



**ESTUDIO DE DETERMINACIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS
TÉCNICOS DE OPERACIÓN EN
LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE NEHUENCO**

**INFORME TEÓRICO DE DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS
TÉCNICOS EN PARTIDAS Y DETENCIONES
EN C.C. NEHUENCO I**

IN/IP-16/0883-009/01

OCTUBRE 2017

www.inerco.com



ÍNDICE:

	Páginas
0. RESUMEN EJECUTIVO	1
1. ANTECEDENTES Y OBJETO	7
2. PROCESOS DE PARTIDA EN C.C. NEHUENCO I	10
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PARTIDA	10
2.2 TIPOLOGÍAS DE PROCESOS DE PARTIDA	12
3. PROCESO DE DETENCIÓN EN C.C. NEHUENCO I	14
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DETENCIÓN	14
4. PARÁMETROS OPERATIVOS REQUERIDOS PARA LAS PARTIDAS Y DETENCIONES	15
4.1 DESDE EL INICIO DEL PROCESO DE PARTIDA HASTA EL ENCENDIDO DE LA TURBINA DE GAS	17
4.2 DESDE EL ENCENDIDO DE LA TURBINA DE GAS HASTA LA SINCRONIZACIÓN DE LA TURBINA DE VAPOR	19
4.3 DESDE LA SINCRONIZACIÓN DE LA TURBINA DE VAPOR HASTA ALCANZAR LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO	21
4.4 DESDE LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO HASTA LA OPERACIÓN A POTENCIA MÁXIMA	22
4.5 DESDE LA OPERACIÓN A POTENCIA MÁXIMA HASTA LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO	22
4.6 DESDE LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO HASTA LA DESCONEXIÓN DE LA TURBINA DE GAS	23
4.7 DESDE LA DESCONEXIÓN DE LA TURBINA DE GAS HASTA EL TÉRMINO DEL PROCESO DE DETENCIÓN	24
4.8 RESUMEN DE LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS DE PARTIDAS Y DETENCIONES	24
6. BIBLIOGRAFÍA	30

INFORME TEÓRICO DE DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS EN PARTIDAS Y DETENCIONES

ESTUDIO DE DETERMINACIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE OPERACIÓN EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA EN C.C. NEHUENCO I

0. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento recoge los resultados del estudio teórico realizado para determinar diversos parámetros técnicos que sirven para definir y caracterizar los procesos de partida y detención del Ciclo Combinado Nehuenco I (C.C. Nehuenco I, en lo sucesivo) de COLBÚN, **operando exclusivamente con gas natural como combustible.**

Este estudio sustituye a las actividades propuestas originalmente dentro del proyecto IN/IP-16/0883.1, “ESTUDIO DE DETERMINACIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE OPERACIÓN EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE NEHUENCO” que consistían en la realización de una campaña específica de ensayos en campo donde se llevasen a cabo varias partidas y detenciones, y la determinación de sus parámetros característicos empíricamente. Esta campaña de ensayos no se ha podido realizar ya que la previsión de producción del grupo térmico no permitía disponer del programa de cargas requerido para tal fin.

Este estudio persigue como objetivo, por una parte, identificar las distintas tipologías de partida que se definen en función del grado de calentamiento en el que se encuentran la turbina de vapor (TV, en lo sucesivo) y la caldera de recuperación de calor (CRC, en lo sucesivo) y, por otra parte, valorar los parámetros característicos de los procesos de partida y detención a partir de los manuales del fabricante/tecnólogo de la unidad y de análisis de datos reales de operación del presente año, preferentemente. Los parámetros característicos a evaluar serán:

- Combustible gas consumido durante cada uno de los distintos procesos de partida y detención.
- Energía eléctrica consumida durante cada uno de los distintos procesos de partida y detención.
- Tiempo requerido para cada uno de los distintos procesos de partida y detención.

Todos los parámetros objeto de evaluación enumerados anteriormente serán desglosados, siguiendo las recomendaciones del Anexo Técnico: “Determinación de Parámetros para los Procesos de Partida y Detención de unidades Generadoras”, en los siguientes periodos operativos:

1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la turbina de gas.
2. Desde el encendido de la turbina de gas hasta la sincronización de la turbina de vapor.
3. Desde la sincronización de la turbina de vapor hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico.
4. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a Potencia Máxima.
5. Desde la operación a Potencia Máxima hasta la operación a Mínimo Técnico
6. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión de la turbina de gas.
7. Desde la desconexión de la turbina de gas hasta el término del proceso de detención.

En el Manual de Operación de C.C. Nehuenco I el fabricante establece distintas tipologías de partida en función del tiempo transcurrido desde la detención del ciclo combinado, el cual guarda relación con el grado de calentamiento en el que se encuentran la TV y la CRC antes de iniciar un proceso de partida. Dicho grado de calentamiento condiciona la velocidad con la que desarrollan las distintas acciones que comprende un arranque, o incluso las propias acciones que es preciso realizar. Así, se diferencian tres tipos de partida, para los que el fabricante indica valores típicos de algunas variables:

- A. **Partida de la unidad Fría.** La unidad ha estado detenida por un tiempo superior a 48 horas. En estos casos, la presión y temperaturas de vapor vivo son, generalmente, inferiores a 35 bar y 300°C.
- B. **Partida de la unidad Caliente.** La unidad ha estado detenida por un tiempo comprendido entre 8 y 48 horas.
- C. **Partida de la unidad Muy Caliente.** La unidad ha estado detenida por un tiempo inferior a 8 horas. En estos casos, la presión y temperaturas de vapor vivo son, generalmente, superiores a 40 bar y 350°C.

Para la determinación de los parámetros antes mencionados, se han analizado diferentes episodios representativos de la explotación de C.C. Nehuenco I, para los cuales COLBÚN ha proporcionado información de las variables principales y las hojas de control de tiempos de arranque, en aquellos casos donde procede.

En la Tabla 1 aparecen los parámetros característicos determinados para el proceso de partida, desglosados en los períodos operativos enumerados anteriormente. A modo de resumen cabe destacar lo siguiente:

- El **consumo de combustible gas natural** necesario para llevar a cabo una partida de C.C. Nehuenco I oscila entre 103,4 y 44,3 Tm, en función de las condiciones del vapor de alta presión y la temperatura de la TV, principalmente.
- El **consumo eléctrico** necesario para una partida oscila entre 14,5 y 24,3 MWh, en función de las condiciones del vapor de alta presión y la temperatura de la TV.

- La duración de una partida de C.C. Nehuenco I depende principalmente del tiempo que lleva fuera de servicio la unidad. Para partidas de la unidad fría, donde ha permanecido detenida más de 48 horas, el tiempo necesario para el arranque de manera automática no será inferior a 300 minutos, y su duración puede variar sustancialmente en función de las condiciones de calentamiento de la CRC y la TV. Para partidas con la unidad caliente, la duración de este proceso se ve reducida hasta un valor de 205 minutos. Finalmente, para una partida con la unidad muy caliente, la duración del proceso de arranque puede ser solo ligeramente inferior al caso anterior, dado que es preciso adecuar las condiciones de la caldera (presión de vapor vivo y niveles de domos) a valores de arranque.

Para proceso de subida de carga desde Mínimo Técnico hasta Potencia Nominal y viceversa, también se han calculado los parámetros característicos de operación. Los resultados se muestran en la Tabla 2. Cabe destacar los siguientes resultados:

- El **consumo de combustible gas natural** para una subida de carga es de 16,5 Tm. Para una bajada de carga el consumo de gas natural es de 6,3 Tm.
- El **consumo eléctrico** necesario para un proceso de subida de carga es de 2,1 MWh. Para una bajada de carga el consumo eléctrico es de 0,9 MWh.
- El **tiempo** promedio para un proceso de subida de carga es de 22 minutos, y para el proceso de bajada de carga es de 9 minutos.

La detención del C.C. Nehuenco I se ha estudiado considerando dos períodos operativos: En primer lugar, desde una operación del ciclo combinado en modo coordinado y una carga equivalente al Mínimo Técnico, se produce la desconexión de la TV y de la TG, sucesivamente. En segundo lugar, tras la completa desincronización de la unidad, se dejan fuera de servicio todos los sistemas de la TV, TG y CRC, salvo aquellos que se mantienen activos con unidad detenida para garantizar la integridad de los equipos.

Los valores de los parámetros objeto de evaluación aparecen en la Tabla 3 y se resumen del siguiente modo:

- El proceso de detención consume 28,3 Tm de **combustible gas natural** y 7,1 MWh de **energía eléctrica**.
- El **tiempo requerido** para una detención programada de la unidad es de aproximadamente 77 minutos.

Tabla 1: Parámetros técnicos de operación durante la partida de C.C. Nehuenco I.

Partida de la Unidad	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
	min	MWh	kg
Partida de la Unidad Fría			
4.1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la TG	74	3,17	0
4.2. Desde el encendido de la TG hasta la sincronización de la TV	275	19,21	91.935
4.3. Desde la sincronización de la TV hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	24	1,94	11.472
Total	372	24,32	103.407
Partida de la Unidad Caliente			
4.1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la TG	29	2,43	0
4.2. Desde el encendido de la TG hasta la sincronización de la TV	156	14,15	56.715
4.3. Desde la sincronización de la TV hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	20	1,85	10.721
Total	205	18,43	67.436
Partida de la Unidad Muy Caliente			
4.1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la TG	71	4,84	0
4.2. Desde el encendido de la TG hasta la sincronización de la TV	104	8,19	35.755
4.3. Desde la sincronización de la TV hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	17	1,45	8.537
Total	192	14,48	44.292

Tabla 2: Parámetros técnicos de operación asociados a subidas y bajadas de carga de C.C. Nehuenco I.

Subida y Bajada de carga	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
	min	MWh	kg
4.4. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a Potencia Máxima	22	2,05	16.453
4.5. Desde la operación a Potencia Máxima hasta la operación a Mínimo Técnico	9	0,91	6.331

Tabla 3: Parámetros técnicos de operación durante la detención de C.C. Nehuenco I.

Detención Programada de la Unidad	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
	min	MWh	kg
4.6. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión de la TG	51	4,75	28.256
4.7. Desde la desconexión de la TG hasta el término del proceso de detención	26	2,32	0
Total	77	7,07	28.256

Por último, para cada uno de los procesos analizados (partidas, subidas y bajadas de carga, detención programada) y en función de los costes unitarios de los parámetros operativos determinados, se han calculado los costes operativos de los mismos, los cuales aparecen resumidos en la Tabla 4.

Los resultados presentados en este informe están sustentados en datos de operación, los cuales han sido analizados considerando las directrices que maneja de forma habitual el personal de operación de COLBÚN a partir de sus instructivos, así como las instrucciones y criterios de operación establecidos por el fabricante en el Manual de Operación y las Curvas de Arranque.

1. ANTECEDENTES Y OBJETO

El objeto del presente documento es recoger los valores de los principales parámetros a determinar asociados a los procesos de partida y detención del Ciclo Combinado Nehuenco I (C.C. Nehuenco I, en lo sucesivo) de COLBÚN, **operando exclusivamente con gas natural como combustible**. Este estudio teórico para la determinación de los parámetros característicos de partidas y detenciones sustituye a las actividades propuestas originalmente dentro del proyecto IN/IP-16/0883.1, “ESTUDIO DE DETERMINACIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE OPERACIÓN EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE NEHUENCO” que consistían en la realización de una campaña de ensayos en campo donde se llevasen a cabo varias partidas y detenciones, y determinar sus parámetros característicos empíricamente.

El C.C. Nehuenco I, que entró en funcionamiento en el año 1.999, consta de una turbina de gas (TG, en lo sucesivo) V94.3A y una turbina de vapor (TV, en lo sucesivo) suministradas por Siemens AG, cada una de ellas conectada a un generador independiente. La unidad cuenta con una caldera de recuperación de calor (CRC, en lo sucesivo) en la que se genera el vapor para accionar la TV a partir del calor de los gases de escape de la TG.

Para Nehuenco I operando como grupo turbomotor de ciclo combinado exclusivamente con gas natural como combustible, COLBÚN ha informado al Coordinador Eléctrico Nacional que la Potencia Máxima de su TG es de 225,0 MWe brutos y de su TV es 115,0 MWe brutos. La campaña de ensayos de Potencia Máxima realizada por INERCO en el marco del presente proyecto ha arrojado un valor promedio de carga de la unidad, corregidos los resultados a condiciones de diseño ⁽¹⁾, de 324,7 MWe netos.

Para la elaboración del presente informe y de cara a definir razonadamente cada uno de los escenarios operativos objeto de estudio es necesario establecer una serie de definiciones basadas en el Artículo 4 del “Anexo Técnico: Determinación de Parámetros para los Procesos de Partida y Detención de Unidades Generadoras” publicado por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN). Los parámetros a definir son los siguientes:

- a. **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. En la actualidad el valor declarado de este parámetro para C.C. Nehuenco I es de 260 MWe netos (266 MWe brutos).
- b. **Proceso de partida:** El proceso de partida de una unidad generadora es aquel que permite llevar la unidad desde el estado apagado (detenida y sin ningún proceso térmico en funcionamiento) hasta su condición de operación a Mínimo Técnico, inyectando energía al SI de manera segura y estable.

Para el caso de C.C. Nehuenco I el proceso de partida depende de las condiciones

¹ Condiciones de diseño de C.C. Nehuenco I: temperatura ambiente 15,0 °C; presión barométrica 1.003,7 mbar; humedad relativa 60%.

iniciales de la CRC y la TV que estarán intrínsecamente ligadas al tiempo que la unidad ha permanecido detenida, según lo siguiente:

1. **Proceso de partida en estado en frío de la unidad:** proceso que se inicia cuando TV y CRC se encuentran detenidas durante un tiempo superior a 48 horas, según el criterio del fabricante. En esta condición se deben realizar todos los procesos de calentamiento de CRC y TV para pasar de su estado apagado hasta la operación de la unidad a Mínimo Técnico.
 2. **Proceso de partida en estado caliente de la unidad:** proceso que se inicia cuando TV y CRC están detenidas por un periodo menor a 48 horas pero mayor a 8 horas, según el criterio del fabricante. Se acortará el tiempo necesario para llevar a cabo todos los procesos térmicos de CRC y TV hasta su operación a Mínimo Técnico.
 3. **Proceso de partida en estado muy caliente de la unidad:** proceso que se inicia cuando la TV y CRC han estado detenidas por menos de 8 horas, según el criterio del fabricante. En esta condición el tiempo para realizar todos los procesos térmicos hasta que la unidad alcanza el Mínimo Técnico será el menor posible.
- c. **Tiempo de partida:** El tiempo de partida corresponde al tiempo requerido para realizar el proceso de partida del C.C. Nehuenco I. Dependerá de la tipología de partida en función del tiempo que han estado detenidas la TV y CRC, tal y como se ha definido anteriormente. La operación que se demorará mayor tiempo de partida es la que corresponde a una condición fría del grupo turbomotor de ciclo combinado, por el contrario, la que conllevará menos tiempo es aquella que se realiza tras un disparo de protección de la TG o una parada inferior a 8 horas.
- d. **Proceso de detención:** El proceso de detención de C.C. Nehuenco I es aquel que permite que la unidad deje de entregar energía al sistema como grupo turbomotor de ciclo combinado, partiendo del punto de operación a Mínimo Técnico hasta quedar en estado apagado (detenida y sin ningún proceso térmico en funcionamiento) los elementos que la integran: TV, CRC y TG.
- e. **Tiempo de detención:** El tiempo de detención corresponde al tiempo requerido para realizar el proceso de detención de C.C. Nehuenco I según lo definido en el apartado anterior.
- f. **Condición Fuera de Servicio:** Se entenderá que una unidad generadora se encuentra fuera de servicio cuando ésta deja de inyectar energía y se encuentra desconectada del Sistema Interconectado, verificando dicha condición a través del estado de su interruptor principal. En el caso particular de C.C. Nehuenco I, existen dos generadores, vinculados respectivamente a la TG y TV, y ambos se encuentran desconectados del SI en la Condición Fuera de Servicio.

- g. **Estado Apagado:** Se entenderá que una unidad generadora se encuentra en estado apagado, cuando la unidad está completamente detenida. Para el caso de C.C. Nehuenco I, el estado apagado se entenderá cuando los elementos que integran el ciclo combinado se encuentran completamente detenidos y sin ningún proceso térmico en funcionamiento.

Este estudio persigue como objetivo, por una parte, identificar las distintas tipologías de partida que se definen en función del grado de calentamiento en el que se encuentran la TV y la CRC y, por otra parte, valorar los parámetros característicos de los procesos de partida y detención a partir de los manuales del fabricante/tecnólogo de la unidad y de análisis de datos reales de operación del presente año, preferentemente. Los parámetros característicos a evaluar serán:

- Combustible gas consumido durante cada uno de los distintos procesos de partida y detención.
- Energía eléctrica consumida durante cada uno de los distintos procesos de partida y detención.
- Tiempo requerido para cada uno de los distintos procesos de partida y detención.

Adicionalmente, también se van a determinar estos parámetros (tiempo requerido, energía eléctrica consumida y cantidad de combustible empleado) para el proceso de subida de carga desde Mínimo Técnico hasta Potencia Máxima y viceversa.

Por último, es importante destacar que se van a determinar de manera directa los costes asociados a cada uno de estos procesos de partida, detención, y subida y bajada de carga de cara a conocer su incidencia directa sobre los costes de operación del grupo térmico.

Todos los parámetros objeto de evaluación enumerados anteriormente serán desglosados en los siguientes periodos operativos:

1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la turbina de gas.
2. Desde el encendido de la turbina de gas hasta la sincronización de la turbina de vapor.
3. Desde la sincronización de la turbina de vapor hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico.
4. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a Potencia Máxima.
5. Desde la operación a Potencia Máxima hasta la operación a Mínimo Técnico
6. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión de la turbina de gas.
7. Desde la desconexión de la turbina de gas hasta el término del proceso de detención.

2. PROCESOS DE PARTIDA EN C.C. NEHUENCO I

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PARTIDA

El Proceso de Partida en modo Ciclo Combinado de la unidad I de la Central Nehuenco se realiza según la Guía de Maniobra GM-NEH-2.005, “Arranque y Detención Ciclo Combinado con Gas y Diesel”. Dicho documento ha sido elaborado conforme a las instrucciones del Manual de Operación entregado por el fabricante ⁽²⁾.

En la actualidad, C.C. Nehuenco I únicamente arranca mediante el método controlado por temperatura de gas de escape de la TG; es decir, no sigue en ningún caso el método de arranque controlado por carga que describe el Manual de Operación. La mencionada Guía de Maniobra únicamente contempla el método de arranque controlado por temperatura.

En el inicio de la secuencia de arranque del Ciclo Combinado, la Unidad Coordinadora (UCP) determina una consigna para la temperatura de gas de escape que depende de las temperaturas en el domo de alta presión (AP) y en el colector sobrecalentador de AP en ese instante. En consecuencia, la consigna de temperatura con la que parte el proceso de arranque guarda relación con el tiempo que el C.C. Nehuenco I ha estado de detenido, fundamentalmente.

La secuencia de acciones necesarias para la partida o arranque se realiza de forma automática en su práctica totalidad, con la excepción de determinadas acciones manuales realizadas por el operador de panel desde sala de control. Algunas de estas acciones manuales están vinculadas a condiciones necesarias (también denominadas críticas) para que la secuencia de partida pueda progresar.

Existe la posibilidad de realizar acciones automáticas de la secuencia de arranque de modo manual. Sin embargo, no es habitual en la práctica operativa, salvo para determinadas actuaciones que se inician de modo manual con anterioridad a cuando le corresponde según el programa de la UCP, a fin de acortar la duración de los períodos de partida. Esta práctica se realiza en el llenado de los domos de la CRC, por ejemplo.

A continuación, se describe de forma resumida el proceso de partida en frío desde el instante que se comunica a sala de control la instrucción de poner en marcha el C.C. Nehuenco I. Se han diferenciado los siguientes bloques:

² Ver los documentos:

- Parte 1, Sección 2, “Descripción de la Central completa
- Parte 3, Sección 2.1, “Arranque de la Turbina de Gas”
- Parte 3, Sección 2.2, “Arranque de Ciclo Combinado”

- I. **Verificación de los sistemas eléctricos y mecánicos** del Ciclo Combinado. Son actividades previas al inicio del arranque automático. Una vez completadas, el operador de panel coloca en la pantalla de UNIT LOAD CTRL de la unidad Coordinadora el modo de operación “CC Ciclo Combinado” y selecciona el modo de arranque “Control por TEMPERATURA”, dando inicio al proceso de partida.
- II. **Preparación del sistema agua-vapor y sistema de condensados** previos al arranque de la TG. Destacar las siguientes acciones:
 1. Arranque automático de la Caldera Auxiliar, que proporciona en el arranque en frío vapor de sellos necesario para alcanzar condiciones de vacío en el condensador.
 2. Arranque automático de los sistemas de la TV y de los sistemas vinculados a la caldera: agua de refrigeración, alimentación de agua desmineralizada, alimentación de condensado, precalentamiento de condensado, bombas de circulación, alimentación de vapor de sello, evacuación (vacío del condensador) y agua de alimentación a caldera.
 3. Arranque automático del control de la TV.
 4. **Llenado automático de domos de CRC** hasta niveles de partida:
 - -220 mm < nivel domo alta presión < -310 mm
 - -180 mm < nivel domo media presión < -245 mm
 - -180 mm < nivel domo baja presión < -245 mmUna vez se alcanzan estos niveles, el operador de panel tiene que dar necesariamente confirmación de llenado para que progrese la secuencia automática de arranque de la TG. Es la primera condición crítica para el arranque.
- III. **Arranque, sincronización y toma de carga automática de la TG.** Tras arrancar y sincronizar automáticamente, hay un proceso de estabilización que concluye con la apertura del damper que regula el paso de la chimenea auxiliar hasta la caldera de recuperación de calor. A partir de ese instante, la TG aumenta su potencia hasta que los gases de escape alcanzan la temperatura de consigna que ha calculado la UCP
- IV. **Establecimiento de condiciones de vapor** previas al arranque de la TV:
 1. Incremento progresivo de la carga de la TG hasta alcanzar las consignas que UCP calcula para caudales, presiones y temperaturas de vapor en los cuerpos de alta, media y baja presión. La velocidad a la que se produce el proceso está limitada por los gradientes máximos de temperatura que admiten las partes a presión de la caldera. Dichos gradientes están implementados en la UCP y son controlados automáticamente.
 2. **Regulación de las válvulas de by-pass de vapor de alta, media y baja presión.** La secuencia automática de arranque no progresa hasta alcanzar las consignas de presión de arranque:
 - Presión de vapor vivo > 65 bar;
 - Presión de vapor recalentado de media presión > 17 bar; y
 - Presión de vapor de baja presión > 3,5 bar

Además, se tiene que verificar que la válvula de by-pass de media presión alcance una apertura de 45%. Estos requisitos constituyen la segunda condición crítica para el arranque.

3. **Verificación de valores de conductividad catiónica** en el vapor de los cuerpos de alta, media y baja presión, que debe ser inferior en todos ellos a 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El operador de panel tiene que dar necesariamente confirmación de que se alcanza la conductividad del vapor para que progrese la secuencia de arranque de la TV. Es la tercera condición crítica para el arranque.
4. **Dar orden manual de NOMINAL SPEED** para poder incrementar la velocidad de la TV.

V. **Arranque y sincronización de la TV.** Durante todo este proceso la potencia de la TG se mantiene constante:

1. Admisión de vapor hasta que la TV alcanza velocidad de calentamiento.
2. Mantenimiento de TV girando a velocidad de calentamiento hasta que la temperatura del cuerpo de alta presión es similar a la temperatura de vapor vivo, y se verifican otras condiciones adicionales. La consigna de temperatura de vapor vivo viene impuesta por la UCP, y se establece en función de la temperatura del eje del cuerpo de alta presión de la TV.
3. Incremento de revoluciones de la TV hasta velocidad nominal y sincronización.

VI. **Toma de carga progresiva de la TV.** Tiene como consecuencia el cierre progresivo de las válvulas de by-pass de alta, media y baja presión, hasta su cierre total. A partir de ese punto, la carga de la TV se regula exclusivamente con las válvulas de admisión a los cuerpos de alta, media y baja presión.

VII. **Incremento progresivo de carga del Ciclo Combinado** (TG y TV) hasta alcanzar MT. El operador de panel puede fijar la consigna de carga del ciclo combinado una vez que ha superado los 150 MWe netos de potencia (operación en modo predeterminado).

2.2 TIPOLOGÍAS DE PROCESOS DE PARTIDA

Como se ha indicado anteriormente, el tiempo que la CRC ha estado detenida antes de una partida condiciona la consigna de temperatura de gas de escape de la TG para conseguir condiciones de vapor previas al arranque de la TV. En concreto, esta consigna se establece automáticamente a partir de la temperatura del calderín de alta presión y de la temperatura del colector sobrecalentador de alta presión.

El tiempo que la TV ha estado detenida antes de una partida también condiciona el valor de la consigna de temperatura de vapor vivo y vapor recalentado de media presión admisible para el calentamiento de la TV previo a que alcance velocidad nominal. Así, para un arranque en frío, dichas temperaturas deben limitarse a un máximo de 390°C, pero para arranques caliente o muy caliente, deben limitarse a valores más altos, según la temperatura del eje de la TV.

En la medida en que las consignas de las variables antes mencionadas se encuentren más próximas a sus valores para operación en continuo, es decir, los equipos que componen el ciclo combinado hayan estado menor tiempo detenidos, el proceso de arranque será más rápido.

Por ese motivo, el fabricante diferencia en el manual entre tres tipos de procesos de partida, y aporta algunos valores referenciales para las variables características del estado de la CRC y la TV:

- A. **Partida de la unidad Fría.** El tiempo que la unidad ha estado detenida es superior a las 48 horas.
Tras una detención superior a 48 horas, la presión y temperaturas de vapor vivo son, generalmente, inferiores a 35 bar y 300°C. En función del tiempo de detención y de cómo hayan quedado detenidos los diferentes equipos que componen la CRC, esos valores son sustancialmente más bajos.
En relación con la TV, hay que considerar que en una parada fría se pueden dar valores muy dispares de temperatura del eje del cuerpo de alta presión. El fabricante ha informado a COLBÚN que para alcanzar temperaturas de eje inferiores a 150°C y 100°C, la TV ha tenido que permanecer detenida más de 150 y 200 horas, respectivamente. Tras una parada con trabajos de mantención en la TV, se alcanzan valores de temperatura próximos a la temperatura ambiente.
- B. **Partida de la unidad Caliente.** El tiempo que la unidad ha estado detenida está comprendido entre 8 y 48 horas.
- C. **Partida de la unidad Muy Caliente.** El tiempo que la unidad ha estado detenida es inferior a 8 horas.
La presión y temperaturas de vapor vivo en un arranque muy caliente pueden ser superiores a 40 bar y 350°C. Asimismo, la temperatura del eje del cuerpo de la TV de alta presión presenta valores iguales o superiores 400°C.

3. PROCESO DE DETENCIÓN EN C.C. NEHUENCO I

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DETENCIÓN

El proceso de detención en modo Ciclo Combinado de la unidad I de la Central Nehuenco se realiza conforme a las instrucciones del Manual de Operación entregado por el fabricante ⁽³⁾. No existe una Guía de Maniobras donde se detalle el proceso, como sí ocurre con los procesos de partida.

Se describe de forma resumida el proceso de detención desde una condición de MT que se realiza de forma automática, por ser el modo habitual que sigue la instalación. Existe la posibilidad de realizar una secuencia diferente si se pretende dejar en operación la unidad en modo Ciclo Simple, que no es objeto del presente estudio.

De forma somera, los pasos principales del Proceso de Detención son los siguientes:

- I. **Orden de detención a la unidad Coordinadora (UCP)** del modo de operación en Ciclo Combinado.
- II. **Reducción de carga de la TV hasta su desconexión.** En primer término, se procede al cierre del dâmpfer que regula el paso de la chimenea auxiliar hasta la caldera de recuperación de calor. Una vez que las condiciones de vapor caen del límite mínimo (aprox. 450°C) se abren las válvulas de control de by-pass hasta la detención de la TV.
- III. **Reducción de carga de la TG hasta su desconexión.** El control de la TG disminuye progresivamente la carga hasta cero y procede a su desconexión del sistema. A continuación, la TG opera en modo virador para compensar las tensiones térmicas y evitar deformaciones.
- IV. **Detención de la CRC.** El proceso se inicia tras el cierre del dâmpfer de desviación. Inicialmente se mantienen en operación los sistemas del ciclo de vapor, condensado y agua de alimentación para retirar calor residual de la caldera de forma controlada. Posteriormente se produce la detención escalonada del sistema de agua de alimentación, de la circulación de precalentamiento del condensado, las bombas de vacío del condensador, bomba de agua de circulación y bomba de agua de refrigeración. La secuencia para detención de la CRC tiene una duración de 45 minutos.

Una vez completado este proceso, solo quedan en servicio los sistemas auxiliares que garantizan la integridad de los equipos de la planta (lubricación de turbinas y sistema de refrigeración auxiliar).

³ Ver los documentos:

- Parte 1, Sección 2, "Descripción de la Central completa"
- Parte 3, Sección 4.1, "Parada de la Turbina de Gas"
- Parte 3, Sección 2.2, "Parada del Ciclo Combinado"

4. PARÁMETROS OPERATIVOS REQUERIDOS PARA LAS PARTIDAS Y DETENCIONES

Los parámetros característicos a evaluar para cada proceso, como se ha comentado anteriormente, serán los siguientes:

- Combustible gas consumido durante cada uno de los distintos procesos de partida y detención.
- Energía eléctrica consumida durante cada uno de los distintos procesos de partida y detención.
- Tiempo requerido para cada uno de los distintos procesos de partida y detención.

Las variables objeto de cálculo enumerados anteriormente serán desglosados en los siguientes periodos operativos:

1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la turbina de gas.
2. Desde el encendido de la turbina de gas hasta la sincronización de la turbina de vapor.
3. Desde la sincronización de la Turbina de Vapor hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico.
4. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a Potencia Máxima.
5. Desde la operación a Potencia Máxima hasta la operación a Mínimo Técnico
6. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión de la turbina de gas.
7. Desde la desconexión de la turbina de gas hasta el término del proceso de detención.

Para la determinación de estos parámetros, se han analizado diferentes episodios representativos de la explotación de C.C. Nehuenco I, para los cuales COLBÚN ha proporcionado información de las variables principales y las hojas de control de tiempos de arranque, en aquellos casos donde procede (ver Tabla 5).

Dentro de los apartados siguientes se discutirá, cuando corresponda, los resultados obtenidos en este análisis frente a los valores referenciales que ha aportado el fabricante en las Curvas de Arranque y el Manual de Operación.

La evaluación de los parámetros característicos del proceso de partida se ha realizado tomando dos condiciones de arranque en frío, una de arranque caliente (B) y otra de arranque muy caliente (C; re arranque tras un disparo de TG).

Para las partidas en frío se ha considerado una situación en que la unidad ha estado detenida 11 días sin realizar una intervención mayor (A.1), y otra situación tras una detención aún más larga en la que se han intervenido diferentes equipos (A.2). En este último caso es la condición más extrema en cuanto a duración de un proceso de partida, dado que la CRC y la TV presentan valores de temperatura próximos a la temperatura ambiente, tal y como se refleja en la Tabla 6.

Tabla 5. Episodios representativos de la explotación de C.C. Nehuenco I.

Proceso estudiado	Ítem	Fecha	Inicio	Fin
Partida en Frío	A.1 ⁽¹⁾⁽²⁾	10/04/2017	1:00	8:06
	A.2	13/10/2015	19:30	2:43
Partida en Caliente	B	01/04/2017	21:00	0:25
Partida Muy Caliente	C	30/06/2016	1:13	4:24
Subida de Carga de MT a PM	D.1	10/04/2017	8:07	8:38
	D.2	30/06/2016	5:02	5:19
	D.3	12/04/2017	7:18	7:35
	D.4	14/10/2015	8:07	8:25
Bajada de Carga de PM a MT	E.1	12/04/2017	0:40	0:48
	E.2	07/04/2017	22:58	23:06
Detención programada	F	07/04/2017	23:52	1:08

⁽¹⁾Se ha descontado el período entre 1:45 y 2:39 ya que se realiza lavado off-line del filtro en la entrada del compresor.

⁽²⁾Se ha descontado el período entre 6:17 y 7:18 ya que hubo dos intentos de arrancar la TV que el control abortó, porque entró en servicio la protección "TOO LOW": no se verifican las velocidades de subida de rpm de la TV que están programadas en el control.

Tabla 6. Variables características de la condición de partida de TV y CRC para los episodios objeto de estudio.

Proceso estudiado	Ítem	Fecha	Parámetros característicos (Partidas)			
			Temp. Vapor AP (°C)	Presión Vapor AP (bar)	Temp. Eje TV-AP (°C)	Horas detenido
Partida en Frío	A.1	10/04/2017	137,7	0,41	261,2	265
	A.2	13/10/2015	20,0	0,44	40,9	-
Partida en Caliente	B	01/04/2017	392,5	14,9	364,8	354
Partida Muy Caliente	C	30/06/2016	490,1	79,6	453,5	0

En la elección de los períodos estudiados se ha priorizado que los mismos estuvieran exentos de eventos que distorsionasen su duración respecto del desarrollo normal de la secuencia automática de arranque o parada, o bien que dichos eventos pudiesen ser fácilmente identificados y su duración cuantificada. Por tanto, se entiende que la duración y los consumos presentados en el presente documentos son los más acotados posibles en función de lo que se ha podido observar, y que la aparición de fallas o problemas operativos en la puesta en servicio o retirada del C.C. Nehuenco I tendrá como consecuencia una duración mayor del proceso y unos consumos de energía eléctrica y combustible gas natural superiores.

4.1 DESDE EL INICIO DEL PROCESO DE PARTIDA HASTA EL ENCENDIDO DE LA TURBINA DE GAS

El proceso de partida se inicia cuando el operador de panel coloca en la pantalla de UNIT LOAD CTRL de la unidad Coordinadora el modo de operación “CC Ciclo Combinado” y selecciona el modo de arranque “Control por TEMPERATURA”.

Previamente ha sido preciso realizar una serie de verificaciones y comprobaciones de los sistemas eléctricos y mecánicos de los elementos del Ciclo Combinado Nehuenco I. Este proceso tiene una duración típica de 30 minutos, según indica personal de COLBÚN. A efectos de la determinación de parámetros operativos de un proceso de partida, no se va a considerar la duración de estas actividades ni los consumos de electricidad asociados.

Tras la instrucción de arranque se llevan a cabo las acciones descritas en el apartado 2.1 que corresponden a la preparación del sistema agua-vapor y sistemas de condensado (Bloque II), las cuales son condición necesaria para el arranque de la TG. De todas las actuaciones comprendidas en este proceso, el paso limitante es el llenado automático de los domos de la CRC, pues es la que lleva más tiempo.

El fabricante aporta Curvas de Arranque para los tres tipos de partida con **tiempos de duración referenciales** del conjunto del proceso (ver Bibliografía en Apartado 6). Estas curvas indican específicamente que los tiempos de arranque ya asumen que la CRC y el sistema de condensado están listos para operar al instante en que se arranca la TG. Sin embargo, no indican los tiempos requeridos para alcanzar dichas condiciones, que son los que se están evaluando en el presente epígrafe.

También el Manual de Operación del fabricante indica que estas actividades de preparación de la TV y CRC son condición necesaria para la partida (ver epígrafe “Preparación para el arranque” en el documento Parte 1, Sección 2 “Descripción de la Central Completa”). Sin embargo, tampoco ofrece información de tiempos de duración las mismas.

En la Tabla 7 aparece un resumen de los parámetros característicos de esta fase de estudio para los diferentes tipos de partida de la unidad.

Tabla 7. Parámetros operativos requeridos desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la turbina de gas.

4.1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la turbina de gas		Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
					min	MWh	kg
Partida en Frío	A.1 ⁽¹⁾	10/04/2017	1:00	3:12	78	3,63	0
	A.2	13/10/2015	19:30	20:38	69	2,72	0
Partida en Caliente	B	01/04/2017	21:00	21:28	29	2,43	0
Partida Muy Caliente	C	30/06/2016	1:13	2:23	71	4,84	0

⁽¹⁾Se ha descontado el período entre 1:45 y 2:39 ya que se realiza lavado off-line del filtro en la entrada del compresor.

Es preciso reseñar que para la partida del 10/04/2017, se realizó de manera manual el arranque de la TG, previamente a que se alcanzase el nivel de arranque en el domo de vapor de alta presión. Sin embargo, no fue posible lograr la sincronización de la TG hasta 40 minutos después, una vez que se verificó la condición de llenado de dicho domo. Esta operación se realizó buscando acelerar el proceso de arranque, dado que se estaba tardando mucho en completar en forma automática el llenado del domo de vapor alta presión.

Como se verá en el siguiente apartado, para el resto de arranques se verificó que el tiempo transcurrido entre el encendido de llama y la sincronización de la TG presenta un promedio de 9 minutos. Por ello se ha considerado que, para el caso particular del arranque del 10/04/07, la duración del proceso desde la orden de partida hasta el encendido de la TG se debe incrementar en 31 minutos respecto al cálculo directo a partir de los partes de variables de control. Esta consideración está reflejada en la Tabla 7, donde también se han realizado la correspondiente corrección en cuanto a consumo de energía eléctrica. Asimismo, para la partida del 10/04/2017, en el apartado siguiente se reflejarán una duración y consumos asociados al periodo comprendido entre el arranque de la TG y su sincronización corregidos.

A pesar de que la secuencia de partida en C.C. Nehuenco I se hace de forma automática, es preciso destacar que ciertas actividades de preparación pueden ser iniciadas de forma manual por el personal de COLBÚN con anticipación a la orden de arranque, a fin de que dicho proceso sea lo más corto posible y se garantice una partida exitosa para la hora establecida por el coordinador de la red eléctrica. En función del tiempo de anticipación con el que la Central conoce el requerimiento de arranque es posible avanzar en mayor o menor medida en estas actividades y, por tanto, es posible acortar los tiempos de arranque.

En esta línea, es práctica habitual de C.C. Nehuenco I que la Caldera Auxiliar se mantenga en marcha con la unidad detenida, a fin de disponer de vapor de sellos y lograr el vacío del condensador tan pronto como se requiera. En los casos de partida caliente, en función de las presiones y temperaturas del vapor de la CRC, puede ser necesario o no utilizar vapor auxiliar para disponer de vapor de sellos. Para los arranques muy calientes, no se requiere vapor auxiliar, pues se toma vapor del domo de baja presión.

También es práctica habitual iniciar de modo manual el llenado de los domos de la CRC con anticipación al inicio de la orden de partida, especialmente cuando dicha partida ha sido programada con antelación.

En relación a la partida con unidad muy caliente, destacar que antes de volver a arrancar tras un disparo o un corto periodo de detención, es necesario actuar sobre las presiones de vapor vivo y los niveles de los domos hasta llevarlos a sus condiciones de arranque. En el caso particular del vapor vivo, su presión debe ser unos 10 bar inferior a la consigna para arranque de la TV (65 bar), para lo cual puede ser necesario despresurizar el domo de alta presión. Esta actuación debe hacerse garantizando que se mantienen en los domos de la CRC los niveles de llenado exigidos para el arranque de la TG, maniobra que suele resultar lenta y dificultosa. La experiencia del personal de COLBÚN es que el proceso de preparación de la CRC tras un disparo suele extenderse por un periodo de 60 a 90 minutos.

Por último, hay que remarcar que no ha sido posible contabilizar el consumo de gas requerido para la operación de la caldera auxiliar, dado que no cuenta con ningún instrumento mediante el cual registrar el caudal de combustible.

4.2 DESDE EL ENCENDIDO DE LA TURBINA DE GAS HASTA LA SINCRONIZACIÓN DE LA TURBINA DE VAPOR

Una vez que se ha completado el proceso de preparación de la CRC y TV, y el operador de panel da la orden "Filling only OFF" en la pantalla UNIT LOAD CTRL de la unidad Coordinadora, se enciende de forma automática la TG.

A partir de ese punto se llevan a cabo las acciones descritas en el apartado 2.1 que corresponden al arranque, sincronización y toma de carga automática de la TG (Bloque III); al establecimiento de condiciones de vapor previas al arranque de la TV (Bloque IV); y al arranque y sincronización de la TV (Bloque V).

De todas las actuaciones comprendidas en estos tres procesos, los pasos limitantes se dan en la obtención de las condiciones de vapor para arranque de la TV, y se corresponden con las siguientes actuaciones:

- Alcanzar las consignas que establece la Unidad Coordinadora respecto de caudal, presión y temperatura de vapor en la CRC, y de posición de las válvulas de by-pass de vapor aguas arriba de la TV. La velocidad de este proceso depende de las condiciones de

partida de la unidad (fría, caliente o muy caliente), y de los gradientes máximos de temperatura que admiten las partes a presión de la caldera.

- Alcanzar valores de conductividad catiónica en el vapor inferiores al límite que la UCP establece para el arranque.

En las curvas de arranque del fabricante para los tres tipos de partida se indican tiempos desde el encendido de la TG hasta la sincronización de la TV. Dichos valores, que deben ser considerados como referenciales y no contractuales (ver leyenda "FOR INFORMATION ONLY") son los siguientes: 90 minutos para una partida en frío; 45 minutos para una partida en caliente; y 30 minutos para una partida muy caliente.

En las curvas del fabricante también se indican valores referenciales de temperatura del eje del cuerpo de alta presión de la TV (50°C para partida fría; 275°C para partida caliente; y 405°C para partida muy caliente), que están relacionadas con la mayor o menor velocidad del proceso de precalentamiento de la TV previo a su sincronización. Sin embargo, no se indica nada de temperatura y presión de partida del vapor de alta presión, que como se ha indicado anteriormente, condicionan el proceso de calentamiento de la CRC para alcanzar las consignas de vapor requeridas previas al arranque de la TV.

Adicionalmente, las curvas de arranque del fabricante indican específicamente que no incluyen el tiempo necesario para que se alcancen los valores de conductividad del vapor adecuados para el arranque de la TV. Esa condición, como se ha explicado anteriormente, es condición necesaria para el arranque de la TV, y así se recoge en el Manual de Operación.

En la Tablas 8 y 9 aparecen resumidos los parámetros característicos de esta fase de estudio para los diferentes tipos de partida de la unidad. Destacar que se ha diferenciado tiempos y consumos para el período transcurrido desde el encendido de la TG hasta su sincronización, y para el período que abarca desde la sincronización de la TG y la sincronización de la TV.

Tabla 8. Parámetros operativos requeridos desde el encendido de la turbina de gas hasta la sincronización de la turbina de gas.

4.2.A Desde el encendido de la turbina de gas hasta sincronización de la turbina de gas		Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
					min	MWh	kg
Partida en Frío	A.1	10/04/2017	3:13	3:21	9	0,55	1.672
	A.2	13/10/2015	20:39	20:46	8	0,56	1.147
Partida en Caliente	B	01/04/2017	21:29	21:38	10	1,07	1.379
Partida Muy Caliente	C	30/06/2016	2:24	2:32	9	0,89	1.144

Tabla 9. Parámetros operativos requeridos desde la sincronización de la turbina de gas hasta la sincronización de la turbina de vapor.

4.2.B Desde la sincronización de la turbina de gas hasta sincronización de la turbina de vapor		Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido	Potencia neta generada por la TG
					min	MWh	kg	MWh
Partida en Frío	A.1 ⁽¹⁾	10/04/2017	3:22	7:43	200	16,13	71.847	203,06
	A.2	13/10/2015	20:47	2:19	332	21,17	109.204	299,18
Partida en Caliente	B	01/04/2017	21:39	0:05	146	13,08	55.336	163,98
Partida Muy Caliente	C	30/06/2016	2:33	4:07	95	7,30	34.611	112,90

⁽¹⁾Se ha descontado el período entre 6:17 y 7:18 ya que hubo dos intentos de arrancar la TV que el control abortó, porque entró en servicio la protección "TOO LOW": No se verifican las velocidades de subida de rpm de la TV que están programadas en el control.

4.3 DESDE LA SINCRONIZACIÓN DE LA TURBINA DE VAPOR HASTA ALCANZAR LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO

Tras la sincronización de la TV, según se describe en el apartado 2.1, se produce un incremento progresivo de carga de la TV en primera instancia (Bloque VI) y posteriormente de la TG y TV (Bloque VII) hasta alcanzar el Mínimo Técnico.

En las curvas de arranque del fabricante se indican los siguientes tiempos desde la sincronización de la TV hasta alcanza Mínimo Técnico (80% de la Potencia Máxima en condiciones de diseño): 50 minutos para una partida en frío; 35 minutos para una partida en caliente; y 20 minutos para una partida muy caliente.

En la Tabla 10 aparece un resumen de los parámetros característicos de esta fase de estudio para los diferentes tipos de partida de la unidad.

Tabla 10. Parámetros operativos requeridos desde la sincronización de la turbina de vapor hasta Mínimo Técnico.

4.3 Desde la sincronización de la turbina de vapor hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico		Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
					min	MWh	kg
Partida en Frío	A.1	10/04/2017	7:44	8:06	23	2,20	11.922
	A.2	13/10/2015	2:20	2:43	24	1,69	11.021
Partida en Caliente	B	01/04/2017	0:06	0:25	20	1,85	10.721
Partida Muy Caliente	C	30/06/2016	4:08	4:24	17	1,45	8.537

4.4 DESDE LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO HASTA LA OPERACIÓN A POTENCIA MÁXIMA.

En el estudio se han reflejado procesos de subida de carga desde Mínimo Técnico hasta Potencia Máxima tras un arranque, de los cuales en uno de ellos la subida se ha producido tras una partida sin permanecer la carga operando a Mínimo Técnico (episodio del 10/04/2017), y en otros 2 la subida se ha producido tras estar el C.C. de Nehuenco I operando a Mínimo Técnico durante al menos 30 minutos (episodios del 30/06/2016 y 14/10/2015) tras una partida. Por último, se ha analizado un episodio en el que se sube la carga tras haber permanecido la unidad por más de una hora operando a Mínimo Técnico (12/04/2017).

En la Tabla 11 aparece un resumen de los parámetros característicos de esta fase de estudio para los procesos de subida de carga estudiados.

Tabla 11. Parámetros operativos requeridos desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a Potencia Máxima.

4.4 Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a Potencia Máxima	Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
				min	MWh	kg
D.1	10/04/2017	8:07	8:38	32	3,26	25.356
D.2	30/06/2016	5:02	5:19	18	1,66	13.171
D.3	12/04/2017	7:18	7:35	18	1,80	13.554
D.4	14/10/2015	8:07	8:25	19	1,50	13.733

4.5 DESDE LA OPERACIÓN A POTENCIA MÁXIMA HASTA LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO

Para el presente documento se ha analizado un proceso de bajada de carga desde Potencia Máxima hasta Mínimo Técnico para una parada programada (episodio del 7/04/2017) previo a una detención programada, en el que la unidad permanece a Mínimo Técnico durante 40 minutos antes de proceder a la detención; y un proceso de bajada de carga por necesidad de Mercado (episodio de 12/04/2017).

En la Tabla 12 aparece un resumen de los parámetros característicos de esta fase de estudio para los procesos de bajada de carga estudiados.

Tabla 12. Parámetros operativos requeridos desde la operación a Potencia Máxima hasta la operación a Mínimo Técnico.

4.5 Desde la operación a Potencia Máxima hasta la operación a Mínimo Técnico	Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
				min	MWh	kg
E.1	12/04/2017	0:40	0:48	9	0,91	6.359
E.2	07/04/2017	22:58	23:06	9	0,91	6.302

4.6 DESDE LA OPERACIÓN A MÍNIMO TÉCNICO HASTA LA DESCONEXIÓN DE LA TURBINA DE GAS.

El proceso de detención automática se inicia cuando el operador de panel desconecta en la pantalla de UNIT LOAD CTRL de la unidad Coordinadora el modo de operación “CC Ciclo Combinado”.

A partir de este punto, según se describe en el apartado 3.1, se procede en primer término a la reducción de carga de la TV hasta su desconexión, y posteriormente a la reducción de carga de la TG hasta su desconexión.

No se cuenta con información por parte del fabricante indicando el tiempo estimado de este proceso.

En la Tabla 13 aparece un resumen de los parámetros característicos de esta fase de estudio para la detención programada del día 7/04/2017.

Tabla 13. Parámetros operativos requeridos desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión de la turbina de gas.

4.6 Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión de la turbina de gas	Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido	Potencia neta generada por la TG
				min	MWh	kg	MWh
Hasta desincronización TV	07/04/2017	23:52	0:19	28	2,68	17.927	-
Hasta desincronización TG	08/04/2017	0:20	0:42	23	2,07	10.329	36,88
Total	07/04/2017	23:52	0:42	51	4,75	28.256	-

4.7 DESDE LA DESCONEXIÓN DE LA TURBINA DE GAS HASTA EL TÉRMINO DEL PROCESO DE DETENCIÓN

Tras el cierre del d  mper que regula el paso de humos de la TG hasta la chimenea auxiliar o a la caldera de recuperación de calor, se inicia el proceso de detención de dicha caldera. Por lo tanto, el proceso coexiste con la detención de la TG, pero tiene una mayor duración.

En la presente fase de estudio se han determinado el proceso de detención de la unidad tras la desconexión de la TG. Algunas de las actuaciones de dicho proceso, que involucran a la CRC ya se iniciaron en la fase anterior.

En la Tabla 14 aparece un resumen de los parámetros característicos de esta fase de estudio para la detención programada del día 7/04/2017.

Tabla 14. Parámetros operativos requeridos desde la desconexión de la turbina de gas hasta el término del proceso de detención.

4.7 Desde la desconexión de la turbina de gas hasta el término del proceso de detención	Fecha	Inicio	Fin	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
				min	MWh	kg
	07/04/2017	0:43	1:08	26	2,32	0

4.8 RESUMEN DE LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS DE PARTIDAS Y DETENCIONES

En la Tabla 15 se resumen los valores característicos de los parámetros operativos de partidas que INERCO ha podido establecer a partir de los casos estudiados y la información disponible.

En la Tabla 16 se resumen los valores característicos de los parámetros operativos de los procesos de subida y bajada de carga que INERCO ha podido establecer a partir de los casos estudiados y la información disponible.

En la Tabla 17 se resumen los valores característicos de los parámetros operativos del proceso de detención programada que INERCO ha podido establecer a partir del caso estudiado y la información disponible.

Tabla 15: Parámetros técnicos de operación durante la partida de C.C. Nehuenco I.

Partida de la Unidad	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
	min	MWh	kg
Partida de la Unidad Fría			
4.1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la TG	74	3,17	0
4.2. Desde el encendido de la TG hasta la sincronización de la TV	275	19,21	91.935
4.3. Desde la sincronización de la TV hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	24	1,94	11.472
Total	372	24,32	103.407
Partida de la Unidad Caliente			
4.1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la TG	29	2,43	0
4.2. Desde el encendido de la TG hasta la sincronización de la TV	156	14,15	56.715
4.3. Desde la sincronización de la TV hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	20	1,85	10.721
Total	205	18,43	67.436
Partida de la Unidad Muy Caliente			
4.1. Desde el inicio del proceso de partida hasta el encendido de la TG	71	4,84	0
4.2. Desde el encendido de la TG hasta la sincronización de la TV	104	8,19	35.755
4.3. Desde la sincronización de la TV hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	17	1,45	8.537
Total	192	14,48	44.292

Tabla 16: Parámetros técnicos de operación asociados a subidas y bajadas de carga de C.C. Nehuenco I.

Subida y Bajada de carga	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
	min	MWh	kg
4.4. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a Potencia Máxima	22	2,05	16.453
4.5. Desde la operación a Potencia Máxima hasta la operación a Mínimo Técnico	9	0,91	6.331

Tabla 17: Parámetros técnicos de operación durante la detención de C.C. Nehuenco I.

Detención Programada de la Unidad	Tiempo requerido	Energía eléctrica consumida	Gas Natural consumido
	min	MWh	kg
4.6. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión de la TG	51	4,75	28.256
4.7. Desde la desconexión de la TG hasta el término del proceso de detención	26	2,32	0
Total	77	7,07	28.256

Los resultados presentados en este informe están sustentados en datos de operación, los cuales han sido analizados considerando las directrices que maneja de forma habitual el personal de operación de COLBÚN a partir de sus instructivos, así como las instrucciones y criterios de operación establecidos por el fabricante en el Manual de Operación y las Curvas de Arranque.

Los análisis y/o cálculos de los parámetros técnicos para los procesos de partida y detención se han realizado sobre un número reducido de casos, si bien estos han sido escogidos por su representatividad de las situaciones que se perseguía analizar. En cualquier caso, INERCO recomienda calcular los parámetros operativos objeto de evaluación para procesos de partida y detención que se vayan realizando a futuro, de forma que se pueda enriquecer los resultados entregados en el presente informe, y consolidar en mayor medida para C.C. Nehuenco I los valores de los parámetros técnicos objeto de estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Anexo Técnico: “DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA LOS PROCESOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN DE UNIDADES GENERADORAS”
- Manual de Operación de Central Nehuenco emitido por SIEMENS:
 - Parte 1, Sección 2, “Descripción de la Central completa”
 - Parte 3, Sección 2.1, “Arranque de la Turbina de Gas”
 - Parte 3, Sección 2.2, “Arranque de Ciclo Combinado”
 - Parte 3, Sección 4.1, “Parada de la Turbina de Gas”
 - Parte 3, Sección 2.2, “Parada del Ciclo Combinado”
- Orden de Operación de C.C. Nehuenco I “PUESTA EN SERVICIO DEL CICLO COMBINADO”
- Guía de Maniobra GM-NEH-2.005: “ARRANQUE Y DETENCIÓN CICLO COMBINADO CON GAS Y DIESEL”
- Curvas de arranque del fabricante, contenidas en el Apéndice 6 del documento de referencia “KWU TAP1/97/002”