

## PROPUESTA DE DICTAMEN TÉCNICO

### SOLICITUD DE REVISIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FUNCIONAMIENTO (ETF) DE REFERENCIA PME 4-14/11 RELATIVA A LA MODIFICACIÓN DE LA BANDA MUERTA DE LOS FILTROS DE LA SEÑAL DE FLUJO NEUTRÓNICO DE CN TRILLO

#### 1. IDENTIFICACIÓN

1.1 **Solicitante:** Centrales nucleares Almaraz- Trillo, A.I.E.

#### 1.2 **Asunto:**

Con fecha 26 de noviembre de 2014 (nº de registro de entrada en el CSN 44101) procedente de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, se recibió en el CSN la propuesta PME 4-14/11, presentada por el titular de la central nuclear Trillo, de revisión de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

Mediante esta propuesta, el titular solicita la aprobación de los cambios siguientes en las ETF:

- Modificar la tabla 4.2.1.1-3 para indicar que en el circuito de cálculo para la potencia del reactor, el ajuste de las bandas muertas de los filtros de señal de flujo neutrónico tendrá como valor máximo el +/- 8% (considerando  $3\sigma$  en la distribución de ruido) en lugar del vigente +/- 6%.
- Modificar el apartado 5.4.2.1 de las bases del requisito de vigilancia RV 4.2.1.1.8 de las ETF para indicar que “se ha verificado que con un ajuste de la banda muerta del filtro correspondiente a este valor del 8% de la potencia nuclear (8% del valor de la señal de flujo neutrónico al 100% de potencia nominal) no existen efectos significativos en el combustible y el comportamiento temporal del filtro sigue siendo adecuado”.  
Además, en el apartado de referencias que figura en las bases de la especificación técnica se añade el documento: “Evaluación de los trabajos asociados a la determinación de la causa raíz del aumento del flujo neutrónico” (referencia CO-12/012)

#### 1.3 **Documentos aportados por el Solicitante**

Propuesta de modificación de las ETF PME 4-14/11. En su escrito de solicitud, el titular hace referencia a escritos anteriores mediante los cuales justifica el cumplimiento con el condicionado anexo a la resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas de fecha 30 de abril de 2013, por la que se rechazaba la propuesta de revisión de las ETF de referencia PME 4-12/04, previo informe del CSN acordado en su reunión de fecha 27 de febrero de 2013.

## 1.4 Documentos Oficiales

Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de CN Trillo.

## 2. DESCRIPCIÓN Y OBJETO DE LA PROPUESTA

### 2.1 Descripción de la solicitud

La central nuclear Trillo ha experimentado desde el principio de su operación un problema de exceso de ruido en el flujo neutrónico semejante a otras plantas de diseño KWU-Siemens-AREVA, especialmente en aquellas equipadas con generadores de vapor con “economizador” para mejorar el ciclo termodinámico.

El ruido neutrónico es la variación temporal de la señal de flujo neutrónico en el reactor respecto a un valor medio de la misma. Cuando esa variación excede determinados valores la instrumentación nuclear interna o externa produce la activación de algunas señales de los sistemas de limitaciones o de protección.

Dicho fenómeno, conocido por el CSN desde el origen de la explotación de la central es real y no es efecto de la instrumentación o de otros posibles efectos espurios. Aproximadamente, en el año 1990 se instalaron filtros en las señales de flujo neutrónico para limitar el impacto en la operación de las señales de ruido neutrónico.

Básicamente, el funcionamiento de los filtros en las señales de flujo neutrónico consiste en filtrar o eliminar un rango de valores en la oscilación del flujo neutrónico para que la instrumentación nuclear no detecte esa oscilación y genere una señal de limitación o protección no deseada porque se debe al ruido y no a una necesidad real. El rango de valores alrededor del valor medio para los cuales la señal se filtra es lo que se llama la “banda muerta” del filtro.

En el caso de la solicitud de cambio de las ETF el ajuste de las bandas muertas se hace a tres veces la desviación típica ( $3\sigma$ ), lo que significa que con una probabilidad del 99% las oscilaciones del flujo alrededor del valor medio serán filtradas y tan solo un 1% de las oscilaciones debidas al ruido progresarán provocando actuaciones de los sistemas de protección. En la solicitud de modificación de las ETF no se permite que la señal de flujo filtrada sea superior a una variación en la potencia nuclear de un 8%, para evitar que variaciones en el flujo o en la potencia que requieren actuaciones de limitación o protección (caída de barra, sobrepotencia, etc) se vean retrasadas o impedidas.

Con el paso del tiempo, la evolución en el diseño neutrónico del núcleo (mayor enriquecimiento) y en el diseño de los elementos combustibles ha conllevado un incremento en la magnitud del ruido. Este incremento ha tenido como consecuencia

que a final de cada ciclo de operación se produzca un aumento del número de actuaciones indeseadas del sistema de limitaciones (YT).

El fenómeno de ruido neutrónico responde al carácter aleatorio de las fluctuaciones locales de flujo neutrónico en el núcleo del reactor que se manifiestan en las lecturas de los detectores de flujo situados tanto en el interior como en el exterior del núcleo. Entre los factores principales que intervienen en el ruido neutrónico destacan los siguientes:

- Las diferencias de temperatura (estratificación) presentes en el refrigerante a la salida de los generadores de vapor que se atenúan de forma importante por el paso del agua por la bomba principal de cada lazo del circuito primario pero permanecen a la entrada del núcleo. Estas variaciones de temperatura se convierten en variaciones de potencia local debidas a la realimentación de reactividad por el coeficiente de temperatura del moderador. En el caso de CN Trillo este efecto se ve aumentado por la presencia del “economizador” en los generadores de vapor que aumenta las diferencias de temperatura entre distintas zonas de refrigerante y el diseño particular de sus bombas del primario. Como este coeficiente de realimentación se hace más negativo a medida que aumenta el quemado del ciclo (aumenta en valor absoluto), la realimentación aumenta y con ella, las variaciones de potencia producidas por este efecto.
- El comportamiento mecánico de las estructuras de la vasija permitiría explicar en parte la morfología del ruido.
- El aumento del enriquecimiento también ha contribuido al aumento en la amplitud del ruido.
- La evolución del diseño estructural y termohidráulico permitiría explicar la dependencia observada de la magnitud del ruido con el tipo o tipos de combustible residentes en el núcleo, así como la estabilización del mismo una vez la población de tipos de elementos combustibles es homogénea.

El ruido neutrónico afecta tanto a la instrumentación nuclear interna (compuesta por seis lanzas con detectores intranucleares) como a la externa (compuesta por cuatro columnas de detección). Cuando esta instrumentación detecta un valor determinado de la oscilación en el valor del flujo neutrónico, se producen actuaciones del sistema de limitación y si se supera determinado valor actúa el sistema de protección. La actuación es distinta dependiendo de que la señal de flujo neutrónico aumente (posible sobrepotencia) o disminuya (posible caída rápida de potencia).

Como se detalla en el apartado de antecedentes de esta propuesta de dictamen, en febrero de 2013, el Consejo acordó rechazar la solicitud de modificación de las ETF PME 4-12/04 idéntica a esta porque consideró que era necesario profundizar en la caracterización y causas del fenómeno del ruido neutrónico. Asimismo, acordó una serie de condiciones con objeto de caracterizar y profundizar más en el conocimiento del ruido neutrónico.

En la solicitud actual y objeto de esta propuesta de dictamen técnico PME 4-14/11, el titular informa de cómo se han cumplido dichas condiciones y las conclusiones alcanzadas respecto a la caracterización del ruido neutrónico y a su impacto en la operación de la planta.

## **2.2. Motivo de la solicitud**

El objeto de la solicitud es modificar el ajuste de la banda muerta de los filtros de la señal de flujo neutrónico para resolver la problemática operativa planteada por el incremento del ruido neutrónico, que al igual que en ciclos anteriores, se está produciendo al final de este ciclo (nº 27) con el consiguiente aumento de las actuaciones injustificadas del sistema de limitación del reactor (YT). Estas actuaciones obligan al personal del turno de operación a bajar potencia aproximadamente un 2% para poder rearmar la señal en el sistema de limitación. Esta dedicación del turno de operación perjudica la supervisión general de la operación de la planta.

En su propuesta de modificación de las ETF el titular propone modificar el valor de ajuste de las bandas muertas de los filtros de la señal de flujo neutrónico pasando del 6% al 8%.

## **2.3. Antecedentes**

A continuación se describen las solicitudes y resoluciones relacionadas con la que es objeto de esta propuesta.

### **Exención de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento solicitada en octubre de 2009**

Durante los primeros ciclos de operación de CN Trillo se observó que algunos picos de ruido (oscilaciones de flujo neutrónico mayores del 6% pico a pico) eran entendidos por el sistema de limitación como excursiones de potencia lo que producía actuación de este sistema para bajar la potencia automáticamente. Para solucionar este problema operativo, el titular instaló un filtro en la señal de flujo neutrónico que amortiguaba parcialmente dicho ruido. Una característica de este filtro, de diseño semejante al de otras plantas alemanas, es el valor máximo que la banda muerta puede alcanzar, que el Consejo, a comienzos de los años 90 limitó al +/-6%.

Con escrito de fecha 15 de octubre de 2009 (nº registro 41549) el titular solicitó al CSN una exención del cumplimiento de dos especificaciones de funcionamiento. En concreto, el titular indicaba que debido al aumento de la amplitud del ruido neutrónico existente en el reactor se estaban produciendo muchas alarmas y actuaciones del sistema de limitación del reactor no reales debido a señal de “barra caída”. El sistema de limitación detectaba una señal falsa de barra caída y realizaba una reducción de la potencia al 93% de la nominal. El gran número de actuaciones estaba provocando que el turno de operación tuviera que realizar muchas operaciones

para rearmar la señal del sistema de limitación lo que dificultaba el funcionamiento normal en sala de control.

En su solicitud, el titular indicaba que con objeto de evitar la reducción de potencia por el sistema de limitación, se pretendía ajustar los puntos de tarado de las seis lanzas de detectores intranucleares y las cuatro columnas de detectores externos de forma que la actuación de los mismos se produjese cuando la señal de disminución de potencia lineal (indicativa de barra caída) fuera de 48,5 w/cm en lugar de los 32,5 w/cm existentes en el diseño.

Por otra parte, y aunque no directamente relacionado con la exención, el titular manifestó que debido al ruido neutrónico era posible que al final del ciclo de operación y también debido al ruido neutrónico, se produjeran actuaciones del sistema de limitación por señal de sobrepotencia al 103% de la potencia térmica nominal, y anunció, que le sería necesario solicitar el aumento de la banda muerta de los filtros que intervienen en esta señal para evitar estas actuaciones.

El Pleno del Consejo, en su reunión de 20 de enero de 2010, acordó conceder dicha exención “hasta la entrada en modo 2 de operación (disponible caliente) una vez se haya iniciado la próxima recarga de combustible, prevista para abril de 2010” con las siguientes condiciones:

- El ajuste temporal de la disminución de potencia lineal solamente se podría realizar en dos cadenas determinadas de instrumentación nuclear.
- El valor de la banda muerta de los filtros que interviene en la señal de flujo neutrónico se debía mantener en sus valores vigentes y para aumentarlo se debería solicitar autorización a la Administración.
- Hasta el final del ciclo 22 de operación (mayo de 2010) se debía reducir la potencia térmica cuanto fuese necesario para que la amplitud del ruido neutrónico máximo no superase el  $\pm 6\%$  del flujo neutrónico correspondiente al 100% de la potencia térmica nominal y, en cualquier caso no podría superar el 94% potencia térmica nominal.
- El titular debía instalar la modificación de diseño prevista en el sistema de limitaciones en la recarga del 2010.

La modificación de diseño mencionada en el último punto, consistía en una modificación de la señal “STAFE RELEB” del sistema de limitación, indicativa de caída de una barra de control, para que se activase por coincidencia de señal de barra caída en uno cualquiera de los detectores intranucleares o extra nucleares y señal de diferencia de posición digital y analógica de una barra de control. Dicha modificación se implantó durante la recarga de combustible de 2010.

### **Propuesta de Modificación de las ETF PME 4-10/08**

Una vez terminada la recarga de combustible de 2010 e iniciado el ciclo de operación nº 23 en junio de 2010, el titular, mediante la propuesta de modificación de las ETF PME 4-10/08 (escrito de solicitud de 5 de agosto de 2010 y nº de registro 41620)

solicitó modificar el valor máximo de ajuste de la banda muerta de los filtros de señal de flujo neutrónico, de acuerdo con lo indicado en las condiciones impuestas en la resolución sobre la exención mencionada anteriormente.

El motivo de esta propuesta era evitar que, debido al ruido neutrónico, se produjese la actuación de la función "L-RELEB" del sistema de limitación que tiene por objeto tomar acciones para proteger frente a una sobrepotencia (103% de la nominal). Para ello, el titular proponía aumentar el valor máximo de la banda muerta de los filtros de flujo neutrónico del 6% del valor de esa variable a la potencia nominal al 10%, para lo cual era necesario modificar las ETF (tabla 4.2.1.1-3 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento).

Con objeto de soportar su solicitud, el titular aportó información sobre:

- Caracterización del ruido neutrónico.
- Efectos del ruido neutrónico en el combustible.
- Efectos del filtro del flujo neutrónico sobre el comportamiento dinámico de la señal de salida.

Las conclusiones del titular derivadas de estos análisis fueron las siguientes:

- El ruido neutrónico es un fenómeno habitual en las centrales PWR alemanas y se presenta con mayor amplitud en las que tienen un economizador en los generadores de vapor para mejorar el rendimiento del ciclo, como es el caso de CN Trillo.
- Los niveles de ruido de CN Trillo se encuentran dentro de lo normal en centrales alemanas de diseño similar.
- No se dispone aún de una explicación completa de la causa que provoca el ruido aunque se considera que es una superposición de varios factores. Uno de los que más contribuyen es la fluctuación de temperaturas a la entrada de refrigerante en el reactor.
- De las medidas y análisis realizados no parece derivarse ningún comportamiento anómalo que pudiera poner en cuestión la operación segura de la planta.
- En cuanto a los potenciales efectos del ruido en el combustible, la diferencia tan grande entre las constantes de tiempo del ruido y de la transmisión de calor dentro del combustible hace que cualquier efecto del ruido se amortigüe y no tenga consecuencias físicas, por ejemplo en el comportamiento mecánico o la transmisión de calor. Además, no se habían detectado efectos negativos en el combustible debidos al ruido de acuerdo con la experiencia operativa acumulada.
- Sobre el efecto del filtro en el comportamiento dinámico de la señal filtrada, el Titular exponía que de acuerdo con los análisis de sensibilidad realizados para los transitorios y accidentes afectados por la existencia de los filtros, aunque se pudiera producir un hipotético retraso en el sistema de limitación y protección,

nunca sería mayor de dos segundos y los análisis de accidentes demuestran que era admisible un retraso de hasta 20 segundos.

Por lo tanto, el titular concluyó que el aumento de la banda muerta del filtro era aceptable desde el punto de vista de la seguridad de la planta.

Por otro lado, en la evaluación del CSN se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: a) caracterización y morfología del ruido neutrónico en Trillo, b) efectos en el combustible, c) impacto del filtro en el análisis de accidentes y d) comportamiento dinámico del filtro desde el punto de vista de instrumentación.

Las conclusiones de la evaluación del CSN fueron las siguientes:

#### Efectos en el combustible

El ruido neutrónico observado implica que la pastilla de combustible está experimentando una variación real en el flujo neutrónico que puede tener un efecto sobre la misma. Con el fin de evaluar este efecto, el titular ha evaluado el impacto en los límites térmicos del combustible y en otros límites termomecánicos, como fatiga y aumento de liberación de gases de fisión.

A partir de la información presentada por el titular y de la inspección realizada por el CSN en noviembre de 2010, la evaluación concluía que aunque AREVA había informado que no se habían detectado fallos en barras de combustible en plantas alemanas con ruido neutrónico, incluyendo una que lo tiene de mayor amplitud que CN Trillo, no estaba claro que las base de datos de AREVA para comportamiento de combustible con diferentes quemados y diferentes niveles de ruido, permitiera extrapolar el comportamiento previsible del combustible de Trillo en cuanto a generación de productos de fisión, ya que la central alemana con mayor nivel de ruido mostraba un incremento en la generación de gases de fisión respecto a los datos de otras plantas con el mismo quemado y no se había confirmado que esto no se debiera al ruido neutrónico.

Por ello, la evaluación consideró que la máxima banda muerta del filtro autorizada no debía sobrepasar el máximo sobre el que se tiene experiencia de ausencia de impacto en las pastillas de combustibles en las centrales alemanas, es decir el  $\pm 8\%$ .

#### Impacto del filtro en los análisis de accidentes

En relación con este punto el titular concluía que existía un retraso en la actuación de las protecciones por sobrepotencia del reactor debido al aumento del valor máximo de la banda muerta de los filtros neutrónico que podía llegar a ser de hasta 2 segundos. Este informe analizaba el impacto del aumento de la banda muerta del filtro en los accidentes y transitorios en los que intervenía la protección por sobrepotencia.

Por otro lado, AREVA realizó un análisis de sensibilidad del aumento de la banda muerta del filtro neutrónico en los análisis de accidentes y transitorios concluyendo

que las conclusiones de los mismos no se verían modificadas incluso para un retraso de hasta 20 segundos.

La evaluación consideró que las conclusiones del análisis de sensibilidad eran válidas en cuanto a cumplimiento de los resultados de los análisis de accidentes, pero la existencia de este retraso debería incluirse en el Estudio de Seguridad de Trillo.

Por otra parte, de la información recopilada en la inspección de noviembre de 2010 realizada a Trillo en las oficinas de AREVA en Erlangen y del TÜV-NORD en Hanover, se observó un número de alarmas y actuaciones no reales del sistema de limitación por sobrepotencia al 103% significativo en las centrales alemanas.

Con objeto de limitar en lo posible y optimizar la frecuencia de ajuste de la banda muerta del filtro de ruido neutrónico, la evaluación del CSN consideró que era necesario que CN Trillo tuviera un conocimiento detallado y actualizado del ruido neutrónico en el reactor de manera que pudiera simular el ruido residual, y a partir de él, hacer una estimación precisa de la frecuencia (definida como probabilidad por unidad de tiempo) de sobrepaso de valores de tarado de alarmas y actuaciones del sistema de limitación. Al realizar estas estimaciones debería utilizarse una distribución de probabilidad realista de la amplitud del ruido, sin hacer ninguna aproximación que pudiera llevar a una subestimación de dicha amplitud (como, por ejemplo, un truncamiento excesivo de la distribución de probabilidad).

#### Efectos del filtro del flujo neutrónico sobre el comportamiento dinámico de la señal de salida

Desde el punto de vista de instrumentación, el titular presentó un análisis del comportamiento dinámico del filtro en cuanto a respuesta ante diferentes señales de entrada. La evaluación del CSN revisó el análisis y concluyó que el aumento del valor límite de ajuste de las bandas muertas de los filtros de señal de flujo neutrónico desde el  $\pm 6\%$  de la potencia térmica nominal hasta el 10%, y su inclusión en las ETF, era aceptable desde el punto de vista de instrumentación.

Dicha aceptabilidad se basaba fundamentalmente en la consideración de que la propuesta implica una mejora de la disponibilidad de la planta sin que por ello se considerase rebajada la seguridad, basada en el buen comportamiento dinámico de la señal de salida del filtro, que se garantiza mediante los ajustes adecuados de las bandas muertas que se reflejan en la ETF propuesta.

Finalmente, el Consejo, en su reunión de 2 de febrero de 2011, acordó informar favorablemente la solicitud del Titular con las condiciones que se indican a continuación:

1. *La banda muerta de la señal de flujo neutrónico se ajustará a un valor máximo del  $\pm 8\%$ , que es el que debe constar en la tabla 42.1.1-3 (hoja 6/10) de las ETF y en la página 5.42.1-57 de las bases de ETF, durante el resto del ciclo actual y todo el ciclo subsiguiente. Posteriormente deberán volver a ajustarse las ETFs al valor*

*máximo del  $\pm 6\%$  hasta que, a la vista de los estudios presentados por el titular de la central nuclear Trillo en relación con las causas del ruido y su evolución una vez completada la sustitución de todos los elementos combustibles por los del nuevo diseño, se presente por el titular y se apruebe una nueva revisión de las ETFs.*

- 2. El titular de la central nuclear Trillo deberá modificar texto del capítulo 6 del Estudio de Seguridad para reflejar la existencia de un retraso producido por el filtro de la señal, así como el análisis de su impacto.*
- 3. El titular de la central nuclear Trillo deberá evaluar el impacto que sobre la amplitud del ruido puedan tener las futuras modificaciones de diseño que puedan afectarle, tales como la introducción de combustible con gadolinio o el aumento de enriquecimiento sobre el actual del 4.2%.*
- 4. Con objeto de limitar en lo posible y optimizar la frecuencia de ajuste de la banda muerta del filtro de ruido neutrónico, el titular deberá conocer en profundidad el comportamiento de la señal de ruido del reactor, incluyendo la distribución de probabilidad de su amplitud, y realizar estudios sobre dicha señal que permitan estimar la frecuencia (definida como probabilidad por unidad de tiempo) de sobrepaso de valores de tarado en alarmas y actuaciones del sistema de limitación. Estos cálculos deberán utilizar la distribución de probabilidad real de amplitud de ruido, sin incluir aproximaciones que puedan llevar a una subestimación de dicha amplitud (como, por ejemplo, un truncamiento excesivo de la mencionada distribución de probabilidad).*
- 5. El titular de la central nuclear Trillo deberá mantener el plan de seguimiento presentado al CSN. En el Informe anual sobre experiencia operativa que envía el titular al CSN se incluirá la relación de actuaciones del sistema RELEB de limitación de potencia durante el año anterior y las conclusiones de la aplicación de dicho plan.*
- 6. El titular de la central nuclear Trillo deberá continuar la colaboración propuesta con las organizaciones externas para desarrollar la capacidad analítica necesaria para evaluar el hipotético impacto de las fluctuaciones de caudal y temperatura de entrada al núcleo sobre el flujo neutrónico. El progreso y los resultados de estas acciones deben presentarse al CSN con periodicidad trimestral. Una vez terminado el ciclo 24 deberá presentarse un informe exhaustivo y una nueva solicitud de cambio de ETF para su aprobación, de acuerdo con lo señalado en la condición 1.*

#### **Propuesta de modificación de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento PME 4-12/04.**

El año 2012 el titular solicitó la modificación del valor de ajuste de la banda muerta del filtro de la señal de flujo neutrónico hasta el  $\pm 8\%$ .

El Consejo, en su reunión de fecha 27 de febrero de 2013, acordó rechazar la solicitud de modificación de las ETF de referencia PME 4-12/04 porque subsistían lagunas en la comprensión del fenómeno y consideraba necesario mayores avances en la explicación del ruido neutrónico. Con este fin, en su informe al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, remitido mediante escrito de referencia CSN/C/P/MINETUR/TRI/13/04, el CSN establecía las condiciones siguientes:

- 1.- *El titular de la central nuclear Trillo deberá ajustar la potencia del reactor para evitar actuaciones frecuentes del sistema de limitación, dado que no es aceptable la situación de operación con actuaciones frecuentes de dicho sistema.*
- 2.- *El titular de la central nuclear Trillo deberá conocer en profundidad el comportamiento de la señal de ruido del reactor, incluyendo la distribución de probabilidad de su amplitud, y realizar estudios sobre dicha señal que permitan estimar la frecuencia (definida como probabilidad por unidad de tiempo) de sobrepaso de valores de tarado en alarmas y actuaciones del sistema de limitación, con el objeto de limitar en lo posible y optimizar la frecuencia de ajuste de la banda muerta del filtro de ruido neutrónico. Estos cálculos deberán utilizar la distribución de probabilidad real de amplitud de ruido, sin incluir aproximaciones que puedan llevar a una subestimación de dicha amplitud (como, por ejemplo, un truncamiento excesivo de la mencionada distribución de probabilidad).*
- 3.- *El titular de la central nuclear Trillo deberá continuar la colaboración con las organizaciones externas pertinentes y los estudios emprendidos, para conseguir una mejor comprensión y simulación de las características del ruido de flujo neutrónico, con el objetivo de desarrollar la capacidad analítica necesaria para evaluar el hipotético impacto de las fluctuaciones de caudal y temperatura de entrada al núcleo sobre el flujo neutrónico y deberá hacer un seguimiento de la evolución y tratamiento del fenómeno de ruido neutrónico en centrales de diseño similar. El progreso y los resultados de estas acciones deben presentarse al CSN con periodicidad trimestral.*
- 4.- *El titular de la central nuclear Trillo deberá presentar al CSN, con anterioridad al 31 de diciembre de 2013, un informe exhaustivo de la situación y del conocimiento alcanzado sobre la fenomenología del ruido neutrónico, en el que se tengan en cuenta todos los requisitos recogidos en las anteriores requerimientos, al objeto de que el CSN pueda realizar su evaluación detallada en el marco de la Revisión Periódica de Seguridad asociada a la solicitud de renovación de la Autorización de Explotación.*
- 5.- *El titular de la central nuclear Trillo deberá evaluar el impacto que sobre la amplitud del ruido de flujo neutrónico puedan tener las modificaciones de diseño que se planteen relacionadas con la introducción de combustible con gadolinio o el aumento de enriquecimiento sobre el actual del 4.2%, nuevos diseños de elementos combustibles, o cualquier otra que pueda influir en éste fenómeno.*

### 3. EVALUACIÓN

#### 3.1 Informes de evaluación:

- CSN/IEV/INNU/TRI/1502/756 “Informe de evaluación de la propuesta de modificación de especificación técnica de funcionamiento de CN Trillo.PME 4-14/11”.
- CSN/IEV/INNU/TRI/1407/731 “Informe de evaluación de los trabajos asociados a la determinación de la causa raíz del aumento del ruido neutrónico en CN Trillo”

#### 3.2 Resumen de la evaluación

La normativa considerada en la evaluación es la Instrucción del Consejo IS-32, sobre Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de centrales nucleares.

En la evaluación se han tenido en cuenta los análisis sobre el impacto del ruido neutrónico en el sistema de limitación y protección, en el combustible, etc, que se habían realizado anteriormente. No obstante, la evaluación se ha basado fundamentalmente en la verificación del cumplimiento de las condiciones que se le impuso en la resolución de rechazo de la solicitud de referencia PME 4-12/04 de fecha 30 de abril de 2013 y en el seguimiento de la problemática del ruido neutrónico a través de los informes trimestrales remitidos por el titular.

Las conclusiones de la evaluación sobre el cumplimiento del condicionado de la PME 4-12/04 son las siguientes:

*1.-El titular de la central nuclear Trillo deberá ajustar la potencia del reactor para evitar actuaciones frecuentes del sistema de limitación, dado que no es aceptable la situación de operación con actuaciones frecuentes de dicho sistema.*

En los últimos ciclos CN Trillo ha realizado frecuentes reajustes de la banda muerta e incluso pequeñas bajadas de potencia (entre 0.5% y 1%) para limitar las actuaciones del sistema de limitación. Estas actividades están adecuadamente procedimentadas.

La evaluación considera que el titular ha cumplido con este punto y considera que debe mantenerse la condición para que se siga limitando el número de actuaciones.

*2.-El titular de la central nuclear Trillo deberá conocer en profundidad el comportamiento de la señal de ruido del reactor, incluyendo la distribución de probabilidad de su amplitud, y realizar estudios sobre dicha señal que permitan estimar la frecuencia (definida como probabilidad por unidad de tiempo) de sobrepaso de valores de tarado en alarmas y actuaciones del sistema de limitación, con el objeto de limitar en lo posible y optimizar la frecuencia de ajuste de la banda muerta del filtro de ruido neutrónico. Estos cálculos deberán utilizar la distribución de probabilidad real de*

*amplitud de ruido, sin incluir aproximaciones que puedan llevar a una subestimación de dicha amplitud (como, por ejemplo, un truncamiento excesivo de la mencionada distribución de probabilidad).*

Para cumplir con esta condición CN Trillo ha desarrollado conjuntamente con TECNATOM la aplicación llamada NOISE (“Neutronic Oscillation Influence Simulator Evaluation” - Simulador para evaluar la Influencia de las Oscilaciones de las medidas de flujo Neutrónico sobre el sistema de limitación de Trillo).

El simulador NOISE está diseñado para predecir superaciones de valores de tarado en alarmas y actuaciones del sistema de limitación a causa del ruido, a partir de las medidas reales de flujo neutrónico y su tratamiento por el sistema de limitación (incluyendo el efecto del filtro). En el desarrollo de esta herramienta se ha partido del simulador de alcance total de CN Trillo.

La evaluación considera este punto cumplido.

*3.-El titular de la central nuclear Trillo deberá continuar la colaboración con las organizaciones externas pertinentes y los estudios emprendidos, para conseguir una mejor comprensión y simulación de las características del ruido de flujo neutrónico, con el objetivo de desarrollar la capacidad analítica necesaria para evaluar el hipotético impacto de las fluctuaciones de caudal y temperatura de entrada al núcleo sobre el flujo neutrónico y deberá hacer un seguimiento de la evolución y tratamiento del fenómeno de ruido neutrónico en centrales de diseño similar. El progreso y los resultados de estas acciones deben presentarse al CSN con periodicidad trimestral.*

El titular ha remitido con periodicidad trimestral informes periódicos sobre el ruido neutrónico.

Respecto de las colaboraciones con organizaciones externas, se han desarrollado los siguientes modelos:

- Uso y adaptación del sistema acoplado termohidráulico-neutrónico RELAP-PARCS con la colaboración de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Uso y generación de modelos propios del código neutrónico SIMULATE-3K con el apoyo de Iberdrola Ingeniería y Construcción.
- Utilización del código neutrónico MCNP para la simulación de los detectores extranucleares con la colaboración de Gas Natural Fenosa Engineering.

De estos estudios se ha observado que la amplitud de la potencia nuclear en respuesta a una señal de amplitud constante, pero frecuencia variable, presenta un máximo a una frecuencia menor de 0.5 Hz, disminuyendo de forma importante para frecuencias mayores del 1 Hz, lo que es coherente con las medidas de potencia realizadas y con el valor de la constante de tiempo del combustible.

También se observa que regiones con distinto valor de la realimentación de reactividad con la temperatura del moderador producen distinta amplitud de respuesta.

Respecto de los desfases observados entre las señales de entrada y de salida en el sentido axial se ha obtenido un valor compatible con la velocidad del refrigerante en el núcleo.

*4.-El titular de la central nuclear Trillo deberá presentar al CSN, con anterioridad al 31 de diciembre de 2013, un informe exhaustivo de la situación y del conocimiento alcanzado sobre la fenomenología del ruido neutrónico, en el que se tengan en cuenta todos los requisitos recogidos en las anteriores requerimientos, al objeto de que el CSN pueda realizar su evaluación detallada en el marco de la Revisión Periódica de Seguridad asociada a la solicitud de renovación de la Autorización de Explotación.*

El informe fue remitido en diciembre de 2013 y las conclusiones de la evaluación del mismo se recogen en el informe CSN/IEV/INNU/TRI/1407/731.

*5.-El titular de la central nuclear Trillo deberá evaluar el impacto que sobre la amplitud del ruido de flujo neutrónico puedan tener las modificaciones de diseño que se planteen relacionadas con la introducción de combustible con gadolinio o el aumento de enriquecimiento sobre el actual del 4.2%, nuevos diseños de elementos combustibles, o cualquier otra que pueda influir en éste fenómeno.*

El objeto de esta condición es que ante cambios en el diseño de las recargas se considere el efecto del ruido neutrónico. CN Trillo ha previsto cargar elementos de demostración de un nuevo suministrador de combustible (Enusa-Westinghouse) y, durante la primera reunión de presentación del proyecto se ha tenido en cuenta la problemática del ruido.

La evaluación considera cumplida esta condición, aunque debe mantenerse para que en modificaciones futuras que afecten al diseño de las recargas se tenga en cuenta el ruido neutrónico.

Por último, la evaluación considera necesario que el titular siga informando de forma periódica al CSN de la evaluación del ruido neutrónico a lo largo de los futuros ciclos de operación y de la información relevante relativa al ruido procedente del suministrador principal o de experiencia operativa internacional de centrales similares de la que disponga el titular.

Adicionalmente, el titular ha remitido información adicional sobre otras cuestiones planteadas por el CSN sobre el impacto del aumento del enriquecimiento en el ruido neutrónico, características espaciales de la señal de ruido, estabilidad del reactor frente al ruido, etc., que se han considerado aceptables por la evaluación.

**3.3 Desviaciones: No.**

**3.4 Discrepancias respecto de lo solicitado: No.**

#### **4. CONCLUSIONES Y ACCIONES**

La propuesta de modificación PME 4-14/11 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento se considera aceptable con las condiciones siguientes:

- a. El titular deberá ajustar la potencia del reactor para minimizar la frecuencia de actuaciones del sistema de limitación debidas al ruido neutrónico, dado que no es aceptable la situación de operación con actuaciones frecuentes de dicho sistema.
- b. El titular deberá informar anualmente al CSN (preferiblemente tras finalizar cada ciclo de operación) de la evolución del ruido, actuaciones de los sistemas de limitación y protección asociadas, avance de los estudios teóricos y de simulación realizados y de la experiencia internacional aplicable.
- c. El titular deberá evaluar el impacto que sobre la amplitud del ruido puedan tener las modificaciones de diseño que se planteen relacionadas con, por ejemplo, introducción de combustible con gadolinio, aumento de enriquecimiento sobre el actual del 4.2% o nuevos diseños de elementos combustibles.

**4.1. Aceptación de lo solicitado: Sí.**

**4.2. Requerimientos del CSN: Sí.**

**4.3. Compromisos del Titular: No.**

**4.4. Recomendaciones del CSN: No.**