente una protección diferencial. Estos parques solares en particular son 450 ha de paneles solares. No se puede hacer una malla de puesta a tierra de 400 ha, entonces se utilizaron puestas a tierra locales en cada tracker. Se trató de ganar resistividad con material externo.

La puna tiene un coeficiente de resistividad del suelo muy bajo. Eso conlleva desafíos para la regulación de las protecciones

Alejandro Naessens. —¿Hay corrosión?

Mario Basso. —Los parques están instalados sobre salares, hay corrosión. Eso hay que tenerlo en cuenta a la hora de hacer una línea de alta tensión: las fundaciones no son eternas. En los parques solares hemos sido muy conscientes de esto porque hicimos un estudio del suelo e identificamos el grado de abrasividad del suelo, y eso llevó a que, por ejemplo, todas las incas tengan una protección galvánica más alta.

Alejandro Naessens. —¿Cuentan con protección catódica?

Mario Basso. —En los parques, lo único que tiene protección catódica son las riostras de las antenas de radio, con bolsa absorbente que se degrada con el tiempo. Normalmente esa protección se pone en un elemento que sufra una inducción

y conlleve a un desgaste por corrosión. En las líneas sí pusimos protección catódica.

Alejandro Naessens. —¿Cómo afecta la radiación?

Mario Basso. —Para el tendido de los cables, ya sea de media, baja, de control o los cables solares, la radiación daña muchísimo más rápidamente que en el llano, entonces hay que ser más selectivo con todos los productos, hasta con los precintos. Hay mucha variedad en el mercado, y muchos de los que afirman soportar radiación infrarroja, al poco tiempo demuestran lo contrario. Los conectores MC4, por ejemplo, están montados debajo, en el centro, bien pegados al tracker, para que no les dé el sol. Muchas decisiones de montaje se tomaron en la etapa de proyecto: es ahorro en mantenimiento.

Alejandro Naessens. —El frío también afecta...

Mario Basso. —En los parques, las fundaciones se hicieron calefaccionadas a fin de lograr la rigidez necesaria para los caminos, sobre todo por la estación transformadora. La estación transformadora posee un banco de transformación monofásico, tres fases más reservas de 200 MW donde se conectan ambos parques de 100 MW.

Las fundaciones se hicieron calefaccionadas a fin de lograr la rigidez necesaria para los caminos, sobre todo por la estación transformadora

Alejandro Naessens. —¿Y el viento?

Mario Basso. —Las condiciones de viento en la puna son especiales. Para el caso particular de los trackers se tuvieron que simular túneles de viento, porque originalmente se basaban en me-

diciones de estaciones meteorológicas como la de San Antonio de los Cobres, donde la ráfaga de viento promedio está en el orden de los 100 km/h. Pero la puna no es siempre 100 km/h, hay torbellinos, hay fenómenos que hacen que las condiciones de viento sean distintas. A nosotros, particularmente, nos llevó a tener que cambiar o reforzar los trackers, es decir, cambiar la posición de defensa. En las zonas bajas de la Argentina, cuando hay viento, los trackers se ponen a cero grados; en la puna, esa no es una condición de defensa por los torbellinos que hay, entonces tenemos una posición de descanso que es a 45° dependiendo de dónde sople el viento. Eso conllevó cambiar estaciones meteorológicas para poder sectorizar los parques y no perder la generación cuando haya fenómenos de viento.

En las zonas bajas de la Argentina, cuando hay viento, los trackers se ponen a cero grados; en la puna, esa no es una condición de defensa por los torbellinos que hay

Alejandro Naessens. —¿Y la variación térmica?

Mario Basso. —La línea de Interandes de 345 kV —Mario se refiere a la línea de transmisión de 409 km que conecta la subestación Andes, en Chile, con la subestación Cobos, en Salta—, dadas las condiciones de variación térmica entre el día y la noche, más las condiciones de nevada, requiere torres de acero de alta resiliencia. Ese acero no se consigue en el país. Para las ampliaciones de 2 km, trajimos acero de Turquía.

»Y en los parques, hemos tenido problemas de salitre o de humedad en los inversores por un problema de condensación fruto de la variación térmica. Eso llevó a que tengamos que poner algún sistema tipo sílica gel para que absorba la humedad de los inversores.

Alejandro Naessens. —¿Qué precauciones hay que tomar frente a las descargas atmosféricas?

Mario Basso. —No es un tema menor la descarga atmosférica, sobre todo para las líneas de transmisión. Como dije, la puna tiene una resistivi-



Paneles Solares en Cauchari
Fuente: Manuel Arequipa

dad muy mala y lo peor que hay para una línea de transmisión es que tus torres no tengan una buena puesta a tierra. Eso conlleva a que, cuando haya un rayo, una falla puede evolucionar a bifásica y termine sacando a servicio una línea.

Carlos González. —De por sí el diseño de los sistemas de protección contra descarga atmosférica son distintos también por la baja densidad del aire; implican requerimientos adicionales de diseño. Y en el nivel operativo, se ven afectados todos los procedimientos de operación y todos los procedimientos de seguridad.

Mario Basso. —A tal punto es mala la resistividad de la puesta a tierra, que en la línea de Interandes hay vanos que tiene un péndulo, una puesta a tierra que va de una torre a la otra. Estamos hablando de doscientos o trescientos metros de cable enterrado para alcanzar un valor óhmico que ayude frente a una descarga, para que recaiga sobre el hilo de guardia, viaje por la línea y se vaya descargando en la torre sucesiva hacia ambos lados para que se extinga lo más rápido posible sin que afecte al conductor. La puna es muy linda, cielos muy limpios, mucha radiación, pero también hay tormenta.

No es un tema menor la descarga atmosférica, sobre todo para las líneas de transmisión.

Alejandro Naessens. —¿Qué protección contra descargas atmosféricas se instaló en los parques?

Mario Basso. —En particular en los parques no tenemos pararrayos para todo porque es imposible tener las cuatrocientas hectáreas cubiertas por pararrayos. Sí tenemos un sistema de alerta temprana y estaciones meteorológicas repartidas en todo el parque. En caso de que se avecine una tormenta, se suspenden las tareas de campo. Las subestaciones y la GIS sí están protegidas.

»El hecho que el GIS sea encapsulado, es decir, que esté dentro de un edificio, hace que el sistema de protección de descarga atmosférica sea distinto. Hemos optado por dos sistemas de pararrayos: en la zona de los transformadores, sistema convencional mediante hilo de guardia, y para el edificio GIS hemos utilizado un híbrido, hemos utilizado cebadores y no la pica de franklin común. Si uno estudia el conteo de descargas, nota que los cebadores funcionan mejor en la puna».



Paneles solares desde subplanta
Fuente: Manuel Arequipa

Alejandro Naessens. —¿Qué resultados arrojó esa estrategia contra las descargas atmosféricas?

Mario Basso. —Tenemos medidores de descarga atmosférica en las picas testigos de franklin y en los cebadores que están en los edificios. Al día de hoy, hemos notado una mayor cantidad de descarga en los cebadores. Podría haber una condición de ubicación, pero los pararrayos están a trescientos metros de distancia entre sí aproximadamente.

Al día de hoy, hemos notado una mayor cantidad de descarga en los cebadores.

Alejandro Naessens. —¿Los parques han sufrido daños por descargas atmosféricas?

Mario Basso. —Sí, menores. Principalmente alguna descarga en alguna antena. Cada serie de trackers tiene una antena de wifi que se comunica con los demás trackers y al tracker maestro. Hemos sufrido algunas roturas de esas antenas. Algunas descargas han caído sobre los trackers mismos, pero por suerte no perforaron los paneles.

Alejandro Naessens. —¿Cuáles son los desafíos del mantenimiento de paneles solares en la puna?

Mario Basso. —Una ventaja de la puna es que la tierra o el polvo que hay en suspensión es más como arena. No hay humedad, con lo cual no se forma barro, entonces esa tierra se deposita en los paneles, pero el viento la saca, y alguna que otra vez llueve o nieva y se produce la limpieza. Respecto de las celdas, normalmente se hacen campañas con drones. Antes de montar el panel se hace una revisión UV para garantizar que toda la celda esté completa y constatar el tiempo de vida útil. Y después, sí, se hacen campañas anua-

les con drones para ver el grado de degradación de los paneles.

»También vale decir que nosotros no tocamos el suelo natural y eso nos significó muchísimas menos tareas de mantenimiento. Los trackers permiten seguir la ondulación del terreno, y por no tocar el suelo natural, evitamos la erosión y evitamos el polvo en suspensión».

Nosotros no tocamos el suelo natural y eso nos significó muchísimas menos tareas de mantenimiento. Los trackers permiten seguir la ondulación del terreno

Alejandro Naessens. —¿Los paneles para la puna son los mismos que para otras zonas?

Mario Basso. —Hemos reforzado el vidrio protector porque la abrasión de la arena y el viento es mucho mayor.

Alejandro Naessens. —¿Cuál es el porcentaje de falla de los paneles y cuál es su disposición final?

Mario Basso. —La tasa de cambio por falla eléctrica es muy baja. La principal causa de cambios de paneles ha sido de roturas por voladura debido al viento, mala sujeción, alguna falla en obra, alguna operación indebida. Si se deja una caja abierta, cuando el tracker se mueve, perfora un panel. Al día de hoy hemos reemplazado 312 paneles sobre un total de quinientos mil.

»Y sobre la disposición final, es un gran problema. Son RAEE, pero hasta que no se resuelva bien cómo es la disposición de un RAEE y cómo lo puedo dar de baja como residuo, no los estoy dando de baja. En una primera etapa, los que no pasaban las revisiones de termografía o de eficiencia eléctrica se donaron a la Universidad Ca-

tólica o al ejército. Hoy en día, los estamos guardando porque hay paneles que, por ejemplo, tienen una sola celda quemada y los cambiamos porque eso influye en la eficiencia del parque, pero hay otra realidad: la tecnología avanza tan rápido que yo no sé si el año que viene voy a conseguir ese mismo panel y el parque tiene un contrato de operación y mantenimiento y una vida útil de veinte años».

Al día de hoy hemos reemplazado 312 paneles sobre un total de quinientos mil.

Alejandro Naessens. —¿Cuáles son los desafíos respecto al impacto ambiental?

Mario Basso. —Todo el proyecto tiene un estudio de impacto ambiental aprobado. Tenemos un plan de monitoreo que debemos informar a las secretaría de Medio Ambiente o Minería de la provincia de Salta. Hacemos monitoreos de flora, de fauna, de aves y de suelo en distintos lugares y periodos. Flora, fauna y suelo son anuales, y aves son semestrales. Se constata que no haya una afectación. Nosotros, por ejemplo, vamos manteniendo las especies predominantes en el área, las podemos, aunque suene raro, porque hacen un freno natural a la erosión del suelo y eso evita el polvo en suspensión. Las podemos para que no lleguen a afectar a los paneles, pero no las corremos ni las arrancamos. Mientras más consolidado esté el suelo, mejor.

Hacemos monitoreos de flora, de fauna, de aves y de suelo en distintos lugares y periodos.

Alejandro Naessens. —Los parques de La Puna y Altiplano normalmente están terminando entre los primeros puestos de eficiencia de CAMMESA, ¿cuál es la clave?

Mario Basso. —Para que los parques funcionen, hay que cumplir con lo que les pidió la Ronda Renovar. Y la clave de nuestra eficiencia es el momento de inicio del turno de operaciones. Antes de las siete de la mañana, cuando está por comenzar la generación, todas las cuadrillas están afuera revisando que todos los trackers comiencen a operar correctamente. También prestamos mucha atención a los cambios que se hacen por el viento. En tercer lugar, diría la atención a los controles de inversores y, por último, las estaciones de transformación. ■■

Antes de las siete de la mañana, cuando está por comenzar la generación, todas las cuadrillas están afuera revisando que todos los trackers comiencen a operar correctamente.
