

08.75.07

CNA/I-3

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

CENTRAL NUCLEAR EN ATUCHA

LAS PRIMERAS OPERACIONES DE RECAMBIO DEL COMBUSTIBLE EN LA CNA
(Período Noviembre 1974 - Enero 1975)

Ing. R. Solanilla

Buenos Aires-Argentina
-1975-

LAS PRIMERAS OPERACIONES DE RECAMBIO DEL COMBUSTIBLE EN LA CNA

(Período Noviembre 1974 - Enero 1975)

El período examinado comprende desde el momento que se alcanza el nivel de potencia del 100% y se inicia las operaciones de recambio del combustible hasta el 24 de enero de 1975, día que se detiene la Central para entrar en una fase de revisión programada.

Este breve informe es la continuación del CNA/I-1 "Seguimiento de las características físicas de la Central" y contiene la variación de los principales parámetros físicos del reactor durante la etapa de recambio continuo de combustible, computados por el programa BRENDI y otros del PRA.

La gráfica 1 muestra la variación del quemado medio de cada una de las cuatro zonas o regiones que se divide el núcleo conteniendo cada una 63 elementos combustibles (excepto la región central que incluye el elemento central). El quemado de la zona 1 y 3 disminuye cuando el camino del recambio es de 1 (empleado hasta los 135 dpp) luego es la zona 2 la que muestra una disminución de su quemado medio debido al empleo de un camino intermedio: ingreso por la zona 2 y pasaje a la zona central y luego extracción. El quemado de la zona periférica incrementa monótonamente, durante toda esta etapa.

Desde el momento que se interrumpe el recambio, el quemado de todas las zonas crece con una velocidad que depende de la potencia especificada media de cada región: aproximadamente:

40-34 MWd/tn por cada día de plena potencia en zona 1.
40-20 MWd/tn por cada día de plena potencia en zonas 2 y 3.
Menor de 20 MWd/tn por cada día de plena potencia en zona 4.

En el gráfico 2 se ha representado el quemado medio de extracción de cada elemento combustible sacado del reactor por la zona central o de la zona de alimentación. También el quemado medio de extracción definido por:

$$Bu(N) = \sum_{j=1}^N Bu_j / N$$

Esta es una magnitud garantizada por el proveedor del combustible.

En el período examinado (aproximadamente $1/3$ del núcleo extraído) este quemado medio vale: 4700 MWd/tn (sin considerar la normalización por error de la medición de la potencia térmica) con una tendencia a incrementar como lo muestra la línea quebrada de la figura 2.

La tasa de extracción del combustible del reactor en esta fase no fué uniforme (gráfica 3). La pérdida de reactividad antes de la iniciación del recambio (gráfica 4) y la distribución inicial del quemado en el reactor (en donde los elementos combustibles con quemado mayor a 4000 MWd/tn es netamente superior a los elementos combustibles de bajo quemado introducidos en una zona de peso estadístico menor) inciden en la gran velocidad de extracción requerida para mantener la reactividad del reactor. Luego de 115 dpp esta velocidad disminuye para alcanzar 1.7 e.c./dpp para 125 dpp y 1.4 e.c./dpp para 159 dpp. (Valores provistos por el cálculo externo).

La frecuencia del recambio no correspondió a esos valores debido a la necesidad de disponer de una reactividad adicional durante la fase de detención del recambio (a partir del 8.1.75 se cambió la máquina de recambio, sin dejar de generar energía).

Mientras más grande sea el exceso de elementos combustibles nuevos respecto al requerido para mantener la reactividad del reactor, más grande será la autonomía de la Central. El efecto de este exceso de elementos (mostrado en el gráfico 3 por la zona sombreada) está desplazado en la escala tiempo debido al comportamiento singular de la reactividad: un elemento "fresco" introducido en el reactor provee una reactividad decreciente al principio por efecto del Xenón y temperatura, sigue luego disminuyendo por el retardo en la generación del plutonio fisionable (Pu-239) para después de aproximadamente 2.5 dpp empezar a aumentar, pasando por el valor máximo cuando la irradiación corresponde a 1700 MWd/tn. A partir de ese instante la reactividad comienza a decrecer nuevamente, empezando a comportarse el combustible como veneno (reactividad negativa) cuando su quemado vale 4000 MWd/tn. Este comportamiento individual del combustible debe a su vez ser multiplicado por la "función peso" dentro del reactor para conocer el efecto global en el reactor: un elemento de determinado quemado "vale" más cuando mayor es la importancia en flujo de la zona donde es ubicado. En el caso de un elemento quemado parcialmente, extraído del reactor e introducido nuevamente, la reactividad aportada a igualdad de las otras condiciones, es

menor debido al crecimiento del Xenón por disminución potencia en el momento de la extracción del elemento.

El análisis de los resultados de la gráfica 5 mostraría que cuando la fracción de elementos combustibles con quemado mayor a 4000 MWd/tn en la zona central es del mismo orden que los correspondientes a los de quemado menor que 1700 MWd/tn en la zona intermedia 3, la pérdida de reactividad es franca. Otros estados de distribución de quemado en el reactor proveen una pérdida casi nula (p.e. cuando la fracción de los de bajo quemado es 35% del total y los de mayor quemado menor del 20%).

Al gráfico 4 se ha llevado la reactividad normalizada al estado 100% $T_m = 180^\circ\text{C}$ y Xe en equilibrio (26.6%) y calculada diariamente a partir del aporte combinado de los bancos negros y grises extraído de las curvas de calibración a potencia cero con omisión de la contribución de las barras parciales usadas por la regulación del reactor para aplanar la distribución de potencia axial.

Las curvas de calibración sobreestiman la reactividad en la zona de trabajo y proveen un gradiente mayor para la distribución de potencia actual (la que tiene un aplanamiento 2.7/2.0 mayor que la correspondiente al estado inicial del núcleo). Es decir la distancia entre las líneas de $\Delta\beta$ constante es mayor.

Esta tendencia fué visible durante la pérdida de reactividad entre los días 30/11-6/12. El cálculo con TRISIC de Erlangen daba 0.5‰ dpp mientras que el observado era del orden de 1‰/dpp.

El gráfico 4 muestra la variación de potencia del reactor durante el período, el momento de recambio del combustible y los días a plena potencia calculada por el PRA.

El comportamiento irregular de la reactividad calculada proviene de la omisión de las barras parciales, las que cambian de posición por la distribución de potencia. Es posible sin embargo detectar las pérdidas y ganancias de reactividad durante el período, en particular la observada durante un ciclo de carga. El cálculo de la β de las barras con el diagrama "estático" de calibración para potencia cero (sin Xenón) provee una reactividad mayor a la salida de un ciclo de potencia respecto al valor al principio del ciclo. Este efecto deberá ser atribuido a la perturbación inducida por la distribución espacial y temporal del Xenón sobre la distribución de

potencia en el reactor (esta deformación no está contenida en las curvas de $\Delta k = \text{cte}$ medidas en la fase de potencia cero). Cálculos preliminares realizados con TRISIC indicaban que la reactividad del reactor a la salida de un ciclo de potencia era diferente a la correspondiente al principio del ciclo, para una misma inserción del banco de barra usado para mantener criticidad, mostrando de esa manera la influencia de la distribución del Xenón sobre el valor del banco de barras.

La tabla adjunta resume las operaciones de recambio durante el período examinado indicadas para el caso de simetría 3 usada en la representación con TRISIC. Las posiciones de las barras de control corresponden a la condición de trabajo de $\Delta k = 11.‰$ ($G=460$ cm, $N=155$ cm).

El comportamiento de la indicación del valor medido por las lanzas durante la etapa al 100% analizada, está representado en el gráfico 6.

Los detectores NU21X126 (N7), NU21X145 (N3) y NU21X165 (N5) fueron elegidos como testigos por su durabilidad. La posición de la máxima indicación se fué desplazando debido a una real variación del máximo en el reactor y también a la salida de servicio de los detectores.

Claramente estos resultados muestran que el valor máximo permitido de NU - 270% nunca fué superado, aún durante la etapa del 108%. La indicación NU se mantuvo constante durante las varias operaciones de recambio, excepto cuando se realizó la sustitución de los elementos combustibles quemados ubicados en las posiciones O-21 y F21 (periferia de la zona 1 y cercana a la de los detectores N7 y N3) por elementos frescos. En estos casos se observó un incremento menor del 12% en la indicación de los detectores (Ver también gráfico 9 del Informe CNA/I-1).

Es posible distinguir el aumento de NU a la salida de un ciclo de potencia o durante el arranque, en ambos casos los bancos de barras están más introducidos que en condiciones normales.

A partir de mediados de diciembre, coincidentemente con la salida de servicio de varios detectores, la indicación de las lanzas muestra una tendencia a incrementar su valor (aumento del Fq probablemente por una mayor proporción de combustible fresco en el núcleo), y aumentar la diferencia entre

las distintas indicaciones. El máximo es del orden de 225% y se mantiene hasta el 15 de enero, fecha a partir de la cual empieza a disminuir nuevamente y tomar el valor inicial de alrededor de 210%.

La indicación de las lanzas es la suma de dos señales: la primera es la del detector (reacción n-e) y la segunda es debido a los electrones generados en el cable por radiación γ . Esta última depende de la longitud del cable y flujo. La corrección introducida por el cable está en la dirección segura, mostrando un factor correctivo máximo del orden de 6%-14%, dependiendo de la lanza (gráfico 6). El factor S calculado por KOAX es siempre más grande que el real por el efecto del cable. El factor correctivo es del orden de +5%. (El máximo permitido es entonces de +10%).

Otra corrección, pero de signo contrario, es la debida a la relación densidad de potencia y flujo en el moderador. La máxima variación es +5 para un quemado local de alrededor de 5000 MWd/tn U.

Es decir, finalmente la máxima indicación NU puede tener un error comprendido entre +1% y +9% (siempre en la dirección segura).

Con el nivel de 100% y el esquema de recambio adoptado hasta el presente (sin la introducción de combustible fresco en la zona central) la máxima densidad de potencia observada en algún punto del reactor (relación 1.07) no es superior a:

$$510.4 \text{ w/cm} = 225(\%) \times 1.07 \times 2.12$$

Durante la breve base del 108% la densidad máxima fué:

$$544.4 \text{ w/cm} = 2.4\% \times 1.07 \times 2.12$$

Es decir -17% y -11% respectivamente respecto al valor máximo permitido (600 w/cm) sin considerar los errores apuntados más arriba (Factores Fq total = 2.357 y 2.514 respectivamente que corresponde a 1.774 y 1.868 de FAXIAL x FRADIAL).

Estos resultados son elocuentes de la posibilidad real de modificar el esquema de recambio adoptado en la fase de diseño por la Empresa Siemens. Esa modificación debería emplear como camino básico el denominado "camino 2" (desplazamiento del combustible hacia afuera del núcleo durante su residencia en el reactor) con ingreso de fresco en las zonas 2, 3

y parte de la zona 1.

Más observaciones y correlación con el cálculo externo deberán ser hechas antes de permitir el ingreso del combustible fresco en posiciones centrales de la zona 1.

Este tipo de recambio es el denominado "in-out" que permite mayores residencia promedio del combustible en el reactor (mayor quemado de extracción) a costa de una mayor deformación de la distribución de potencia.

La continuación del seguimiento de las características físicas del núcleo de la CNA requerirá efectuar cálculos externos (TRISIC - COCAP) orientados a la simulación en dpp del reactor, corrección de las líneas $\Delta \rho = \text{cte}$ por efectos dinámicos (debido a la distribución no estacionaria del Xenón durante el ciclo de potencia), y por distribución de quemado. La ejecución de experiencias en la CNA para correlacionar los valores teóricos es obviamente conveniente.

También deberán ser realizados estudios con nuevos esquemas de recambios compatible con la disponibilidad de la máquina de recambio y el transporte del combustible en general.

Febrero de 1975.-

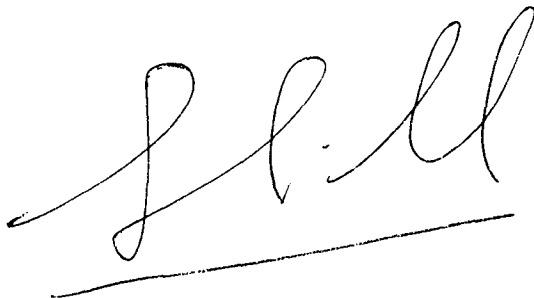
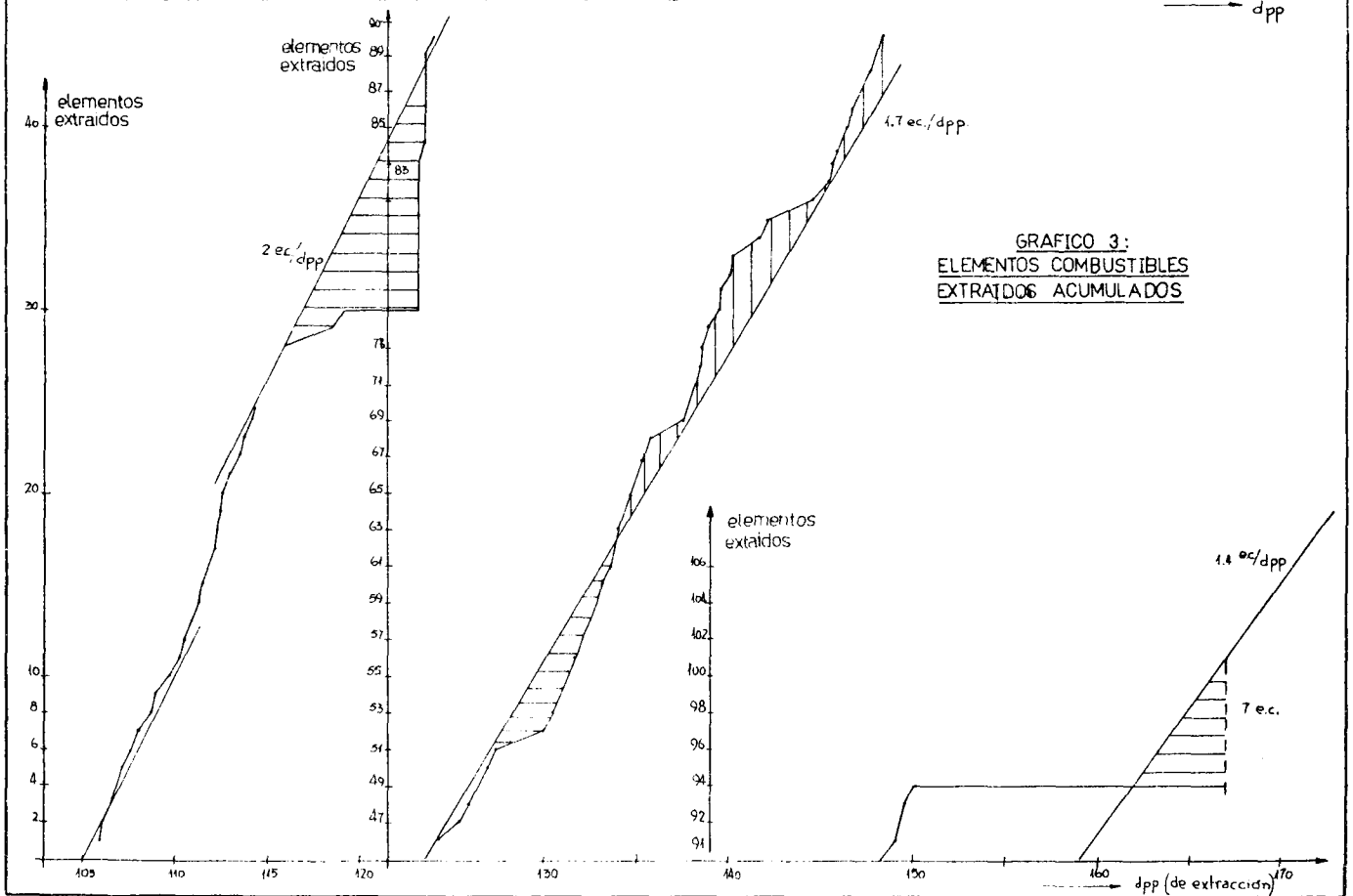
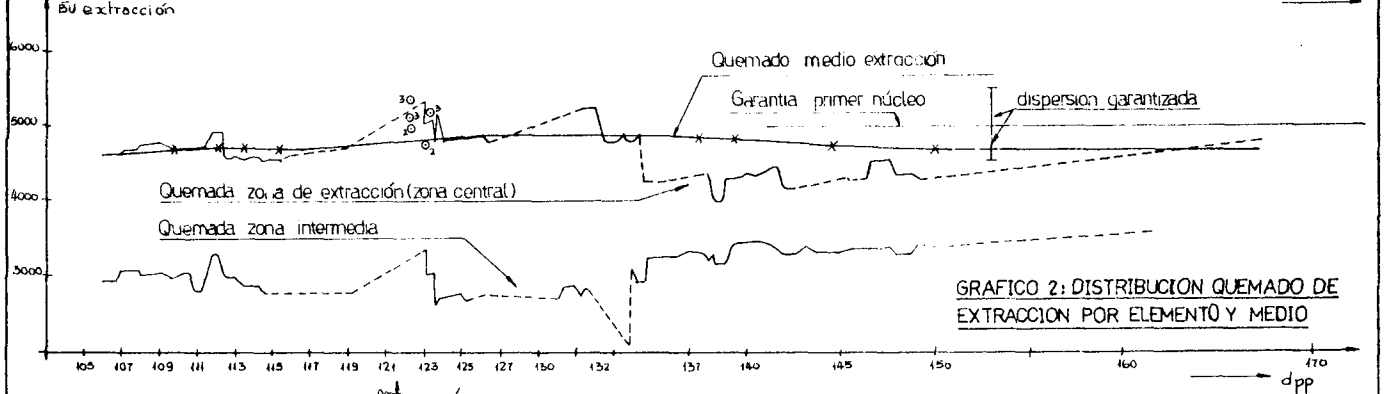
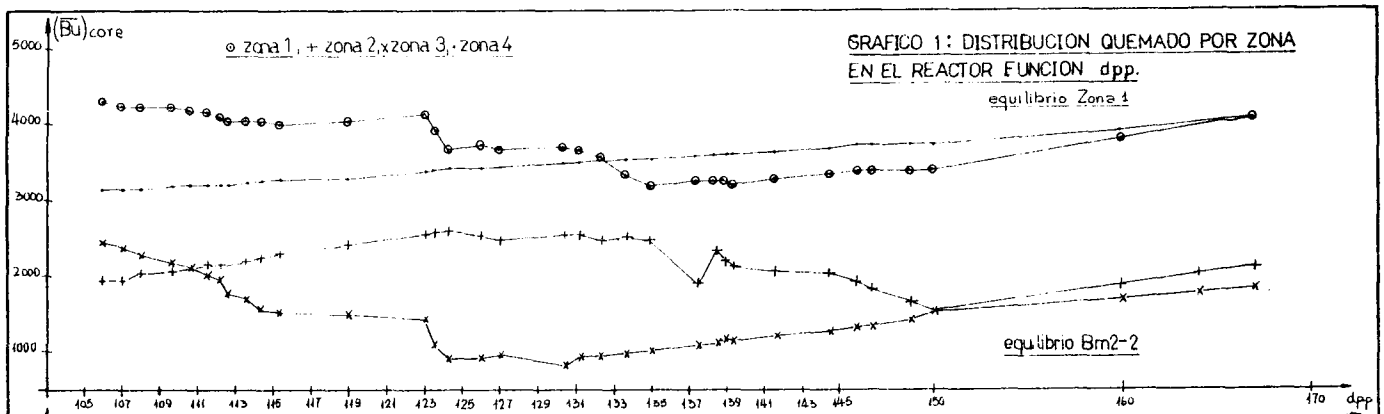
A handwritten signature in dark ink, consisting of stylized, cursive letters, likely 'J. L. L.', followed by a horizontal line underneath.

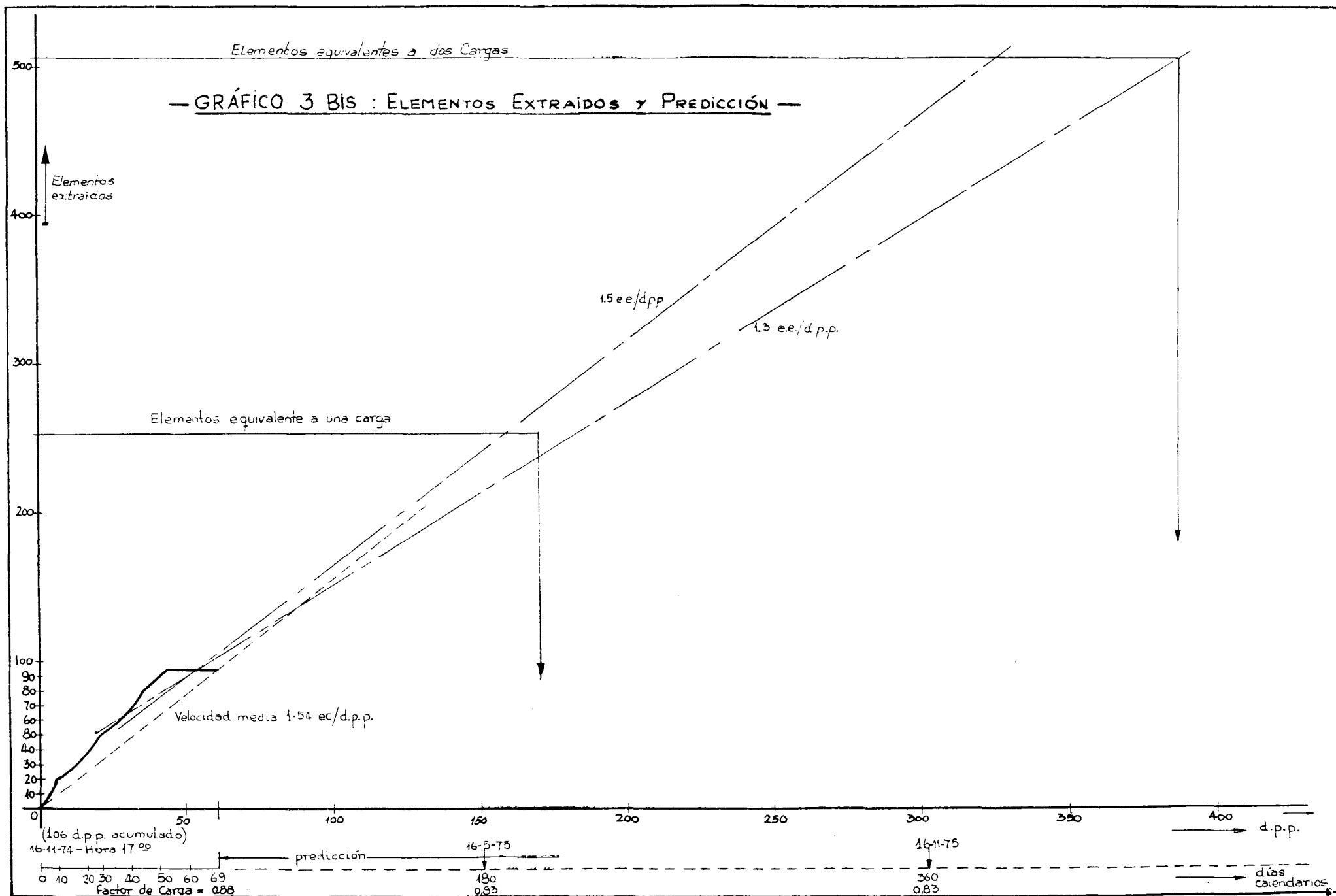
TABLA 1 : Movimiento del combustible (Simetria 3)

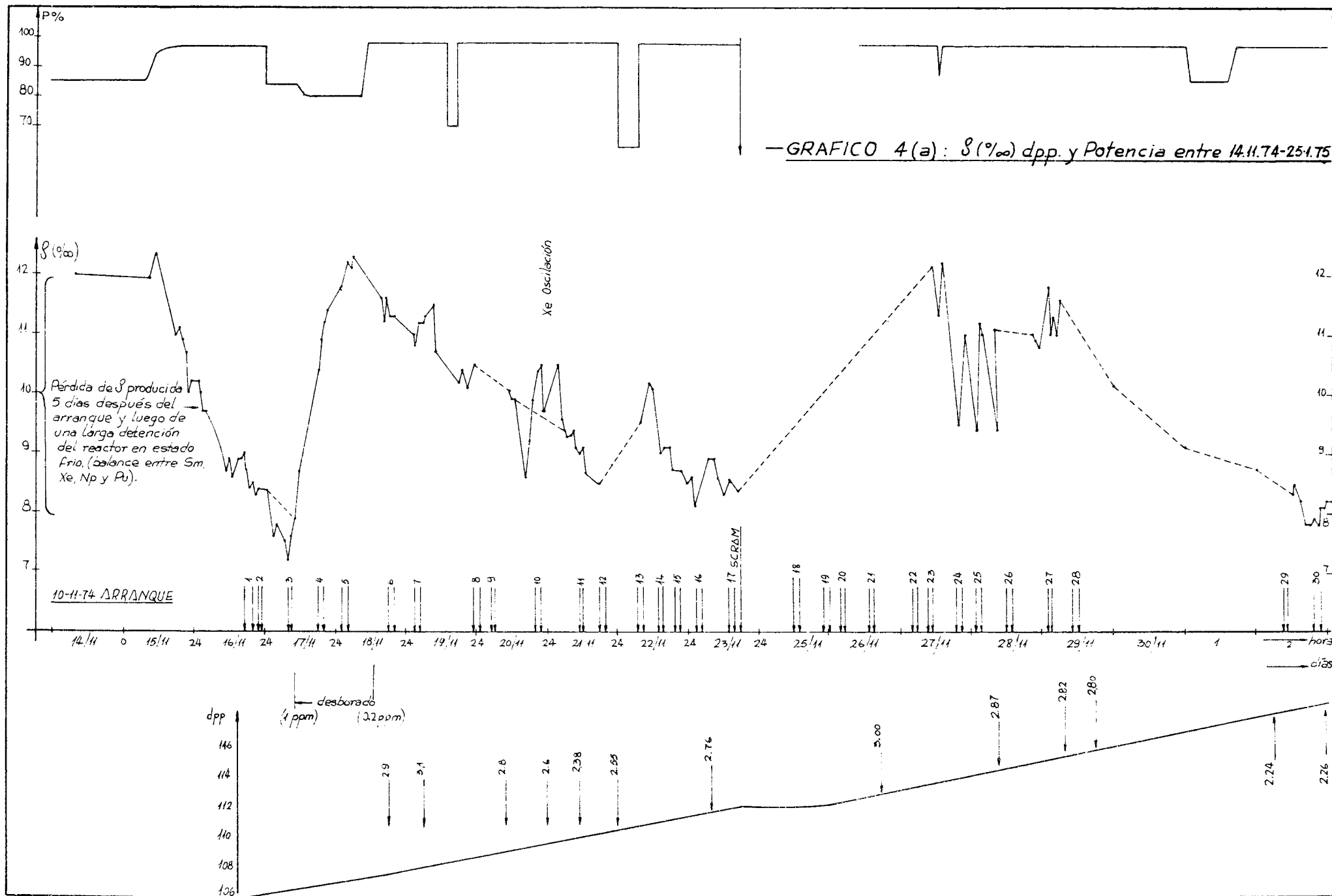
dpp	operación		zona			
	carga	descarga	carga	elem. extr.	descarg.	elem. extr.
106.4	O27	L20	3	(3)	1	(3)
107.5	R18	N16	3	(6)	1	(6)
108.5	R14	K23	3	(9)	1	(9)
110.	N28	M21	3	(12)	1	(12)
111.3	L30	O15	3	(15)	1	(15)
112.	R16	K21	3	(18)	1	(18)
112.5	P26	M17	3	(21)	1	(21)
114.	R12	M19	3	(24)	1	(24)
115.	K25	N22	3	(27)	1	(27)
117.5	S17	N18	3	(30)	1	(30)
123.2	R20	L22	3	(33)	1	(33)
123.2	M29	O17	3	(36)	1	(36)
123.4	R22	K25	3	(39)	1	(39)
123.5	K31	L18	3	(42)	1	(42)
124.	S15	L24	3	(45)	1	(45)
125.2	Q23	N20	2	(3)	1	(48)
127.	K29	O19	2	(6)	1	(51)
130.5	O29	M23	3	(48)	1	(54)
131.6	Q17	K19	2	(9)	1	(57)
132.8	O21	Q21	1	(3)	1	(60)
133.6	M25	M25	1	(6)	1	(63)
134.	K17	+ K17	1	(7)	1	(64)
135.2	K27	N16 *	2	(12)	1 *	(67)
136.8	P18	K21 *	2	(15)	1 *	(70)
138.4	L26	M17 *	2	(18)	1 *	(73)
140.	O23	L20 *	2	(21)	1 *	(76)
141.	P14	K23 *	2	(24)	1 *	(79)
143.	P20	L22 *	2	(27)	1 *	(82)
146.	N24	O17 *	2	(30)	1 *	(85)
147.	Q13	M21 *	2	(33)	1 *	(88)
148.4	P24	O15 *	2	(36)	1 *	(91)
149.6	Q19	M19 *	2	(39)	1 *	(94)

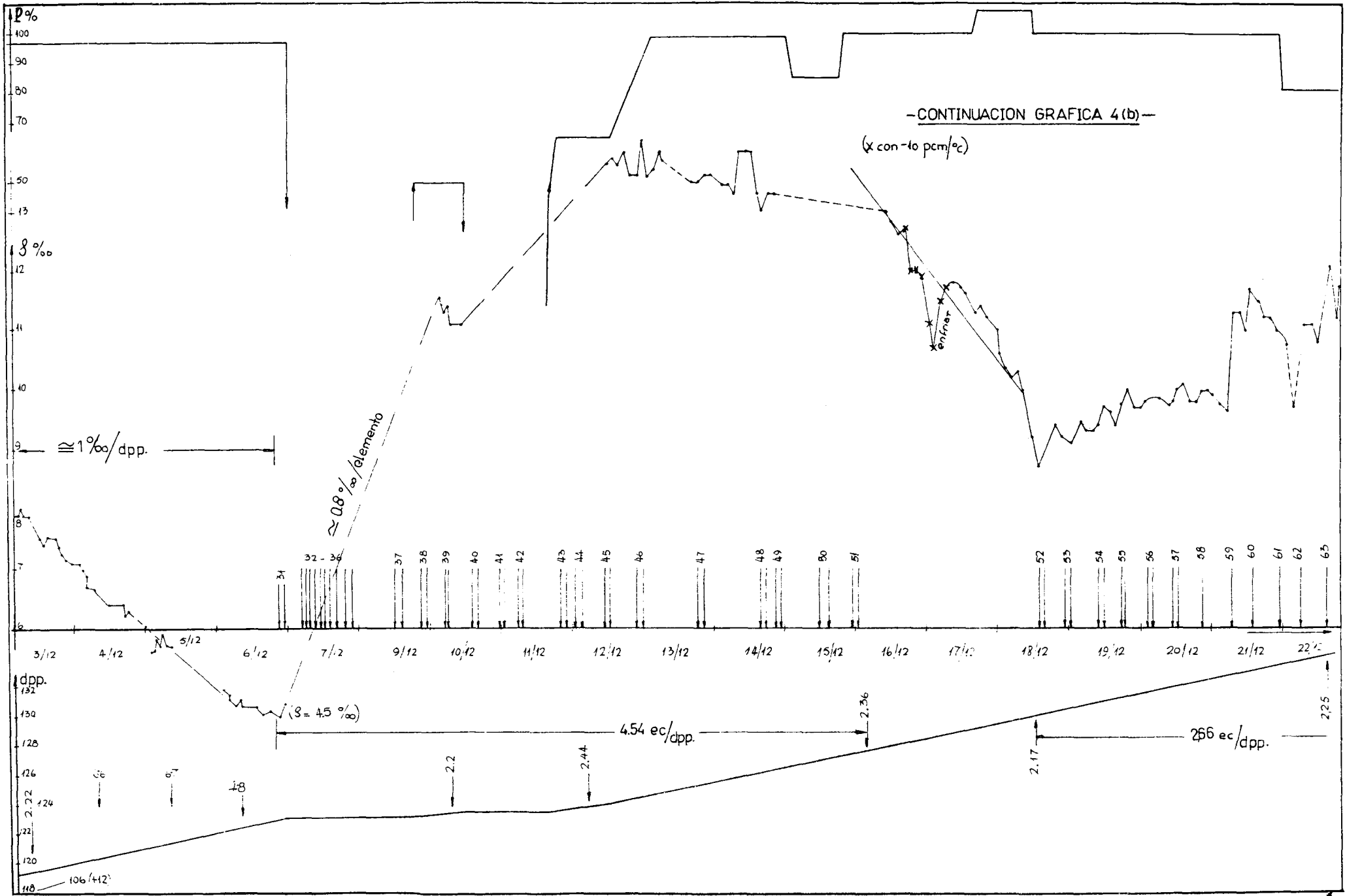
+ Ingreso combustible con 2500 MWd/tn.

* Se indican las posiciones de la Zona Central ocupadas por los elementos combustibles correspondientes a la segunda carga.

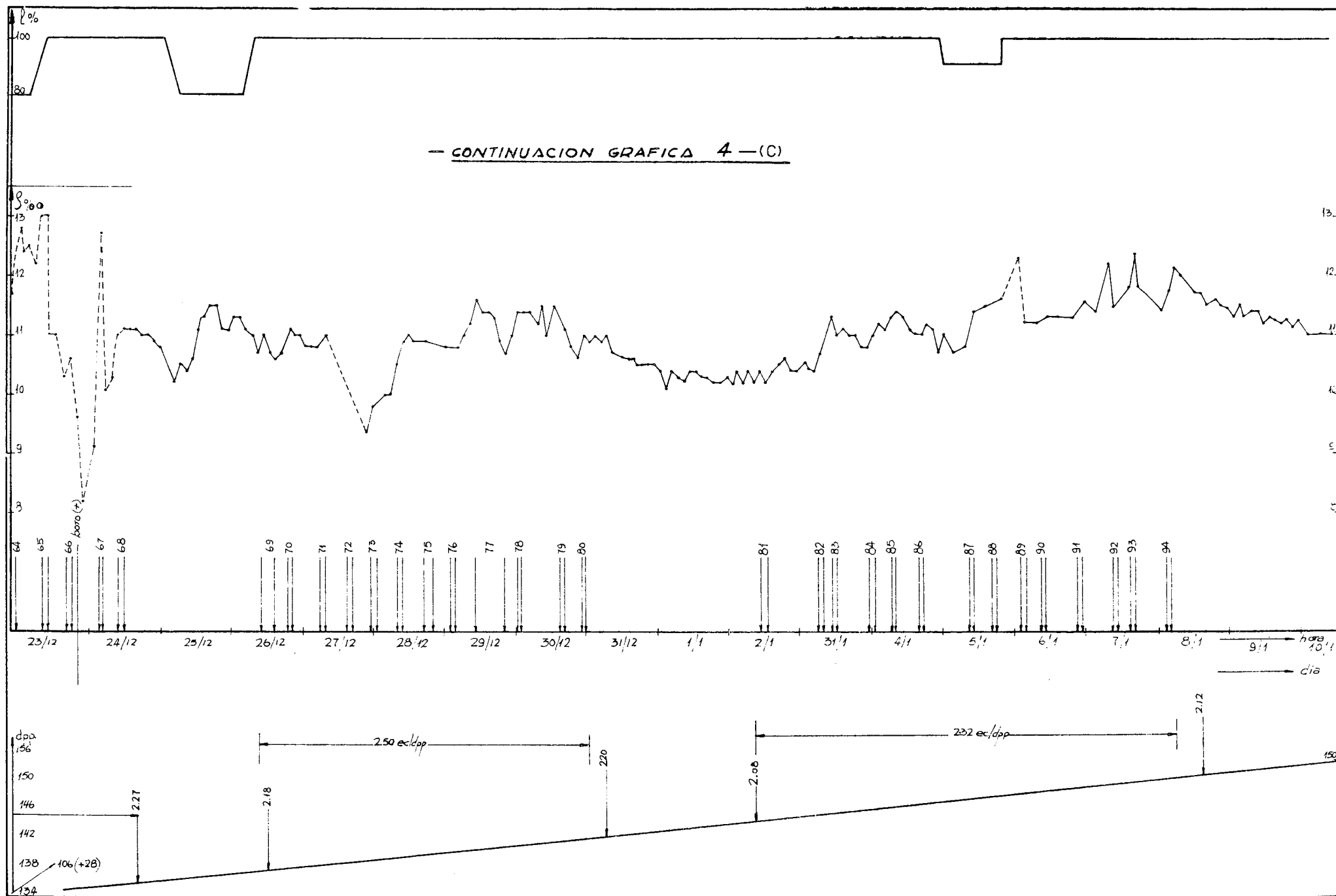








— CONTINUACION GRAFICA 4 — (C)



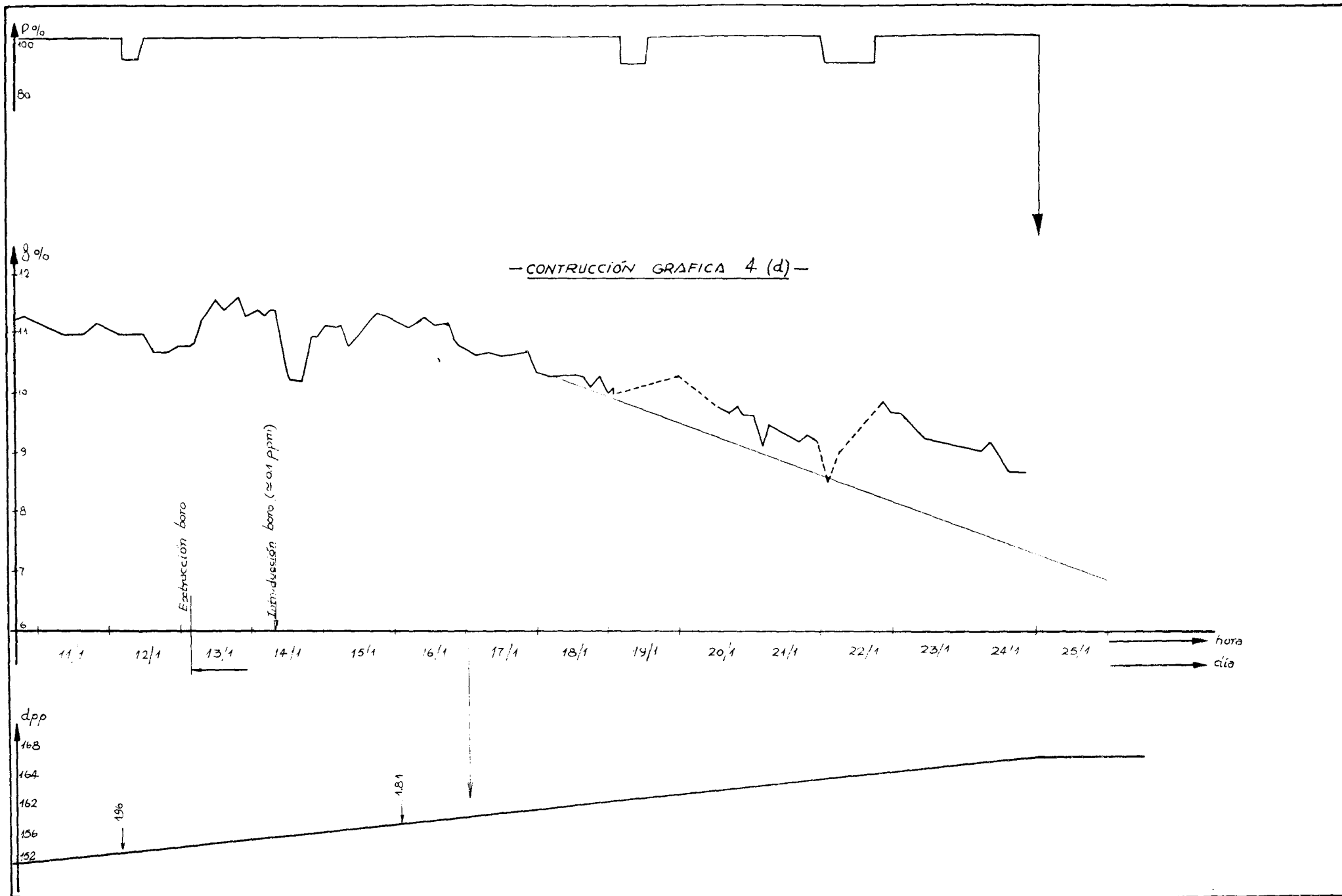
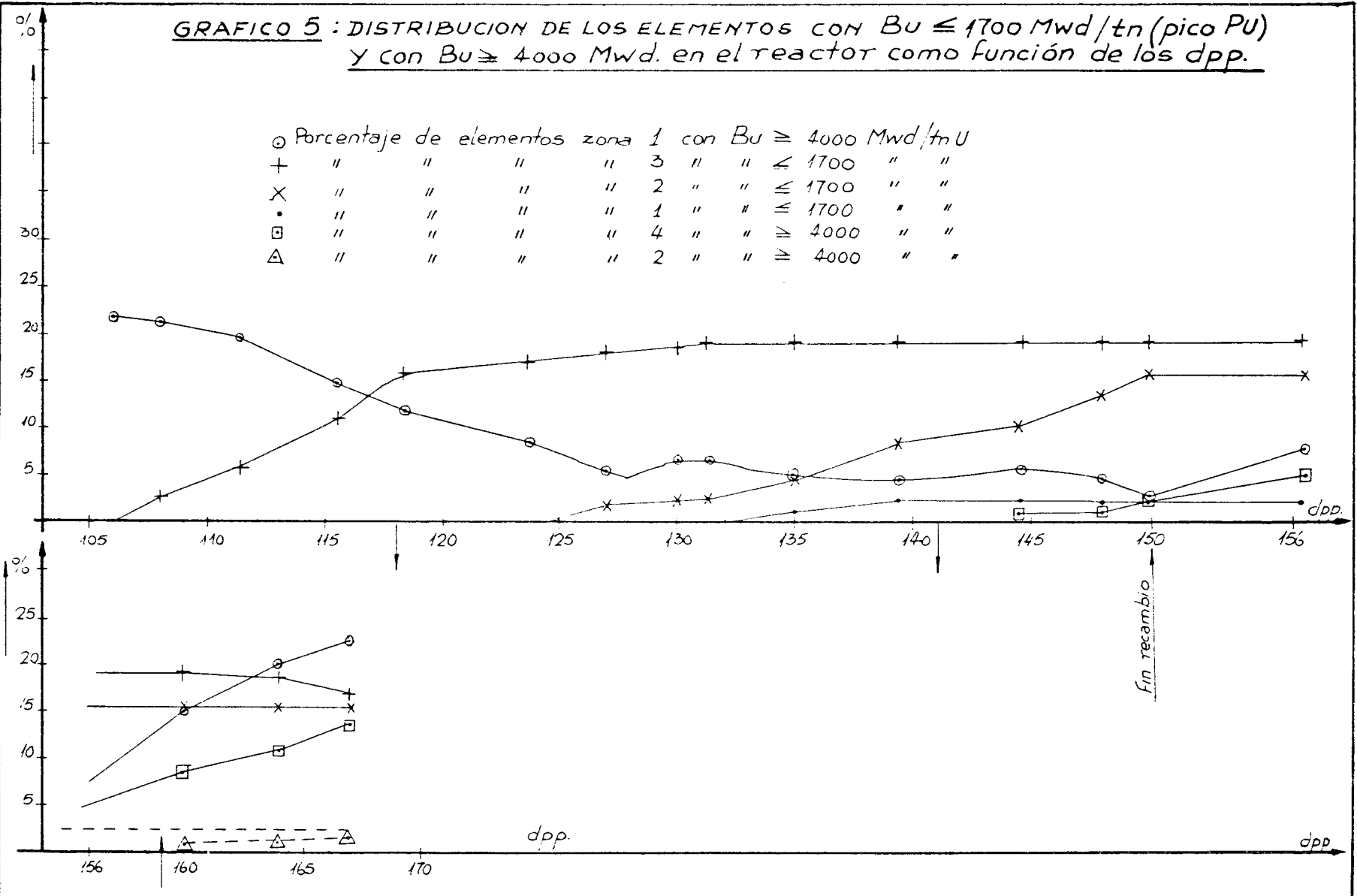
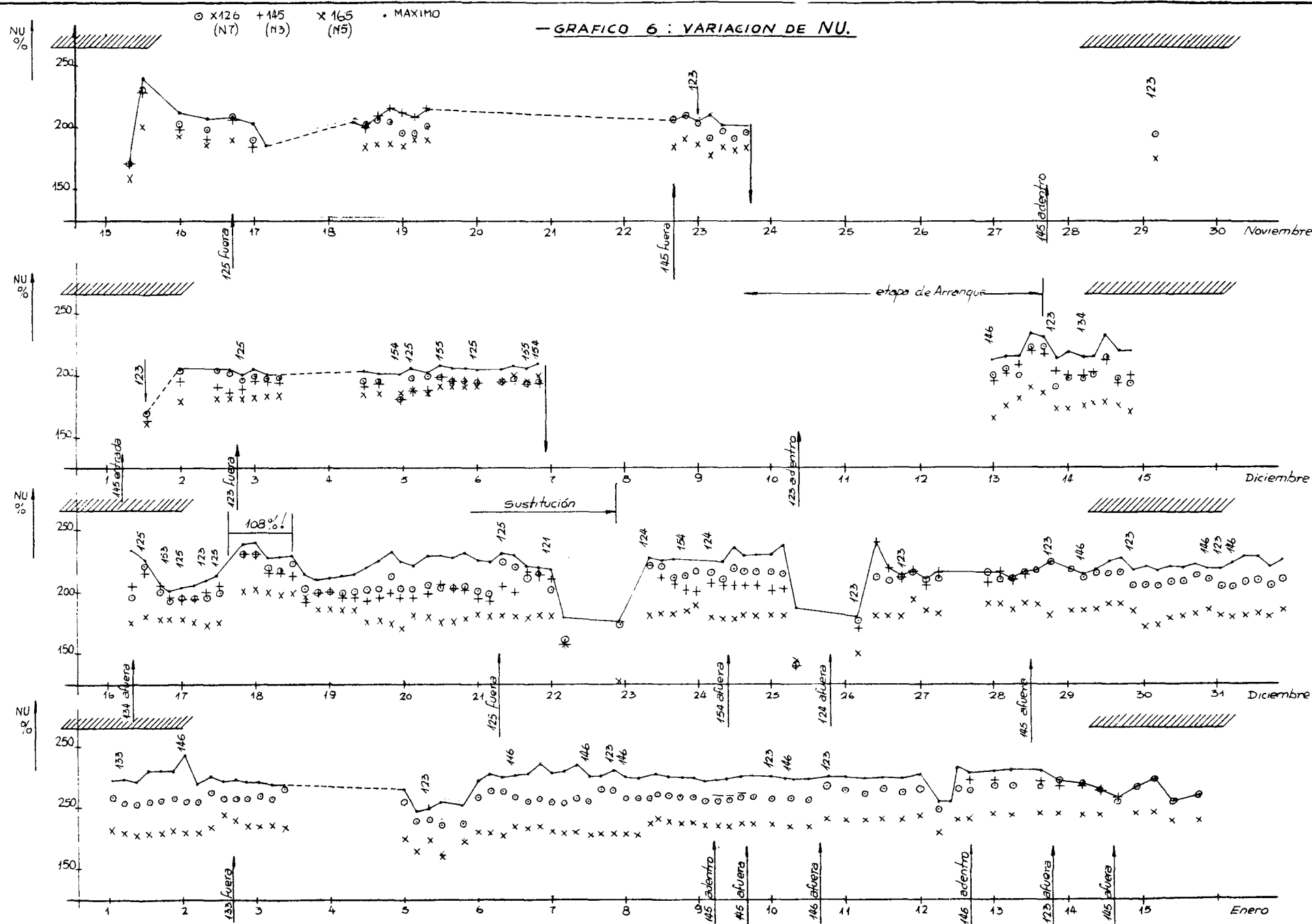


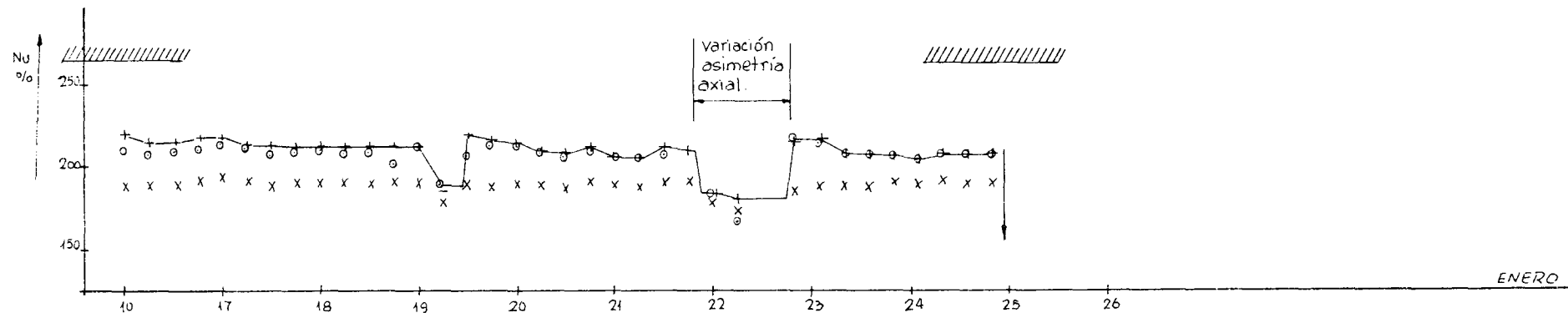
GRAFICO 5 : DISTRIBUCION DE LOS ELEMENTOS con $Bu \leq 1700$ Mwd/tn (pico PU) y con $Bu \geq 4000$ Mwd. en el reactor como función de los dpp.



— GRAFICO 6 : VARIACION DE NU.



— CONTINUACION GRAFICA 6 —



— GRAFICA 7 : INDICACIONES DE LOS DETECTORES CON Y SIN CABLE —

