



**P23062**  
**ESTUDIOS DE CONEXIÓN PF DON**  
**HUMBERTO**

**25.09.2024**

Informe Mínimo Técnico  
23062-01-ES-IT-019 Rev. B  
Preparado para Enel Green Power Chile S.A.





**P23062**  
**ESTUDIOS DE CONEXIÓN PF**  
**DON HUMBERTO**  
 Informe Mínimo Técnico

**I-SEP Ingenieros SpA**  
 Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

Padre Mariano 82  
 Oficina 603  
 Providencia, Santiago  
 Chile

+56 2 2604 8761

[www.i-sep.cl](http://www.i-sep.cl)  
[empresa@i-sep.cl](mailto:empresa@i-sep.cl)

REV.	PREPARADO POR	FECHA	REVISADO POR	FECHA	COMENTARIOS
Rev. A	Nicolás Tardon Pantoja	12.09.2024	EGP	24.09.2024	Emitido para revisión interna
Rev. B	Nicolás Tardon Pantoja	25.09.2024			Emitido para revisión cliente

# CONTENIDOS

<b>1. IDENTIFICACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVOS Y ALCANCE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>4. REFERENCIAS TÉCNICAS .....</b>	<b>6</b>
4.1. DOCUMENTOS .....	6
4.2. NORMAS Y ESTÁNDARES.....	6
<b>5. INSTALACIONES EXISTENTES .....</b>	<b>6</b>
5.1. Transformador 2D SE DON HUMBERTO .....	7
5.2. Transformador de Puesta a Tierra .....	7
5.3. Transformador de Servicios Auxiliares (SSAA) .....	8
5.4. Modelación Unidad Generadora.....	8
<b>6. REVISIÓN NORMATIVA .....</b>	<b>8</b>
<b>7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO .....</b>	<b>9</b>
7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN .....	10
7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN.....	11
7.2.1. Desglose Pérdidas de la Central .....	13
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>16</b>
9.1. ANEXO 1 – Registros Potencia en los bornes AC de cada inversor asociado al PFV Don Humberto.....	16
9.2. ANEXO 2 – Potencia en el POI de 110kV del PPC.....	16
9.3. ANEXO 3 – Potencia de servicios auxiliares (SSAA). .....	16
9.4. ANEXO 4 – Hoja de datos de los inversores. ....	16
9.5. ANEXO 5 – Hoja de datos de los paneles. ....	16

# 1. IDENTIFICACIÓN

Nombre del proyecto: Parque Fotovoltaico Don Humberto

NUP: 2224

Empresa propietaria del proyecto: Enel Green Power Chile S.A.

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente informe tiene por finalidad establecer el mínimo técnico para el PFV Don Humberto, el cual es propiedad de Enel Green Power S.A. Lo anterior según lo establecido por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, y en el **Anexo Técnico: Pruebas de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras**.

## 3. INTRODUCCIÓN

La sociedad Enel Green Power Chile S.A. se encuentra gestionando la conexión del proyecto Parque Fotovoltaico Don Humberto (PFV Don Humberto), NUP 2224, el cual se encuentra ubicado en la comuna de Tiltil, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana, Chile. El parque estará conformado por un total de 269 inversores HUAWEI SUN 2000 330KTL H1 de 330 kVA. La potencia nominal instalada del parque será de 80,7 MW.

La subestación Transformadora Don Humberto elevará la tensión de 33 kV a 110 kV mediante un transformador de poder de dos devanados de capacidad 100 MVA. Esta subestación se conecta a la línea 110 kV Don Humberto – Punta Peuco por la cual se evacuará toda la energía generada por el PFV Don Humberto.

En este contexto, se adjudicó a I-SEP el desarrollo del informe de determinación de mínimos técnicos en unidades generadoras Parque Fotovoltaico Don Humberto, requerido por el Coordinador Eléctrico Nacional para la entrada en operación del proyecto PFV Don Humberto, el cual tiene por objetivo determinar la potencia de mínimo técnico del parque.

En la Figura 3-1 se muestra un diagrama unilíneal de la zona de influencia, destacando en un recuadro **ROJO** el proyecto PFV Don Humberto.

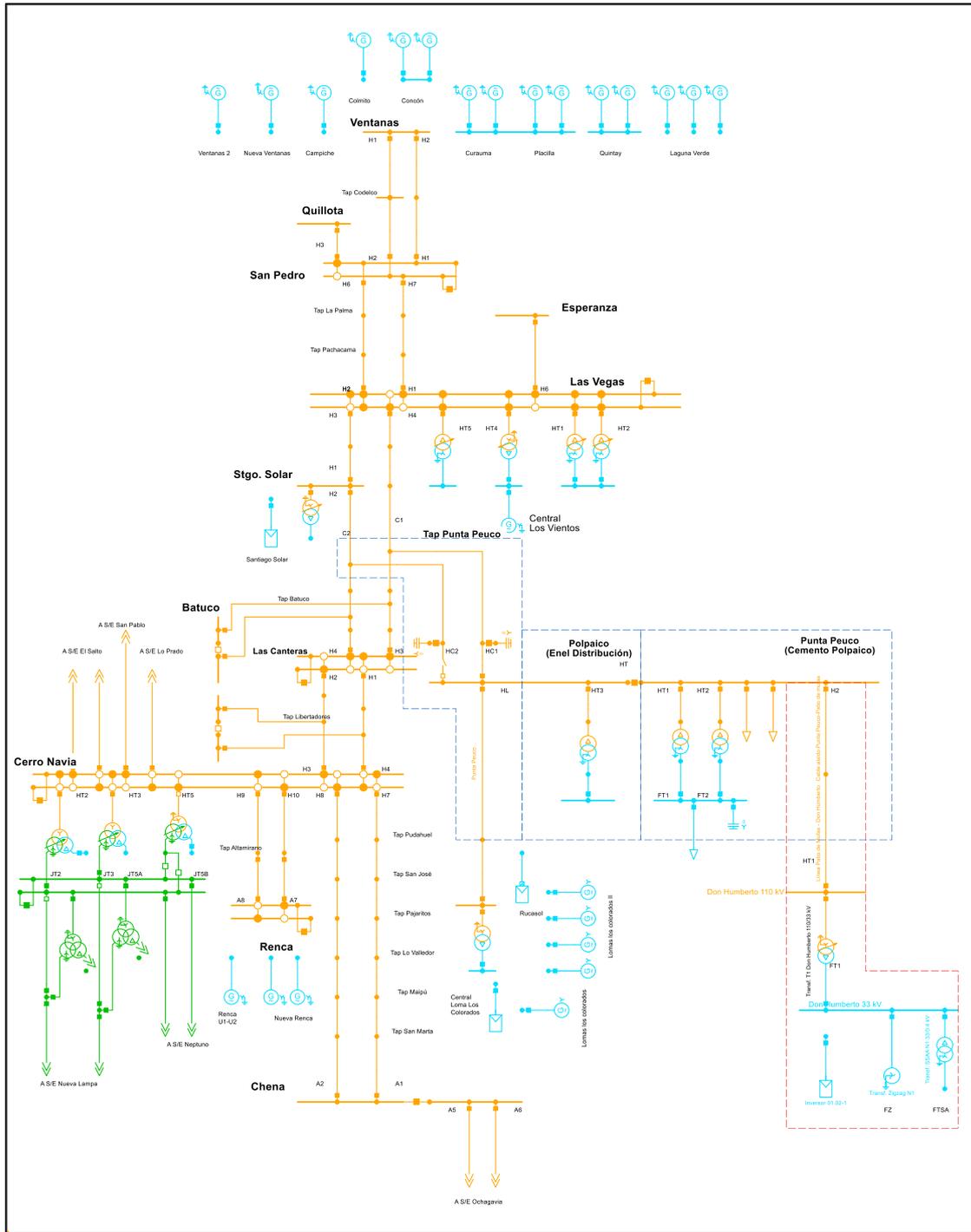


Figura 3-1: Diagrama unilineal de la zona de influencia.

## 4. REFERENCIAS TÉCNICAS

A continuación, se detallan los antecedentes y estándares normativos consultados para desarrollar el presente informe:

### 4.1. DOCUMENTOS

- (a) Documento “23062-00-ES-IT-002\_R2.pdf” Estudio de Flujo de Potencia” Parque Fotovoltaico Don Humberto. Obtenido de PGP NUP 2224.

### 4.2. NORMAS Y ESTÁNDARES

Para la elaboración del presente documento fueron utilizadas como referencia las normas técnicas nacionales e internacionales indicadas a continuación:

- (i) Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, versión septiembre del 2020.
- (ii) Anexo Técnico: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras, CNE.
- (iii) Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos, CEN.
- (iv) Guía Técnica DCO N°01-2024 “Recomendaciones para la elaboración de los Informes de Determinación de Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras Renovables no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía” versión Junio 2024 Elaborada por el CEN.

## 5. INSTALACIONES EXISTENTES

El proyecto Parque Fotovoltaico Don Humberto se conectará al SEN, a través de la subestación elevadora Don Humberto. Esta corresponde a una subestación elevadora, la cual se conectará a la línea de transmisión 110 kV Don Humberto – Punta Peuco.

A continuación, se exponen los aspectos más relevantes de la modelación de instalaciones existentes del proyecto PFV Don Humberto.

## 5.1. Transformador 2D SE DON HUMBERTO

El transformador elevador de poder 33/110 kV, al cual se conectará el PFV Don Humberto, posee las siguientes características, ver documento (a):

**Tabla 5-1 Transformador Elevador 33/110 kV 100 MVA.**

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN AT	110 [kV]
TENSIÓN MT	33 [kV]
POTENCIA ONAF	100 [MVA]
CONEXIÓN	YND11
Z1 [%]	12,24
Z0 [%]	11,53
PÉRDIDAS EN VACÍO	38,74 [KW]
PÉRDIDAS EN CARGA	369,7 [KW]

## 5.2. Transformador de Puesta a Tierra

El PFV Don Humberto proyecta un reactor zig-zag con puesta a tierra conectado a la barra de 33 kV de la S/E Don Humberto. Las características principales de los reactores se indican en la siguiente tabla, ver documento (a):

**Tabla 5-2 Transformador de puesta a tierra SE Don Humberto.**

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN NOMINAL	33 [KV]
CORRIENTE NOMINAL	0,17495 [kA]
Z0	326,7 [ohm]

### 5.3. Transformador de Servicios Auxiliares (SSAA)

El PFV Don Humberto cuenta actualmente con un transformador de servicios auxiliares que se conecta en la barra de 33 kV de la S/E Don Humberto, ver documento (a):

**Tabla 5-3 Transformador de Servicios Auxiliares SE Don Humberto.**

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN AT	33 [KV]
TENSIÓN MT	0,4 [kV]
POTENCIA ONAF	0,2 [MVA]
CONEXIÓN	DYN11
Z1 [%]	3,81
Z0 [%]	3,24

### 5.4. Modelación Unidad Generadora

El proyecto contempla la instalación de 269 inversores de potencia 330 kVA. El aporte de cada uno a la corriente de falla es de 357,3 A por inversor, lo que equivale al 150% de la corriente nominal del inversor (ver Anexo 4).

**Tabla 5-4 Inversores PFV Don Humberto.**

PARÁMETRO	VALOR
MARCA	Huawei
MODELO	SUN2000-330KTL-H1
POTENCIA	0,3300 [MVA]
CANTIDAD	269

## 6. REVISIÓN NORMATIVA

A continuación, se exponen los principales estándares normativos (Anexo Técnico: Mínimos Técnicos) que son de relevancia para el presente estudio.

#### **Artículo 9: Informe Técnico.**

El informe Técnico que respalda el valor Mínimo Técnico o informe de Mínimo Técnico consistirá en un documento que describa los registros de operación, supuestos, metodologías, alcances de la aplicación de estas metodologías, y conclusiones bajo los cuales se estableció el valor de Mínimo Técnico informado.

- a) Antecedentes técnicos de diseño.
- b) Recomendaciones del fabricante y antecedentes nacionales o internacionales de unidades de similares características.

c) Antecedentes de operación de la unidad generadora, incluyendo los registros y descripción de los análisis y pruebas efectuadas.

d) Justificaciones que describan las eventuales fuentes de inestabilidad en la operación de la unidad generadora, que impidan que la unidad pueda operar en un valor menor de potencia activa.

e) Antecedentes técnicos que respalden y expliquen el comportamiento esperado o desempeño registrado.

Para el caso de unidades generadoras que puedan operar con combustible alternativo cuyo valor de Mínimo Técnico sea distinto al del combustible principal, deberán entregar los antecedentes requeridos en el presente Anexo para el combustible principal y el alternativo.

Una vez recibido el Informe Técnico, el Coordinador deberá verificar que dicho informe contiene todos los antecedentes especificados en el presente Artículo, para lo cual tendrá un plazo de 15 días hábiles.

Cuando el Coordinador determine que el Informe Técnico entregado por la Empresa Generadora contiene todos los antecedentes necesarios para su análisis, lo publicará en el sitio web del Coordinador y notificará a las empresas Coordinadas sobre el inicio del proceso de aprobación del Mínimo Técnico informado.

## 7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO

Los anexos técnicos, junto con las guías técnicas elaboradas por el CEN, detallan exhaustivamente los procedimientos y los procesos de obtención de resultados que garantizan la precisión de la información relacionada con las unidades de generación convencional y de energía renovable.

En esta sección se detallan los procedimientos de pruebas llevados a cabo para el proyecto, y que posibilitan la validación del cumplimiento adecuado a los requisitos técnicos y normativos mencionados previamente. El protocolo para llevar a cabo las pruebas destinadas a la determinación del Mínimo Técnico se fundamenta en los documentos (i), (ii), (iii) y (iv).

Según se indica en el documento (iii), se entrega la siguiente definición:

- ◆ **Mínimo Técnico:** Se entenderá por Mínimo Técnico la potencia activa bruta mínima, con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al SI en forma continua.

Por otra parte, en relación con los servicios auxiliares, se debe realizar un registro de los consumos durante el ensayo mientras se realiza la prueba.

Con respecto a las pruebas y ensayos realizados, las empresas que participaron en las mediciones son Enel Green Power S.A en conjunto con la supervisión de la empresa I-SEP el día 01-08-2024.

## 7.1. Definición de puntos de medición

A continuación, se describe un sistema equivalente que presenta un parque fotovoltaico conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con el cual se puede definir lo siguiente:

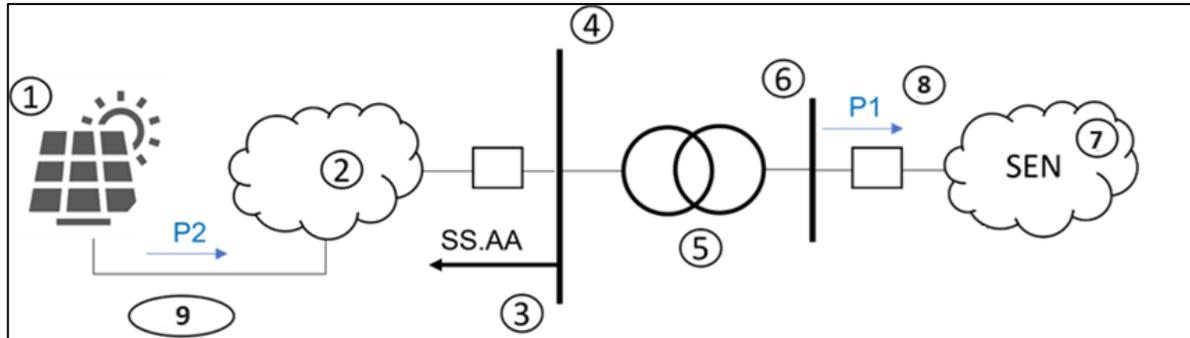


Figura 7-1.: Diagrama de sistema equivalente.

Los componentes del parque son los siguientes:

1. **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa en cada inversor del parque fotovoltaico.
2. **Pérdidas en sistema colector del parque:** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque fotovoltaico, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.
3. **Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central:** Corresponde a la potencia requerida por los servicios auxiliares de la SE.
4. **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la barra A de 33 kV de la SE Don Humberto, en la cual se conecta el lado de baja tensión de los transformadores de poder del parque.
5. **Transformador de poder:** Equipo elevador presente en la subestación Don Humberto, corresponde al transformador de poder 1.
6. **Barra de alta tensión (AT):** Corresponde a la barra principal de 110 kV de la SE Don Humberto, en la cual se conecta el lado de alta tensión del transformador de poder.
7. Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
8. **P1:** Potencia inyectada por el PFV Don Humberto en la barra de 110 kV de la subestación Don Humberto.
9. **P2:** Potencia inyectada por el PFV Don Humberto a la barra de 33kV de la SE Don Humberto.

## 7.2. Antecedentes de operación

Para la determinación de la potencia Mínima del PFV Don Humberto se han tomado los valores del equipo de medida del PPC propio del parque. El promedio de las lecturas presentadas en el Anexo 1, corresponde a la potencia bruta inyectada por los inversores del PFV Don Humberto, entre las 10:33:20 y las 11:33:20 del día 01-08-2024, a la barra de 33kV de la SE Don Humberto. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 10:58:06 a 11:13:06, y su valor es igual a 0,5008 MW (P2, potencia activa en los bornes AC de los inversores). Esto se obtiene sumando la potencia activa en los bornes AC de cada inversor asociado al parque (Ver Anexo 1). En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.



**Figura 7-2.: Curva de potencia activa, medición P2 dentro de la prueba de Mínimo Técnico del PFV Don Humberto.**

Por otra parte, el consumo de SSAA se determinan en función de mediciones realizadas en el parque dentro del mismo horario. De esta manera, el consumo de SSAA propio del PFV, es igual a 0,0111 MW (ver Anexo 3).

$$P_{ssaa} = 0,0111[MW]$$

Luego se realizan mediciones en el punto de conexión, específicamente en la barra de 110kV de la SE Don Humberto con la finalidad de medir la potencia neta inyectada. entre las 10:33:20 y las 11:33:20 del día 01-08-2024. Se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos; desde las 10:58:06 a 11:13:06, y su valor es igual a 0,2213 MW (P1, ver Anexo 2). En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo antes mencionado.



**Figura 7-3: Curva de potencia activa, medición P1 dentro de la prueba de Mínimo Técnico del PFV Don Humberto.**

Luego, se procede a obtener las pérdidas del central considerando los valores obtenidos anteriormente:

$$P_{MT\ Bruta} = P_2 = P_1 + P_{SSAA} + P_{central}$$

En donde:

**$P_{MT\ Bruta}$  o  $P_2$**  : Corresponden a la potencia medida en los bornes AC de los inversores pertenecientes al PFV Don Humberto 0,5008 MW.

**$P_{MT\ Neta}$  o  $P_1$**  : Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde al Mínimo Técnico neto del PFV Don Humberto (POI de 110 kV), y que para el presente estudio equivale a 0,2213 MW.

**$P_{SSAA}$** : Corresponden a las pérdidas de los servicios auxiliares 0,0111 MW.

**$P_{Central}$** : Corresponden a las pérdidas de la central en MW.

Finalmente se obtiene que, las pérdidas asociadas a la central son:

**$P_{Central}$** : 0,2684 MW.

Así, se tiene que el Mínimo Técnico del PFV Don Humberto es igual a:

**Tabla 7-1 Resumen de Mínimo Técnico bruto, neto y consumos del PFV Don Humberto**

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	MÍNIMO TÉCNICO BRUTA [MW]	SS.AA. [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	MÍNIMO TÉCNICO NETO [MW]
PFV Don Humberto	PFV	0,5008	0,0111	0,2684	0,2213
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.</b>					

## 7.2.1. Desglose Pérdidas de la Central

Del capítulo anterior se obtiene que las pérdidas de la central alcanzan un valor de 0,2684 MW.

Estas pérdidas consideran las pérdidas asociadas al sistema colector y al transformador de poder del proyecto.

### 7.2.1.1. Determinación de pérdidas asociadas al transformador de Poder

Las pérdidas del transformador de poder se componen de las pérdidas en vacío y en carga. Es decir:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\_carga} + P_{tr\ poder\_vacio}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la Tabla 5-1 las cuales poseen un valor de 38,74 [kW]:

$$P_{tr\ poder\_vacio} = 38,74 [kW]$$

Luego, las pérdidas en carga del transformador de poder serán estimadas utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{tr\ poder\_carga} [kW] = P_{tr\ poder\_carga}^{nominal} \cdot \left( \frac{P_{medida}}{S_{tr\ poder}^{nominal}} \right)^2$$

Donde:

- ◆  $P_{tr\ poder\_carga}^{nominal}$ : Pérdidas en carga del transformador de poder a potencia nominal [kW].
- ◆  $S_{tr\ poder}^{nominal}$ : Potencia nominal del transformador de poder [MVA].
- ◆  $P_{medida}$ : P Potencia de operación del transformador de poder durante el ensayo [MVA].

Con respecto a las pérdidas en carga a potencia nominal como la potencia nominal del transformador de poder, fueron presentadas en la Tabla 5-1. Los valores de estas son 369,7 [kW] y 100 [MVA] respectivamente.

Por otro lado, con respecto al valor de potencia de operación a utilizar será el valor medido de la potencia neta registrado durante el ensayo. Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$P_{tr\ poder\_carga} [kW] = 369,7 \cdot \left( \frac{0,2213}{100} \right)^2 = 0,0018 [kW]$$

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\_carga} + P_{tr\ poder\_vacio} = 0,0018 [kW] + 38,74 [kW] = 38,7418 [kW]$$

Finalmente se determinan las pérdidas asociadas al transformador de poder las cuales corresponden a 0,0387 [MW]

### 7.2.1.2. Determinación de pérdidas asociadas al sistema colector

Dado el cálculo presentado en el capítulo anterior, se procede a continuación a determinar las pérdidas asociadas al sistema colector:

$$Pérdidas_{Central} [MW] = Pérdidas_{Transformador\ de\ Poder} + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

De la ecuación anterior se tiene la siguiente información:

$$Pérdidas_{Transformador\ de\ poder} = 0,0387 [MW]$$

$$Pérdidas_{Central} = 0,2684 [MW]$$

Finalmente, se reemplazan los valores en la ecuación:

$$0,2684 = 0,00387 + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

Por lo tanto, las pérdidas asociadas al sistema colector corresponden a 0,2645 [MW].

A continuación, se presenta un resumen de las pérdidas:

**Tabla 7-2 Desglose pérdidas.**

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADOR DE PODER [MW]	PÉRDIDAS EN SISTEMA COLECTOR [MW]
PFV Don Humberto	PFV	0,2684	0,0387	0,2645
<b>Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector</b>				

## 8. CONCLUSIONES

En el presente informe se obtienen los parámetros de Mínimo Técnico bruto, para el PFV Don Humberto, así como la potencia registrada en el punto de conexión del parque (Mínimo Técnico Neto), considerando el consumo de servicios auxiliares y las pérdidas de la central

De acuerdo con lo expuesto en el presente informe, se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 8-1 Resumen de Mínimo Técnico bruto, neto y consumos del PFV Don Humberto**

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	MÍNIMO TÉCNICO BRUTA [MW]	SS.AA. [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	MÍNIMO TÉCNICO NETO [MW]
PFV Don Humberto	PFV	0,5008	0,0111	0,2684	0,2213
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.</b>					

## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO 1 – Registros Potencia en los bornes AC de cada inversor asociado al PFV Don Humberto.

Contiene las mediciones de potencia activa (en los bornes AC de cada inversor asociado al PFV Don Humberto) obtenidas en las pruebas de Mínimo Técnico realizadas al parque el día 01/08/2024.

### 9.2. ANEXO 2 – Potencia en el POI de 110kV del PPC

Contiene las mediciones de potencia activa del POI (paño H1 de la SE Don Humberto) del PFV Don Humberto, obtenidas en las pruebas de Mínimo Técnico realizadas al parque el día 01/08/2024.

### 9.3. ANEXO 3 – Potencia de servicios auxiliares (SSAA).

Contiene las mediciones de potencia activa de los SSAA obtenidas en las pruebas de Mínimo Técnico realizadas al PFV Don Humberto el día 01/08/2024.

### 9.4. ANEXO 4 – Hoja de datos de los inversores.

Se adjunta en la carpeta de envió los documentos de respaldo.

### 9.5. ANEXO 5 – Hoja de datos de los paneles.

Se adjunta en la carpeta de envió el documento de respaldo.