

***“RELAJACIÓN DE LOS MUELLES DE LAS CELDAS DEL
SEPARADOR DEL ENSAMBLE COMBUSTIBLE PARA LA
CENTRAL ATUCHA II, UTILIZANDO URANIO LEVEMENTE
ENRIQUECIDO EN EL ISÓTOPO U235”***

***CARRERA: ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES
Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE***

Alumno: Ing. Carlos Daniel Giordanino
Director: Ing. José Alberto Casario

Noviembre 2011



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

INDICE GENERAL

RESUMEN	5
1 INTRODUCCIÓN	6
2 SEPARADOR DEL ENSAMBLE COMBUSTIBLE DE ATUCHA II	7
3 DESARROLLO, DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO	10
3.1 Características del Zircaloy - 4	10
3.2 Ecuación básica del modelo de relajación	12
3.2.1 Verificación de la correlación obtenida	15
3.3 Ecuación de equilibrio	17
3.4 Cálculo de la variación de diámetro	18
3.5 Resolución por intervalos finitos	20
4 DATOS DE ENTRADA	21
4.1 Datos del muelle	22
4.2 Flujo neutrónico y diámetro de la barra combustible	22
5 RESULTADOS	25
5.1 EC Uranio Natural	25
5.2 EC ULE 0,85%	27
6 CONCLUSIONES	29
7 ANEXO	30
7.1 Fluencia y Flujo Neutrónico, Quemado y Potencia	30
8 BIBLIOGRAFÍA	31

A Dante que con su pregunta:

“¿cómo se llama? mantiene activa mi curiosidad.

A Donda por todo lo que me enseñó.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a **Gaspar Carloni** y **Javier Ferreyra**, por darme la oportunidad de trabajar en NA-SA y de poder seguir capacitándome.

A **Alberto Casario**, por la ayuda y porque además de ser Director fue un Maestro.

A **Rodrigo Vicente** por la ayuda, el tiempo dedicado, la buena onda y por ser tan buen compañero.

A **Ricardo Mollerach** por la ayuda y predisposición.

A la gente del **Beninson**, por la calidez.

A mi **familia**, porque me ayudan día a día.

A mis **compañeros de curso**, por la buena onda.

RESUMEN

El Ensamble Combustible (EC) de una Central Nuclear (CN) genera calor a partir de reacciones de fisión nuclear. En el caso de la Central Atucha II (CNA II) el calor generado se convierte en energía eléctrica.

Los grandes costos de una Central Nuclear se pueden dividir en tres ítems:

- Personal de Operación
- Mantenimiento de la Central
- Costo del Combustible

El presente trabajo se encuadra dentro del Costo del Combustible. El análisis de mejoras del combustible implicaría una reducción de costos en la economía de una Central Nuclear.

Se analiza la posibilidad de utilizar los separadores actuales del EC para la Central Nuclear Atucha II con pastillas de Uranio Levemente Enriquecido (ULE) en el isótopo U235, en lugar de las pastillas actuales de Uranio Natural con 0,71% de dicho isótopo.

El incremento en el quemado de un combustible permite obtener más energía por EC, ésto además de *reducir el costo del combustible*, también produce otros beneficios asociados al Ciclo del Combustible:

- Menor utilización de la piqueta de almacenamiento de EC gastados.
- Menor utilización de la Máquina de Recambio de Combustible.

1 INTRODUCCIÓN

La función de los muelles de los separadores es la de asegurar que las Barras Combustibles (BC) estén sujetas. De tal forma no habría desgastes más allá de lo permitido en las BC, producto de las vibraciones inducidas por el refrigerante en condiciones normales de operación del combustible.

Hay dos efectos *independientes* que hacen disminuir la fuerza de los muelles de los separadores del EC durante el tiempo de vida del mismo:

- La relajación de tensión de los muelles.
- La disminución de diámetro de las barras combustibles durante la irradiación a potencia estacionaria.

El modelo de cálculo utilizado analiza ambos efectos. Para calcular la relajación del muelle se utiliza una correlación de relajación para flejes de Zircaloy-4 (Zry-4) obtenida experimentalmente por P.H. Kreyns et ál.[1].

Para el cálculo de la disminución del diámetro de la barra se utilizó el código de barra combustible *Transuranus*.

El objetivo del presente informe es determinar la variación durante la estadía en el reactor de las condiciones de sujeción de la BC en el separador. Ésto es la fuerza del muelle (F) y la deflexión (L) en función del tiempo (t) y, en particular, para la Condición de Fin de Vida del EC. Con esta condición se especifican ensayos de durabilidad de prototipos en circuitos hidráulicos que simulan las condiciones de caudal, presión y temperaturas reales del reactor.

2 SEPARADOR DEL ENSAMBLE COMBUSTIBLE DE ATUCHA II

Un aspecto de particular importancia en el EC de CNA II son los separadores de las BC. Estos separadores, fabricados en chapa, presentan la característica de poseer muelles estampados (ver Figura 1) para mantener ajustadas las BC al separador. Dichos muelles sufren relajación térmica durante toda la permanencia del EC dentro del reactor en funcionamiento. Cada celda del separador posee un muelle y tetones estampados donde apoyan las BC.

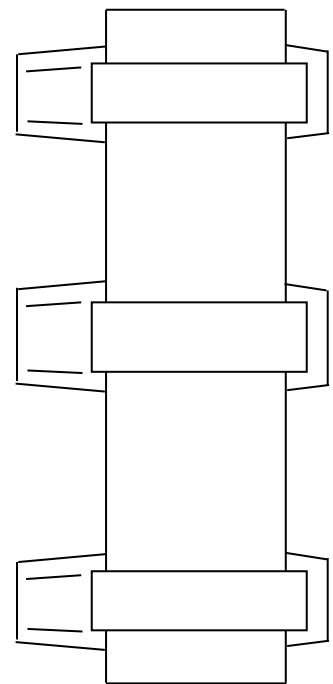
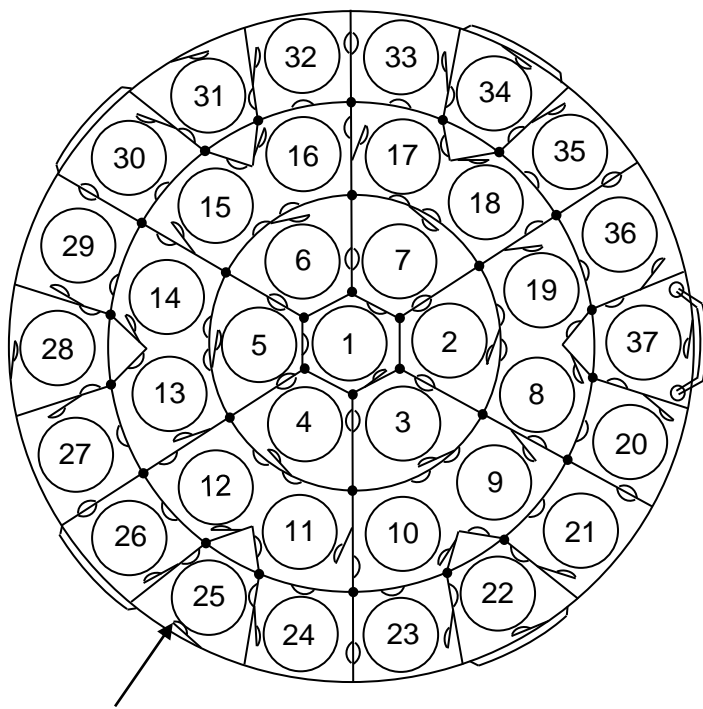
En el EC de CNA II, cuya longitud activa es 5300 mm, hay trece separadores, de los cuales los doce superiores son de Zry-4 y uno, el inferior, es de Inconel-718. Para los cálculos neutrónicos la columna activa se divide en veinte secciones (ver Anexo, Tabla 5) para su estudio, siendo la número uno la inferior y la veinte la superior.

El EC fresco se introduce en el reactor en Condición de Inicio de Vida (Beginning Of Life, BOL) y es retirado quemado en Condiciones de Fin de Vida (End Of Life, EOL).

Para los cálculos efectuados en este informe se considerarán condiciones de utilización del EC con pastillas de ULE, con un enriquecimiento de 0,85% en el isótopo U235, para un separador de Zry-4 en la celda número 37 del separador (ver Figura 1).

Se utilizan los valores de flujo neutrónico correspondientes a la sección número 13 que corresponde al separador número cinco. Se utiliza dicha sección por ser en la que la BC presenta el menor diámetro final (ver Figura 9).

La historia de potencia elegida, así como el flujo neutrónico rápido que afecta la sección 13, se describen en la punto 4.1 del presente trabajo.



Muelle

Figura 1: vista de frente y perfil del separador del EC de CNA II con la numeración de las barras.



Figura 2: fotografía de frente del separador del EC de CNA II.

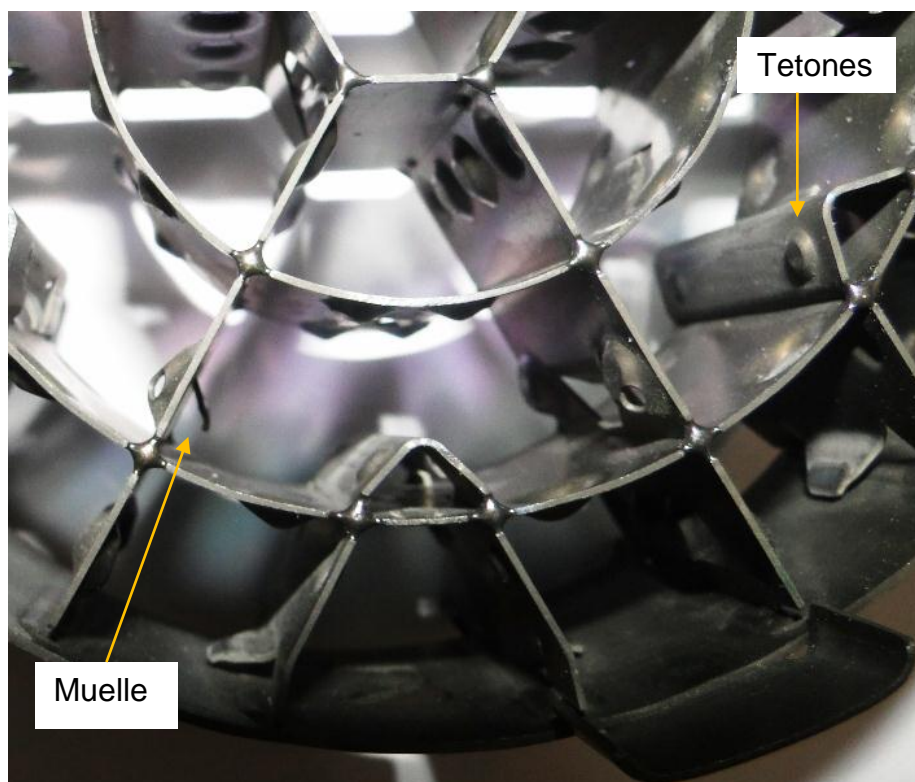


Figura 3: fotografía de frente de un sexto (1/6) del separador.

3 DESARROLLO, DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO

3.1 Características del Zircaloy - 4

Las características del muelle del separador de Zry-4 sin irradiar a Temperatura Ambiente (TA) se muestran en la Figura 4.

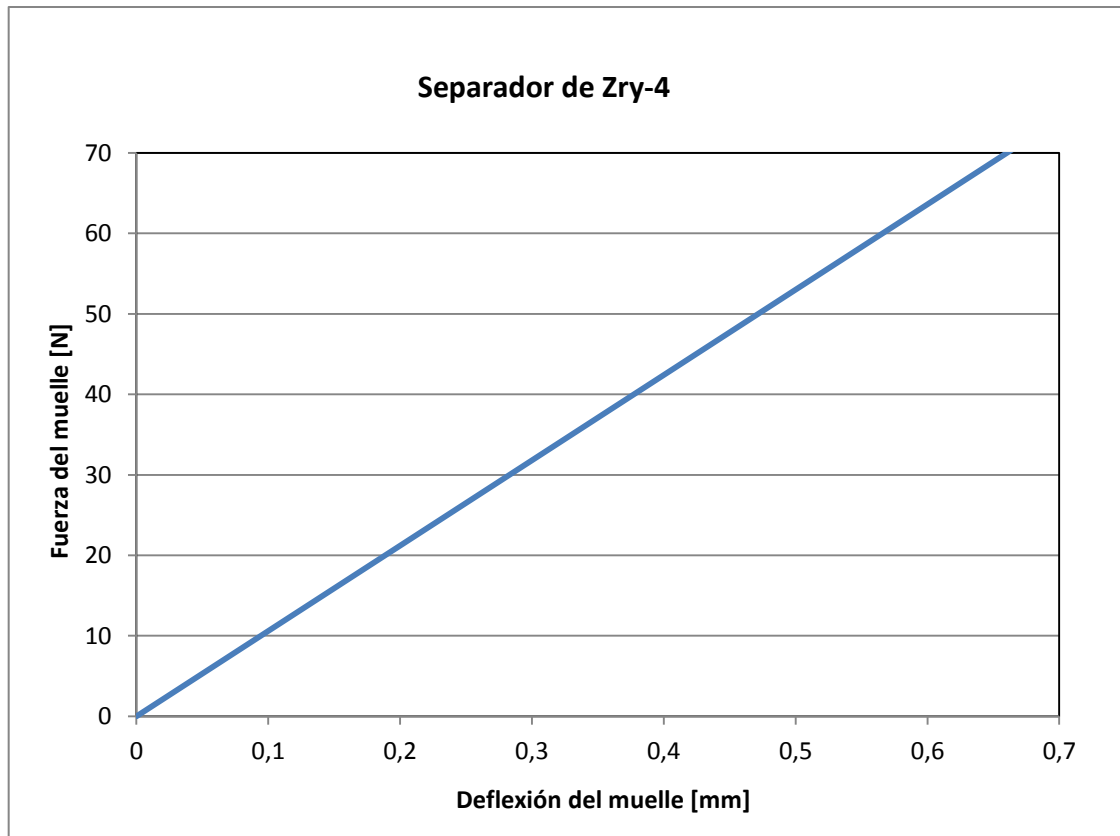


Figura 4: características del muelle de Zry-4 para la celda 37, $k=106$ N/mm. Fuente [2]

La fuerza del muelle es proporcional a la deflexión: $F = k.L$

Donde:

k [N/mm] es la constante del muelle.

L [mm] es la deflexión del muelle.

La Figura 4 muestra la constante del muelle medida a TA [2], la cual da una constante $k=106$ N/mm.

El fabricante del separador realizó nuevas mediciones a TA que se pueden observar en la Figura 5.

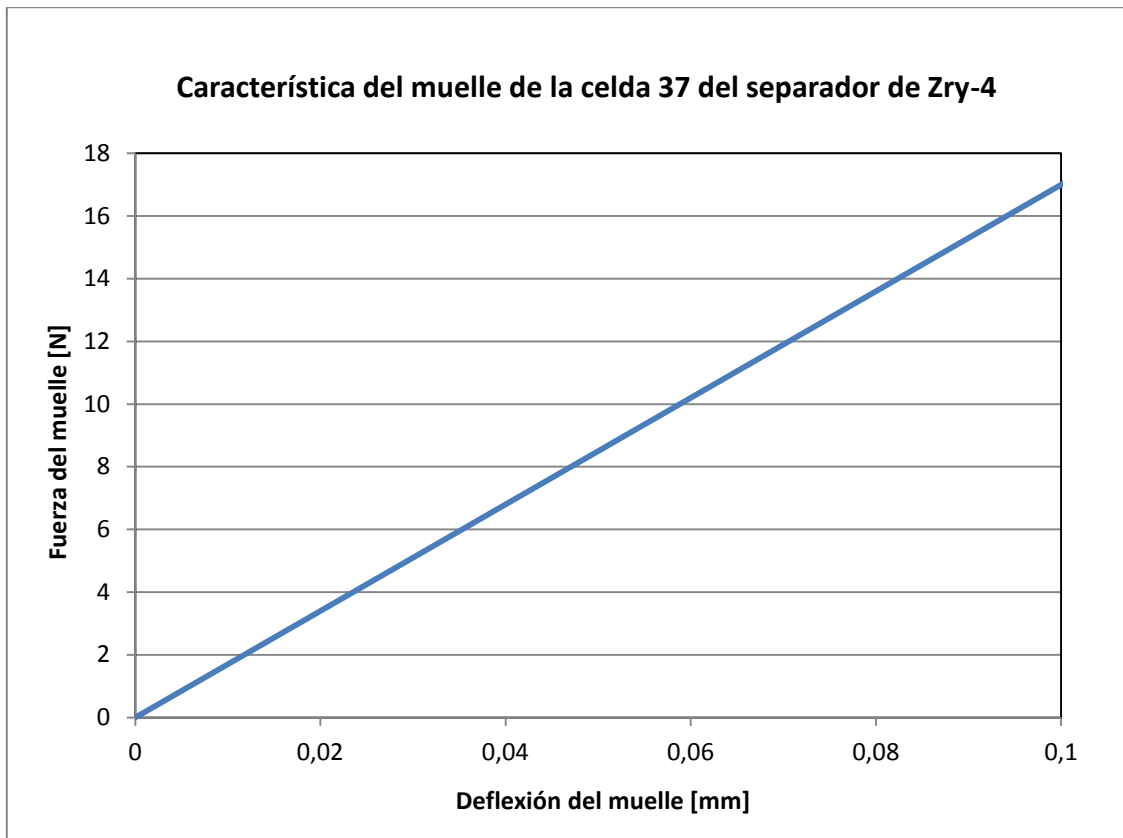


Figura 5 : características Zry-4, celda 37, $k=170$ N/mm.

Para los cálculos realizados en este informe se utilizará la última medición ($k=170$ N/mm) corregida a la temperatura de trabajo (320 °C), dando $k=136$ N/mm. Se selecciona la celda número 37, por ser la más desfavorable, al presentar la constante k el máximo valor. Ésto se explica con más detalle en el punto 4.1 del presente trabajo.

La relajación del material utilizado en el muelle se calcula tomando como base el modelo planteado por P.H. Kreyms et ál. [1]. Se desarrolla el cálculo en el Capítulo 3 del presente trabajo.

Puede observarse la relajación en la Figura 6, la cual está trazada a partir de dos puntos experimentales medidos por Kreyms a 615 horas y 2070 horas. La relajación fue de 70,7 % y 91,3 % a una tensión fija de 16200 psi (111,7 MPa) y un flujo de $2,4 \cdot 10^{14} \frac{n}{cm^2 \cdot seg}$.

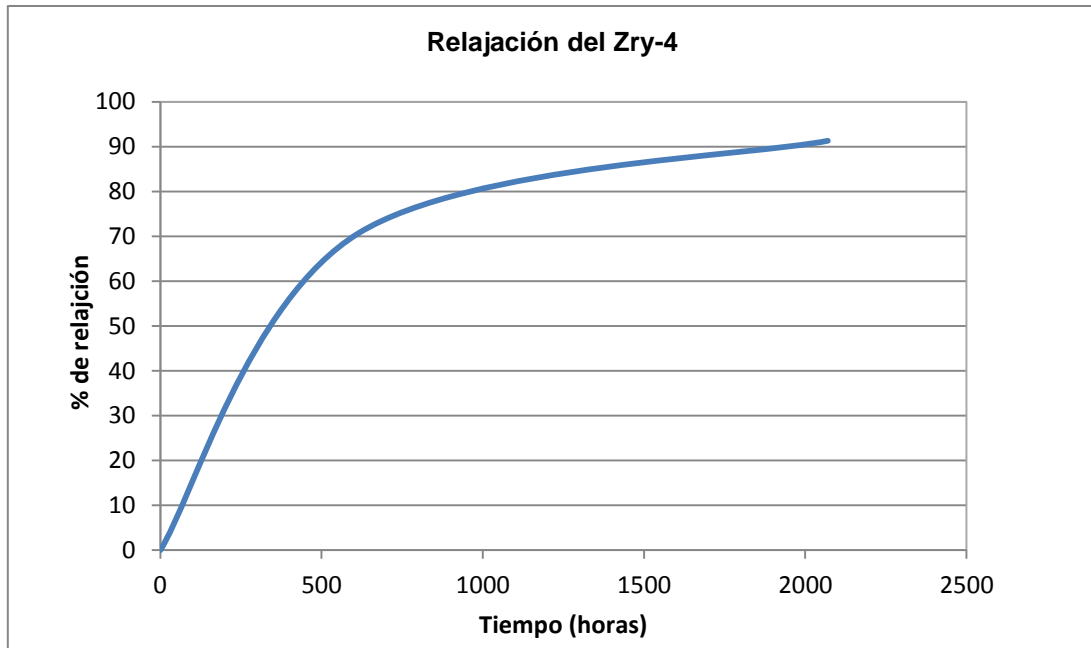


Figura 6 : características Zry-4, 15% Trabajado en Frio (Cold-Worked).
Fuente [1]

3.2 Ecuación básica del modelo de relajación

Para determinar la relajación de tensión en el reactor de los muelles del separador de Zry-4 se utilizó la correlación obtenida por P.H. Kreyms et ál. [1].

A partir de los datos obtenidos en los ensayos de probetas de Zry-4, efectuados bajo irradiación y temperatura, Kreyms obtuvo dicha correlación mediante el siguiente modelo de Creep:

$$(1) \quad \dot{\epsilon}_c = A \cdot \sigma^n \cdot t^m \cdot e^{(-Q/R.T)}$$

Donde:

A, n, m y Q son constantes del material y R es la constante Universal de los Gases Ideales.

En los ensayos se observó poca dependencia del nivel de tensión σ , por lo que los autores adoptaron $n=1$. Luego la ecuación (1) queda:

$$(2) \quad \dot{\mathcal{E}}_C = A \cdot \sigma \cdot t^m \cdot e^{(-Q/R.T)}$$

El flujo neutrónico rápido de energía mayor a 1 MeV fue de $2,14 \cdot 10^{14} \frac{n}{cm^2 \cdot seg}$ prácticamente constante durante los ensayos.

La temperatura se mantuvo en 310 ± 15 °C en agua a una presión de 13,8 MPa (2000 psi).

Las probetas provenían de flejes de Zry-4 extraídas tanto en dirección transversal como en la paralela a la dirección de laminación del fleje.

Durante el proceso de Creep, la deformación elástica \mathcal{E}_e se transforma paulatinamente en deformación permanente por Creep, luego:

$$(3) \quad \mathcal{E}_e = \mathcal{E}_C$$

Tomando E (módulo de Young) del material, con:

$$(4) \quad \dot{\mathcal{E}}_e = -\frac{\dot{\sigma}}{E}$$

Donde un incremento de \mathcal{E} implica reducción de σ .

Reemplazando (4) y (3) en (2):

$$(5) \quad -\frac{1}{E} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t} = A \cdot \sigma \cdot t^m \cdot e^{(-Q/R.T)}$$

Integrando la ecuación (5) respecto del tiempo queda:

$$(6) \quad \frac{\sigma(t)}{\sigma_0} = e^{-A.E.(t^{m+1}/m+1).e^{(-Q/R.T)}}$$

La anterior es la *Expresión de la Relajación de Tensión Uniaxial a Deformación Constante*.

En este trabajo se seleccionó del estudio de Kreyns [1] conservativamente como material de referencia el fleje de Zry-4 de 0,9 mm de espesor, laminado con 15 % de deformación en frío, y un tratamiento térmico final de relevado de tensiones a 510 °C durante 4 horas en vacío. Estas probetas seleccionadas fueron cortadas en dirección transversal a la de laminación.

Las constantes (valores promedios) correspondientes a este material informadas [1], son:

$$A=1,433.10^8 \text{ y } (m+1)= 0,54.$$

Reuniendo estos valores y el flujo neutrónico rápido (promedio) se definió una nueva constante C:

$$(7) \quad C = \frac{A}{\phi.(m+1)}$$

Reemplazando valores:

$$(8) \quad C = \frac{1,433.10^8}{2,4.10^{14}.0,54} = 1,10571.10^{-6}$$

Reemplazando (7) en (6):

$$(9) \quad \frac{\sigma(t)}{\sigma_0} = e^{\left(-CE(T).\phi(t).t^{0,54}.e^{(-Q/R.T)}\right)}$$

3.2.1 Verificación de la correlación obtenida

Con el fin de verificar la correlación (9), utilizando valores promedios para las constantes extraídas de [1], se calcularon y compararon los valores de relajación obtenidos con los valores experimentales [1] para el material adoptado de referencia.

Se observa en la Figura 7, que la curva de relajación calculada utilizando la ecuación (9), cubre los resultados experimentales [1] en forma conservativa para el material adoptado de referencia.

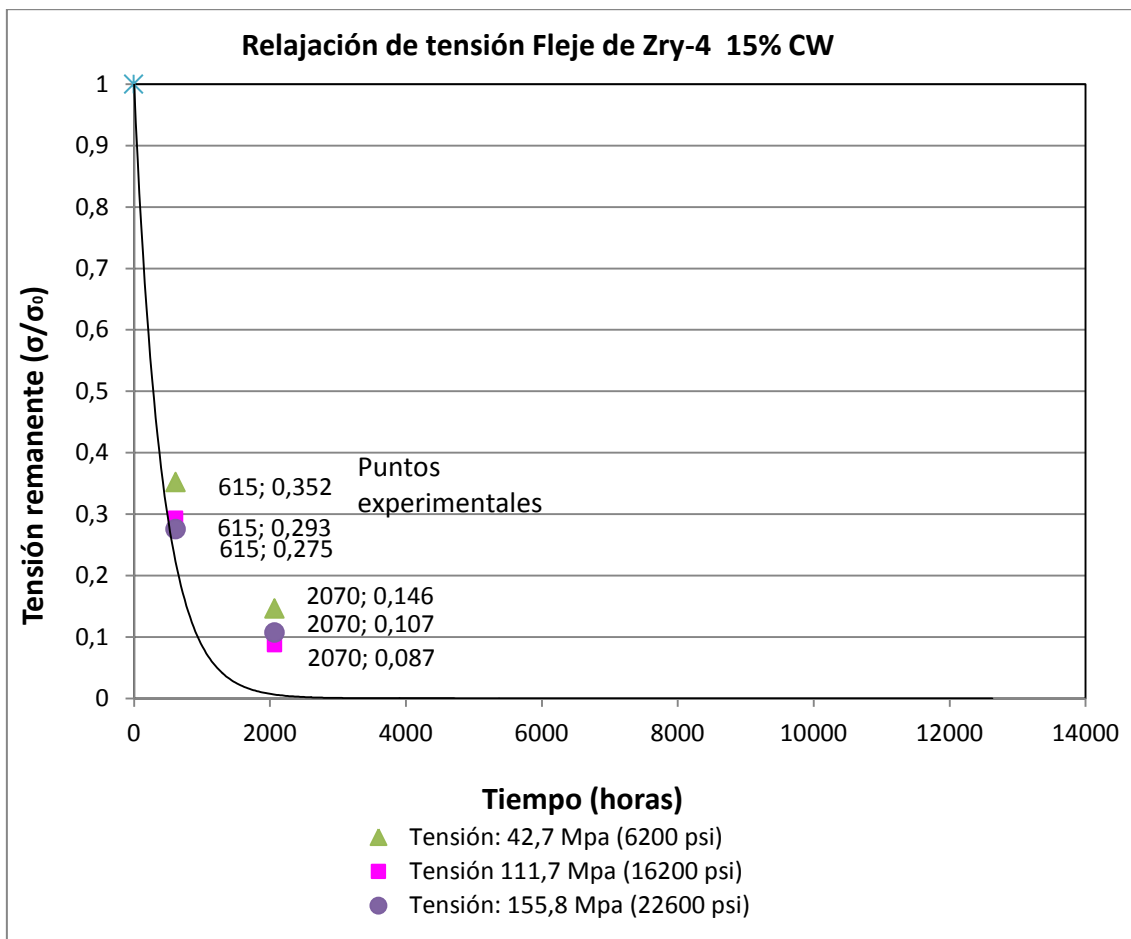


Figura 7: cálculo de la relajación del Zry-4.

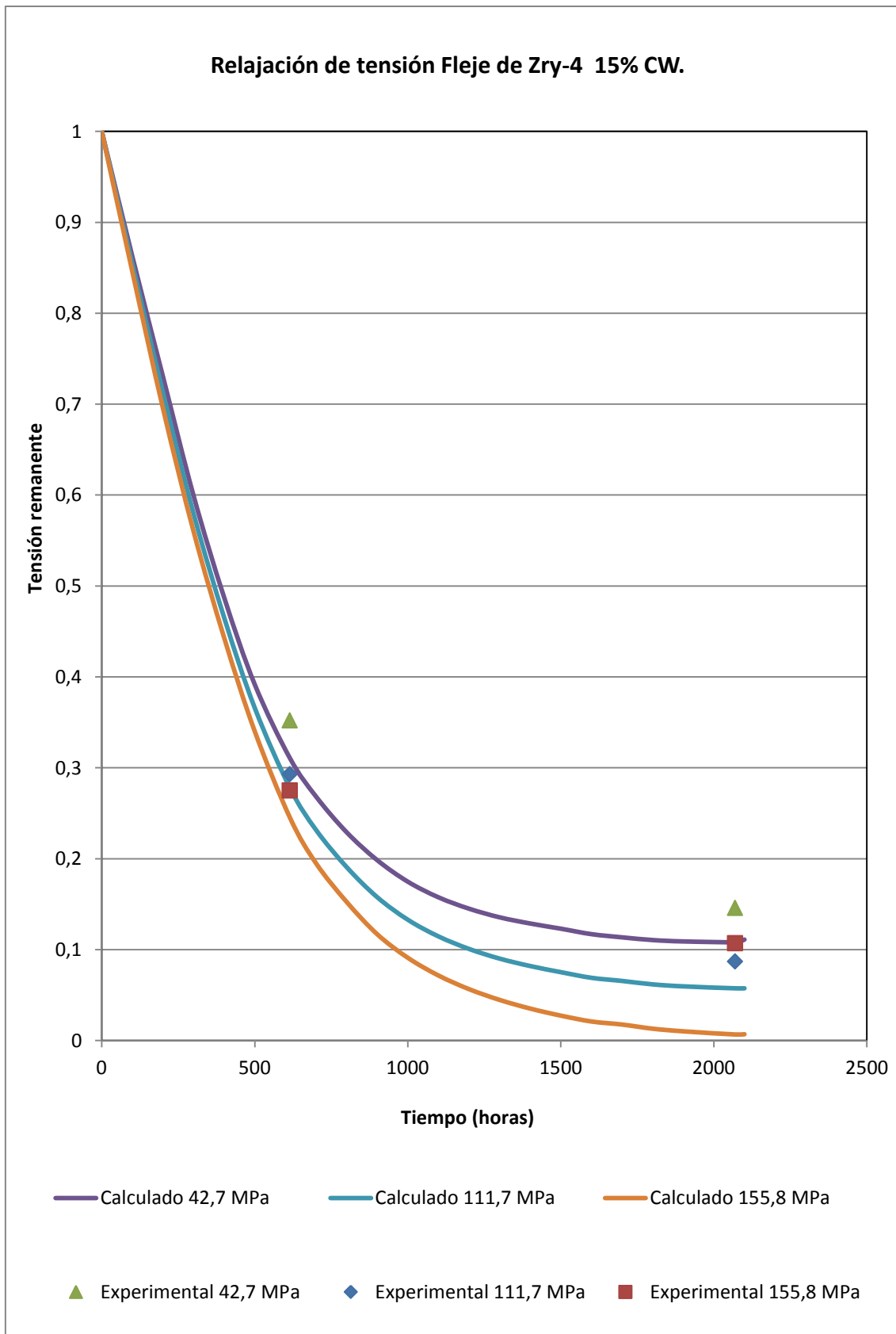


Figura 8: cálculo de la relajación del Zry-4, 15% CW y su comparación con las tres tensiones de las cuales se disponían datos experimentales [1].

3.3 Ecuación de equilibrio

El rango de la fuerza (F) que actúa sobre el muelle determina que las tensiones se desarrollen en el rango elástico lineal. Ésto determina que en cada punto del muelle, la tensión es proporcional a la fuerza aplicada y, también, la deformación es proporcional a la deflexión (L) del muelle.

Luego:

$$(10) \quad \frac{\sigma(t)}{\sigma_0} = \frac{F(t)}{F_0}$$

De donde:

$$(11) \quad F_R(t) = F_0 \cdot e^{\left[-CE(T) \cdot \phi(t) \cdot t^{0,54} \cdot e^{(-Q/R.T)} \right]}$$

Con el valor de las constantes:

$$C = 1,10571 \cdot 10^{-6}$$

$$E(593 \text{ °K}) = 7,85 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$Q = 2383,33 \text{ cal}$$

$$R = 1,987207 \text{ cal/mol} \cdot \text{°K},$$

$$T = 593 \text{ °K}$$

Definiendo una nueva constante W:

$$(12) \quad w = -CE(T) \cdot e^{(-Q/R.T)}$$

Reemplazando (12) en (11):

$$(13) \quad F_R(t) = F_0 \cdot e^{\left[-W \cdot \phi(t) \cdot t^{0,54} \right]}$$

La ecuación de equilibrio a resolver queda:

$$(14) \quad F_n = F_{n-1} + k.(D_{n-1} - D_n).1,4 - F_{Rn-1} + F_{Rn}$$

Donde la Fuerza F_n del muelle se calcula con la fuerza del paso anterior menos la reducción de fuerza por la reducción del diámetro de la barra, menos la relajación térmica.

3.4 Cálculo de la variación de diámetro

La BC presenta una evolución de diámetros, para la historia de potencia analizada, monótonamente decreciente. Esta evolución, la cual es desfavorable para el agotamiento de la fuerza elástica del muelle, fue obtenida con el código *Transuranus* para combustible ULE al 0,85%. En el mismo se cargan como datos de entrada:

- Dimensiones de BC.
- Materiales de BC.
- Parámetros de operación.
- Historia de potencia.

La introducción de datos es mediante un archivo de texto. El código luego del cálculo entrega otro archivo de texto con los resultados (ver Tabla 1). Se observó que en la sección 13 se encuentra el menor diámetro de la barra final (ver Figura 9), por ésto fue el elegido (en forma conservativa) para el cálculo.

Sección	Distancia [mm]	Radio [mm]
Sección 13	3322	6,4437070

Tabla 1: radio final en la sección 13.

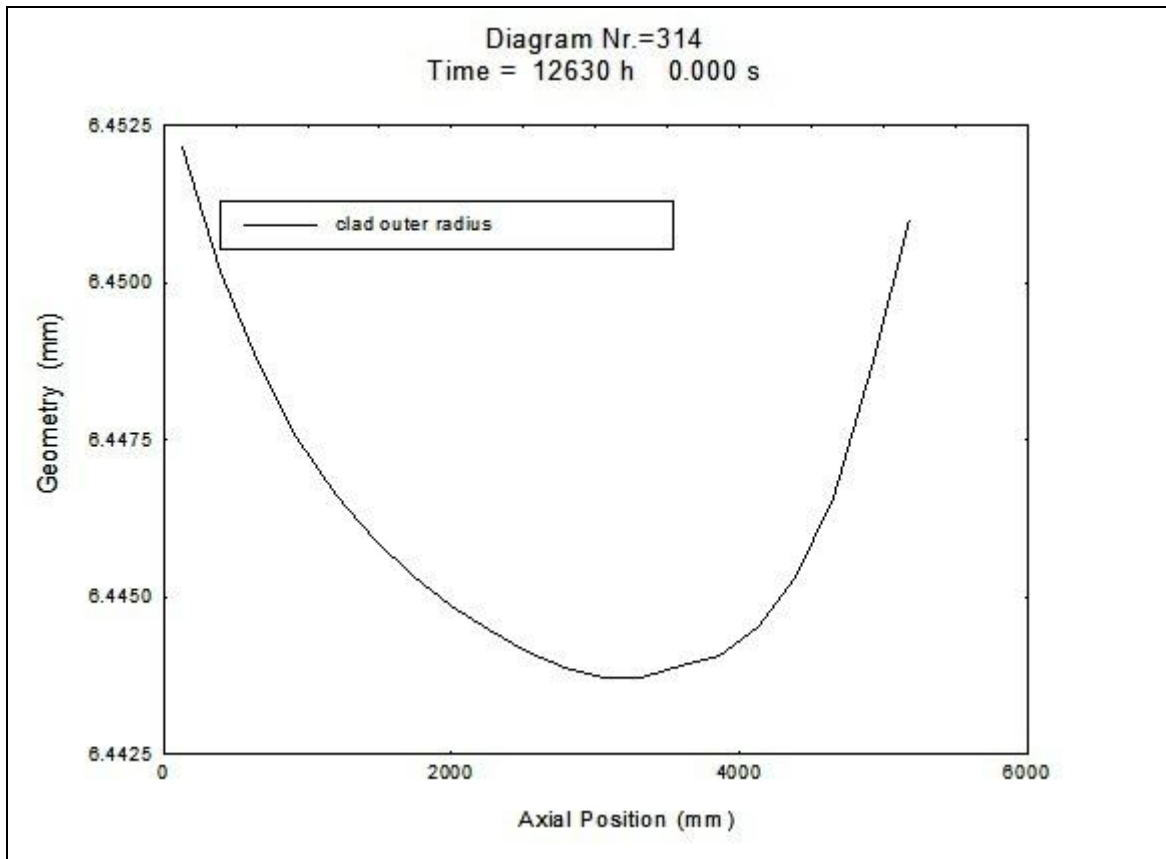


Figura 9: radio final de la BC según la posición axial, el mínimo corresponde a la sección 13.

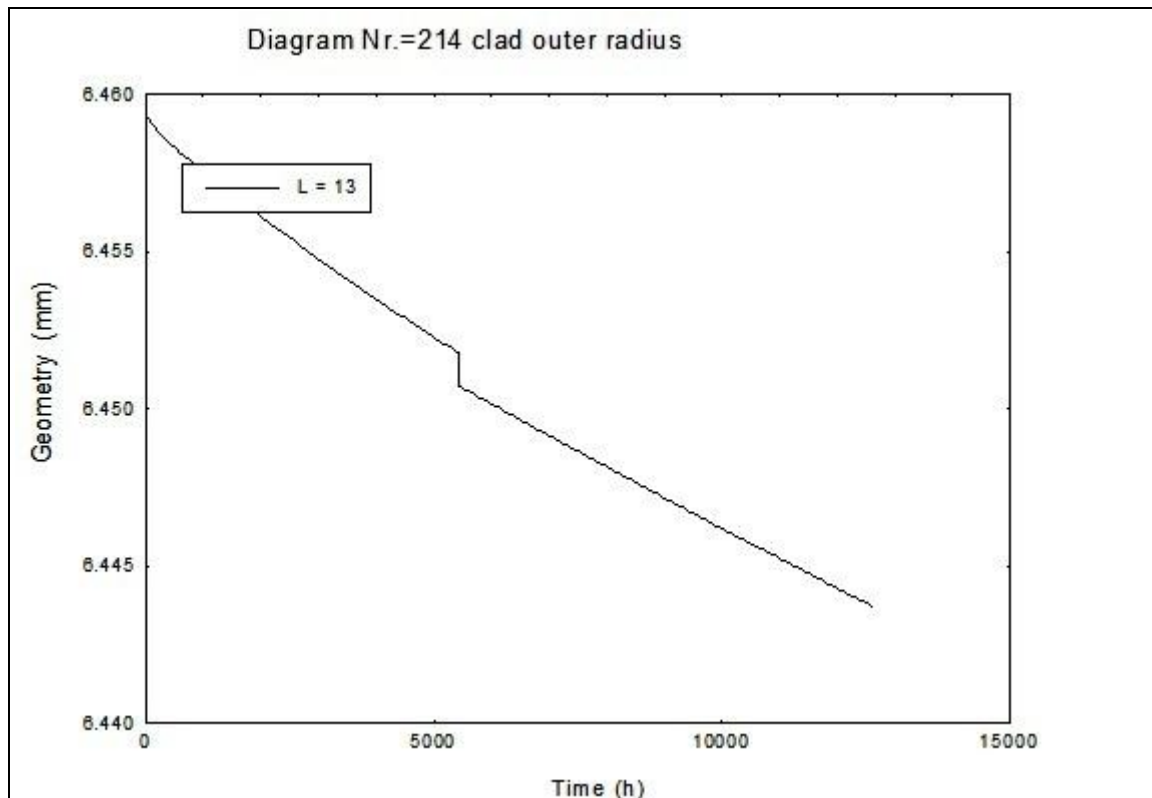


Figura 10: disminución del radio de la BC en la sección 13

La disminución del diámetro de la BC puede calcularse a partir de los datos proporcionados por el código Transuranus, el cual nos da la evolución del radio (ver Figura 10).

3.5 Resolución por intervalos finitos

Ecuación para calcular la fuerza del muelle

Una forma de resolver la ecuación (14) es resolverla por intervalos finitos calculando paso a paso:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_0 - k.(D_0 - D_1).1,4 - F_{R0} + F_{R1} \\
 F_2 &= F_1 - k.(D_1 - D_2).1,4 - F_{R1} + F_{R2} \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 F_n &= F_{n-1} + k.(D_{n-1} - D_n).1,4 - F_{Rn-1} + F_{Rn}
 \end{aligned}$$

Las fórmulas fueron cargadas en una planilla de cálculo en el programa *Excel* y se resolvió, por intervalos de tiempo para todo el quemado. El valor 1,4 que multiplica la diferencia de diámetros es un factor geométrico dado que el desplazamiento del muelle es mayor que la simple diferencia de diámetros, porque la barra apoya en dos puntos en tetones y el tercer punto de apoyo es el muelle (ver Figura 2 y 3).

Para el cálculo se utilizaron los valores que se detallan en la Tabla 2.

Sigla	Parámetro / constante	Valor
T	Temperatura de operación [K]	593
t	Tiempo total de operación [días]	526
E ₂₅	Módulo elástico TA [N/mm ²]	9,81.10 ⁴
E ₃₂₀	Módulo elástico a 320°C [N/mm ²]	7,85.10 ⁴
	Deflexión de los muelles	Valores de L(t) calculados a partir del código <i>Transuranus</i>
	Flujo de neutrones rápidos	Valores de $\Phi(t)$, Fuente [3]

Tabla 2: Sumario de las constantes y parámetros utilizados para el modelo de relajación.

4 DATOS DE ENTRADA

El conjunto de datos de entrada se describen en detalle en los puntos 4.1 y 4.2 del presente trabajo. En la Tabla 3 se caracterizan los datos de entrada para el cálculo de F(t).

Margen de Seguridad	
Fuerza del muelle separador	Mínimo estimado
Celda del separador	Más desfavorable
Decremento de la fuerza del muelle durante el montaje	Máximo estimado
Historia de potencia	Máxima estadía del EC en el reactor
Diámetro de la barra	Nominal
Ubicación axial	Máxima reducción de diámetro de BC

Tabla 3: características de los datos de entrada.

4.1 Datos del muelle

Aquí se muestra el método para obtener la entrada para los cálculos. Los valores numéricos se resumen en la Tabla 4.

Separador de Zry	
Fuerza del muelle (celdas vacías) [N]	15
k del muelle a TA [N/mm]	170
k del muelle a 320°C [N/mm]	136

Tabla 4: datos de los muelles para el cálculo.

La fuerza nominal media en un muelle con las celdas vacías es 37,5 N.

Se adopta una fuerza en el separador de 15 N teniendo en cuenta el decremento de la fuerza por montaje, transporte y manipuleo del EC.

Los muelles más desfavorables en el separador serán los que tengan la mayor constante de resorte (k), porque en este caso la reducción de la fuerza del muelle debido a la reducción del diámetro de la BC será mayor. Por lo tanto, los cálculos se realizan para el muelle de la celda 37 en el separador de Zry-4 (ver Figura 1). El valor de la k a 320 °C, correspondiente a la temperatura máxima estipulada para el separador de Zry-4, se obtiene de la siguiente forma:

$$SR_{320^{\circ}C} = \frac{E_{320^{\circ}C}}{E_{Amb}} \cdot SR_{Amb}$$

4.2 Flujo neutrónico y diámetro de la barra combustible

Se analiza una historia de potencia que es la que presenta máxima potencia lineal.

Para tener en cuenta el mayor tiempo de quemado, dado por el enriquecimiento al 0.85% en el isótopo U235 de la pastilla, la historia se considera hasta 526 Días de Plena Potencia [dpp]. El tiempo de 526 dpp sale como resultado del máximo quemado 15931,9 MWd/t.

La historia de potencia se puede observar en la Figura 11:

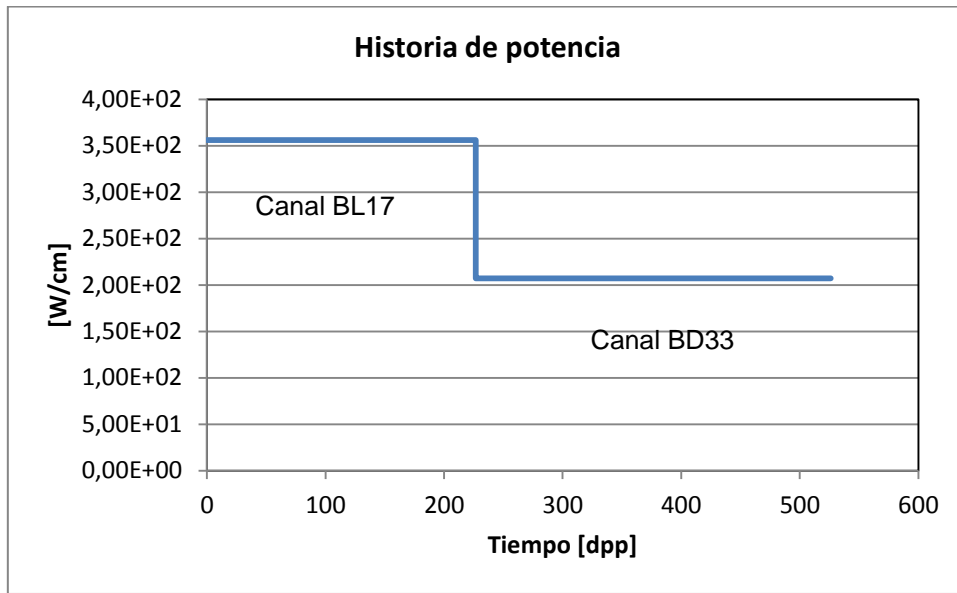


Figura 11: historia de potencia elegida para el cálculo.

El salto de potencia de $3,56 \cdot 10^2$ a $2,07 \cdot 10^2$ se debe al cambio del EC del Canal BL17 al BD33 del reactor a los 227 dpp. También se observa un cambio en la Fluencia (ver Figura 12).

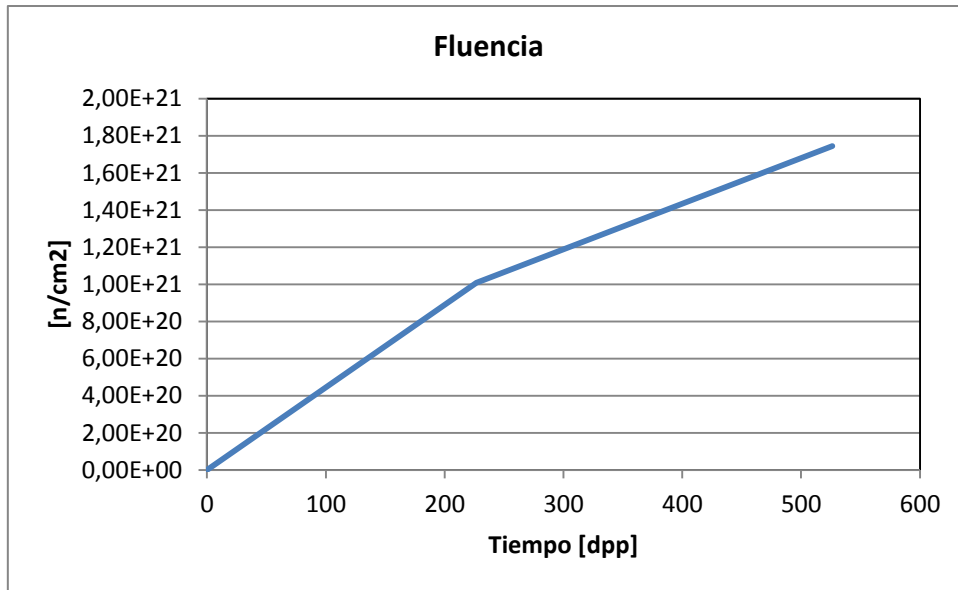


Figura 12: evolución de la fluencia elegida para el cálculo.

El quemado de extracción del EC a los 526 dpp es 15931,9 MWd/tU. Puede observarse en la Figura 13 la evolución del quemado y el cambio a los 227 dpp por el cambio de canal.

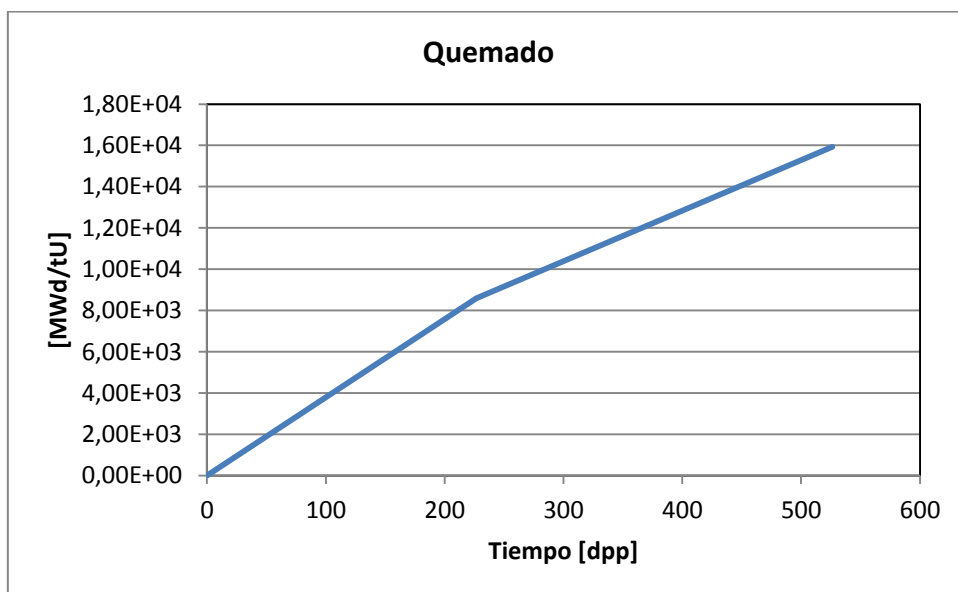


Figura 13: quemado del EC que se obtendría.

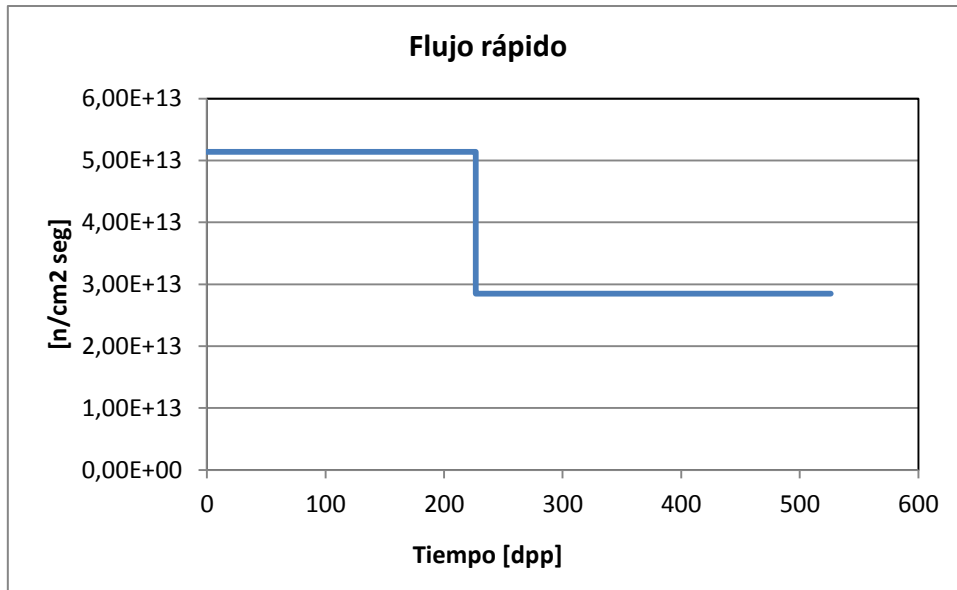


Figura 14: evolución del flujo.

5 RESULTADOS

Los gráficos que se desarrollan a continuación tienen en su eje temporal horas o días. Debe entenderse que estas/os horas/días son de Plena Potencia.

5.1 EC Uranio Natural

Para el EC actual con pastillas de Uranio Natural con 0,71% de isótopo U235 la mayor influencia para la variación del diámetro está en la 14^a sección axial, lo que corresponde al separador 10 [2]. La variación puede observarse en la Figura 15.

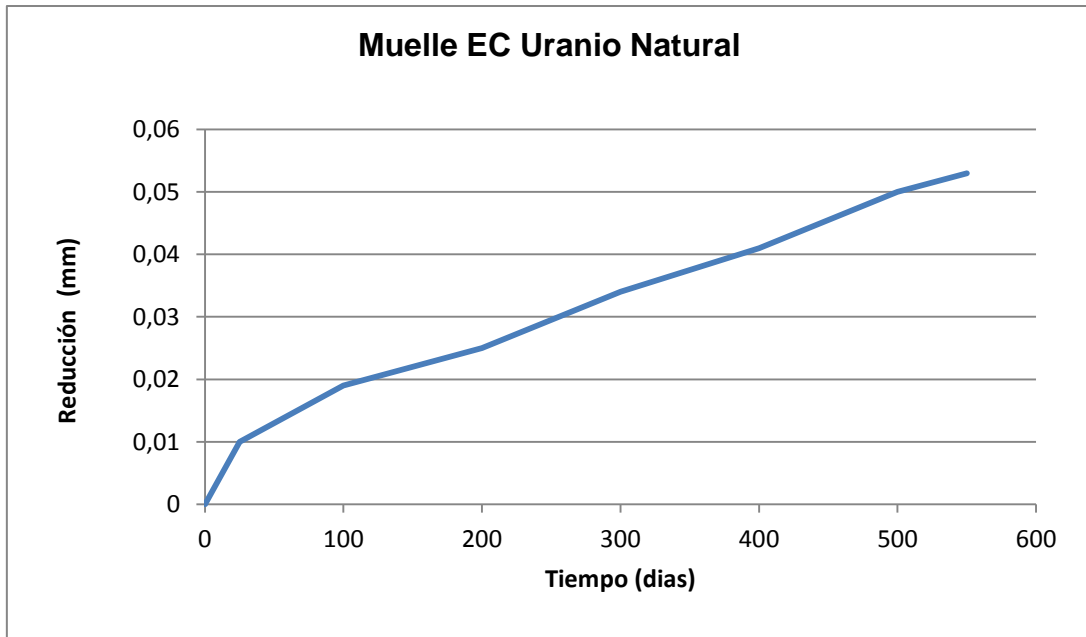


Figura 15: reducción del diámetro de la barra en el Separador 10. Fuente [2]

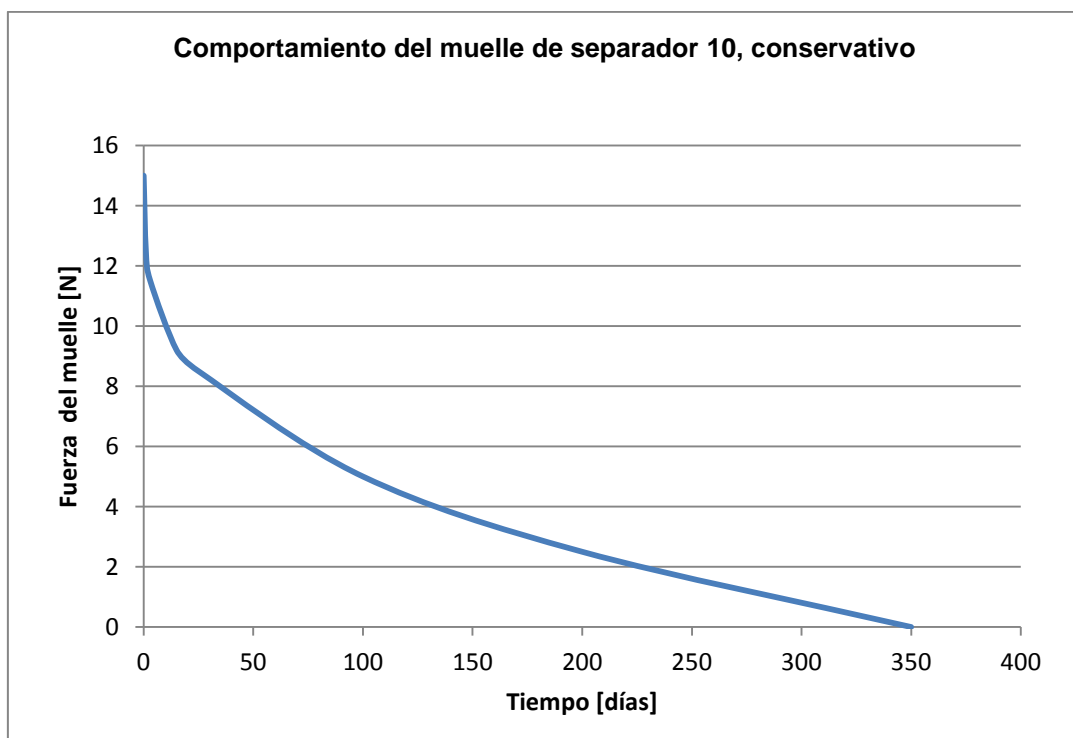


Figura 16: disminución de fuerza del muelle para el separador 10. Fuente [2]

5.2 EC ULE 0,85%

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de la fuerza del muelle elástico y la deflexión en dependencia con el tiempo se muestran en las figuras 17 a 19.

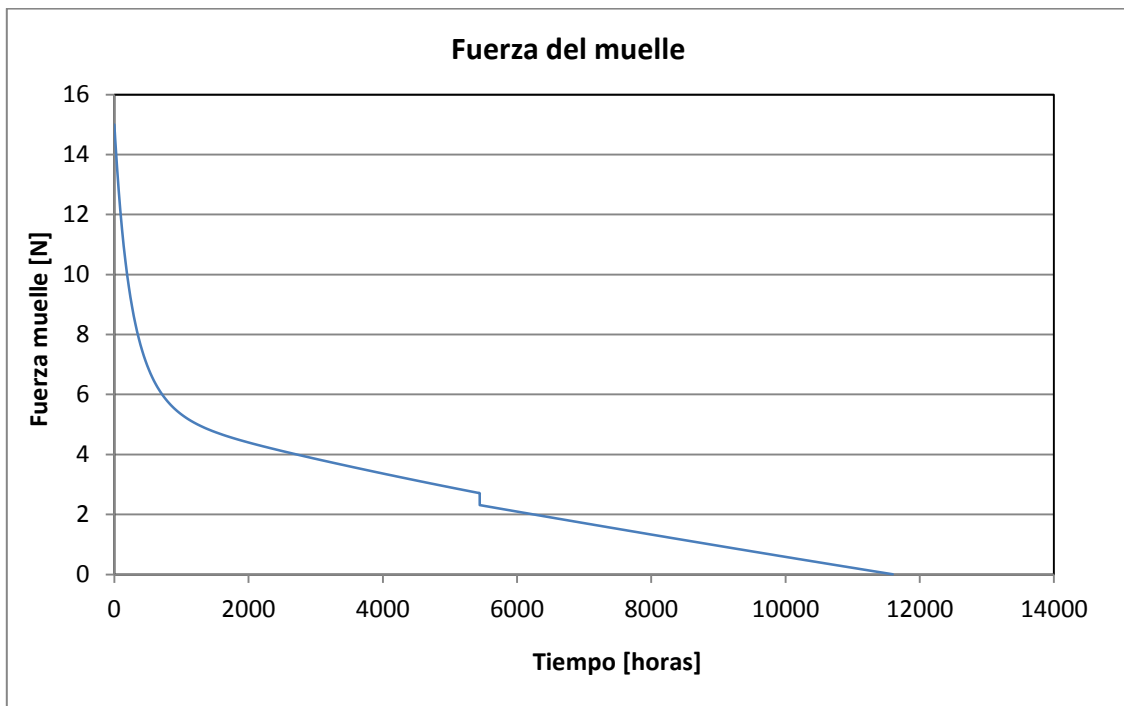


Figura 17: disminución de la fuerza del muelle para el tiempo de estadía dentro del reactor.

El salto que se ve a las 5444 hs corresponde al cambio de canal y el enfriamiento de la barra consecuente. El gráfico se interrumpe cuando la Fuerza se hace nula, dado que físicamente hasta ese valor tiene sentido la Ecuación 14.

En la Figura 18 puede verse que el muelle llega con fuerza hasta un tiempo de 482 días que es casi la totalidad del tiempo de estadía dentro del reactor, calculado de 526 días.

A partir de que la Fuerza del muelle se hace cero, lo que significa que el muelle no ejerce más fuerza sobre la BC, se producirá un huelgo $[H(t)]$ de dimensiones cada vez mayores a medida que continúe disminuyendo el diámetro de la BC. La ecuación que representa este fenómeno es:

(15) $H(t) = (D(t) - D_{F=0}) \cdot 1,4$ donde:

$D(t)$ es el diámetro que corresponde al tiempo

$D_{F=0}$ es el diámetro que corresponde a la fuerza cero:

$D_{F=0} = 12,889 \text{ mm}$

El Factor 1,4 es el factor geométrico descrito en la punto 3.5 del presente trabajo.

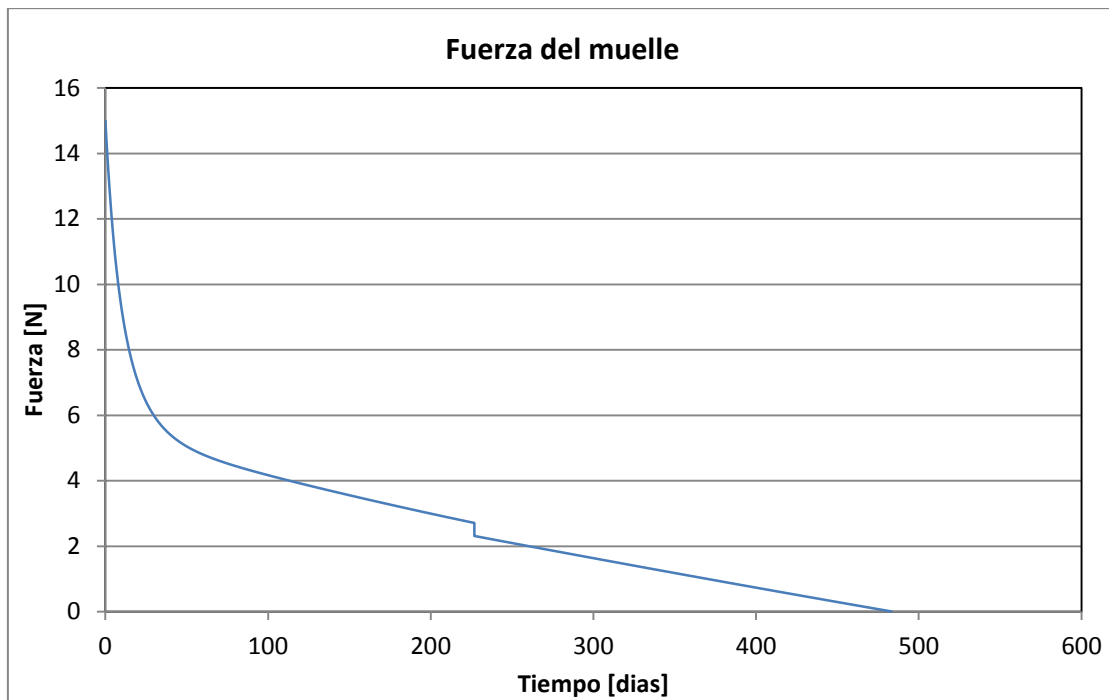


Figura 18: disminución de la fuerza del muelle durante 482 días.

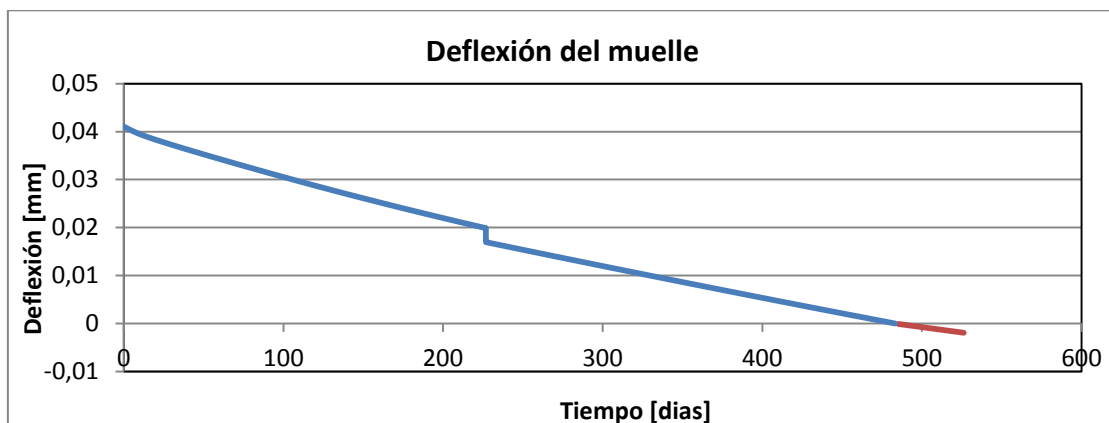


Figura 19: recuperación elástica del muelle (azul) positiva hasta 482 dpp y huelgo barra-muelle (rojo) negativo hasta la extracción del EC a los 526 dpp.

6 CONCLUSIONES

Se logró poner en marcha un método de análisis y determinación de la evolución del ajuste de la Barra Combustible en la Celda del separador de chapa tipo Atucha II. El mismo considera la relajación del muelle de la celda y la variación del diámetro de la Barra Combustible.

La implementación de este método significó una puesta al día de los mecanismos de relajación de tensión intervinientes y de su interacción.

Se compatibilizó la interacción de los datos de relajación de tensión del muelle con los datos obtenidos utilizando un código de barras de análisis del comportamiento de la Barra Combustible.

Por otro lado, *se logró ajustar la interrelación para obtener una medida de la fuerza de ajuste del muelle o el huelgo.*

El disponer de un método de análisis permite evaluar aspectos del diseño del separador y potenciales modificaciones.

Por otro lado quedan abiertas mejoras en esta herramienta en dos aspectos:

- 1- Correlaciones de relajación del material aplicables
- 2- El método de cálculo para correlacionar los dos mecanismos vigentes en la extinción de la fuerza de ajuste.

7 ANEXO

7.1 Fluencia y Flujo Neutrónico, Quemado y Potencia.

Sección 13						
canal	dpp	dpp	Fluencia	Flujo rápido	Quemado	Potencia promedio
	[dias]	[hrs]	[n/cm2]	[n/cm2 seg]	[MWd/tU]	[W/cm]
BL17	0	0	0,00E+00	5,14E+13	0,00E+00	3,56E+02
BL17	227	5444	1,01E+21	5,14E+13	8,59E+03	3,56E+02
BD33	227	5444	1,01E+21	2,85E+13	8,59E+03	2,07E+02
BD33	526	12630	1,74E+21	2,85E+13	1,59E+04	2,07E+02

Tabla 5: fluencia, flujo, quemado y potencia para la sección 13 del EC [3].

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. H. Kreyns; M. W. Burkart. "Radiation enhanced relaxation in Zircaloy – 4 and Zr/2.5 wt % Nb/ 0.5 wt % Cu alloys", J. Nuclear Material. 26 (1968) 87.
- [2] Schmucker, "Calculation of Spacer Spring Force and Deflection in Normal Operation", CNA 2, Report B 112/85/e358. KWU
- [3] AA, Parámetros de operación para combustible ULE 0,85% calculados por Departamento Física y Análisis – NA-SA.
- [4] Franklin D.G. et ál, *Creep of Zirconium Alloys in Nuclear Reactors*. ASTM SPECIAL TECHNICAL PUBLICATION 815 - 1983