



DIGSILENT LTDA



Informe de Potencia Máxima

Planta Fotovoltaica Cerro Dominador 100 MW

Versión 2.0

Mayo de 2020

Contenido

| | | |
|----|---|-----------|
| 1. | ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2. | DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA | 3 |
| 3. | ANÁLISIS GENERAL DE LAS MEDICIONES | 7 |
| 4. | POTENCIA MÁXIMA | 8 |
| | ANEXO 1 .- MANUAL EQUIPO DE MEDICIÓN | 12 |
| | UM EN EEM-MA600 | 12 |
| | ANEXO 2 .- MINUTA DE RESPUESTAS A OBSERVACIONES REALIZADAS POR EL COORDINADOR..... | 13 |

1. ANTECEDENTES

La empresa Cerro Dominador PV S.A. ha contratado a DigSILENT LTDA para realizar la determinación de los Tiempos de Partida y Detención de la Planta Fotovoltaica Cerro Dominador (PFCD) de 100 MW nominales, ubicada en la localidad de María Elena, Antofagasta Chile.

El presente informe hace uso de los datos obtenidos de mediciones específicas realizadas con fecha 01/03/2018 en la PFCD, los cuales son utilizados para determinar la potencia máxima de la planta. Mayores detalles de la planta y de las mediciones realizadas y procesadas, se entregan en las secciones que siguen.

2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

La Planta Fotovoltaica Cerro Dominador consta de 5 campos de paneles fotovoltaicos, donde los campos u anillos 1, 3 y 4 están equipados con 20 inversores de 1 MW cada uno, mientras que el anillo 2 tiene 18 inversores (18 MW en total) y el campo 5 contiene 22 inversores de 1 MW cada uno. Habida consideración de ello, cada campo se conecta mediante un anillo en nivel 33 kV, hacia la barra colectora en MT; es decir cada campo se conecta a dicha barra mediante 2 caminos con sus correspondientes 2 interruptores en MT.

Los inversores operan en su parte DC con tensiones del orden de 900 VDC, y en el lado de AC con tensión de 365 VAC. Los inversores tienen 3 columnas de puentes de tiristores y son del tipo IF del fabricante JEMA de procedencia española. La técnica de disparo de los tiristores es denominada control resonante proporcional, la cual está basada en utilizar la misma frecuencia de la red para efectuar los disparos de manera de disminuir la producción de armónicos.

Cada 2 inversores se conectan a un transformador elevador de tres enrollados con conexión YNd11d11, potencia 2,3 MVA y relación 0,365-0,365/33 kV.

El sistema de cables en MT consta de cables con aislamiento tipo XLPE de aluminio, con secciones de 400 mm², 300 mm², 240 mm², 185 mm², 150 mm² y 95 mm² con longitudes de hasta 1,39 km. También existen tramos aéreos de distancias del orden de 1,7 km, con cables desnudos de aluminio igualmente.

La celda (switchgear) de MT tiene 13 interruptores. En 10 de ellos llegan los 5 anillos y los tres restantes se conectan a los servicios auxiliares de la estación transformadora, al transformador ZIG-ZAG y a la salida hacia el transformador de poder. Esta configuración interna de los inversores y sus conexiones hasta llegar al switchgear que los concentra, se puede apreciar en la figura 1.

Esta figura muestra los cinco anillos con sus respectivos inversores (cada uno de 1 MW) y la conexión que forman ellos mediante cableado de 33 kV para llegar al switchgear. En dicho punto enmarcado en la figura, también se aprecian el transformador zig-zag, los SS/AA de esta subestación y la conexión con el transformador de poder elevador.

En cuanto al transformador de poder, se trata de una unidad de 110 MVA de potencia, relación 220/33 kV, grupo de conexión YNd1 y una impedancia de 12,5 %. Adicionalmente está equipado con un cambiador de tomas en HV de $\pm 8 \times 1,25 \%$, total $\pm 10\%$. La figura 2 ilustra la salida del switchgear hacia el transformador de poder, el cual posteriormente se interconecta mediante circuito de 220 kV a la S/E Cerro Dominador, en particular al paño o bahía J4. Esto se describe a continuación.

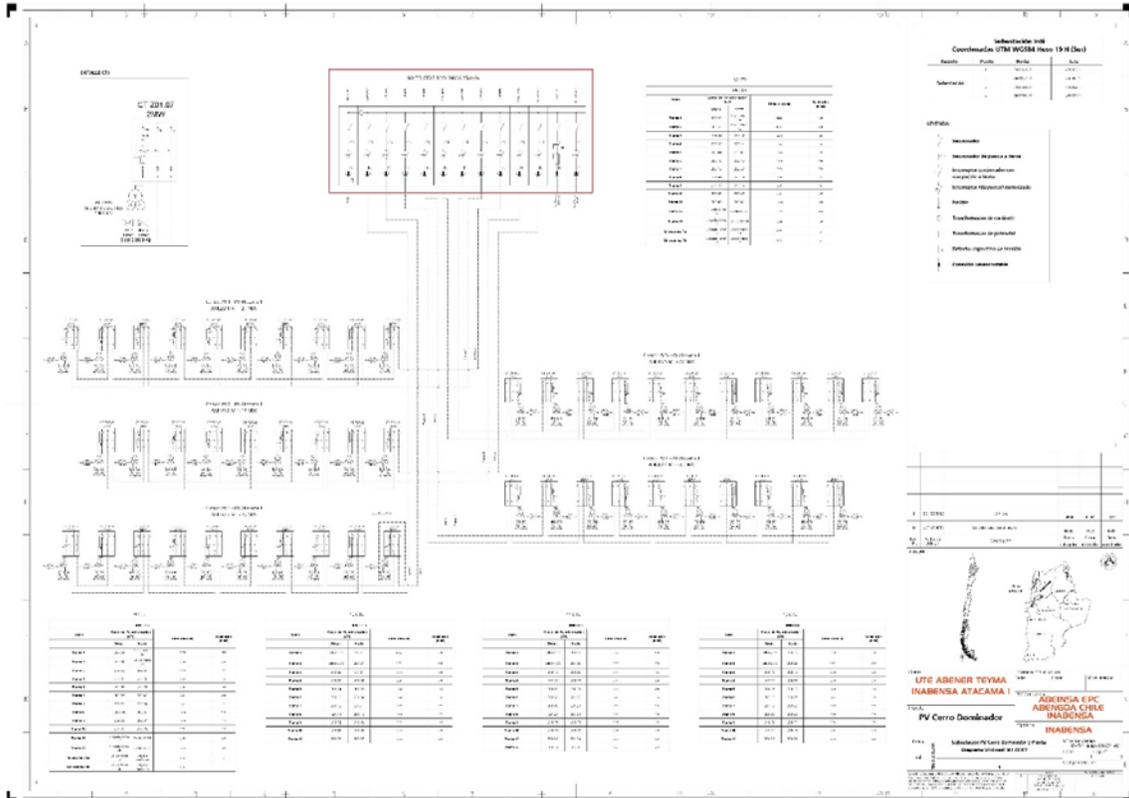


Figura 1. Inversores y su conexión interna hasta switchgear

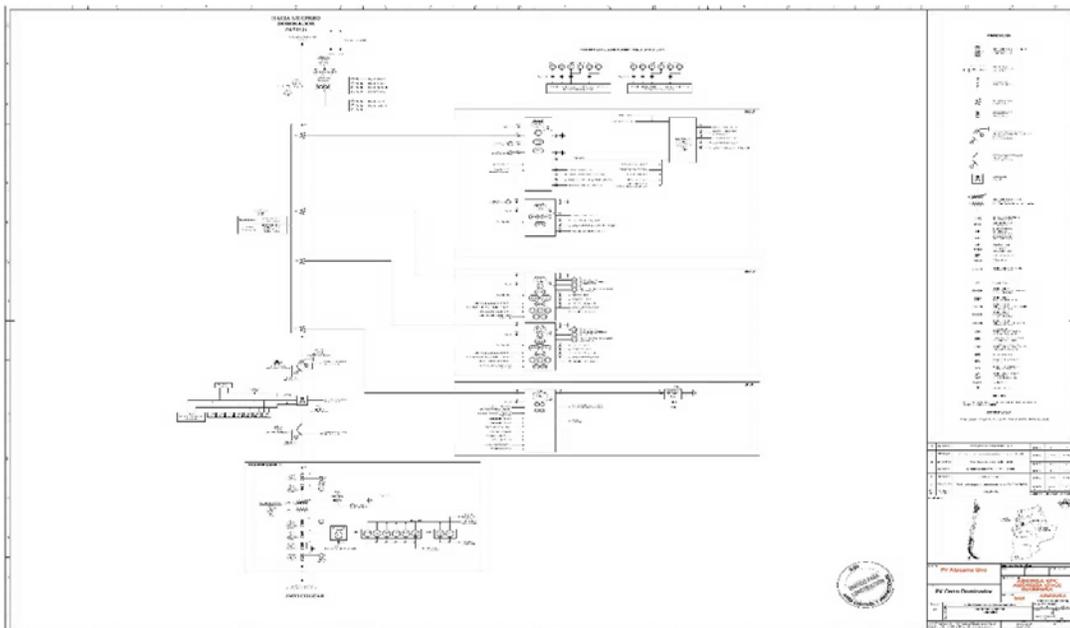


Figura 2. Salida del switchgear mediante transformador de poder

Una vez realizada la transformación a 220 kV (en S/E Elevadora), se procede a conectar esta salida con la S/E Cerro Dominador, que representa la barra de transacción comercial (pañó o bahía J4). Lo anterior se realiza mediante un segmento de línea de 3 km, en nivel 220 kV, que une la subestación Elevadora con la subestación Cerro Dominador 220 kV, punto en el que se tiene la interconexión hacia el resto del sistema mediante dos circuitos: uno hacia la Subestación Encuentro 220 kV y el otro hacia la Subestación Sierra Gorda 220 kV (hay otro circuito expreso entre ambas subestaciones).

Todo lo anterior se puede apreciar en la Figura 3, la cual presenta un diagrama unilineal simplificado de toda la instalación asociada a la PFCD. En esta figura se muestran/resaltan los puntos utilizados para las mediciones, cada uno de los cuales se describe seguidamente.

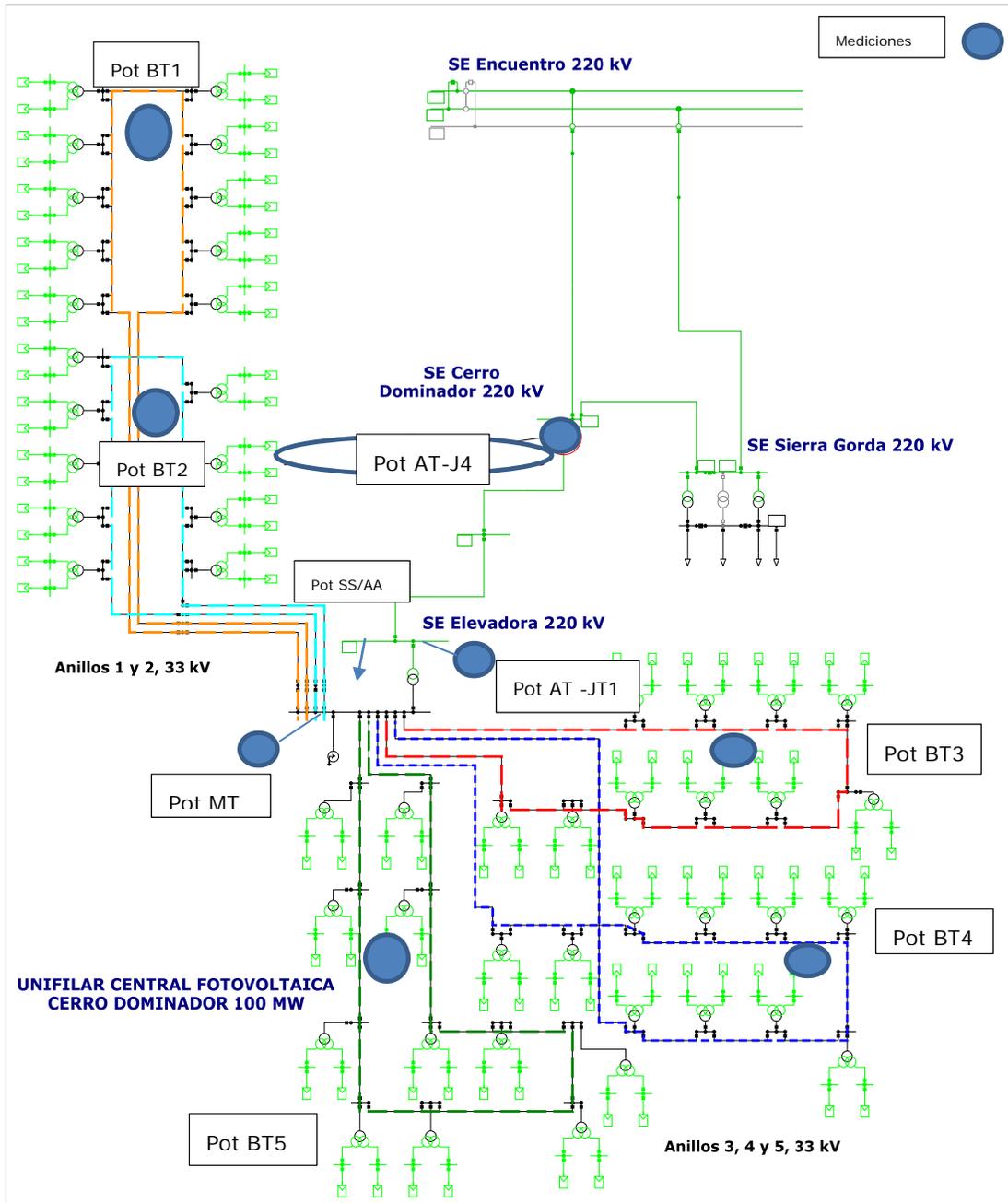


Figura 3. Diagrama unilineal de la PFCD con los puntos de medición

En concreto, los puntos medidos buscan hacer un seguimiento de la potencia AC desde que se genera a la salida de los inversores, antes de subir a 33 kV por el transformador común a dos inversores, la que se denomina aquí **Pot BT1-2, Pot BT3, Pot BT4 y Pot BT5**, hasta terminar en la entrega que hace al SEN la PFCD que corresponde al punto **Pot AT-J4** (transacción comercial). Estas son las mediciones de puntos extremos de la planta, a decir la entrada y la salida de la potencia AC. Notar que existen cinco anillos (Pot BT1, 2, 3, 4 y 5), cuya suma denominada aquí por **Pot BT**, corresponde a un generador equivalente de toda la PFCD, es decir la potencia bruta de los 100 inversores.

Habida consideración de ello, entremedio se entregan-miden otras potencias que son utilizadas en este informe. Una de ellas corresponde a la que ingresa a la barra de Media Tensión: **Pot MT**. Esta medición representa la agregación de potencia de todos los anillos colectores en 33 kV, previo a subir al transformador de alta en la subestación elevadora.

Otra medición relevante corresponde a **Pot AT-JT1 (equipo ION)**, la cual representa la potencia en Alta Tensión a la salida del transformador 33/220 kV. En este caso la diferencia entre las potencias **Pot MT** y **Pot AT-JT1**, corresponde tanto las pérdidas en el transformador elevador como al consumo de los SS/AA de dicha subestación. Es necesario señalar que la información del paño JT1 (**Pot AT-JT1**) no se pudo encontrar en el portal de Reportes de medidas históricas del coordinador (PRMTE), dicho registro se obtuvo del medidor del paño JT1 proveniente del centro de control de Enor Chile. Información que se encuentra disponible para consulta del ente coordinador si lo considera necesario.

Respecto del consumo de los servicios auxiliares de la S/E Elevadora, se destaca que esta subestación se cuenta con un medidor de energía marca Phoenix Contact modelo UM EN EEM-MA600, el cual permite reportar los consumos de los SS/AA (Pot SS/AA) que son registrados y almacenados en el servidor SCADA de la PFCD. La siguiente figura muestra imagen del medidor y en el anexo 1 se encuentra el manual de este equipo.



Figura 4. Imagen del medidor de los consumos de los SS/AA

Todas las mediciones señaladas aquí son empleadas en el presente documento.

En síntesis, se cuenta con la **Pot BT** que corresponde a la suma de la generación AC de los 100 inversores, es decir equivale a la potencia bruta disponible en la PFCD. Por su parte, la medición **Pot MT** involucra la suma de la potencia AC de los cinco anillos en 33 kV al llegar a la S/E elevadora. Notar que la diferencia entre ambas potencias: **Pot MT – Pot BT**, corresponde a la pérdida que se produce en los 50 transformadores de los inversores y las pérdidas en todo el cableado en 33 kV.

De manera análoga, la diferencia entre **Pot AT-JT1 y (Pot MT+Pot SS/AA)**, representa la pérdida en el transformador elevador 33/220 kV.

3. ANÁLISIS GENERAL DE LAS MEDICIONES

Tal cual se ha indicado, los resultados que a continuación se muestran y analizan corresponden a mediciones específicas realizadas el 01 de marzo de 2018. Las condiciones de la planta presentes cuando se realizaron las mediciones fueron:

- Se dispone de 49 de los 50 centros de transformación, producto de la no disponibilidad del transformador del CT-43.
- 293 Columnas en operación (se deben restar las 6 columnas del CT 43 y una columna del CT 15), con ello en teoría la potencia nominal debe reducirse en 2,3 MW aproximadamente.
- La condición de clima despejado, con una irradiancia normal (ver gráfico).
- Las mediciones en los puntos Pot BT, Pot MT, Pot AT-JT1 y Pot AT-J4 fueron realizadas por diversos instrumentos cada quince (15) minutos, es decir para cada potencia se tiene 96 mediciones en total para el día completo. Tal cual se indicó la medición Pot SS/AA se obtiene de un equipo específico (ver anexo 1) que se encuentra en la subestación elevadora, cuyo valor se envía directamente al SCADA.

Dada la importancia del nivel de radiación presente, la figura que sigue ilustra la irradiancia presente durante ese día, obtenida como promedio de las dos estaciones que tiene la PFCD. La muestra se indica cada cinco minutos. Es posible señalar que dicho nivel se encuentra en torno a 1.100 W/m².

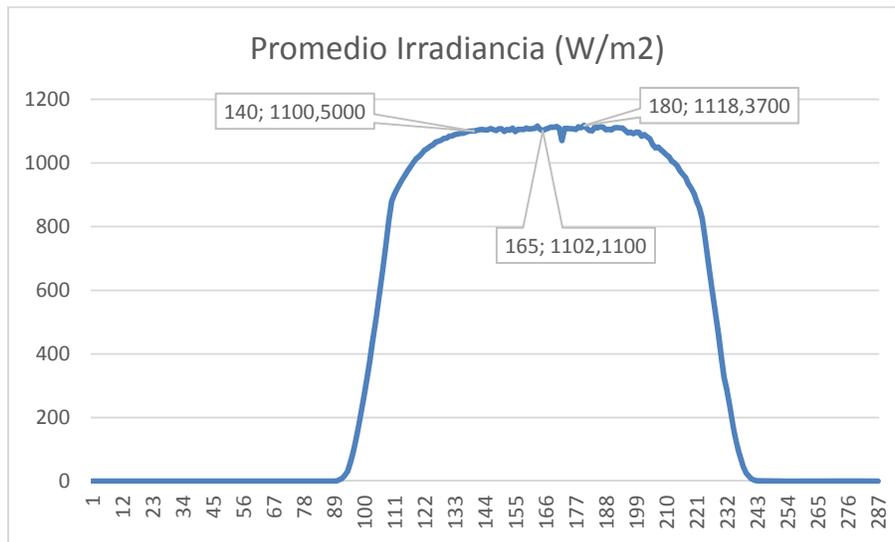


Figura 5. Promedio Irradiancia durante las mediciones

Considerando este nivel de radiación sobre la PFCD, la siguiente figura 6 muestra la evolución de la potencia en los puntos medidos. Así, la figura señala la evolución temporal de la potencia en: Pot BT, Pot MT, Pot AT-JT1 y Pot AT-J4, apreciándose el instante donde se busca determinar la potencia máxima. Se reitera que cada medición (en todos los puntos de la red señalados) se realiza cada quince minutos, es decir se cuenta con 96 muestras en total para dicho día.

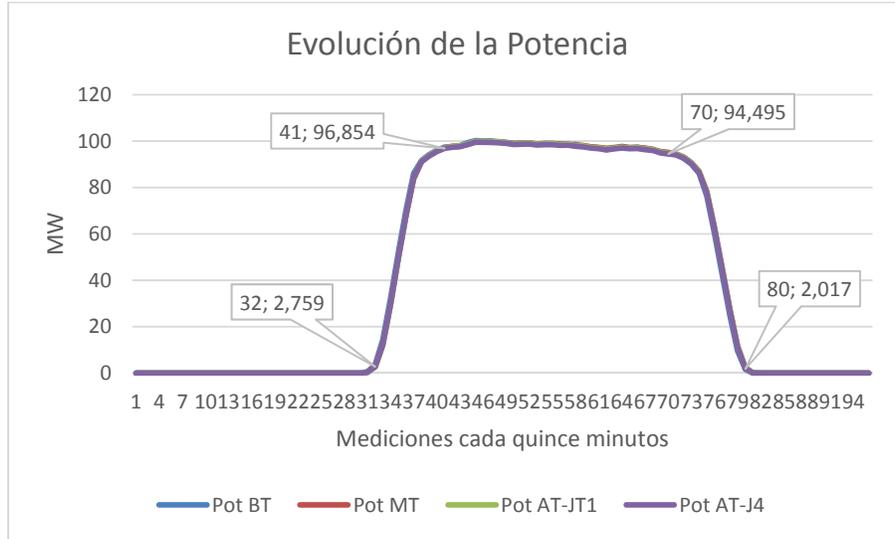


Figura 6. Evolución General de la Potencia Inyectada por la PFCD en diversos puntos

En términos generales es posible destacar como la potencia en BT es levemente superior que la potencia finalmente entregada en J4, que corresponde al punto de transacción comercial. Las otras dos mediciones quedan atrapadas entre estas dos. De todas formas se debe señalar que, no todas las mediciones presentan el mismo nivel de calidad (clase de la medida), ello explica posibles diferencias en la lógica de su magnitud.

Considerando las mediciones de esta figura es posible inferir lo siguiente:

- la planta comienza a generar sobre 2 MW a partir de las 08:00 aproximadamente
- la planta genera menos de 2 MW a partir de las 20:00 aproximadamente
- entre las 10:00 y las 15:00 aproximadamente, genera un valor relativamente constante sobre los 90 MW
- se puede apreciar una potencia máxima del orden de 100 MW, la cual será analizada y avalada en detalle en la siguiente sección.

4. POTENCIA MÁXIMA

De acuerdo a lo solicitado por el Coordinador del Sistema Eléctrico Nacional, la potencia máxima ha de basarse en un esquema de mediciones como el señalado en la siguiente figura:

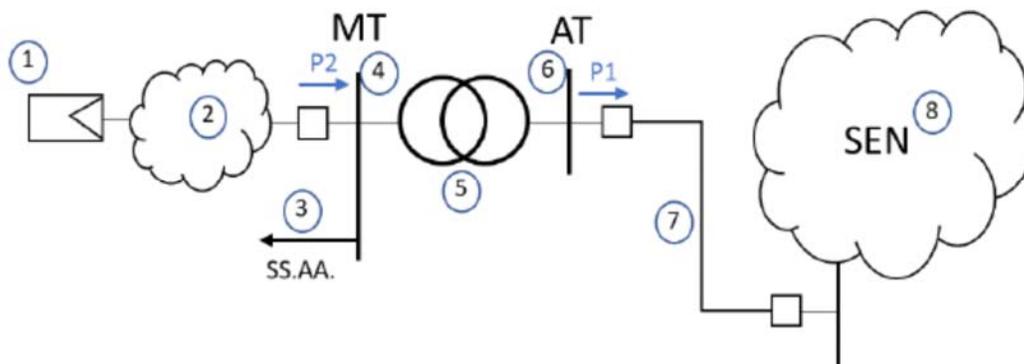


Figura 7. Equivalente teórico para mediciones de una planta generadora

Donde se establece que:

$$P_{Max\ bruta} = P1 + P_{trafo} + SS.AA. + P_{colector}$$

ó

$$P_{Max\ bruta} = P2 + P_{colector}$$

y también que:

$$P_{Max\ neta} = P1$$

ó

$$P_{Max\ neta} = P2 - SS.AA. - P_{trafo}$$

De acuerdo a esta definición teórica-práctica, es posible deducir que la Potencia Máxima bruta o P_{Max bruta}, equivale a la medición aquí denominada **Pot BT**. Dicho de otra forma, corresponde a la **potencia AC bruta** que genera el parque, la cual se va desagregando en las pérdidas del colector, las pérdidas en los SS/AA, las pérdidas en el transformador de subida y finalmente en lo que se exporta al SEN. Con lo cual la suma de las mediciones: **Pot BT1-2, Pot BT3, Pot BT4 y Pot BT5** ilustradas en la figura 3, corresponde justamente a la medida de **Pot BT (agregación de todas las medidas en Baja Tensión de los inversores)**.

Por otro lado, la potencia P₂ señalada en la figura 7, corresponde a la medición aquí denominada **Pot MT**. Finalmente, la potencia P₁ de la figura 7, es equivalente a la potencia **Pot AT-JT1**.

Tomando en cuenta estas equivalencias, la siguiente figura 8 muestra la evolución de estas tres mediciones a la hora de máxima irradiancia del **día 01/03/2018**. En ella se destacan los valores específicos de la **Pot BT, Pot MT y Pot AT-JT1** en el periodo que se identifica la máxima potencia bruta de la PFCD.

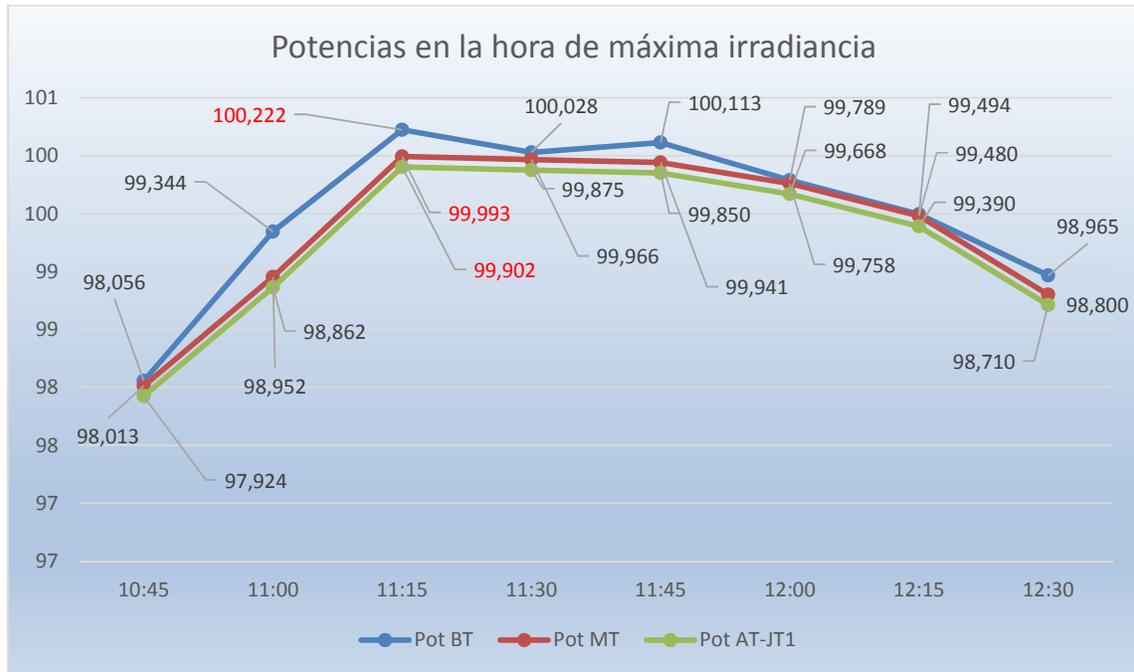


Figura 8. Potencia Activa Pot BT, Pot MT y Pot AT-JT1 durante máxima irradiación

Respecto de la potencia bruta **Pot BT** (PMax Bruta) es posible inferir lo siguiente:

- El valor máximo para dicho día se dio entre las 11:00 y las 12:00 horas, más precisamente a las 11:15.
- El valor promedio durante las 11:00 y las 12:00 fue de 99,899 MW
- El valor máximo alcanzado fue de 100,222 MW (destacado en rojo).

Se recuerda que mediciones se realizan cada 15 minutos, por ende son valores que corresponde a una operación estable de la PFCD.

Habida consideración del instante en que se alcanza/mide la PMax Bruta, la potencia **Pot MT** (P2) mide 99,993 MW, mientras que la potencia **Pot AT-JT1** (PMax neta) logra un valor de 99,902 MW; ambos valores destacados en rojo en la figura 8.

En cuando a los consumos de los servicios auxiliares de la subestación elevadora, la siguiente gráfica extraída del SCADA de la PFCD, muestra su evolución durante el periodo en que se identificó la potencia máxima de la planta. La fuente de esta información se encuentra en el siguiente enlace, propiedad de la planta:

<https://web3.greenpowermonitor.com/application/#/analysis/quick/3118>

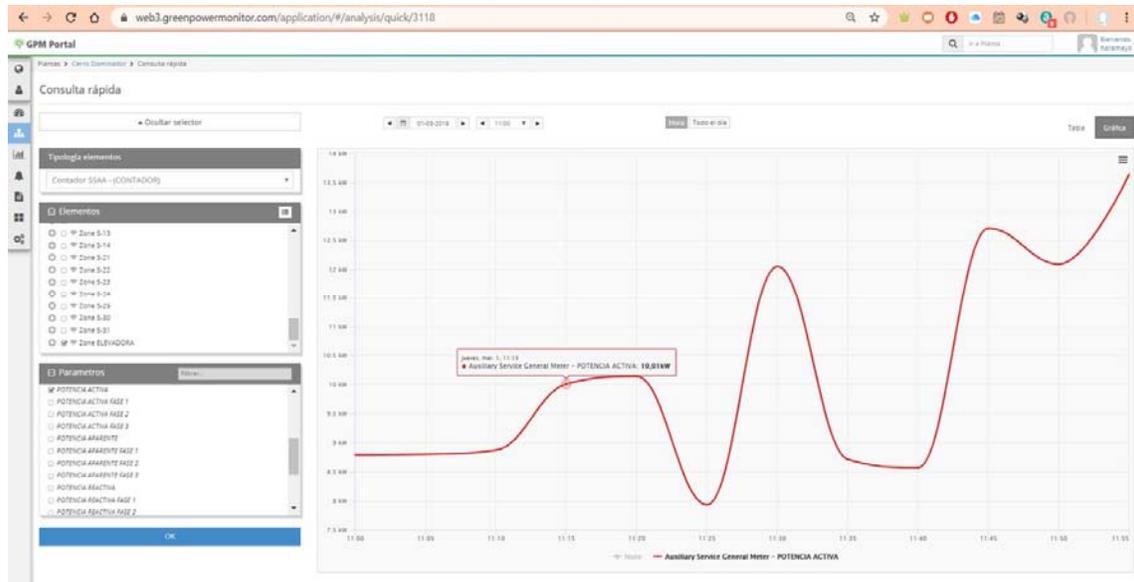


Figura 9. Evolución de los consumos de los SS/AA de la S/E Elevadora 33/220 kV

Respecto de esta evolución temporal, es posible rescatar un valor de 10,01 kW de potencia a las 11:15, instante en que se identificó y estimó la potencia máxima bruta de la PFCD.

Entonces para la hora de máxima potencia identificada/medida, se tienen los siguientes valores:

Pot BT (PMax Bruta) = 100,222 MW

Pot MT (P2) = 99,993 MW

Pot AT-JT1 (PMax neta) = 99,902 MW

Pot SS/AA = 0,01001 MW

Con lo cual se puede inferir que para ese instante se tiene lo siguiente:

Pcolector = 100,222 – 99,993 = 0,229 MW

Ptrafo = 99,993 – 99,902 – 0,01001 = 0,0809 MW

Resumiendo, de las mediciones logradas, los valores de potencia máxima bruta y neta de la PFCD resultan ser:

PMax bruta = 100,222 MW

PMax neta = 99,902 MW

ANEXO 1 .- MANUAL EQUIPO DE MEDICIÓN UM EN EEM-MA600

ANEXO 2 .- MINUTA DE RESPUESTAS A OBSERVACIONES REALIZADAS POR EL COORDINADOR

OBSERVACIONES GENERALES

- a) Se solicita incorporar al informe técnico los valores de pérdidas en la central, servicios auxiliares, pérdidas en el transformador y potencia neta y bruta, según lo especificado en Anexo 1 de la presente minuta.

En caso de no contar con la medición de los SS.AA. y de no poder realizarla, se solicita informar su valor, indicando la metodología que permite su estimación al operar el parque en su potencia máxima.

La sección 4 detalla cuantitativamente el detalle de todas estas potencias para el instante en que se identificó la potencia máxima.

- b) Se solicita incorporar registros y gráficos de operación tal como se indica en el artículo 39 del anexo técnico "Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras", donde se especifica que "el valor de Potencia Máxima deberá ser obtenido en función de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías".

En las secciones 3 y 4 se explica el origen de las mediciones, junto con los gráficos pertinentes. Donde se puede ver la relación entre los niveles de irradiación solar y el periodo en que se produce la máxima potencia activa.

- a) Se solicita incorporar un diagrama unifilar de central FV Cerro Dominador en donde se detalle ubicación de los medidores de servicios auxiliares (SS.AA.) y de los medidores de potencia activa de la central. Considerar que los puntos de medición de potencia, energía y SS.AA. deben ser iguales a los considerados en el establecimiento de mínimo técnico y los parámetros de partida y detención del parque.

Esto se encuentra en la figura 3. A modo de aclaración las mediciones Pot BT se muestran de manera agregada en dicha figura, es decir una colección para cada campo (cinco en total). En la práctica las mediciones empleadas son individuales de cada inversor, es decir 100 en total y luego se agregan o suman las 100. El resto de los puntos está indicado en dicha figura y explicado en el texto de la sección 2.