



|   |  |
|---|--|
| <b>CONSULTORA:</b>  | <b>GENERADORA:</b>   |
|  |  |

|  |   |
|--|---|
| <b>PROYECTO:</b>   | <b>CLIENTE:</b>   |
| <b>DETERMINACIÓN DE CONSUMOS<br/>ESPECÍFICOS DE UNIDADES<br/>GENERADORAS</b> |  |

|   |   |
|---|---|
| <b>TITULO:</b>                          | <b>INFORME FINAL DE PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO<br/>DE LA CENTRAL TÉRMICA TOCOPILLA<br/>UNIDAD GENERADORA TG2 CON DIÉSEL</b> |
| <b>N° DE<br/>DOCUMENTO<br/>PROYECTO</b> | <b>CTP-1-INF-HMK-001</b>  |

|                  |                   |                         |   |
|------------------|-------------------|-------------------------|---|
| <b>REVISIÓN:</b> | <b>1</b>          | <b>EDITADO<br/>PARA</b> | <b>Coordinador Eléctrico<br/>Nacional</b> |
| <b>FECHA:</b>    | <b>11-01-2021</b> |                         |   |

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

## REGISTROS DE REVISIONES

| REV. N° | FECHA      | REVISIONES      | REVISADO POR          | APROBADO POR       |
|---------|------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1       | 11-01-2021 | Primera versión | Alfredo Valladares M. | Amadeo Carrillo V. |
| 2       | 16-03-2022 | Segunda versión | Alfredo Valladares M. | Amadeo Carrillo V. |
|         |            |                 |                       |                    |
|         |            |                 |                       |                    |
|         |            |                 |                       |                    |
|         |            |                 |                       |                    |
|         |            |                 |                       |                    |
|         |            |                 |                       |                    |
|         |            |                 |                       |                    |

## APROBACIÓN DE DOCUMENTOS

|                                       |               |              |              |
|---------------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>ENGIE ENERGÍA CHILE</b>            |               |              |              |
|                                       | <b>NOMBRE</b> | <b>FIRMA</b> | <b>FECHA</b> |
| <b>COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL</b> |               |              |              |
|                                       | <b>NOMBRE</b> | <b>FIRMA</b> | <b>FECHA</b> |
| <b>HAMEK INGENIEROS ASOCIADOS</b>     |               |              |              |
|                                       | <b>NOMBRE</b> | <b>FIRMA</b> | <b>FECHA</b> |

|  |                    |                                |                   |                            |
|--|--------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |                    |                                |                   |                            |
| <b>INFORME</b>   | <b>PROPIETARIO</b> | <b>GENERADORA</b>              | <b>CONSULTORA</b> |                            |
| Versión  | 1                  | Coordinador Eléctrico Nacional | ENGIE             | Hamek Ingenieros Asociados |

## CONTENIDO GENERAL

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1 INFORMACIÓN GENERAL .....</b>  | <b>10</b> |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....  | 10        |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA TOCOPILLA .....  | 10        |
| <b>2 OBJETIVO DE LAS PRUEBAS .....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1 PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO .....  | 11        |
| <b>3 PROGRAMA DE LAS PRUEBAS .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>4 PARTICIPANTES EN LAS PRUEBAS Y ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>5 CONDICIONES DE DISEÑO Y REFERENCIA .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>6 FRONTERA DE PRUEBA, MEDICIONES REQUERIDAS E INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA .....</b>                            | <b>14</b> |
| 6.1 FRONTERA DE PRUEBA Y MEDICIONES REQUERIDAS.....   | 14        |
| 6.2 VARIABLES MEDIDAS E INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN .....   | 15        |
| 6.2.1 Variables Primarias.....  | 15        |
| <b>7 REPORTE DE COMBUSTIBLE.....</b>  | <b>16</b> |
| 7.1 REPORTE DE DIÉSEL .....   | 16        |
| <b>8 METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....</b>  | <b>17</b> |
| 8.1 VALIDACIÓN DE DATOS.....  | 17        |
| 8.2 CÁLCULOS DE LOS CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO .....   | 17        |
| 8.2.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido ( $HRN_M$ ) .....                                      | 17        |
| 8.2.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido ( $HRN_C$ ).....                                       | 18        |
| 8.3 CÁLCULOS DE LA INCERTIDUMBRE.....   | 20        |
| 8.3.1 Incertidumbre de la Prueba.....   | 20        |
| <b>9 CÁLCULO DE CONSUMO ESPECÍFICO NETO .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>10 RESULTADOS .....</b>  | <b>23</b> |
| 10.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO, UNIDAD TG2 (SOBRE PODER CALORÍFICO SUPERIOR) ..... | 23        |
| 10.2 RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE, UNIDAD TG2 (SOBRE PODER CALORÍFICO SUPERIOR).....                             | 26        |

## ANEXOS

- ANEXO A:** Actas de Ensayo
- ANEXO B:** Reporte de Combustible
- ANEXO C:** Cuadros de Cálculo
- ANEXO D:** Protocolo de Pruebas

|  |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
| <b>INFORME</b>   |   | <b>PROPIETARIO</b>             | <b>GENERADORA</b>   | <b>CONSULTORA</b>          |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## CONTENIDO DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>TABLA 1-1:</b> DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA TOCOPILLA .....  | 10 |
| <b>TABLA 2-1:</b> VARIABLES PRIMARIAS .....   | 11 |
| <b>TABLA 3-1:</b> PROGRAMA DE PRUEBAS DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 DE LA CENTRAL TOCOPILLA .....   | 12 |
| <b>TABLA 3-2:</b> DURACIÓN DE LAS PRUEBAS DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 DE LA CENTRAL TOCOPILLA.....  | 12 |
| <b>TABLA 5-1:</b> CONDICIONES DE REFERENCIA .....   | 13 |
| <b>TABLA 6-1:</b> VARIABLES E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS.....   | 15 |
| <b>TABLA 7-1:</b> REPORTE DE COMBUSTIBLE – TG2 - DIÉSEL .....   | 16 |
| <b>TABLA 8-1:</b> CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA PRUEBA DE CONSUMO ESPECIFICO NETO DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 .....  | 17 |
| <b>TABLA 10-1:</b> RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE LAS PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 DE LA CENTRAL TÉRMICA TOCOPILLA (SOBRE PODER CALORÍFICO SUPERIOR) ..... | 26 |

## CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>ILUSTRACIÓN 4-1:</b> PARTICIPANTES Y ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL DURANTE LAS PRUEBAS ..... | 13 |
| <b>ILUSTRACIÓN 6-1:</b> FRONTERA DE PRUEBA DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 .....                | 14 |

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

| INFORME |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
|---------|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Versión | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## RESUMEN EJECUTIVO

ENGIE Energía Chile es una empresa con presencia en los mercados de generación, transmisión y suministro de electricidad, transporte de gas e infraestructura portuaria. Sus principales clientes provienen de los sectores minería, industrial y de distribución eléctrica, tanto del norte como de la zona centro y sur del país. En 2020, sus ventas de energía ascendieron a 11.408 GWh, un aumento de 3% respecto del año 2019. La generación bruta durante el 2020 fue de 6.945 GWh, un 22% mayor que la de 2019, la participación del mercado de potencia de ENGIE en Chile es del 8% de los 26.1 GW de potencia instalados.

El presente informe contiene los resultados de las pruebas de Consumo Especifico Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla, operando con Diésel.

Durante las pruebas se ha registrado los siguientes parámetros:<sup>1</sup>

- Potencia Bruta
- Factor de Potencia Bruta
- Potencia de Servicios Auxiliares
- Flujo de Diésel
- Temperatura Ambiente
- Humedad Relativa Ambiente
- Presión Barométrica Ambiente

Las condiciones de diseño y referencia que se ha considerado son las siguientes:

**Tabla N° 1**  
Condiciones de Diseño y de Referencia

| Ítem                      | Unidades | Condiciones de Diseño | Condiciones de Referencia |
|---------------------------|----------|-----------------------|---------------------------|
| Factor de Potencia        |          | 0.95                  | 0.95                      |
| Temperatura Ambiente      | (°C)     | 15                    | 18                        |
| Humedad Relativa Ambiente | (%)      | 80                    | 80                        |

Durante la prueba realizada con Diésel, se tomó 1 lt de combustible en el 1er escalón y 7mo escalón, una parte de cada muestra fueron enviadas al laboratorio para análisis y la otra permanecerá en custodia en la central (como respaldo) hasta que el Experto Técnico indique la conformidad de los resultados del laboratorio.

Los resultados de dichos análisis se muestran en la siguiente tabla.

<sup>1</sup> Finalmente no se registró la variable Potencia neta ya que se tuvo inconvenientes al momento de instalar el equipo de medición, esta se calculó como  $P_{neta} = P_{bruta} - SSAA - \text{Perdidas trafo principal}$ , la potencia bruta y SSAA si se registraron con los equipos de medición debidamente calibrados y certificados, mientras que las pérdidas del trafo principal fueron calculadas.

También no se ha considerado la medición de la caída de presión al ingreso y salida porque no se dispone de las curvas de corrección correspondientes.

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

**Tabla N° 2**  
Reporte Cromatográfico del Combustible – Diésel

| Reporte     | Fecha / Hora | Poder Calorífico Inferior |         | Poder Calorífico Superior |         | Densidad          |
|-------------|--------------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|-------------------|
|             |              | kcal/kg                   | MJ/kg   | kcal/kg                   | MJ/kg   | kg/m <sup>3</sup> |
| 1er Escalón | 30.11.2021   | 10257,9650                | 42,9480 | 10939,5315                | 45,8016 | 835,5             |
| 7mo Escalón | 30.11.2021   | 10257,9650                | 42,9480 | 10939,5315                | 45,8016 | 835,5             |

|  |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
| <b>INFORME</b>   |   | <b>PROPIETARIO</b>             | <b>GENERADORA</b>   | <b>CONSULTORA</b>          |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## RESULTADOS

### 1.1. Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Superior)

**Tabla N° 3**

Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

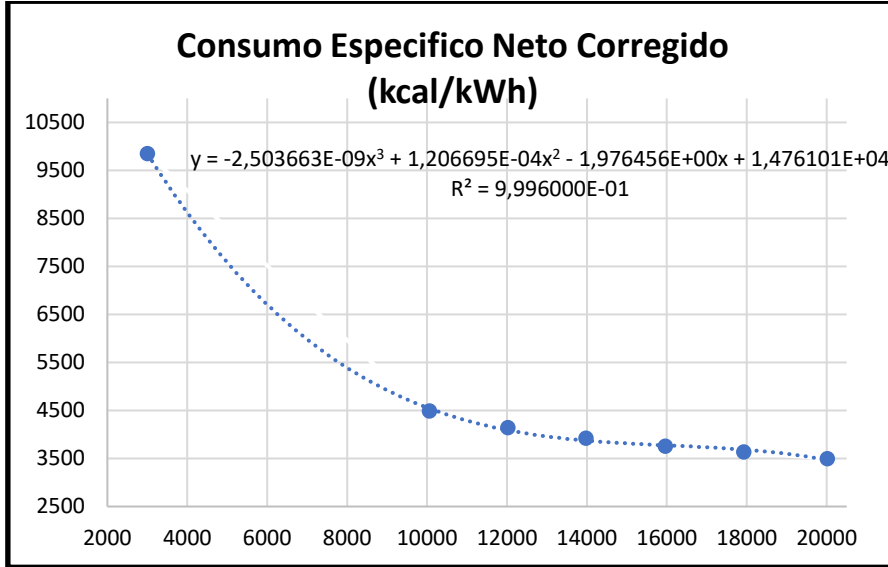
| Escalón     | Potencia Nominal | Potencia Bruta Medida | Potencia Neta Medida | Consumo de Combustible Medido | Consumo Especifico Neto Medido |           | Consumo Especifico de Combustible Neto Medido | Eficiencia Neto Medido | Potencia Bruta Corregida | Potencia Neta Corregida | Consumo Especifico Neto Corregido |           | Incertidumbre |          | Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido | Eficiencia Neto Corregido |
|-------------|------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|---|------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|---------------|----------|--|---------------------------|
|             | (kW)             | (MW)                  | (kW)                 | (m³/h)                        | (kcal/kWh)                     | (kJ/kWh)  | (Kg/kWh)                                      | (%)                    | (kW)                     | (kW)                    | (kcal/kWh)                        | (kJ/kWh)  | (kcal/kWh)    | (kJ/kWh) | (Kg/kWh)   | (%)                       |
| 1er Escalón | 3000             | 3,027                 | 2977,160             | 3,216                         | 9872,292                       | 38758,121 | 0,962   | 8,710                  | 3055,769                 | 3005,595                | 9847,261                          | 41228,511 | ± 0,399       | ± 1,671  | 0,960  | 8,732                     |
| 2do Escalón | 10000            | 10,049                | 9978,705             | 4,906                         | 4493,607                       | 17641,675 | 0,438   | 19,135                 | 10128,932                | 10058,303               | 4484,339                          | 18852,718 | ± 0,059       | ± 0,246  | 0,437  | 19,174                    |
| 3er Escalón | 12000            | 12,046                | 11965,509            | 5,425                         | 4143,667                       | 16267,828 | 0,404   | 20,751                 | 12101,208                | 12020,717               | 4139,084                          | 17367,915 | ± 0,051       | ± 0,213  | 0,403  | 20,774                    |
| 4to Escalón | 14000            | 14,033                | 13941,145            | 5,987                         | 3925,263                       | 15410,385 | 0,383   | 21,905                 | 14067,529                | 13975,342               | 3923,615                          | 16441,195 | ± 0,053       | ± 0,223  | 0,382  | 21,915                    |
| 5to Escalón | 16000            | 16,036                | 15930,869            | 6,545                         | 3754,776                       | 14741,060 | 0,366   | 22,900                 | 16070,217                | 15964,753               | 3753,608                          | 15725,385 | ± 0,043       | ± 0,181  | 0,366  | 22,907                    |
| 6to Escalón | 18000            | 18,024                | 17903,118            | 7,114                         | 3631,886                       | 14258,601 | 0,354   | 23,675                 | 18045,483                | 17924,933               | 3631,778                          | 15206,433 | ± 0,045       | ± 0,188  | 0,354  | 23,676                    |
| 7mo Escalón | 20580            | 20,107                | 19969,341            | 7,643                         | 3498,151                       | 13733,566 | 0,341   | 24,580                 | 20155,247                | 20017,255               | 3496,843                          | 14651,541 | ± 0,028       | ± 0,117  | 0,341  | 24,589                    |

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

| INFORME |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA | CONSULTORA                 |
|---------|---|--------------------------------|------------|----------------------------|
| Versión | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | ENGIE      | Hamek Ingenieros Asociados |

**Ilustración N° 1**

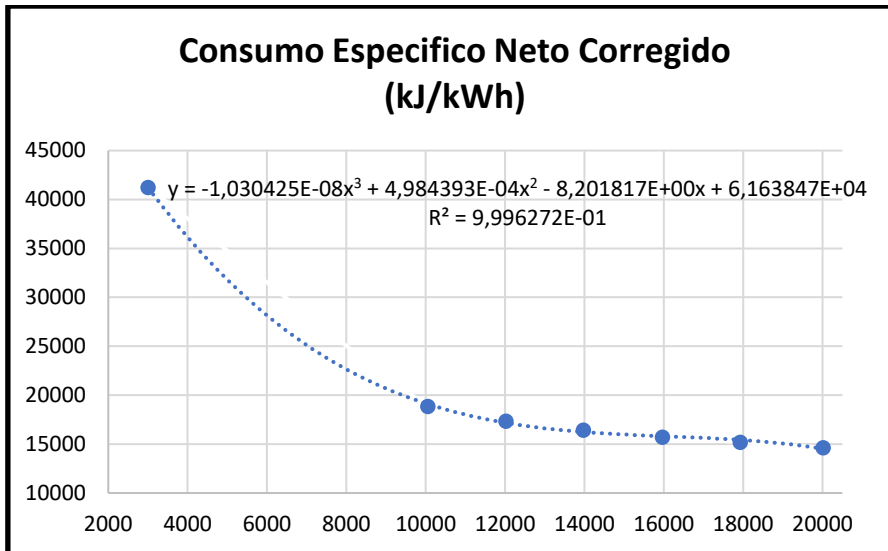
Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



| Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh) |               |
|--|---------------|
| a <sub>0</sub>                               | 1,476101E+04  |
| a <sub>1</sub>                               | 2,904242E+00  |
| a <sub>2</sub>                               | 1,206695E-04  |
| a <sub>3</sub>                               | -2,503663E-09 |

**Ilustración N° 2**

Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



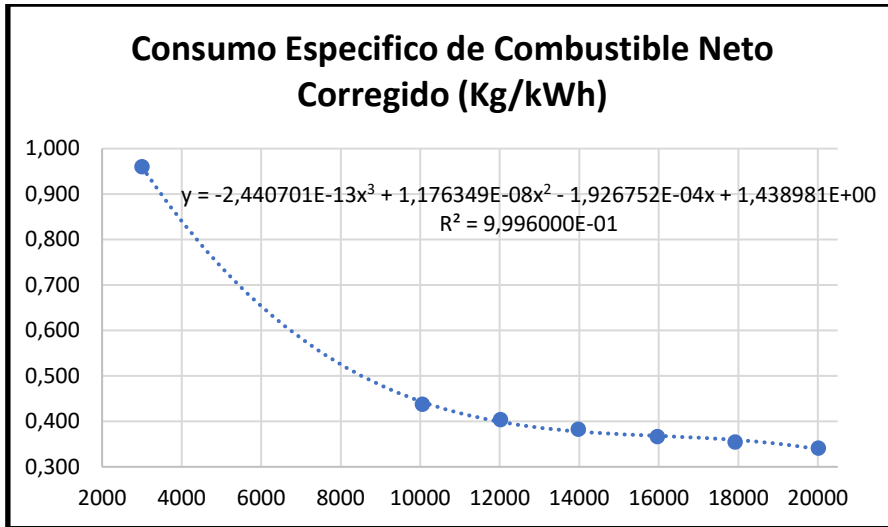
| Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh) |               |
|--|---------------|
| a <sub>0</sub>                             | 6,163847E+04  |
| a <sub>1</sub>                             | -8,201817E+00 |
| a <sub>2</sub>                             | 4,984393E-04  |
| a <sub>3</sub>                             | -1,030425E-08 |

|  |                    |                                |                            |
|--|--------------------|--------------------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |                    |                                |                            |
| <b>INFORME</b>   | <b>PROPIETARIO</b> | <b>GENERADORA</b>              | <b>CONSULTORA</b>          |
| Versión  | 1                  | Coordinador Eléctrico Nacional | ENGIE                      |
|  |                    |                                | Hamek Ingenieros Asociados |



**Ilustración N° 3**

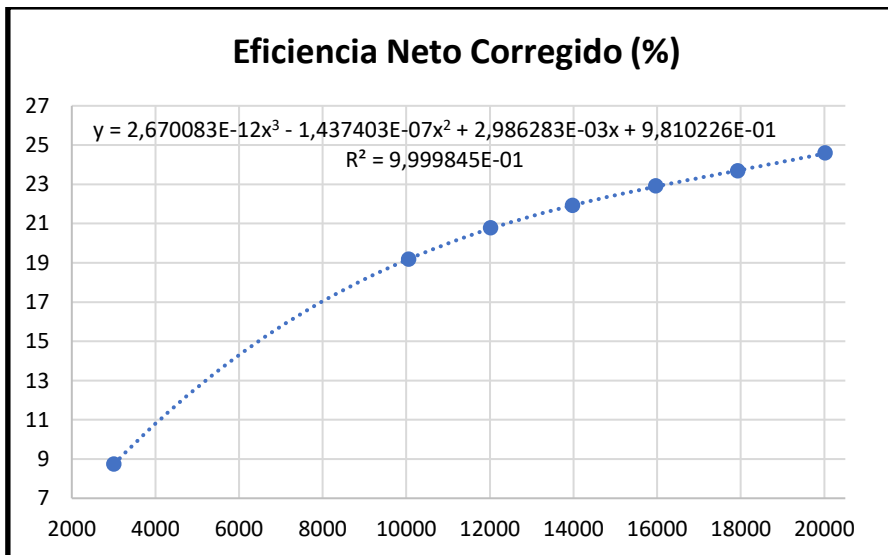
Curva Característica del Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (Kg/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



| Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (Kg/kWh) |               |
|---|---------------|
| a <sub>0</sub>  | 1,438981E+00  |
| a <sub>1</sub>  | -1,926752E-04 |
| a <sub>2</sub>  | 1,176349E-08  |
| a <sub>3</sub>  | -2,440701E-13 |

**Ilustración N° 4**

Curva Característica de la Eficiencia Neto Corregido (%) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



| Eficiencia Neto Corregido (%) |               |
|-------------------------------|---------------|
| a <sub>0</sub>                | 9,810226E-01  |
| a <sub>1</sub>                | 2,986283E-03  |
| a <sub>2</sub>                | -1,437403E-07 |
| a <sub>3</sub>                | 2,670083E-12  |

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

| INFORME |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
|---------|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Versión | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

# 1 INFORMACIÓN GENERAL

## 1.1 Descripción de la Empresa

ENGIE Energía Chile es una empresa con presencia en los mercados de generación, transmisión y suministro de electricidad, transporte de gas e infraestructura portuaria. Sus principales clientes provienen de los sectores minería, industrial y de distribución eléctrica, tanto del norte como de la zona centro y sur del país. En 2020, sus ventas de energía ascendieron a 11.408 GWh, un aumento de 3% respecto del año 2019. La generación bruta durante el 2020 fue de 6.945 GWh, un 22% mayor que la de 2019, la participación del mercado de potencia de ENGIE en Chile es del 8% de los 26.1 GW de potencia instalados.

## 1.2 Descripción de la Central Termoeléctrica Tocopilla

La Central Termoeléctrica Tocopilla, se ubica en la región de Antofagasta, Chile.

Esta central está conformada por turbinas de gas, TG1 y TG2, donde las características de la unidad ensayada se indican a continuación:

Tabla 1-1: Descripción de la Central Termoeléctrica Tocopilla

| Concepto <sup>2</sup>                              | Unidad | Unidad TG2      |
|--|--------|-----------------|
| Marca  |        | GE              |
| Modelo   |        | PG 5341         |
| Fabricante   |        | HITACHI-GE      |
| Tipo de Unidad                                     |        | Turbina de Gas  |
| Tipo de Combustible                                |        | Petróleo Diésel |
| Año de Fabricación                                 | Año    | 1973            |
| Fecha de Entrada en Operación                      | Año    | 1977            |
| Potencia Nominal                                   | MW     | 25.6            |
| Potencia Neta Efectiva                             | MW     |                 |
| Potencia Mínimo Técnico para control de Frecuencia | MW     | 10              |
| Potencia Mínimo Técnico con Diésel                 | MW     | 3               |
| Potencia Mínimo Técnico Ambiental con Diésel       | MW     | 3               |
| Tensión Nominal                                    | kV     | 11.5            |
| Factor de Potencia                                 | -      | 0.85            |
| Velocidad de Rotación Turbina                      | RPM    | 5100            |
| Velocidad de Rotación Generador                    | RPM    | 3000            |

<sup>2</sup> Información extraída desde:

[https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras?id\\_propietario=399](https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras?id_propietario=399)

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 2 OBJETIVO DE LAS PRUEBAS

### 2.1 Pruebas de Consumos Específicos Neto

Estos ensayos tienen por objeto contar con toda la información necesaria para calcular los Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 a partir de una operación a distintas cargas, y bajo condiciones de estabilidad requeridas.

Durante los ensayos se han medido los siguientes parámetros:

Tabla 2-1: Variables primarias

| Ítem  | Variable   | Características del instrumento de medición   |                             |            |
|---|--|---|-----------------------------|------------|
|   |  | Clase   | Incertidumbre               | Frecuencia |
| <b>Variables de Condiciones Ambientales</b> |  |   |                             |            |
| a)  | Temperatura Ambiente   | Clase 1   | 0.5 °C (Temp menor a 90 °C) | 1 min      |
| b)  | Humedad Relativa Ambiente  | Clase 1   | 3.0%                        | 1 min      |
| c)  | Presión Ambiente   | Clase 1   | 0.1% (Máximo 0.3%)          | 1 min      |
| <b>Variables Eléctricas</b>                 |  |   |                             |            |
| a)  | Potencia Activa Bruta  | Clase 1   | 0.1%                        | 1 min      |
| b)  | Potencia Reactiva Bruta  | Clase 1   | 0.1%                        | 1 min      |
| c)  | Factor de Potencia Bruta   | Clase 1   | 0.1%                        | 1 min      |
| d)  | Potencia Activa Neta   | Esta variable se deducirá de la formula (P bruta – P ssAA – P perdidas del trafo principal) |                             |            |
| e)  | Consumo de SSAA  | Clase 1   | 0.1%                        | 1 min      |
| f)  | Consumo de la Bomba prealimentadora de Inyección de Agua (sólo operación diésel) | Clase 1   | 0.1%                        | 1 min      |
| <b>Consumo de Combustible</b>               |  |   |                             |            |
| a)  | Consumo de Diesel.   | Clase 1   | 0.1%                        | 1 min      |

Así mismo, se registraron las siguientes variables secundarias que son las que se miden, pero no entran en el cálculo de la Determinación de Consumos Específicos de Unidades Generadoras, pero se miden para asegurarse que no se ha violado la condición de prueba requerida:

- a. Tensión.
- b. Velocidad de Rotación
- c. Consumos propios o auxiliares.
- d. Temperatura de gases de escape.
- e. Temperatura del combustible.
- f. Presión de Ingreso de aire al compresor
- g. Presión de descarga del compresor.
- h. Presión de ingreso del fluido de trabajo

|  |                    |                                |                     |                            |
|--|--------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |                    |                                |                     |                            |
| <b>INFORME</b>   | <b>PROPIETARIO</b> | <b>GENERADORA</b>              | <b>CONSULTORA</b>   |                            |
| Versión  | 1                  | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

### 3 PROGRAMA DE LAS PRUEBAS

Conforme se ha indicado en el Acta de Ensayo, luego de coordinaciones previas y a la luz de las condiciones encontradas en la unidad TG2 a ser evaluada, se definió finalmente el Programa de Pruebas de Consumo Especifico Neto de la unidad que se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 3-1:** Programa de Pruebas de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla

| HITOS DE DESARROLLO DE LA PRUEBA – UNIDAD GENERADORA TG2 EN CICLO ABIERTO CON DIÉSEL |                             |          |        |       |
|--|-----------------------------|----------|--------|-------|
| Hito   | Hora                        | Potencia | Inicio | Final |
| Toma de carga y estabilización   |                             |          | 18:12  | 18:25 |
| Prueba CEN a Potencia Máxima   | P <sub>Pot. Máx</sub>       | 3 MW     | 18:25  | 18:55 |
| Toma de carga y estabilización   |                             |          | 18:55  | 19:05 |
| Prueba CEN a 6 <sup>ta</sup> Carga Intermedia  | P <sub>6ta Parcial</sub>    | 10 MW    | 19:05  | 19:35 |
| Toma de carga y estabilización   |                             |          | 19:35  | 19:45 |
| Prueba CEN a 5 <sup>ta</sup> Carga Intermedia  | P <sub>5ta Parcial</sub>    | 12 MW    | 19:45  | 20:15 |
| Toma de carga y estabilización   |                             |          | 20:15  | 20:25 |
| Prueba CEN a 4 <sup>ta</sup> Carga Intermedia  | P <sub>4ta Parcial</sub>    | 14 MW    | 20:25  | 20:55 |
| Toma de carga y estabilización   |                             |          | 20:55  | 21:05 |
| Prueba CEN a 3 <sup>ra</sup> Carga Intermedia  | P <sub>3ra Parcial</sub>    | 16 MW    | 21:05  | 21:35 |
| Toma de carga y estabilización   |                             |          | 21:35  | 21:45 |
| Prueba CEN a 2 <sup>da</sup> Carga Intermedia  | P <sub>2da Parcial</sub>    | 18 MW    | 21:45  | 22:15 |
| Toma de carga y estabilización   |                             |          | 22:15  | 22:30 |
| Prueba CEN a Mínimo Técnico Ambiental  | P <sub>Min. Téc. Amb.</sub> | 20,52 MW | 22:30  | 23:00 |

**Tabla 3-2:** Duración de las Pruebas de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla

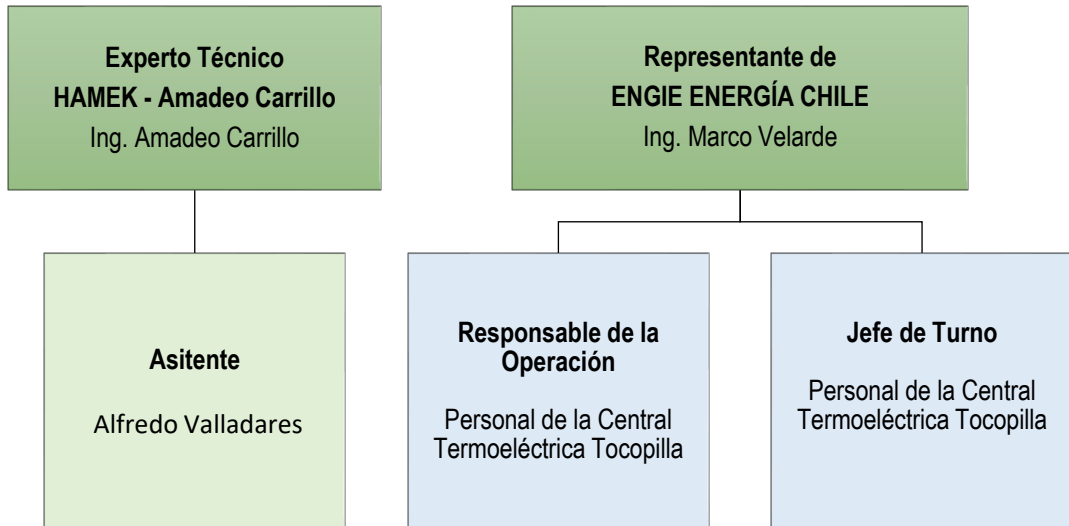
| Descripción                                   | Nomenclatura                | Potencia | Duración |
|---|-----------------------------|----------|----------|
| Prueba CEN a Potencia Máxima.                 | P <sub>Pot. Máx.</sub>      | 3 MW     | 30 min.  |
| Prueba CEN a 2 <sup>da</sup> Carga Intermedia | P <sub>2da. Parcial</sub>   | 10 MW    | 30 min.  |
| Prueba CEN a 3 <sup>ra</sup> Carga Intermedia | P <sub>3ra. Parcial</sub>   | 12 MW    | 30 min.  |
| Prueba CEN a 4 <sup>ta</sup> Carga Intermedia | P <sub>4ta. Parcial</sub>   | 14 MW    | 30 min.  |
| Prueba CEN a 5 <sup>ta</sup> Carga Intermedia | P <sub>5ta. Parcial</sub>   | 16 MW    | 30 min.  |
| Prueba CEN a 6 <sup>ta</sup> Carga Intermedia | P <sub>6ta. Parcial</sub>   | 18 MW    | 30 min.  |
| Prueba CEN a Mínimo Técnico Ambiental         | P <sub>Min. Téc. Amb.</sub> | 20,52 MW | 30 min.  |

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 4 PARTICIPANTES EN LAS PRUEBAS Y ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL

Durante las pruebas han participado, el representante de ENGIE GENERACION CHILE S.A., el Experto Técnico y el Asistente de la CONSULTORA; como se indica en el siguiente gráfico.

Ilustración 4-1: Participantes y Organización del Personal durante las Pruebas



## 5 CONDICIONES DE DISEÑO Y REFERENCIA

Según el Artículo 36 del Anexo Técnico, el Consumo Especifico Neto determinado en la prueba correspondiente, podrá ser corregido a fin de homologarla con los valores de referencia para los cuales fue calculado el Consumo Especifico original de garantía. Para ello se hace uso de las Curvas de Corrección de las Unidades Generadoras de la Central Termoeléctrica.

Las condiciones de referencia a las cuales hay que corregir el Consumo Especifico Neto Medido son los que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 5-1: Condiciones de Referencia

| Ítem                      | Unidades | Condiciones de Diseño | Condiciones de Referencia |
|---------------------------|----------|-----------------------|---------------------------|
| Factor de Potencia        |          | 0.95                  | 0.95                      |
| Temperatura Ambiente      | (°C)     | 15                    | 18                        |
| Humedad Relativa Ambiente | (%)      | 80                    | 80                        |

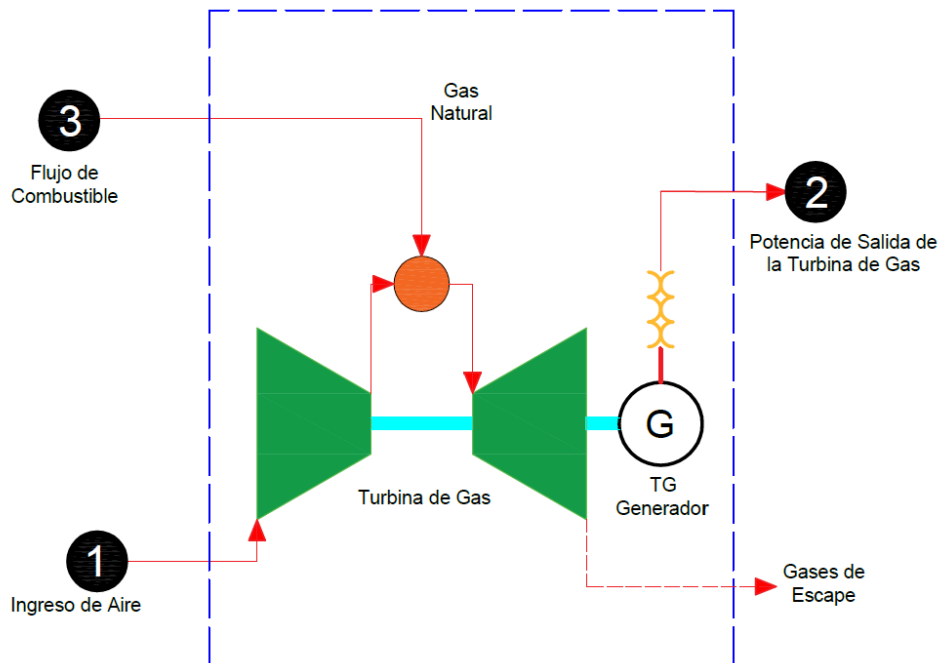
|  |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 6 FRONTERA DE PRUEBA, MEDICIONES REQUERIDAS E INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

### 6.1 Frontera de Prueba y Mediciones Requeridas

La frontera de prueba identifica los flujos de energía que deben ser medidos para calcular los resultados corregidos. En la siguiente figura se identifica dichos flujos, considerando que son los que atraviesan la frontera, los otros flujos que se quedan dentro de la frontera no se necesitan para obtener los resultados corregidos; sin embargo, sirven para verificar las condiciones operativas.

Ilustración 6-1: Frontera de Prueba de la Unidad Generadora TG2



Para la obtención de los resultados corregidos, acorde con la frontera de prueba graficado anteriormente se requiere las siguientes mediciones:

1. Ingreso de aire para combustión, se requiere medir la temperatura, presión y humedad en donde el aire ingresa al compresor de la turbina a gas.
2. Potencia de salida del generador de la turbina a gas.
3. Flujo de Diésel que ingresa a la turbina de gas.

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 6.2 Variables Medidas e Instrumentación de Medición

### 6.2.1 Variables Primarias

Estas variables son las que se miden y se utilizan en los cálculos de resultados de la Determinación de Consumos Específicos de la Unidad Generadora TG1 y TG2, pertenecientes a la Central Termoeléctrica Tocopilla. En la siguiente tabla se indica estas variables y los instrumentos de medición utilizados.

**Tabla 6-1:** Variables e Instrumentos de Medición Utilizados en las Pruebas en la unidad TG2

| Variables Medidas                                    | Unidad | Marca     | Modelo | Serie       |
|--|--------|-----------|--------|-------------|
| <b>Potencia Bruta</b>                                |        |           |        |             |
| Parámetros eléctricos: Potencia, factor de potencia  | TG2    | HIOKI     | PW3198 | 150930574   |
| <b>Potencia de Servicios Auxiliares</b>              |        |           |        |             |
| Parámetros eléctricos: Potencia, factor de potencia  | TG2    | HIOKI     | PW3198 | 150930573   |
| <b>Potencia de Excitación</b>                        |        |           |        |             |
| Parámetros eléctricos: Potencia, factor de potencia  | TG2    | HIOKI     | PQ3198 | 190630405   |
| <b>Condiciones Ambientales</b>                       |        |           |        |             |
| Parámetros ambientales: Presión ambiente.            | TG2    | Vaisala   | PTU301 | R2440372    |
| <b>Consumo de Diésel</b>                             |        |           |        |             |
| Flujo, temperatura y presión de combustible (Diésel) | TG2    | PROMASS F | 80     | DA02DA16000 |

|  |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
| <b>INFORME</b>   |   | <b>PROPIETARIO</b>             |                     | <b>GENERADORA</b>          |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 7 REPORTE DE COMBUSTIBLE

### 7.1 Reporte de Diésel

Durante la prueba realizada con Diésel, se tomó 1 lt de combustible en el 1er escalón y 7mo escalón, una parte de cada muestra fueron enviadas al laboratorio para análisis y la otra permanecerá en custodia en la central (como respaldo) hasta que el Experto Técnico indique la conformidad de los resultados del laboratorio.

Los resultados de dichos análisis se muestran en la siguiente tabla

**Tabla 7-1:** Reporte de Combustible – TG2 - Diésel

| Reporte     | Fecha / Hora | Poder Calorífico Inferior |         | Poder Calorífico Superior |         | Densidad          |
|-------------|--------------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|-------------------|
|             |              | kcal/kg                   | MJ/kg   | kcal/kg                   | MJ/kg   | kg/m <sup>3</sup> |
| 1er Escalón | 29.11.2021   | 10257,9650                | 42,9480 | 10939,5315                | 45,8016 | 835,5             |
| 7mo Escalón | 29.11.2021   | 10257,9650                | 42,9480 | 10939,5315                | 45,8016 | 835,5             |

|  |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
| <b>INFORME</b>   |   | <b>PROPIETARIO</b>             | <b>GENERADORA</b>   | <b>CONSULTORA</b>          |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |



## 8 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

### 8.1 Validación de Datos

Las mediciones de las Variables Primarias, cuyos datos registrados se encuentren fuera de los rangos de fluctuación indicados en la siguiente tabla serán eliminados. Respecto a los datos que serán eliminados, se debe condicionar la prueba a la estabilidad exigida.

Las mediciones válidas serán todas las mediciones efectuadas menos las mediciones eliminadas.

**Tabla 8-1:** Condiciones de estabilidad de la Prueba de Consumo Especifico Neto de la Unidad Generadora TG2

| Parámetro                       | Máxima fluctuación respecto al valor promedio |
|---------------------------------|---|
| Potencia eléctrica de salida    | 0.65%   |
| Factor de Potencia              | 0.65%   |
| Presión barométrica             | 0.16 %  |
| Temperatura del aire de ingreso | 1.3 °F o (0.7 °C)                             |
| Flujo de combustible            | 0.65 %  |
| Velocidad de rotación           | 0.33 %  |

### 8.2 Cálculos de los Consumos Específicos Neto

#### 8.2.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido ( $HRN_M$ )

Para los datos validados, se determinará el Consumo Especifico Neto Medido o Heat Rate Neto Medido durante el escalón ensayado ( $HRN_M$ ); considerando el consumo de Diésel, el poder calorífico superior del Diésel utilizado como combustible ( $HHV$ ) y la potencia neta medida en cada carga (escalón) ensayada. Para ellos se aplicará la siguiente formula:

$$HRN_M = \frac{\dot{m}_{GN} * HHV}{PN_M}$$

Donde:

- $HRN_M$  : Heat Rate Neto Medido, kJ/kWh.
- $\dot{m}_{GN}$  : Consumo de Diésel, m<sup>3</sup>/h o kg/h.
- $HHV$  : Poder Calorífico Superior del Diésel, kJ/m<sup>3</sup> o kJ/kg.
- $PN_M$  : Potencia Neta Medida, kW.

Donde:

$$PN_M = PB_M - P_{SSAA} - P_{\text{Perdidas trafo Principal}}$$

|  |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
| <b>INFORME</b>   |   | <b>PROPIETARIO</b>             | <b>GENERADORA</b>   | <b>CONSULTORA</b>          |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

- $PB_M$  : Potencia Bruta Medido, kJ/kWh.
- $SSAA$  : Consumo de SSAA.
- $P$  Perdidas trafo Principal: Perdidas en el transformador Principal

## 8.2.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido (HRN<sub>c</sub>)

Para calcular el valor de Consumo Especifico Neto Corregido o Heat Rate Neto Corregido, estas deberán ser ajustadas por medio de la aplicación de factores de corrección multiplicativos. Para ello se aplicará la siguiente formula:

$$HRN_C = HRN_M * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4$$

Donde:

- $HRN_C$  : Heat Rate Neto Corregido, kJ/kWh.
- $HRN_M$  : Heat Rate Neto Medido, kJ/kWh.
- $\alpha_1$  : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente.
- $\alpha_2$  : Factor de Corrección por Humedad Relativa.
- $\alpha_3$  : Factor de Corrección por Presión de Ambiente.
- $\alpha_4$  : Factor de Corrección por Velocidad de Turbina.

Según la norma ASME PTC 22, el factor de corrección  $\alpha_1$  se deduce de la curva de corrección y es el resultado de dividir el factor de corrección a las condiciones de referencia entre el factor de corrección a las condiciones de prueba; así por ejemplo el factor de corrección por temperatura ambiente se deduce así:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_{1a}}{\alpha_{1b}}$$

Donde:

- $\alpha_1$  : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente.
- $\alpha_{1a}$  : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente a las condiciones de referencia.
- $\alpha_{1b}$  : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente a las condiciones de prueba.

Para, el factor de corrección por humedad relativa ( $\alpha_2$ ) se deduce de la siguiente manera:

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_{2a}}{\alpha_{2b}}$$

Donde:

- $\alpha_2$  : Factor de Corrección por Humedad Relativa.
- $\alpha_{2a}$  : Factor de Corrección por Humedad Relativa a las condiciones de referencia.
- $\alpha_{2b}$  : Factor de Corrección por Humedad Relativa a las condiciones de prueba.

Para, el factor de corrección por presión ambiente ( $\alpha_3$ ) se deduce de la siguiente manera:

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_{3a}}{\alpha_{3b}}$$

Donde:

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

- $\alpha_3$  : Factor de Corrección por Presión Ambiente.
- $\alpha_{3a}$  : Factor de Corrección por Presión Ambiente a las condiciones de referencia.
- $\alpha_{3b}$  : Factor de Corrección por Presión Ambiente a las condiciones de prueba.

Para, el factor de corrección por Velocidad de Turbina ( $\alpha_4$ ) se deduce de la siguiente manera:

$$\alpha_4 = \frac{\alpha_{4a}}{\alpha_{4b}}$$

Donde:

- $\alpha_4$  : Factor de Corrección por Velocidad de la Turbina.
- $\alpha_{4a}$  : Factor de Corrección por Velocidad de la Turbina a las condiciones de referencia.
- $\alpha_{4b}$  : Factor de Corrección por Velocidad de la Turbina a las condiciones de prueba.

Finalmente, para determinar el Consumo de Combustible Corregido a la base del Coordinador se aplicará la siguiente relación:

$$CC_{c-PCS} = \frac{HRN_c}{PCS_r}$$

Donde:

- $CC_{c-PCS}$  : Consumo específico de combustible expresado en kg/kWh
- $PCS_r$  : Poder Calórico Superior de Referencia (base del Coordinador) del diésel, igual a 10939,531 kcal/kg; equivalente a 45801,6 kJ/kg.

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 8.3 Cálculos de la incertidumbre

La incertidumbre de la prueba, es un cálculo matemático que calcula con una confianza específica, el rango dentro del cual se encuentra los resultados reales.

Los niveles de incertidumbre que se pueden lograr a partir de pruebas de conformidad con la Norma PTC 22 dependen del tipo de central, la complejidad del diseño específico y la consistencia de la operación durante la prueba. Para la unidad que estamos evaluando en el modo de ciclo simple esta norma muestra que la incertidumbre más grande deseada es igual a 0.8%.

### 8.3.1 Incertidumbre de la Prueba

El cálculo de la incertidumbre total de una prueba, así como la composición de la incertidumbre sistemática y aleatoria, e obtendrán de la siguiente expresión:

$$U_{95} = \sqrt{B_R^2 + (t \cdot S_R)^2}$$

Donde el primer término corresponde a la contribución de la incertidumbre sistemática y el segundo, a la del azar.

La expresión anterior nos muestra la incertidumbre absoluta, es decir, en la unidad del resultado de la prueba (Consumos Específicos Neto Corregido), para calcular la incertidumbre relativa porcentual se aplica lo siguiente:

$$U_R \% = \frac{U_R}{R}$$

#### a) Cálculo de la Incertidumbre Sistemática Absoluta

La incertidumbre sistemática absoluta se calcula con la siguiente expresión:

$$B_R = \sqrt{\sum_i (\theta_i \cdot B_{\bar{P}i})^2}$$

Donde:

- $B_R$  : Incertidumbre sistemática total, %.
- $\theta_i$  : Coeficiente de sensibilidad % / %.
- $B_{\bar{P}i}$  : Incertidumbre sistemática de cada variable individual %.
- $i$  : La sumatoria al ejecutar todas las variables que intervienen en el cálculo del resultado.

La incertidumbre Sistemática Instrumental de cada variable que interviene en el cálculo del resultado final se obtendrá de:

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

$$B_{\bar{P}_i} = \frac{\text{Precisión}\%}{100} \cdot \bar{X}_i$$

El coeficiente de sensibilidad absoluto se obtendrá de:

$$\theta_i = \frac{\partial R}{\partial \bar{X}_i} \approx \frac{\Delta R}{\Delta \bar{X}_i}$$

Así también, el coeficiente de sensibilidad relativa se obtendrá de:

$$\theta_i' = \frac{\bar{X}_i}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial \bar{X}_i}$$

Donde:

- $\bar{X}_i$  : Valor medio de la variable obtenida durante la prueba.
- $R$  : Resultado de los cálculos de la prueba.

El valor de  $\bar{X}_i$ , llamado Valor Medio, será calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{N_j} \cdot \sum_{k=1}^{N_j} P_{ik}$$

Donde:

- $N_j$  : Número total de lecturas de la variable i.
- $P_{ik}$  : Valor de la lectura k de la variable i.
- $P_{ik}$  : La sumatoria al ejecutar todas las lecturas registradas durante la prueba de la variable i.

## b) Cálculo de la Incertidumbre Aleatoria Absoluta

La incertidumbre aleatoria absoluta se dará por:

$$tS_R = \sqrt{\sum_i (\theta_i \cdot S_{\bar{X}_i} \cdot t_{95,\nu})^2}$$

Donde:

- $N_j$  : Número total de lecturas de la variable i.
- $tS_R$  : Incertidumbre aleatoria Absoluta.

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

- $S_{\bar{x}_i}$  : Desviación estándar de la media de la variable  $X_i$ .
- $t_{95,v}$  : t Student's con 95% de Confiabilidad y  $v = N_j - 1$  grados de libertad.

La desviación estándar de la media se obtendrá de:

$$S_{\bar{x}_i} = \frac{1}{\sqrt{N_j}} \sqrt{\sum_{k=1}^{N_j} \frac{(X_{ik} - \bar{X}_i)^2}{N_j - 1}}$$

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 9 CÁLCULO DE CONSUMO ESPECÍFICO NETO

Los cuadros de cálculo de la prueba de Consumo Especifico Neto de la Unidad Generadora TG2 operando con Diésel de la Central Térmica Tocopilla, se muestran en el Apéndice C.

## 10 RESULTADOS

### 10.1 Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Superior)

Tabla Nº 5

Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

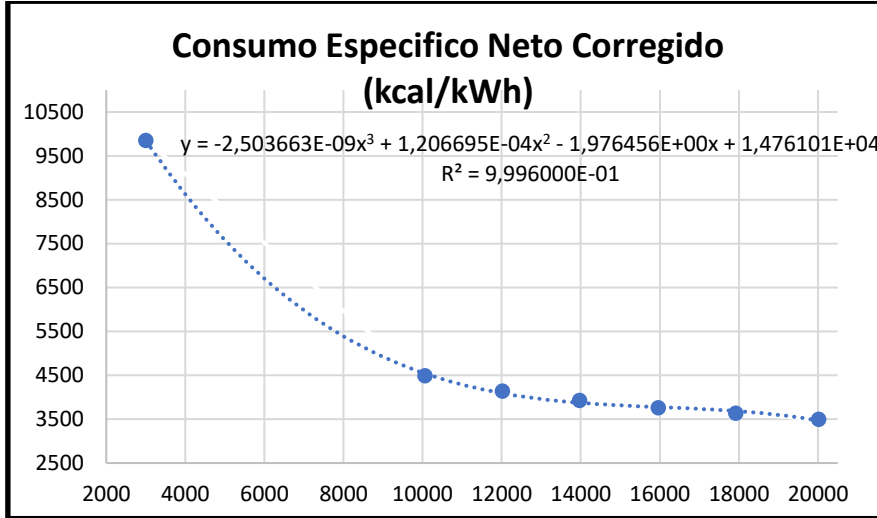
| Escalón     | Potencia Nominal | Potencia Bruta Medida | Potencia Neta Medida | Consumo de Combustible Medido | Consumo Especifico Neto Medido |           | Consumo Especifico de Combustible Neto Medido | Eficiencia Neto Medido | Potencia Bruta Corregida | Potencia Neta Corregida | Consumo Especifico Neto Corregido |           | Incertidumbre |          | Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido | Eficiencia Neto Corregido |
|-------------|------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|---|------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|---------------|----------|--|---------------------------|
|             | (kW)             | (MW)                  | (kW)                 | (m <sup>3</sup> /h)           | (kcal/kWh)                     | (kJ/kWh)  | (Kg/kWh)                                      | (%)                    | (kW)                     | (kW)                    | (kcal/kWh)                        | (kJ/kWh)  | (kcal/kWh)    | (kJ/kWh) | (Kg/kWh)   | (%)                       |
| 1er Escalón | 3000             | 3,027                 | 2977,160             | 3,216                         | 9872,292                       | 38758,121 | 0,962   | 8,710                  | 3055,769                 | 3005,595                | 9847,261                          | 41228,511 | ± 0,399       | ± 1,671  | 0,960  | 8,732                     |
| 2do Escalón | 10000            | 10,049                | 9978,705             | 4,906                         | 4493,607                       | 17641,675 | 0,438   | 19,135                 | 10128,932                | 10058,303               | 4484,339                          | 18852,718 | ± 0,059       | ± 0,246  | 0,437  | 19,174                    |
| 3er Escalón | 12000            | 12,046                | 11965,509            | 5,425                         | 4143,667                       | 16267,828 | 0,404   | 20,751                 | 12101,208                | 12020,717               | 4139,084                          | 17367,915 | ± 0,051       | ± 0,213  | 0,403  | 20,774                    |
| 4to Escalón | 14000            | 14,033                | 13941,145            | 5,987                         | 3925,263                       | 15410,385 | 0,383   | 21,905                 | 14067,529                | 13975,342               | 3923,615                          | 16441,195 | ± 0,053       | ± 0,223  | 0,382  | 21,915                    |
| 5to Escalón | 16000            | 16,036                | 15930,869            | 6,545                         | 3754,776                       | 14741,060 | 0,366   | 22,900                 | 16070,217                | 15964,753               | 3753,608                          | 15725,385 | ± 0,043       | ± 0,181  | 0,366  | 22,907                    |
| 6to Escalón | 18000            | 18,024                | 17903,118            | 7,114                         | 3631,886                       | 14258,601 | 0,354   | 23,675                 | 18045,483                | 17924,933               | 3631,778                          | 15206,433 | ± 0,045       | ± 0,188  | 0,354  | 23,676                    |
| 7mo Escalón | 20580            | 20,107                | 19969,341            | 7,643                         | 3498,151                       | 13733,566 | 0,341   | 24,580                 | 20155,247                | 20017,255               | 3496,843                          | 14651,541 | ± 0,028       | ± 0,117  | 0,341  | 24,589                    |

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

| INFORME |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA | CONSULTORA                 |
|---------|---|--------------------------------|------------|----------------------------|
| Versión | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | ENGIE      | Hamek Ingenieros Asociados |

**Ilustración N° 9**

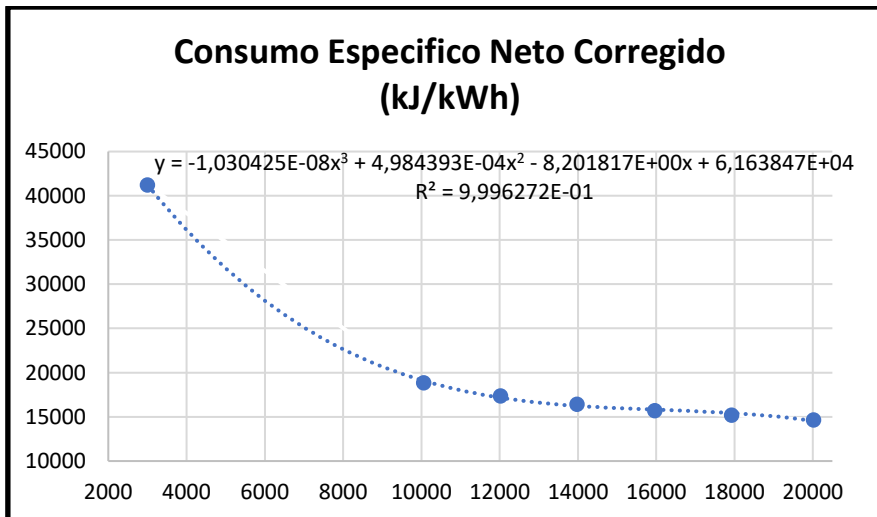
Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



| Consumo Especifico Neto Corregido<br>(kcal/kWh) |               |
|---|---------------|
| a <sub>0</sub>                                  | 1,476101E+04  |
| a <sub>1</sub>                                  | 2,904242E+00  |
| a <sub>2</sub>                                  | 1,206695E-04  |
| a <sub>3</sub>                                  | -2,503663E-09 |

**Ilustración N° 10**

Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



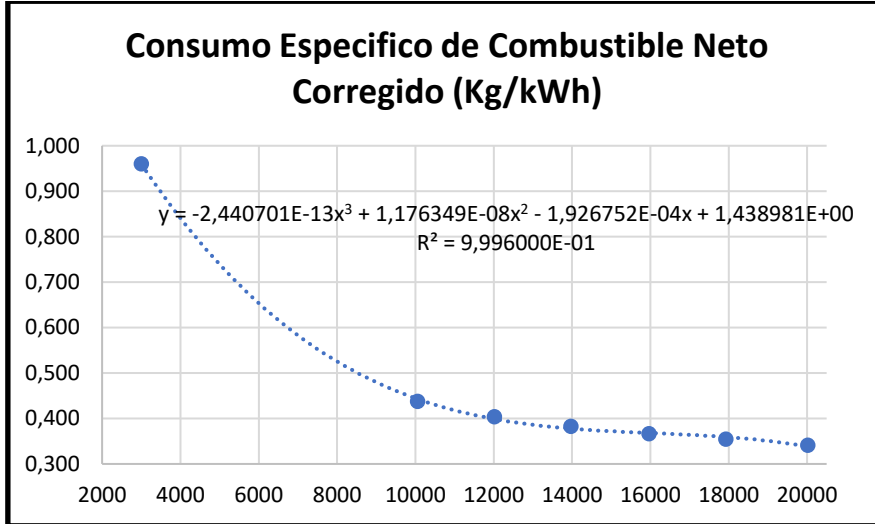
| Consumo Especifico Neto Corregido<br>(kJ/kWh) |               |
|---|---------------|
| a <sub>0</sub>                                | 6,163847E+04  |
| a <sub>1</sub>                                | -8,201817E+00 |
| a <sub>2</sub>                                | 4,984393E-04  |
| a <sub>3</sub>                                | -1,030425E-08 |

|  |                    |                                |                            |
|--|--------------------|--------------------------------|----------------------------|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |                    |                                |                            |
| <b>INFORME</b>   | <b>PROPIETARIO</b> | <b>GENERADORA</b>              | <b>CONSULTORA</b>          |
| Versión  | 1                  | Coordinador Eléctrico Nacional | ENGIE                      |
|  |                    |                                | Hamek Ingenieros Asociados |



**Ilustración N° 11**

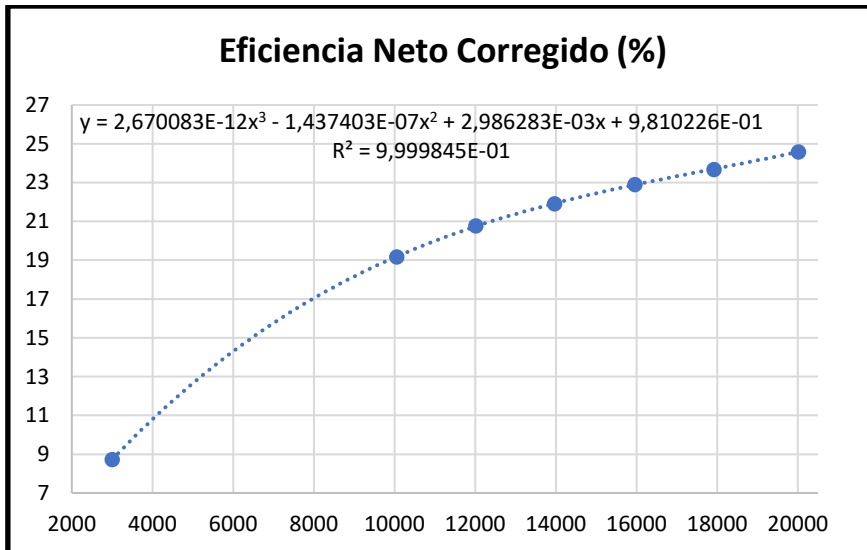
Curva Característica del Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (Kg/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



| Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (Kg/kWh) |               |
|---|---------------|
| a <sub>0</sub>  | 1,438981E+00  |
| a <sub>1</sub>  | -1,926752E-04 |
| a <sub>2</sub>  | 1,176349E-08  |
| a <sub>3</sub>  | -2,440701E-13 |

**Ilustración N° 12**

Curva Característica de la Eficiencia Neto Corregido (%) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



| Eficiencia Neto Corregido (%) |               |
|-------------------------------|---------------|
| a <sub>0</sub>                | 9,810226E-01  |
| a <sub>1</sub>                | 2,986283E-03  |
| a <sub>2</sub>                | -1,437403E-07 |
| a <sub>3</sub>                | 2,670083E-12  |

| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |                     |                            |
|--|---|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA          | CONSULTORA                 |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | Engie Energía Chile | Hamek Ingenieros Asociados |

## 10.2 Resultados de Incertidumbre, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Superior)

Tabla 10-1: Resultados de Incertidumbre las Pruebas de Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

| Prueba de Consumo Específico Neto de la Unidad TG2 (Ciclo Abierto) - Central Térmica Tocopilla - (kcal/kWh) |  |          |  |  |   |
|---|--|----------|--|--|---|
| Descripción   | CEN <sub>c</sub><br>Consumo Específico<br>Neto Corregido | Unidad   | B <sub>R</sub><br>Incertidumbre Sistemático<br>de Cada Escalón | t S <sub>R</sub><br>Incertidumbre Aleatorio de<br>Cada Escalón | U <sub>R</sub><br>Incertidumbre Absoluta<br>Total de Cada Escalón |
| Consumo Específico Neto Corregido - 1er Escalón   | 9847,261   | kcal/kWh | 0,078  | 0,391  | 0,399   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 2do Escalón   | 4484,339   | kcal/kWh | 0,036  | 0,047  | 0,059   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 3er Escalón   | 4139,084   | kcal/kWh | 0,033  | 0,039  | 0,051   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 4to Escalón   | 3923,615   | kcal/kWh | 0,031  | 0,043  | 0,053   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 5to Escalón   | 3753,608   | kcal/kWh | 0,030  | 0,031  | 0,043   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 6to Escalón   | 3631,778   | kcal/kWh | 0,029  | 0,035  | 0,045   |

| Prueba de Consumo Específico Neto de la Unidad TG2 (Ciclo Abierto) - Central Térmica Tocopilla - (kJ/kWh) |  |          |  |  |   |
|---|--|----------|--|--|---|
| Descripción   | CEN <sub>c</sub><br>Consumo Específico<br>Neto Corregido | Unidad   | B <sub>R</sub><br>Incertidumbre Sistemático<br>de Cada Escalón | t S <sub>R</sub><br>Incertidumbre Aleatorio de<br>Cada Escalón | U <sub>R</sub><br>Incertidumbre Absoluta<br>Total de Cada Escalón |
| Consumo Específico Neto Corregido - 1er Escalón   | 41228,511  | kcal/kWh | 0,327  | 1,639  | 1,671   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 2do Escalón   | 18852,718  | kcal/kWh | 0,149  | 0,196  | 0,246   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 3er Escalón   | 17367,915  | kcal/kWh | 0,137  | 0,163  | 0,213   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 4to Escalón   | 16441,195  | kcal/kWh | 0,130  | 0,181  | 0,223   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 5to Escalón   | 15725,385  | kcal/kWh | 0,124  | 0,131  | 0,181   |
| Consumo Específico Neto Corregido - 6to Escalón   | 15206,433  | kcal/kWh | 0,120  | 0,145  | 0,188   |

|  |   |                                |       |                            |  |
|--|---|--------------------------------|-------|----------------------------|--|
| ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL |   |                                |       |                            |  |
| INFORME  |   | PROPIETARIO                    |       | GENERADORA                 |  |
| CONSULTORA   |   |                                |       |                            |  |
| Versión  | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | ENGIE | Hamek Ingenieros Asociados |  |

# APÉNDICES

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

| INFORME |   | PROPIETARIO                    | GENERADORA | CONSULTORA                 |
|---------|---|--------------------------------|------------|----------------------------|
| Versión | 1 | Coordinador Eléctrico Nacional | ENGIE      | Hamek Ingenieros Asociados |