

***“LIMITES DE ESFUERZOS PARA LA CARGA DE LOS ELEMENTOS  
COMBUSTIBLES DEL PRIMER NUCLEO DE LA CNA-II”***

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

Alumno: Ing. Rodrigo Vicente  
Director: Ing. Alberto Casario

Marzo del 2014



**UNSAM**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 2 de 28

## RESUMEN

Entre los días 24/01/2013 y 22/02/2013 se realizó la introducción de 430 Elementos Combustibles (EC) en el reactor de la CNA-II (95,3% del núcleo completo) necesarios para la realización de las pruebas en caliente.


El Ing. Rodrigo Vicente, del Departamento Gestión Ciclo de Combustible (DGCC) de Nucleoeléctrica Argentina S.A., especificó los límites de esfuerzos a controlar durante todas las operaciones de introducción de los EC.

En el presente trabajo se describen los cálculos realizados y los resultados obtenidos al finalizar la carga de los EC.

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 3 de 28

## INDICE

1 – Introducción	-----	Hoja 4
2 – Ensayos previos a la carga masiva de EC	-----	Hoja 8
3 – Límites de los esfuerzos máximos y mínimos durante la carga de EC	----	Hoja 10
4 – Resumen de la tarea de carga de los EC	-----	Hoja 19
5 – Conclusiones	-----	Hoja 27
6 – Referencias	-----	Hoja 28

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 4 de 28

## 1 INTRODUCCION

Entre los días 24/01/2013 y 22/02/2013 se realizó la introducción de una fracción de 430 Elementos Combustibles (EC), correspondientes al primer núcleo de la CNA-II. El núcleo completo del reactor está compuesto por 451 EC, distribuidos en cinco zonas hidráulicas [Fig. 1.1].

Dado que los plazos para la carga de los EC mediante el uso de la Máquina de Recambio resultarían muy extensos, se programó la tarea de carga del primer núcleo de forma manual, mediante el uso de la grúa auxiliar existente dentro del recinto del reactor (UJA).

La carga manual se realizó con el recipiente del reactor parcialmente lleno con agua común desmineralizada, a temperatura ambiente y a presión atmosférica, hasta una cota ligeramente superior a las lumbreras de salida del refrigerante (aproximadamente 4500 mm desde la boca de ingreso de los EC).

Por el mismo motivo, los EC, que se encontraban almacenados en el edificio de piletas (UFA), no serían trasladados uno por uno al edificio del reactor mediante el transporte convencional subacuático, sino mediante el uso de un carro con plataforma pivotante (Unidad de Transporte), con la capacidad de transportar seis EC en cada viaje.

La maniobra de carga manual mediante la grúa auxiliar presentaba como inconveniente la alineación de cada EC con su canal, para que la introducción resultara suave y sin impactos ni enganches.

Para lograr esto, la Unidad de Gestión CNA-II (UG-CNA-II) junto con el DGCC y el Departamento de Elementos Combustibles de CNEA (IEC), decidieron el uso de un láser vertical, fijado en la herramienta de izaje, de modo que la luz proyectada por el mismo sobre el Mantel (boquilla del Canal Refrigerante) sirviera de indicación de la alineación de la columna combustible con el Canal Refrigerante.

Para registrar en forma continua la variación del peso aparente (ver punto 3.3) del EC y del EC acoplado con el Cuerpo de Relleno (CR) se instaló un dinamómetro digital colgado de la herramienta de izaje.

El DGCC tuvo la responsabilidad de definir los límites a las solicitaciones mecánicas sobre los EC, durante todas las maniobras de introducción en el reactor de los EC del primer núcleo.

Por esto colaboró con la UG en la confección de las Instrucciones de Trabajo PIC-602 "Primera carga manual de EC nuevos al Reactor", [1] y PIC-603 "Traslado de EC nuevos entre edificios UFA y UJA para la primera carga del Reactor", [2]. Asimismo revisó el diseño, la fabricación y la calificación de la Unidad de

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 5 de 28

Transporte en Seco de EC dentro de la Central, que fue utilizada para transportar en forma horizontal los EC desde su almacenamiento en seco en el edificio de piletas hasta el edificio del reactor.

El control de la fuerza de inserción y extracción del EC y de la Columna Combustible Completa (CCC), formada por el EC [Fig. 1.2], el Cuerpo de Relleno (CR), tiene el propósito de verificar mediante el análisis de la variación del peso aparente:

- Las fuerzas mínimas y máximas de ajuste entre el EC, a lo largo de todo el Canal Refrigerante.
- Libre pasaje de la CCC a todo lo largo del Canal Refrigerante.

Una fuerza reducida de ajuste entre EC y Canal Refrigerante [Fig. 1.3] presenta el riesgo de inestabilidad hidrodinámica del EC con vibraciones acompañadas de desgaste prematuro, golpeteo o impactos entre ambos durante la posterior operación en potencia.

En el caso de fuerte interferencia entre EC y canal, el riesgo es la dificultad de introducir o extraer (luego de su irradiación) el EC con posibilidad de daños mecánicos al canal, al EC o a ambos.

Ambos casos, reducida fuerza de ajuste o elevada interferencia EC-canal, pueden estar indicando defectos de diversos orígenes en el EC o en el canal.

Para reducir estos riesgos se propuso y elaboró un plan de trabajos para efectuar el control de la reducción del peso aparente de las columnas combustibles durante la inserción manual de 430 EC del primer núcleo de la CNAII, con el reactor lleno de agua común hasta un nivel ligeramente superior al de las lumbreras de salida del refrigerante. El control abarcó el 95,3 % del total de los 451 EC que componen el núcleo completo.

Con respecto a la manipulación en general de los EC, se respetó lo establecido en la Especificación Técnica E.0.16.120 Rev.1 "Manipuleo, Embalaje, Transporte y Almacenamiento de EC" [3], emitida por CNEA, incluyendo el control de las aceleraciones sufridas por los EC montados en los bastidores de transporte.

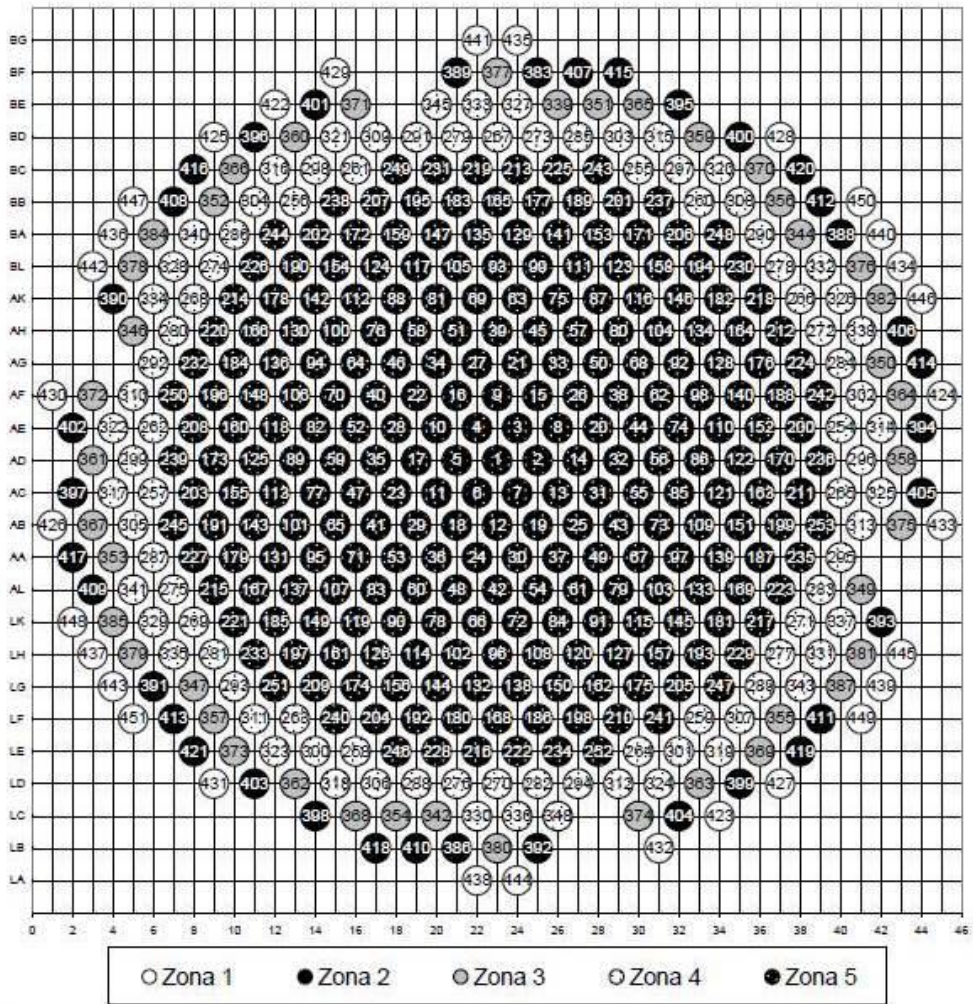


Figura 1.1

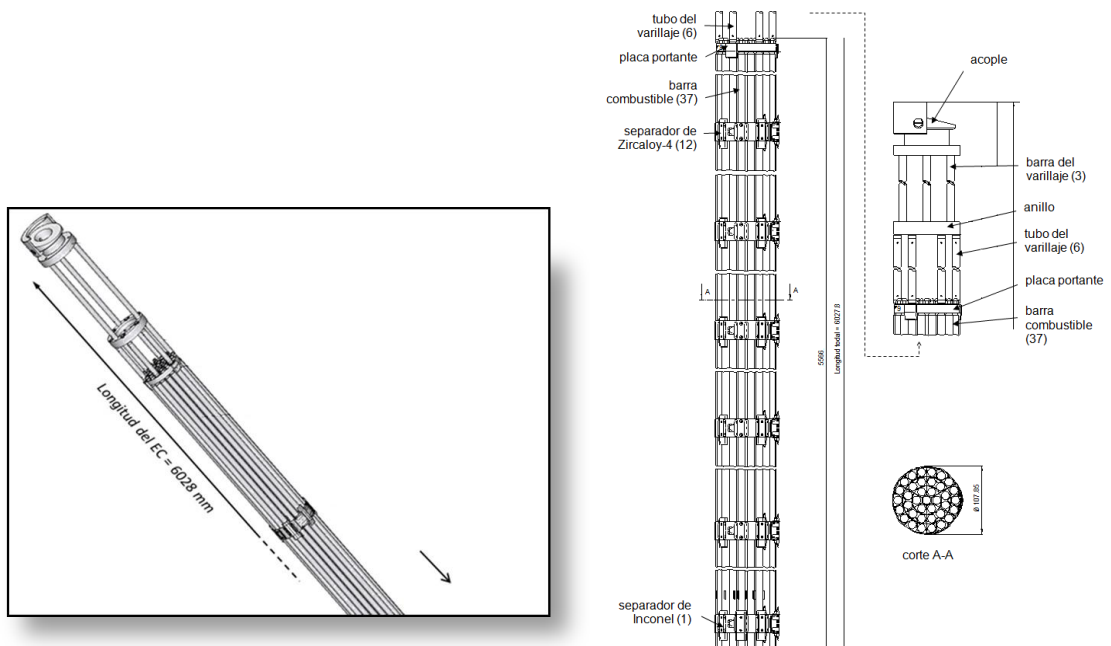


Figura 1.2

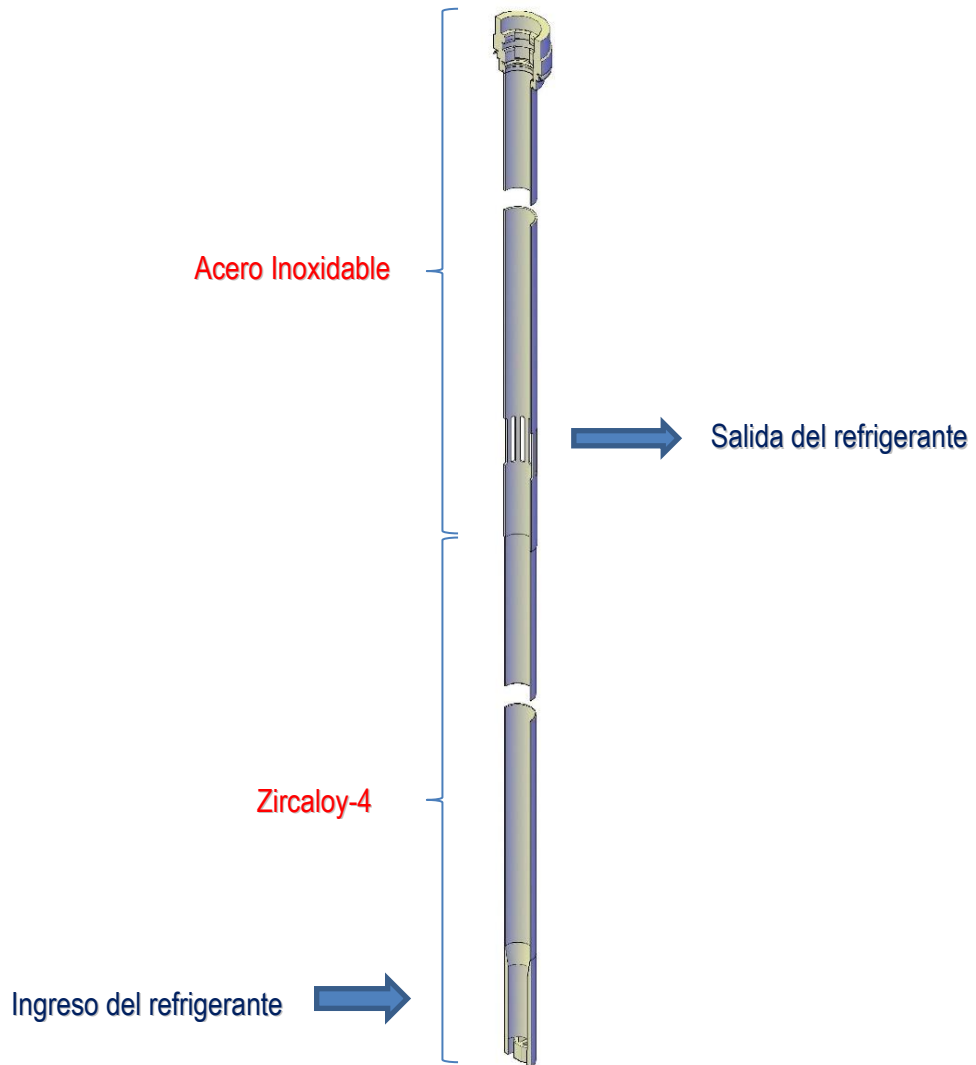


Figura 1.3

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 8 de 28

## 2 ENSAYOS PREVIOS A LA CARGA MASIVA DE EC

La UG CNA-II, realizó dos ensayos de introducción de EC en el reactor, previos a las tareas de ingreso masivo de EC.

Estas pruebas se efectuaron con los canales llenos de agua común desmineralizada hasta el nivel de 4500 mm desde la tapa del reactor, en condiciones normales de presión y temperatura.

De esta forma se verificaron entre otros aspectos, los procedimientos aplicables, el correcto funcionamiento del láser centrador y del dinamómetro con registro.

El día 13/12/2012 se realizó la introducción completa del EC C0046 en el canal AL13, sin el CR. Dado que el nivel de agua en el canal alcanzaba la cota aproximada de 4500 mm, aproximadamente el 90% de la introducción se realizó en seco.

El 14/12/2012, se acopló a este EC el CR, se extrajo a continuación la columna y se volvió a introducir en el canal de manera completa en el mismo canal.

Ambas pruebas fueron realizadas registrando en forma continua, tanto en la introducción como en la extracción, el peso aparente mediante el dinamómetro.

En esta segunda introducción el EC alcanzó su posición final en el canal, ingresando completamente en la zona del canal de Zry-4 y sumergido completamente en agua a partir de la cota 4500 mm.

A continuación se indican los gráficos obtenidos por el dinamómetro durante el ingreso del EC C0046 en el canal AL13 y del EC más la CR:

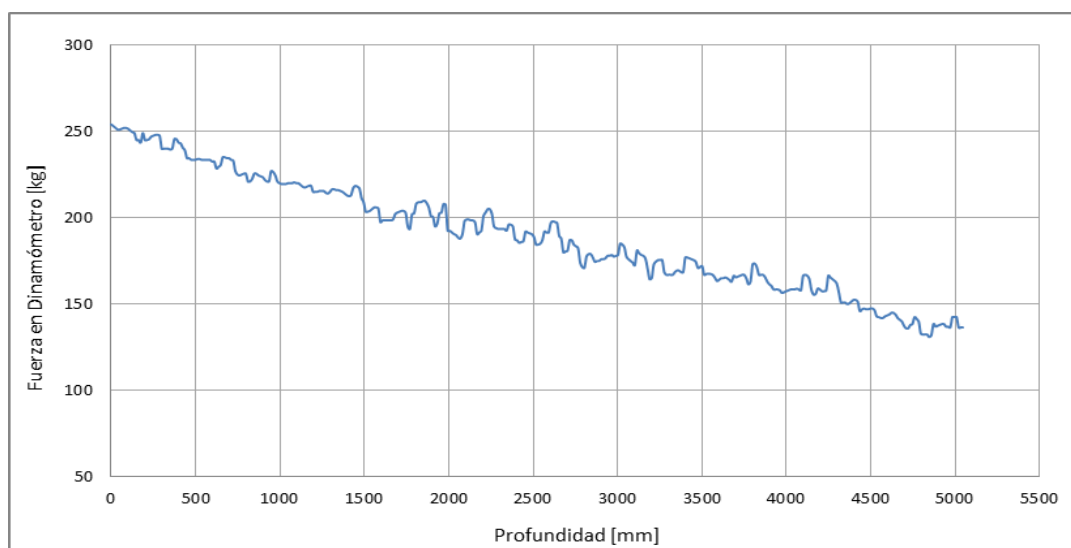


Figura 2.1 - Prueba de introducción del EC el 13/12/2012

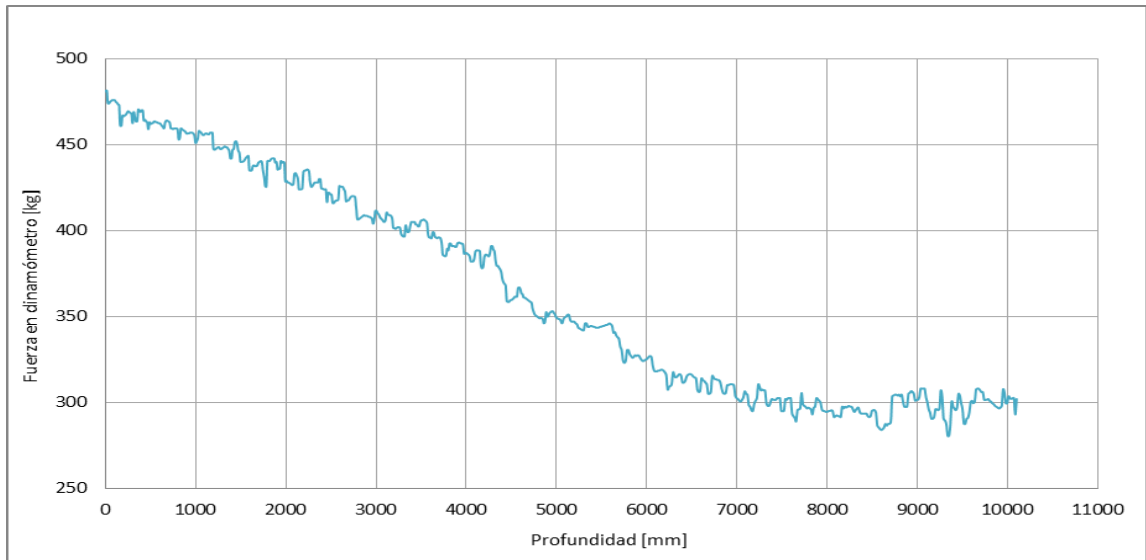


Figura 2.2 - Prueba de introducción de EC+CR el 14/12/2012

Cabe aclarar que los datos de fuerza registrados por el dinamómetro estaban en función del tiempo. Fue necesario procesar los mismos para convertir el eje de tiempo (seg) en profundidad (mm).

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 10 de 28

### 3 LIMITES DE LOS ESFUERZOS MAXIMOS Y MINIMOS DURANTE LA CARGA DE EC

#### 3.1 Análisis de la introducción del C0046 sin el CR

Para fijar los esfuerzos máximos (pesos aparentes máximos) admisibles en la operación de introducción y extracción de los EC de los canales refrigerantes, se analizaron los resultados de las dos pruebas de introducción descritas en el punto 2.

En función de esto se estimaron los rangos de esfuerzos típicos esperables durante la introducción de los EC y EC+CR en los canales refrigerantes.

Dado que para analizar el comportamiento de los EC en los canales refrigerantes, solo se tuvo como experiencia previa las dos introducciones con el EC C-0046, los límites fueron fijados provisoriamente y serían revisados una vez que se hubieran cargado en el reactor una fracción apreciable de EC.

Debe recordarse que la introducción de los EC sin la CR alcanzó solamente la parte superior del Canal Refrigerante (de acero inoxidable) la cual, por lo que se indicó en el punto 2, se encontraba sin agua durante la carga manual de los 430 EC.

A continuación se muestran diferentes gráficos de peso aparente en función de la profundidad de inserción en el Canal Refrigerante AL13 obtenido con el C0046 sin el CR. Se delinearon según los criterios que se reseñan posteriormente.

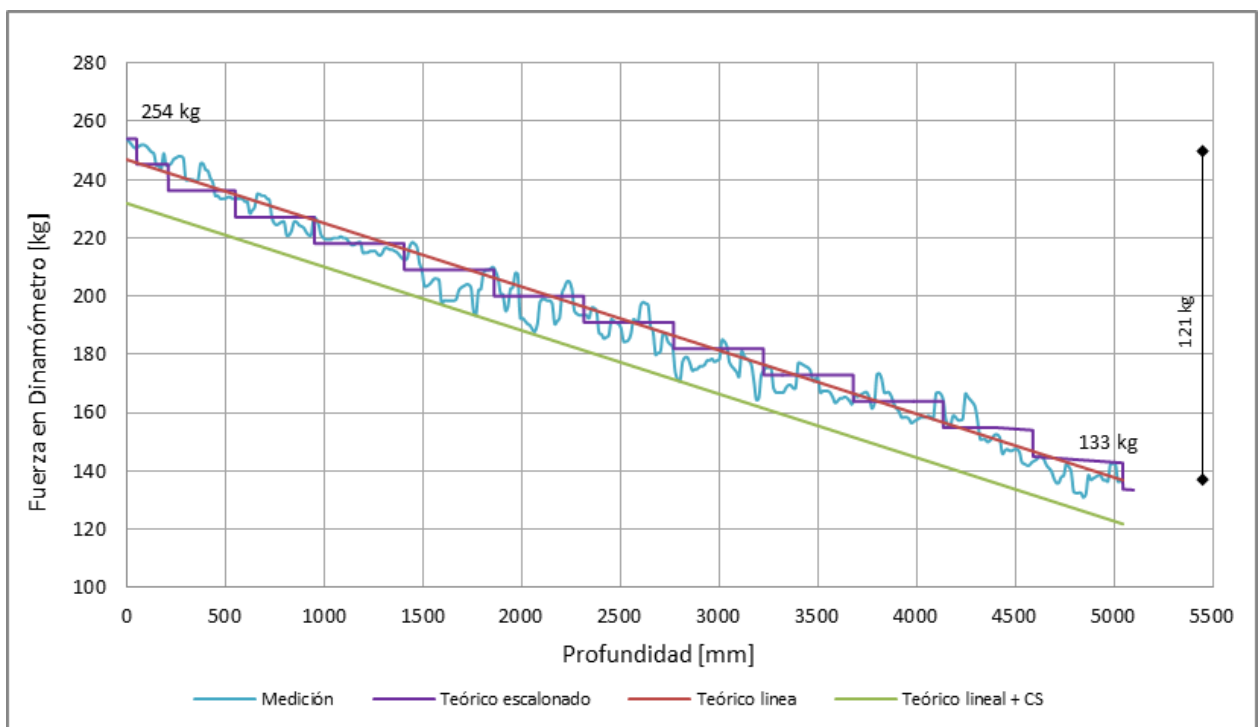


Figura 3.1

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 11 de 28

En este gráfico se ve en color celeste la curva real obtenida con la medición directa realizada por el dinamómetro durante la introducción.

Esta curva real fue utilizada para poder obtener una relación ideal que pudiera predecir la variación de la fuerza en función del grado de introducción del EC en la sección superior del canal, de acero y en seco.

La curva ideal, resulta una función escalera, ya que a medida que cada separador va ingresando al canal refrigerante el peso aparente medido por el dinamómetro se reduce en un valor discreto.

Esa curva teórica está representada en el gráfico en color violeta.

En la práctica se ve que la curva real (en color celeste) se aparta de esta forma de escalera, produciendo una serie continua de oscilaciones alrededor de un valor medio que se va reduciendo.

Esta ocurrencia se atribuye a varias causas:

- El sistema mecánico real del cual pende el EC durante la carga manual es elástico y no rígido.
- El EC en si no se comporta como un cuerpo rígido, sufriendo desplazamientos y oscilaciones laterales.
- El ajuste del EC contra el canal es variable con la profundidad de inserción modificándose la fuerza de fricción a lo largo del canal, principalmente debido a la variación de la interferencia entre separadores y canal y a la constante elástica de cada una de las zapatas elásticas de los separadores.

Para facilitar el análisis la curva escalera real fue simplificada por una recta, o curva media. La cual puede verse en el gráfico en color rojo.

Por otro lado, la recta en color verde, fue trazada para indicar una envolvente a los picos mínimos de la curva real. Dicha recta, límite mínimo, está reducida en 10 kg respecto de la curva media en color rojo.

### 3.2 Análisis de la introducción del C0046 con el CR

En el ensayo del 14 de diciembre, se acopló al mismo EC el cuerpo de relleno (CR), se extrajo completamente del canal, y a continuación fue introducida la columna combustible completa.

En el siguiente gráfico se observa la curva del peso aparente del EC+CR en función de la posición de introducción:

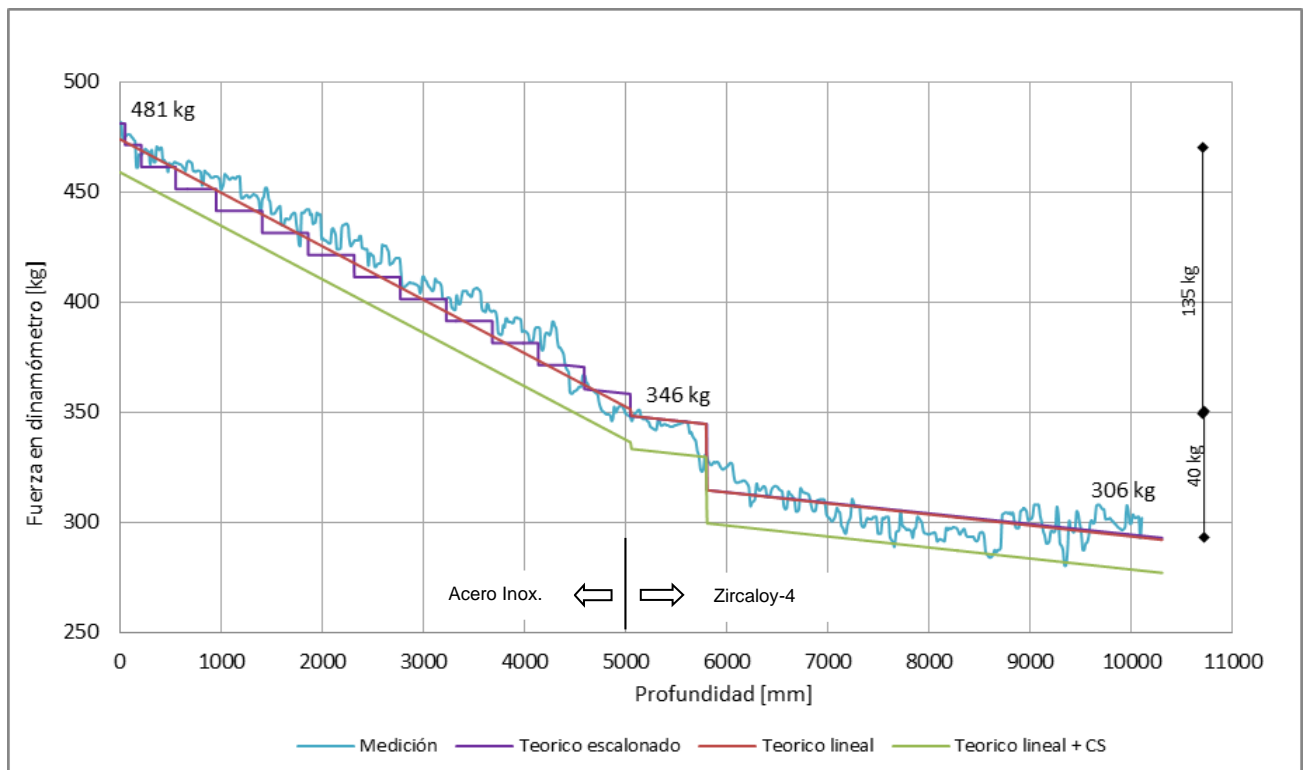


Figura 3.2

Las curvas trazadas en este gráfico representan lo mismo que para el gráfico anterior.

Cabe aclarar que en la posición 5100 mm finaliza la introducción del EC en el la sección superior de acero del canal y comienza a introducirse el cuerpo de relleno.

Hasta alcanzar la profundidad total de inmersión de la columna el CR se desliza siempre en seco durante la recarga manual.

El primer salto producido a continuación es producto del ingreso en el canal de las ruedas que tiene el cuerpo de relleno en su parte inferior para sujetar y centrar el mismo contra el canal.

A continuación, los efectos de la reducción continua de fuerza, son producto del ingreso sucesivo de los distintos separadores a la región del canal de Zircaloy-4 y a la fuerza de flotación que va reduciendo el peso aparente a medida que el EC va siendo sumergido.

El nivel de agua se encuentra aproximadamente a los 4500 mm, en donde se comienza a apreciar una reducción de la pendiente de la curva, ya que la fuerza de flotación comienza a colaborar con la fuerza de rozamiento, a medida

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 13 de 28

que aumenta la profundidad de inserción, reduciendo paulatinamente el peso aparente registrado por el dinamómetro.

Para obtener los límites teóricos dentro de los cuales deberían ubicarse las curvas de todos los EC al ingresar en el reactor se consideró que las curvas de introducción entre un EC y otro podrían variar en función de las fuerzas de ajuste de cada una de las zapatas elásticas de los separadores, las cuales a su vez dependen de:

- Interferencia entre separadores y canal
- Constante elástica de cada zapata elástica
- Fuerza de calibración de cada zapata elástica en la fabricación
- Diámetro y ovalidad interior de cada canal
- Rectitud de cada canal
- Alineación de la grúa auxiliar con el canal durante cada introducción.

### 3.3 Modelización de las curvas y límites

La función del peso aparente durante el descenso en el canal, del EC o del EC+CR, impulsada por sus pesos propios, se consideró proporcional a la siguiente expresión:

$$P_{ap} = P_{aire} - (F_{fricción} + F_{flotación})$$

$P_{ap}$  = Peso aparente

$P_{aire}$  = Peso en el aire del EC o del EC + CR = Constante

$F_{fricción}$  = Fuerza de fricción del EC contra el canal

$F_{flotación}$  = Fuerza de flotación (Durante la carga manual, solamente la sección inferior del canal, aproximadamente 4500 mm, se encontraba inundada. En el resto de la introducción del EC+CR no opera el empuje hidrostático).

$F_{fricción}$  y  $F_{flotación}$  son funciones crecientes de la profundidad (h), luego el  $P_{ap}$  resulta una función decreciente de h.

Conceptualmente, para una profundidad alcanzada:


$$F_{fricción} = K_{fr} \cdot F_{ze} \cdot N_{ze}$$

$K_{fr}$  = Constante relacionada con el coeficiente de rozamiento entre canal y las zapatas de los separadores

$F_{ze}$  = Fuerza de la zapata elástica (ZE)

$N_{ze}$  = Cantidad de separadores (SP) introducidos en el canal

La  $F_{fricción}$  resulta una función escalera.

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 14 de 28

En cuanto a la fuerza de flotación:

$$F_{\text{flotación}} = K_{\text{fl}} \cdot h$$

$K_{\text{fl}}$  = Constante relacionada con el volumen y peso específico del agua desalojada

$h$  = Profundidad de la introducción en el seno del agua.

La  $F_{\text{flotación}}$  resulta una función lineal.

Las zapatas elásticas poseen un valor de fuerza especificada a temperatura ambiente (TA) de 70 N, con una tolerancia de  $\pm 10$  N.

Los canales refrigerantes tienen un diámetro interior nominal especificado a TA de 108,2 mm, con una tolerancia de  $\pm 0,2$  mm. Se supuso que el diámetro del canal refrigerante AL13 era el nominal especificado, de 108,2 mm.

El EC C0046, introducido en los dos ensayos iniciales indicados en los puntos 3.1 y 3.2, poseía de fabricación a temperatura ambiente una fuerza promedio de cada una de las 12 zapatas elásticas de Zircaloy-4 de 70 N y una fuerza de la zapata elástica inferior de Inconel de 72 N.

La variación del peso aparente en el descenso del EC en función de la profundidad de introducción del EC se consideró proporcional a la siguiente expresión:

$$\text{Variación de peso aparente} = (K_1 \cdot F_z \cdot N) + (K_2 \cdot Y) \quad [\text{Ecuación A}]$$

Siendo:

$K_1$  = Constante relacionada directamente con el coeficiente de rozamiento zapatas-canal.

$F_z$  = Fuerza contra el canal de la zapata elástica.

$N$  = Cantidad de zapatas elásticas introducidas.

$K_2$  = Constante relacionada con la geometría. Representa la fuerza de flotación en función de la posición de inserción del EC en el canal.

$Y$  = Posición de introducción del EC en el canal.

De ensayos realizadas sobre los separares elásticos de Zircaloy-4 sabemos que la constante elástica de la misma, en el rango de trabajo a TA, es de aproximadamente 40 N/mm. Como el canal combustible tiene un diámetro que varía en 0,2 mm alrededor de su valor nominal, la fuerza de las zapatas elásticas variaría en  $\pm 8$  N, para los valores de diámetros límites del canal.

Con estas consideraciones se calcularon dos curvas adicionales a la que imitó el ensayo, modificando solo los valores de  $F_z$  en la ecuación A.

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 15 de 28

Si bien las fuerzas de las zapatas de un EC pueden tener cualquier distribución de valores dentro de los especificados, y los diámetros interiores de los canales pueden variar dentro del rango especificado de canal a canal y a lo largo de un mismo canal, a modo conservativo y con el fin de encontrar los valores límites de fuerzas, se consideró un EC con las fuerzas de las zapatas máximas introduciéndose en un canal con diámetro mínimo y un EC con fuerzas de zapatas mínimas introduciéndose en un canal con diámetro máximo.

Trazando estas curvas límites, para el caso de la prueba del día 13/12/2012 obtenemos:

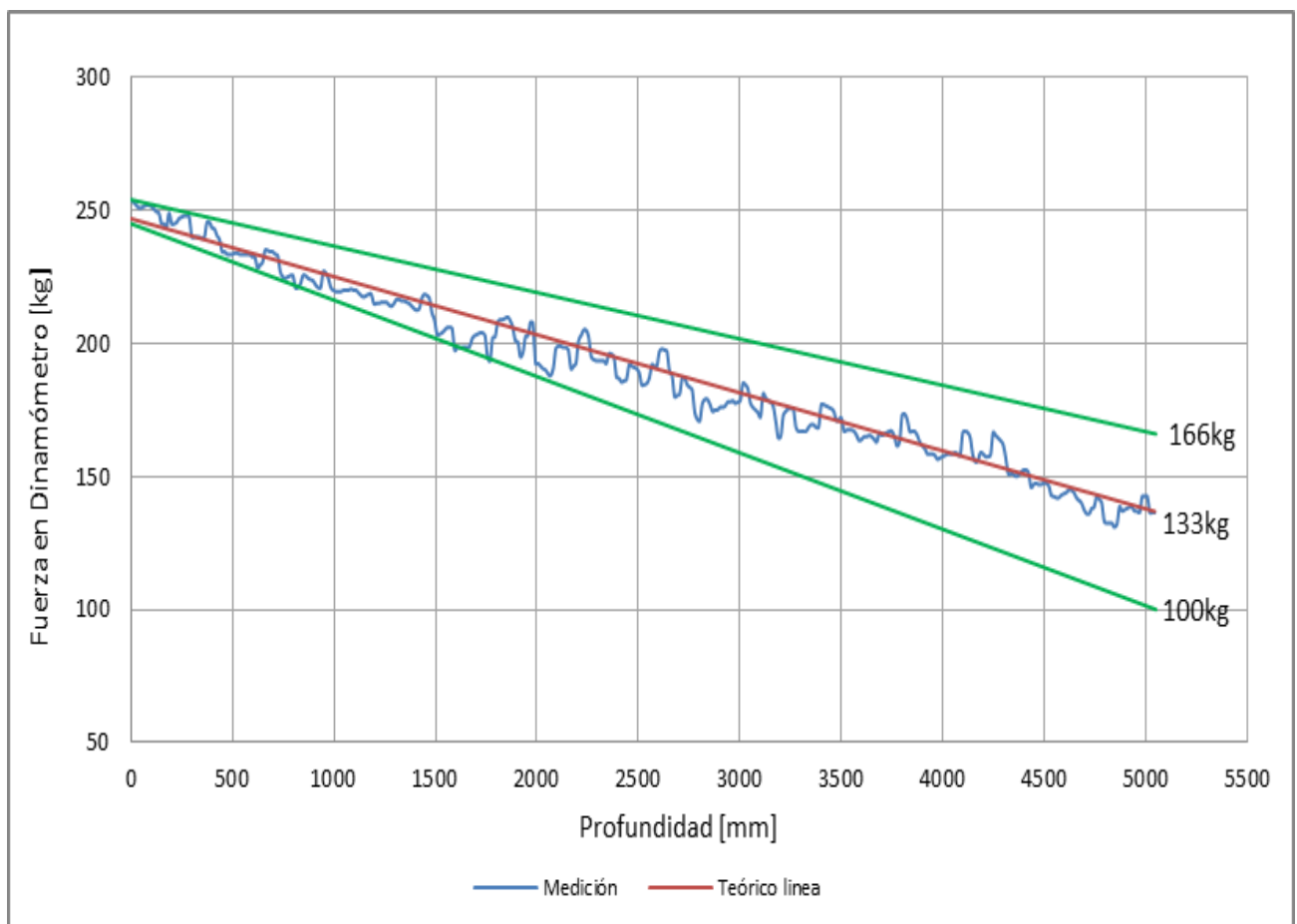


Figura 3.3

Y la siguiente, para la parte de introducción solo del EC de la prueba de EC+CR, del día 14/12/2012:

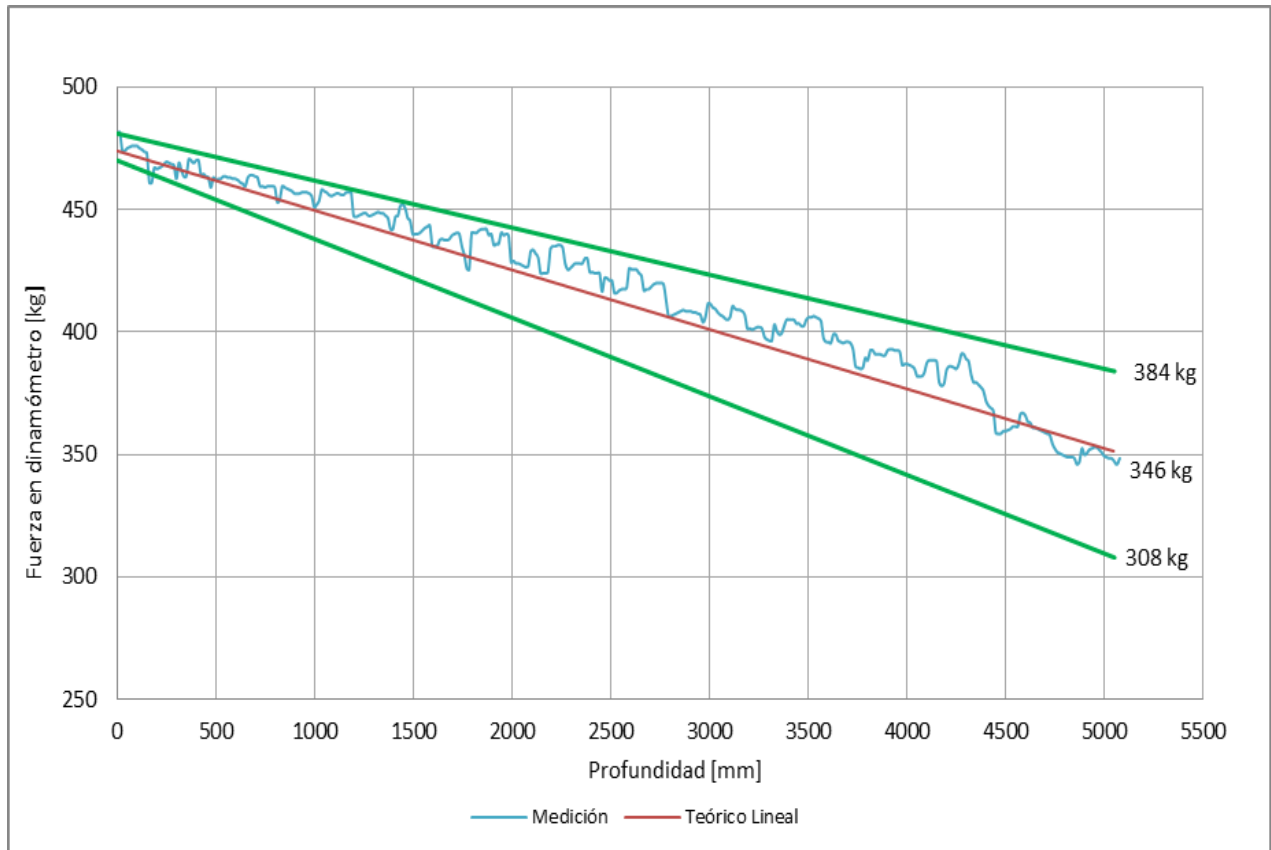


Figura 3.4

Las variaciones de fuerza entre el inicio y el final de la introducción fueron:

13/12/2012 (EC):

Variación mínima = 254 kg – 166 kg = 88 kg  
 Variación media = 254 kg – 133 kg = 129 kg  
 Variación máxima = 254 kg – 100 kg = 154 kg

14/12/2012 (EC+CR):

Variación mínima = 481 kg – 384 kg = 97 kg  
 Variación media = 481 kg – 346 kg = 135 kg  
 Variación máxima = 481 kg – 308 kg = 173 kg

Promediando los valores de los dos ensayos:

Variación mínima = 92,5 kg  
 Variación media = 132 kg  
 Variación máxima = 163,5 kg

En función de estos resultados, se fijaron los siguientes valores:

Valor medio al final de la introducción del EC = 140 kg ± 40 kg

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 17 de 28

Es decir, el peso inicial medido antes de la introducción (P1) debería variar al final de la introducción del EC entre  $P1-100$  kg y  $P1-180$  kg.

De esta manera, si la carga de algún EC se apartaba de estos límites, se podrían anticipar eventuales desvíos o peculiaridades en el EC, en el canal combustible, o en la operación de introducción.

Para el caso de la introducción del cuerpo de relleno, solo se contaba con un ensayo, el realizado el día 14/12/2012.

En el gráfico del ensayo de ese día, se ve que el salto en el peso aparente fue de 40 kg al final de la introducción del cuerpo de relleno.

Dado que se disponía de un único valor obtenido por ensayo, a los efectos de contemplar probables variaciones respecto a dicho valor en la población mayor de EC sin que se consideren anormales, se decidió agregar 10 kg adicionales resultando en un máximo de 50 kg la disminución del peso aparente debido a la introducción de CR.

Esta reducción del peso aparente del EC+CR se atribuye principalmente al surgimiento de la fuerza de flotación del EC y al cambio de material en el canal, de acero inoxidable a Zircaloy-4.

De esta manera, los límites de control del proceso de la introducción del EC+CR fueron fijados de la siguiente manera; siendo  $P_1$  el peso en el aire del EC+CR:

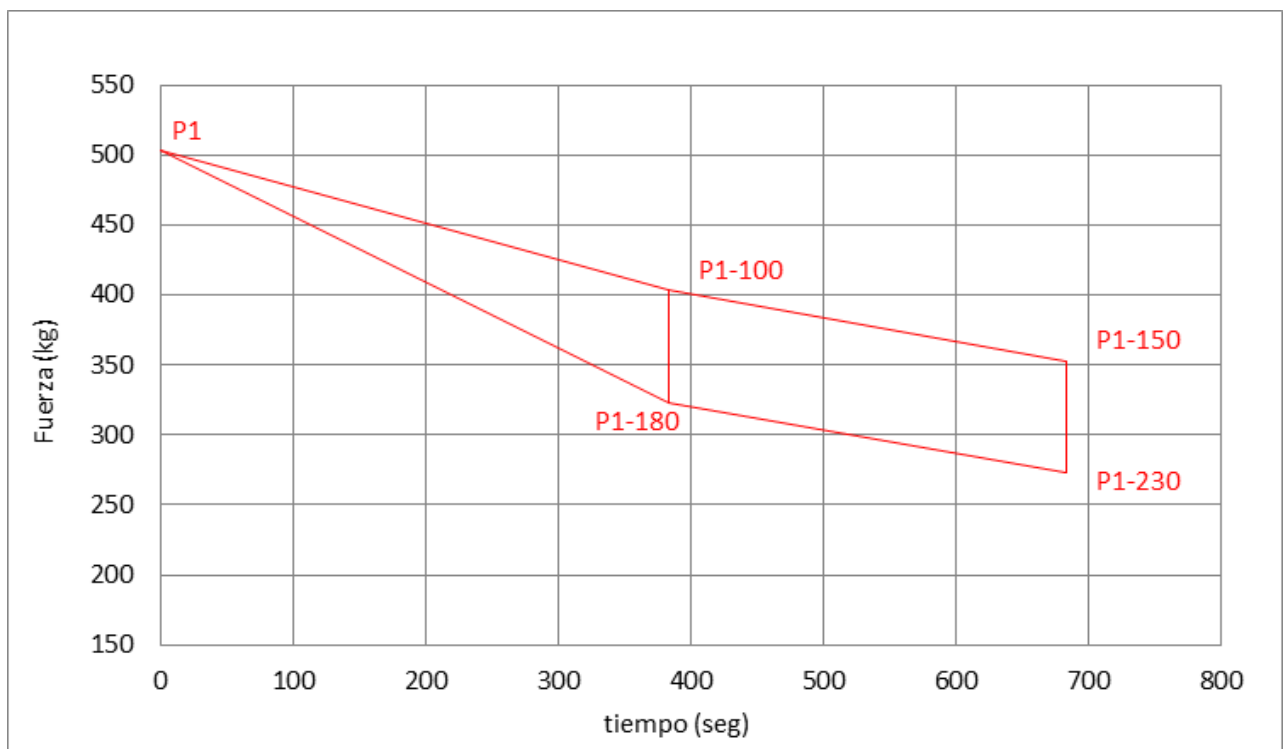


Figura 3.5

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 18 de 28

Dichos límites fueron informados por el DGCC a la UG-CNAII mediante [4].

Debido a que solo se había contado con la experiencia de dos ensayos de introducción de EC y un solo ensayo para la introducción completa con el cuerpo de relleno (EC+CR), se decidió fijar estos límites de forma provisoria. Y luego de la introducción de los siguientes EC, estos valores serían ajustados si fuera necesario.

### 3.4 Ajuste de límites luego de la carga de 30 EC

Con los datos reales obtenidos luego de la introducción de los primeros 30 EC+CR, se ajustaron los valores previamente fijados de la manera que se indica en el siguiente gráfico:

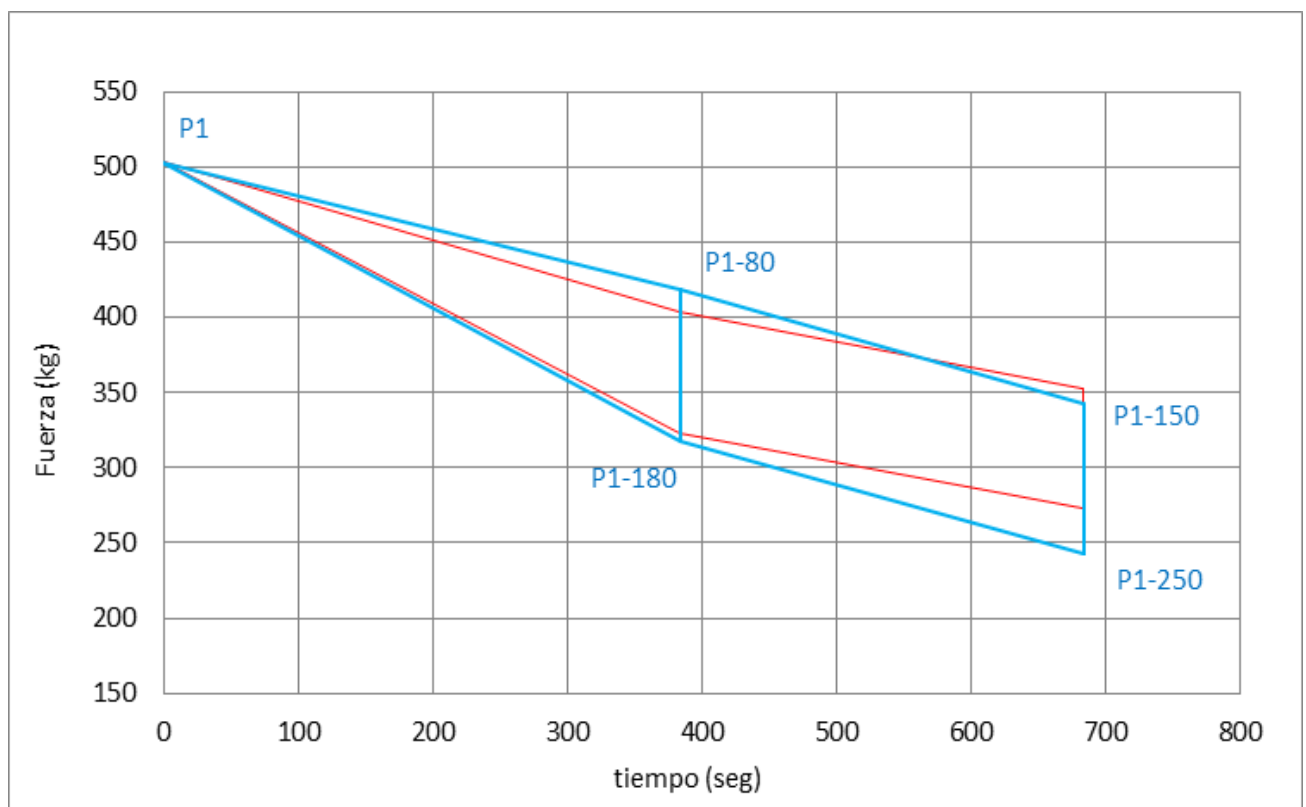


Figura 3.6

Estos límites modificados fueron informados a la UG-CNAII mediante [5].

#### 4 RESUMEN DE LA TAREA DE CARGA DE LOS EC

Al final de la introducción de los restantes 400 EC, los valores de fuerzas al final de la introducción del EC sin el CR, comparados con los límites fijados resultaron distribuidos de la siguiente forma:

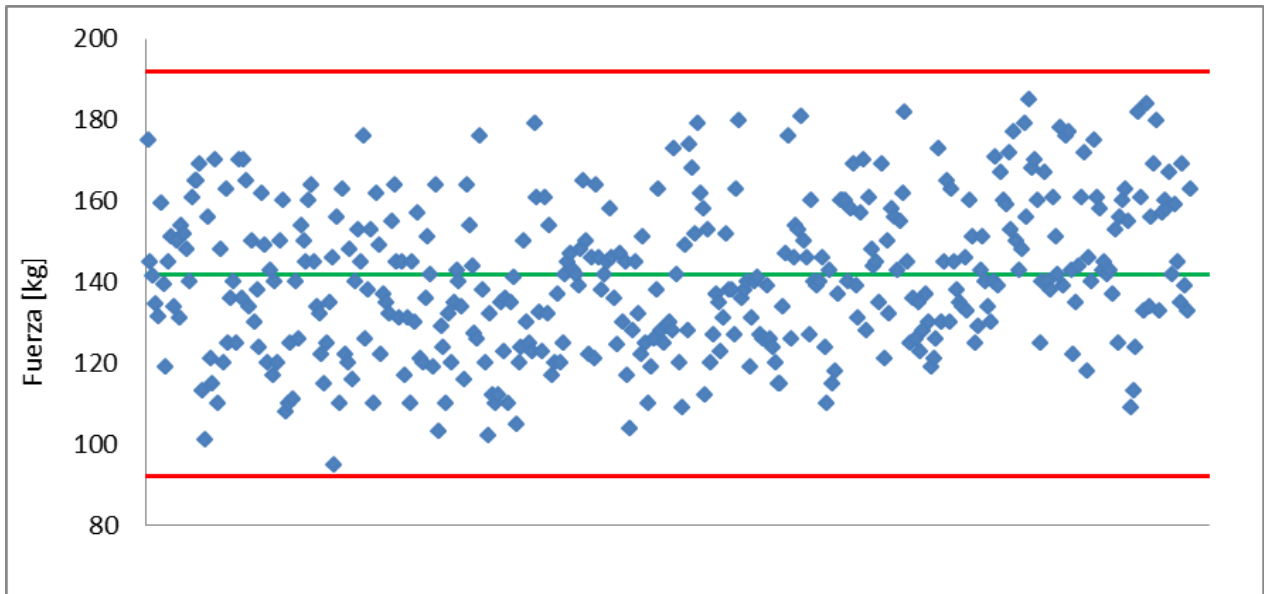


Figura 4.1

Al final de la introducción completa, con el cuerpo de relleno (EC+CR):

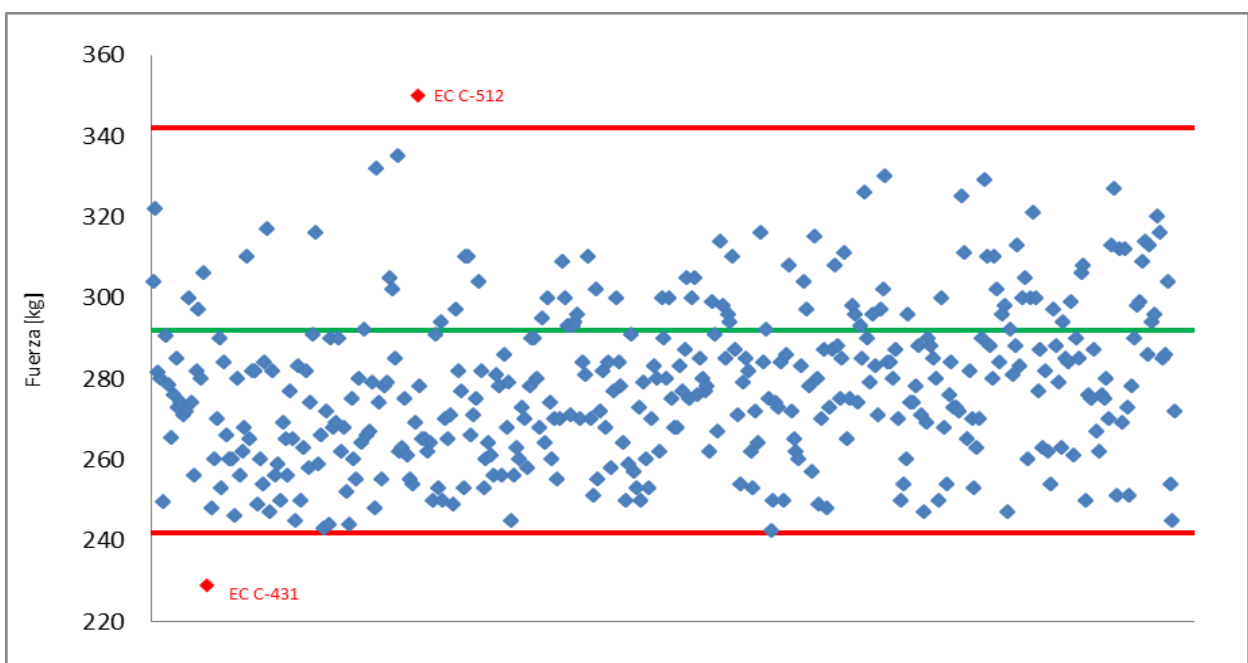


Figura 4.2

A continuación superponemos una curva típica de carga de un EC, tal cual fue registrada por el dinamómetro, versus los límites establecidos inicialmente:

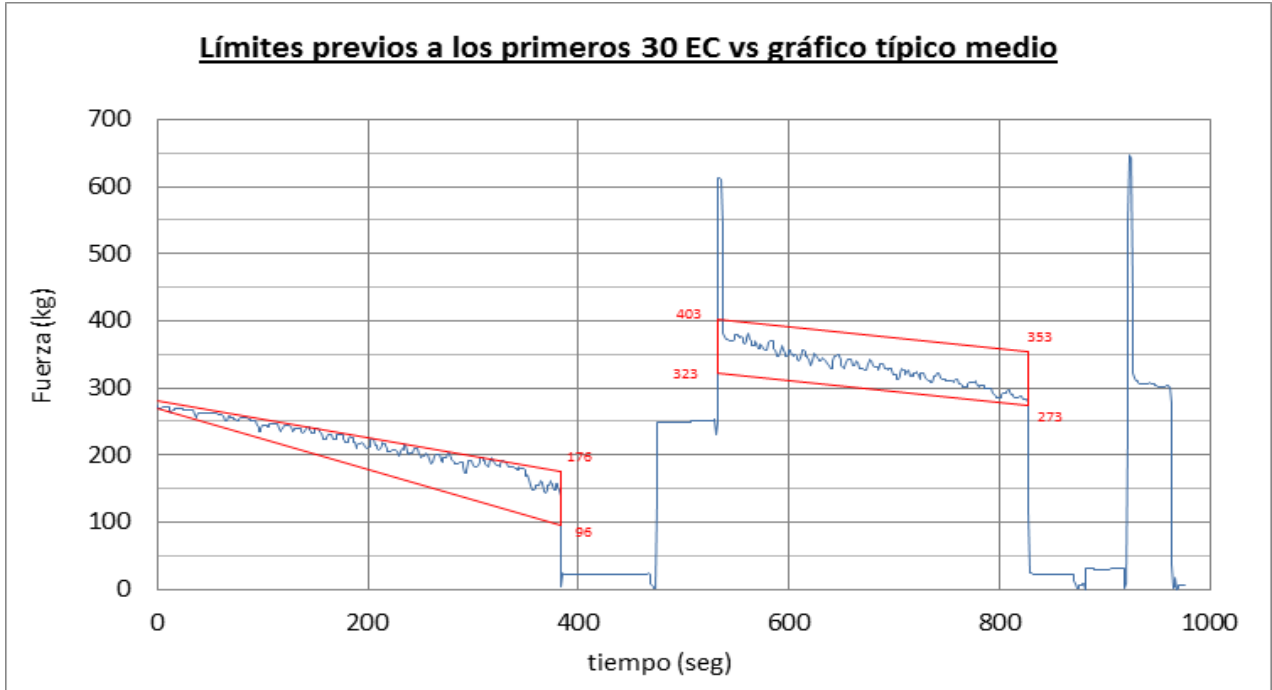


Figura 4.3

Posteriormente con los límites adaptados definitivamente luego de ser ajustados con los primeros 30 EC:

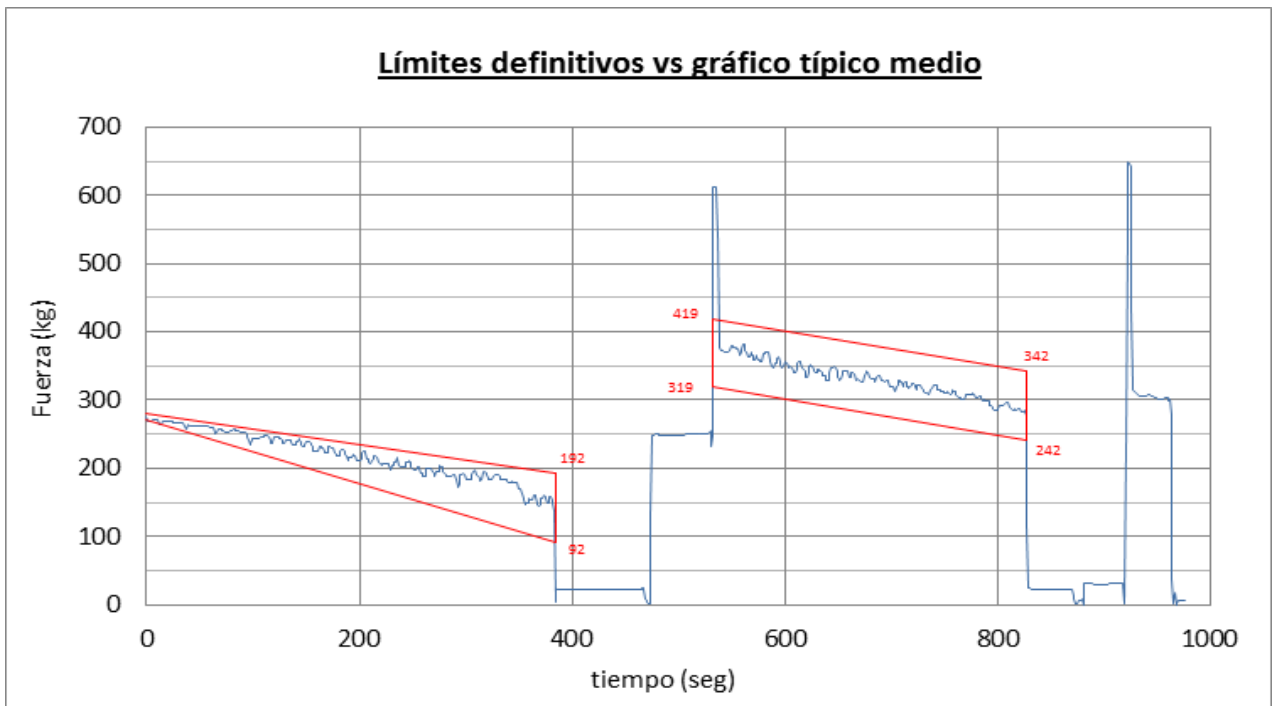


Figura 4.4

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 21 de 28

De la introducción de los 430 EC, se detallan a continuación los EC que presentaron novedades de relevancia:

EC C-431:

Este EC fue introducido el día 29 de enero de 2013 en el canal LD25. Presentando el siguiente gráfico de introducción:

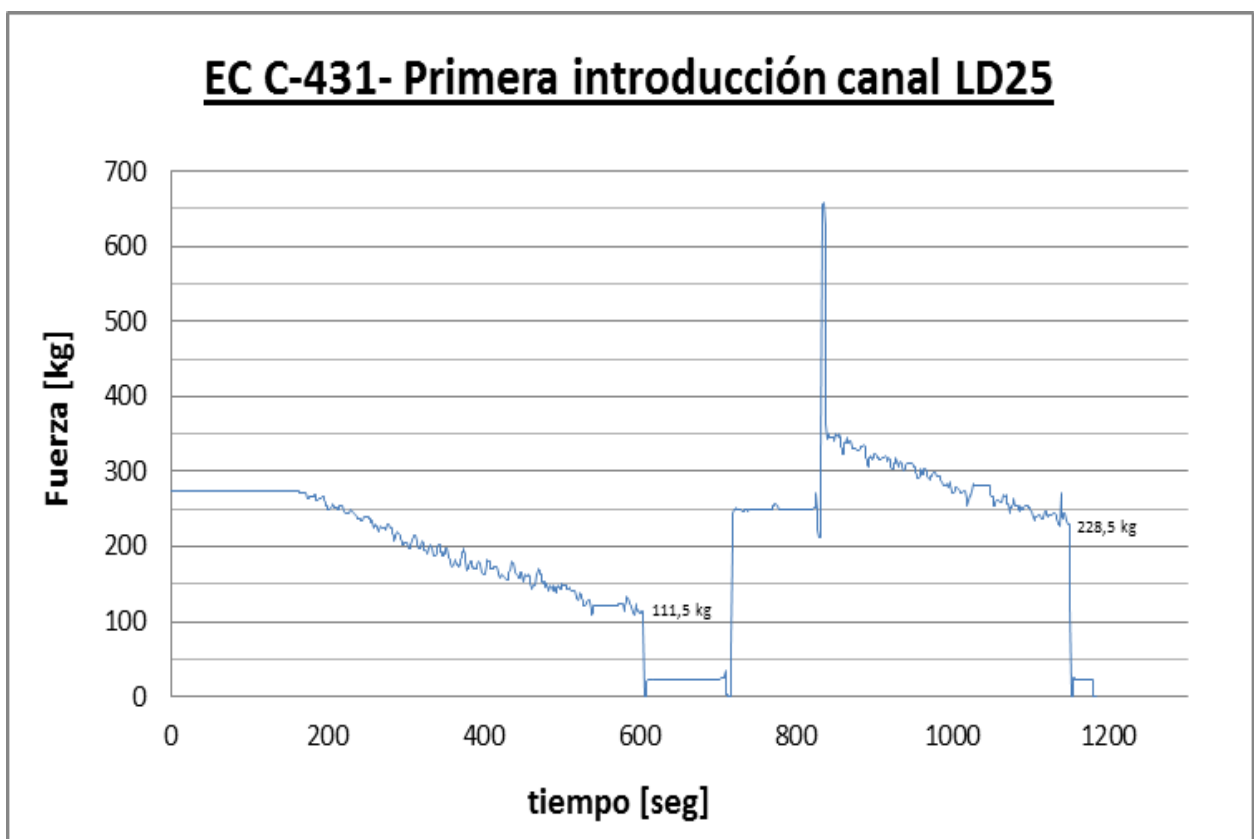


Figura 4.5

El valor de fuerza al final de la introducción del cuerpo de relleno fue de 228,5 kg, siendo el 242 kg el mínimo valor establecido entre el DGCC y CNAII.

Esto representa una resistencia global mayor a la máxima especificada.

De acuerdo al procedimiento, el EC fue extraído del canal, y se le realizó una inspección visual, no encontrándose ninguna novedad.

Se introdujo nuevamente en el mismo canal, presentando el siguiente gráfico de introducción:

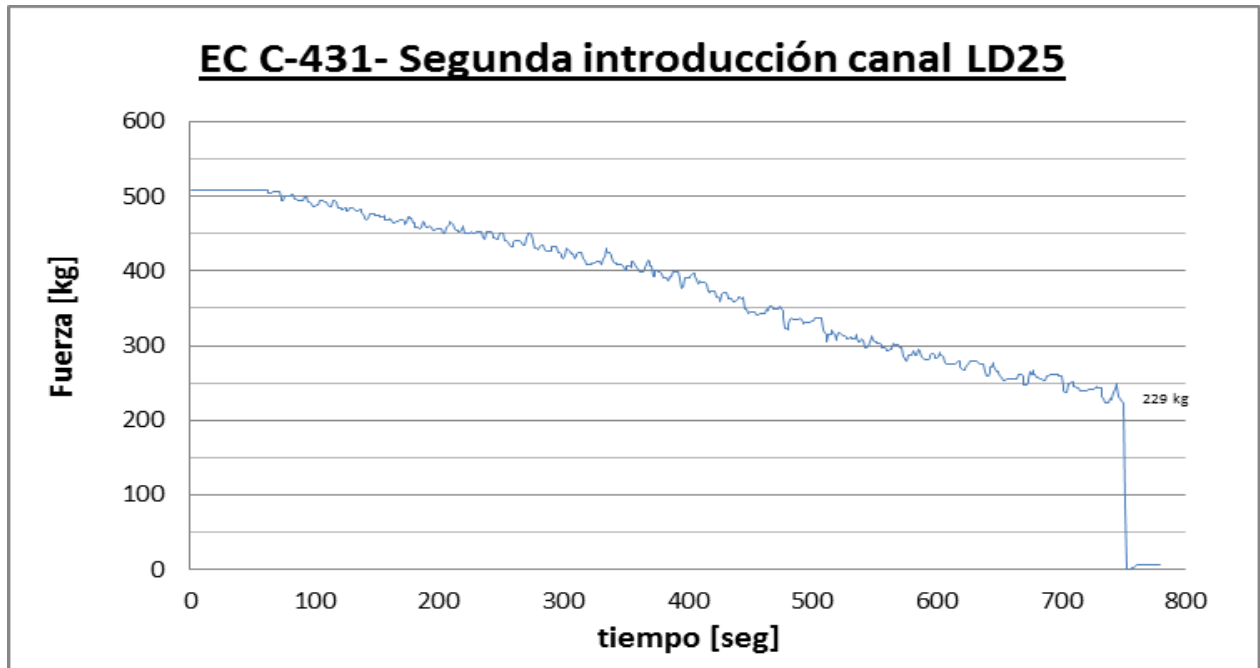


Figura 4.6

El valor de fuerza al final de la segunda introducción fue de 229 kg, valor nuevamente inferior al mínimo especificado de 251,5 kg (incluyendo ahora el cuerpo de cierre).

Se extrajo e inspeccionó, sin presentar novedades. Se decidió una nueva introducción en otro canal, el LF25, para verificar si el desvío era producido por alguna anomalía del EC o del canal LD25.

El gráfico de introducción en el canal LF25 fue el siguiente:

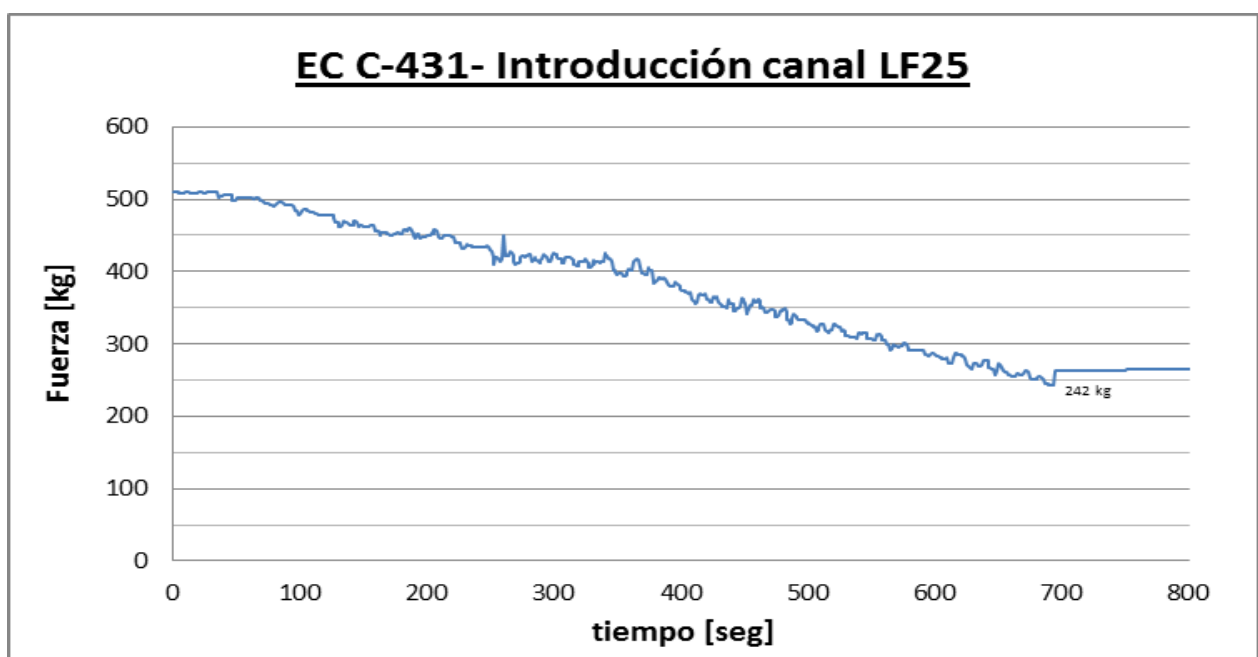


Figura 4.7

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 23 de 28

Presentó un valor de 242 kg, inferior al mínimo especificado de 251,5 kg.

El canal LF25 no originó desvíos con la inserción de otro EC, por lo que en principio se descartó como causa originante.

Se decidió extraer el EC y enviarlo al edificio de piletas (UFA) declarado "Observado".

Se solicitó a la Unidad de Gestión (UG) la confección de un "Informe de No Conformidad" sobre este EC. Este informe será analizado y resuelto por el DGCC.

El EC C431 no será utilizado en el primer núcleo del reactor.

#### EC C-512:

Este EC fue introducido el día 4 de febrero de 2013 en el canal BE28. Presentando el siguiente gráfico de introducción:

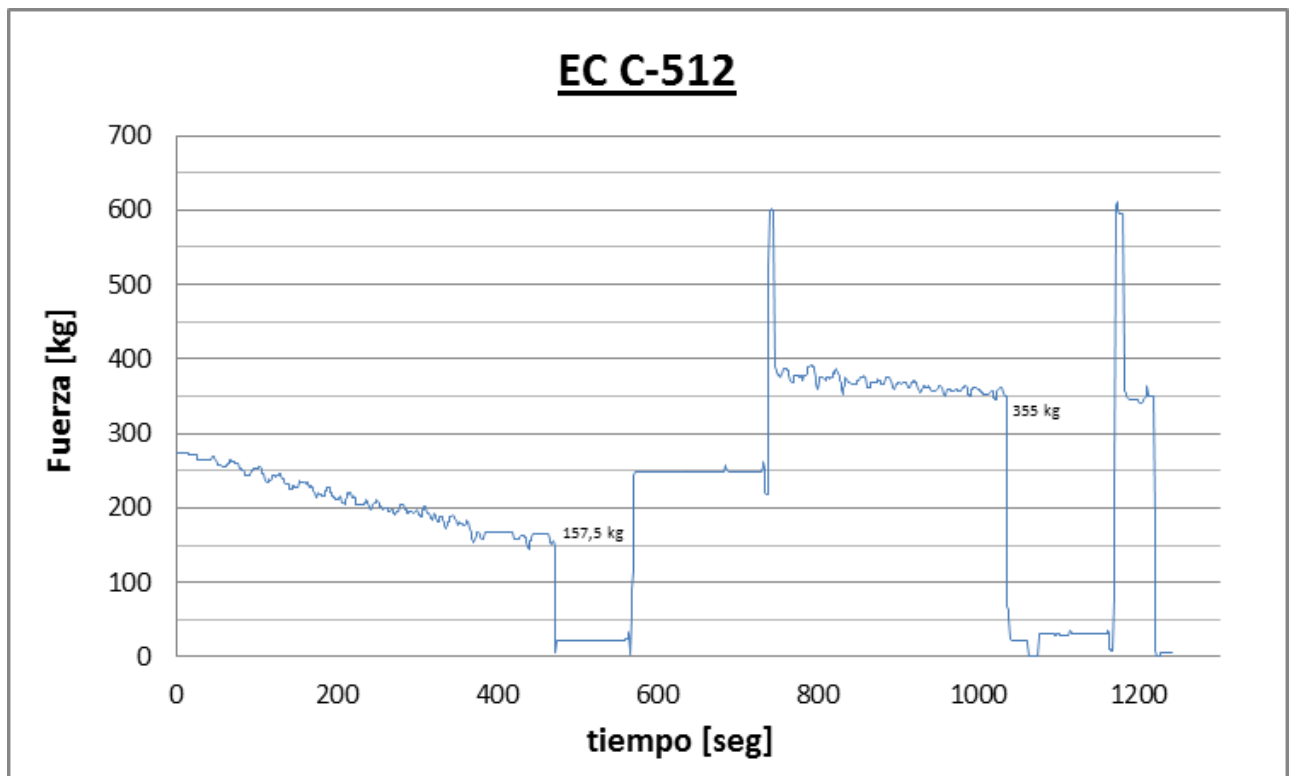


Figura 4.8

Se observan en el gráfico, al final de la introducción del CR, un valor de 355 kg. El mismo supera el valor máximo permitido de 342 kg. Representa una resistencia menor a la esperada al ingreso del EC en el canal.

Debido a que durante su introducción no estuvo en riesgo la integridad del EC, se decidió dejar el EC introducido, en carácter de "Observado".

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 24 de 28

La UG-CNA-II deberá generar un Informe de No Conformidad por este desvío, el cual será resuelto por el DGCC.

### EC C-103:

Este EC fue introducido el día 5 de febrero de 2013 en el canal AB11. Presentando el siguiente gráfico de introducción:

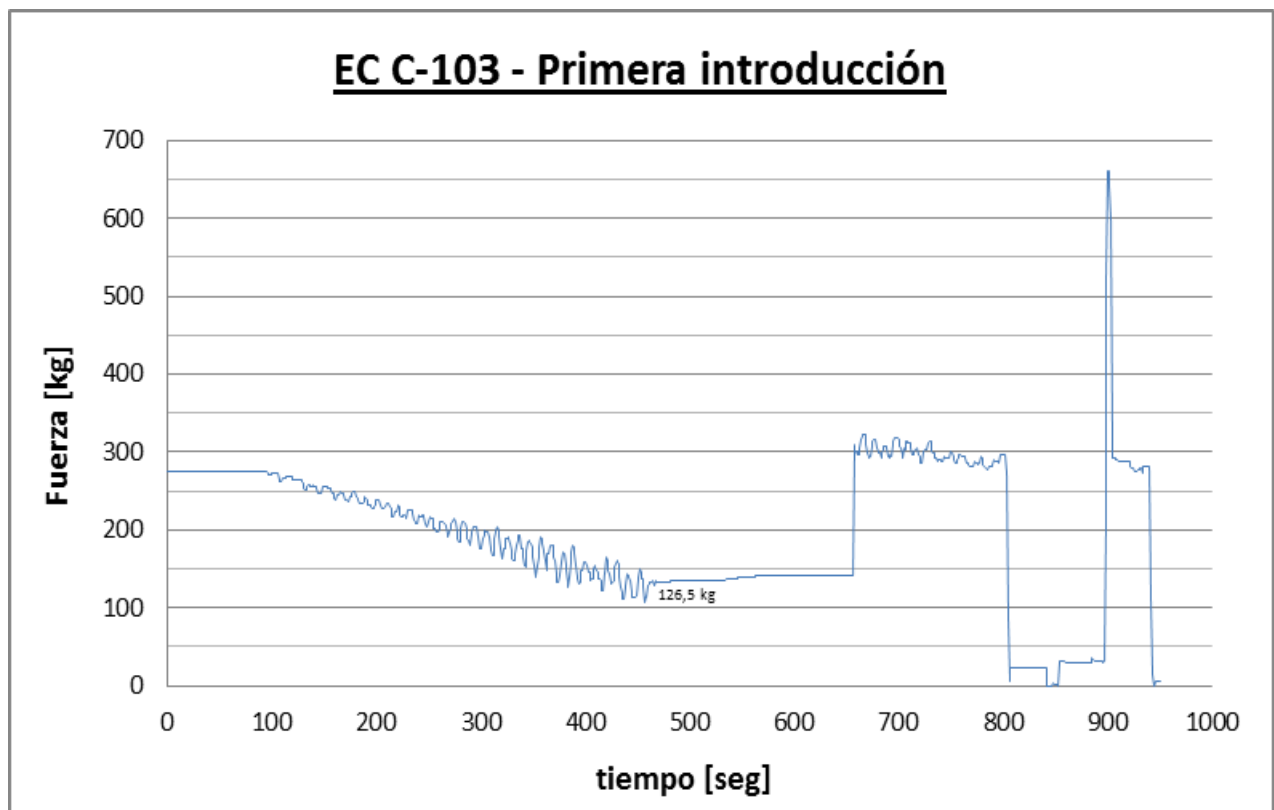


Figura 4.9

Debido a las oscilaciones con amplitudes de hasta 50 kg observadas durante la introducción del EC, se decidió su extracción, y reinsertión, previa inspección visual aprobada del EC.

La segunda introducción no pudo ser grabada por inconvenientes del software, pero presentó una gráfica similar.

Se dejó el EC introducido, en carácter de "Observado".

Posteriormente, luego de analizar la totalidad de los gráficos del primer núcleo, el DGCC determinó como no normal la introducción de este EC. El 21 de febrero de 2013, se decide la extracción del EC y su envío al depósito de EC frescos, edificio UFA.

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 25 de 28

Allí el EC C-103 fue recién inspeccionado visualmente en seco en el recinto de piletas con resultado favorable, liberándose para su introducción futura en otro canal refrigerante.

### EC C-190:

Este EC fue introducido el día 21 de febrero de 2013 en el canal AB11. Este canal, había quedado observado luego de la introducción del EC C-103 (ver pág. 22), el cual fue posteriormente extraído del canal para permitir la introducción del EC C-190.

La introducción presentó el siguiente gráfico:

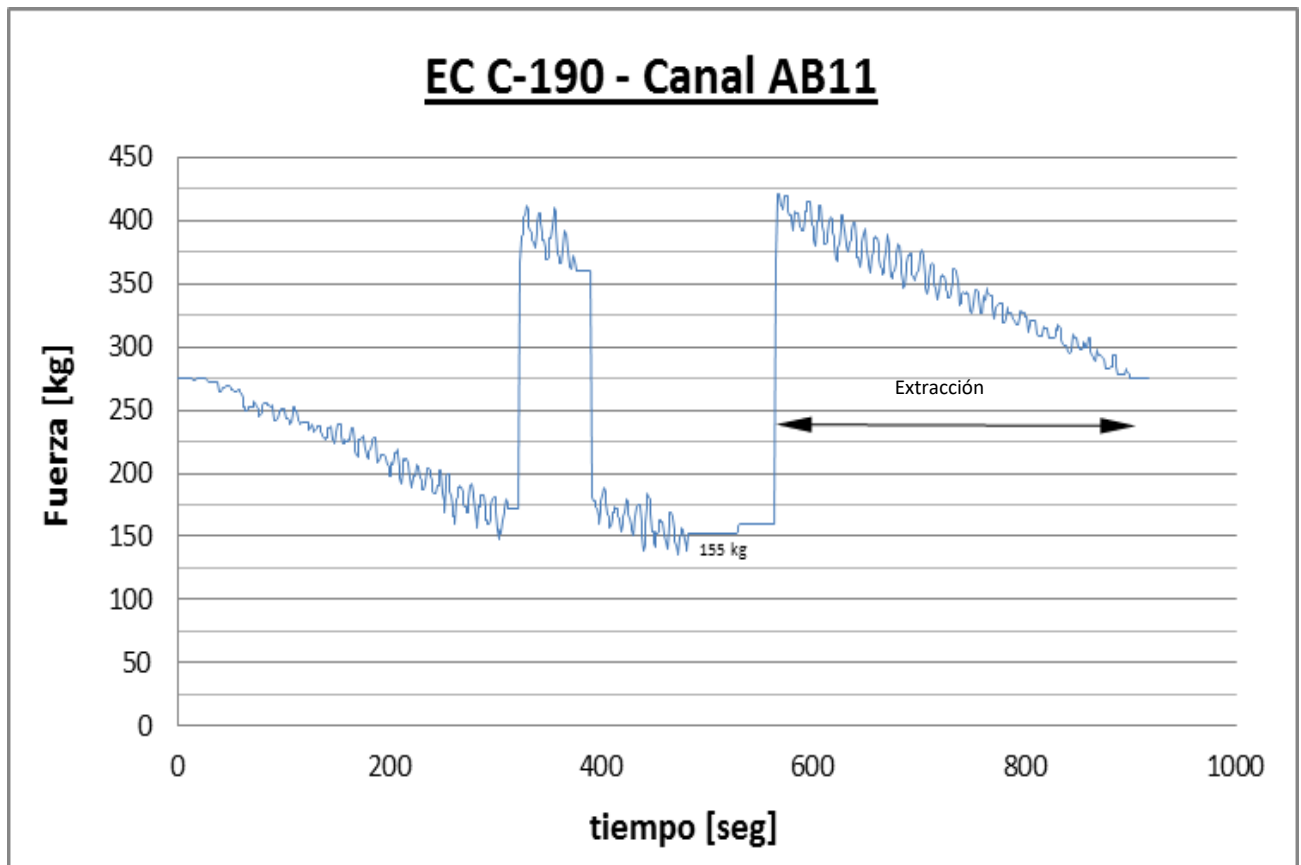



Figura 4.10

El gráfico presentó oscilaciones similares a las presentadas durante la introducción del EC C-103.

Se decidió por lo tanto extraer el EC, y dejar el canal AB11 observado, para su revisión posterior.

Luego de verificar mediante inspección visual el buen estado del EC C-190, el mismo fue introducido en el canal AC44, presentando el siguiente gráfico:

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 26 de 28

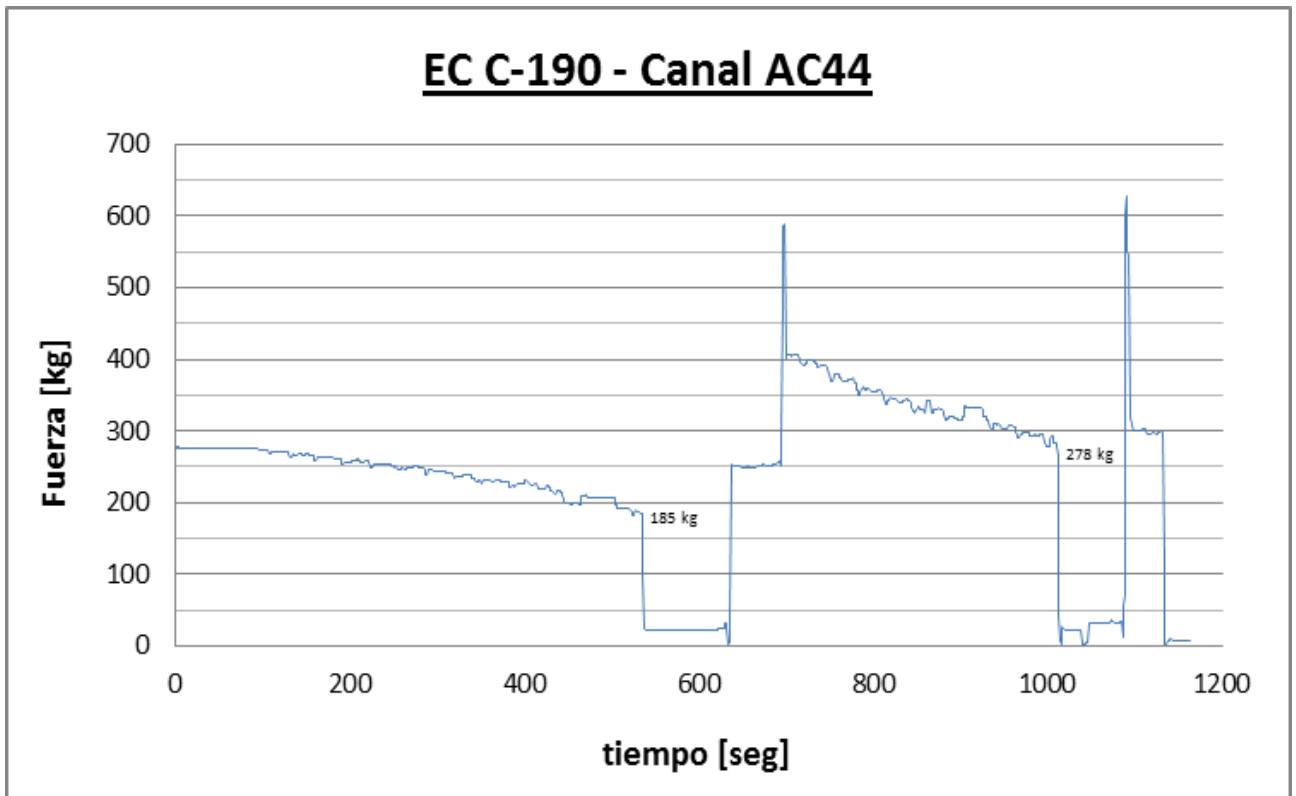



Figura 4.11

Siendo el gráfico normal y dentro de los límites especificados se consideró la introducción aprobada.

Con respecto al canal AB11, una revisión dimensional del mantel, posteriormente realizada por la UG-CNA-II, indicó que el mismo presentaba un desvío en el diámetro.

El día 30/11/2013 el mantel del canal AB11 fue finalmente reemplazado.

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	Revisión: 00
	TESINA	Fecha: 11/11/2013
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	Hoja 27 de 28

## 5 CONCLUSIONES

Los límites de fuerza establecidos permitieron llevar un control del proceso de carga de EC correspondientes al primer núcleo.


Gracias a la utilización de los mismos fue posible detectar dos EC que presentaron un comportamiento bastante diferente al del resto del núcleo.

Se decidió que uno de estos combustibles sea retirado del reactor y enviado a CONUAR para su revisión.

El otro, permanece dentro del reactor, y se elaboró un seguimiento particular durante la irradiación del mismo.

Por otro lado, fue detectado también una boquilla de canal (mantel) que se encontraba dimensionalmente fuera de especificación y tuvo que ser reemplazado.

Los límites establecidos para la carga del primer núcleo serán adaptados durante la primera etapa de recambios de EC en operación, con máquina de recambio, buscando detectar, a modo de alerta temprana, anomalías durante la introducción en operación de EC.

	ESPECIALIDAD EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE	<b>Revisión:</b> <b>00</b> <b>Fecha:</b> <b>11/11/2013</b> <b>Hoja</b> <b>28 de 28</b>
	TESINA	
	<b>LIMITES PARA LA CARGA DE PRIMER NUCLEO CNA-II</b>	

## 6 REFERENCIAS

- (1) PIC-602\_Rev.0 – “Primera carga manual de Elementos Combustibles al Reactor”.
- (2) PIC-603\_Rev.2 – “Traslado de Elementos Combustibles nuevos desde el edificio UFA al edificio UJA para la primera carga del Reactor”.
- (3) E-0.16.120\_rev.1 – “Manipuleo, embalaje, transporte y almacenamiento de los Elementos Combustibles (EC) destinados a la Central Nuclear Atucha-2”.
- (4) Nota DGCC N° 010/13 “Límites de esfuerzos en los EC CNAII durante la carga manual del primer núcleo”. (17/01/2013)
- (5) Nota DGCC N° 016/13 “Límites de esfuerzos en los EC CNAII durante la carga manual del primer núcleo, posteriores a la carga de los primeros 30 EC”. (28/01/2013)