

TIEMPO DE DESPEGUE Y CAIDA DE BARRAS GRUESAS DEL REACTOR RA-6

J. V. LOLICH

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1985

Al ser el reactor RA-6 de docencia, entrenamiento e investigación, de núcleo variable; con bastante frecuencia se realizan cambios en la configuración del núcleo, lo cual requiere entre otros del cambio de la posición de los elementos combustibles con barras de control o del movimiento de los mismo. Tal es así que en los primeros dos meses de operación del reactor, se utilizaron 8 configuraciones de núcleo distintas. Luego de efectuarse dicha operación y a fin de asegurarse que las barras estén correctamente alineadas con su mecanismo respectivo y que no existen rozamientos al deslizarse dicha barra en la guía del elemento combustible asociado, se determina el "tiempo de caída" de la misma desde su posición de máxima extracción hasta que esté totalmente introducida; tiempos en condiciones normales menores al segundo.

En reactores del tipo del RA-6, las barras de control están sujetas al mecanismo de extracción asociado a la misma por un sistema como el de la figura N° 1; esto es, están sujetas electromagnéticamente. Al interrumpirse la corriente al electroimán (I_e), el campo magnético de sujeción desaparece y la barra cae por acción de la gravedad.

Dado que el reactor RA-6 no contaba con instrumental permanentemente adecuado para efectuar la determinación del tiempo de caída de la barra, se colocaban a tal fin sofisticados equipos electrónicos extras, por lo cual al efectuar la medición era necesaria entre otros de la presencia de un ingeniero electrónico en sala de control. Además al ser las conexiones necesarias, en general precarias, en numerosas oportunidad se "tiraba" la barra y por distintas causas no se podía determinar el tiempo de caída. Dichas "tiradas" de barra, no son aconsejables dado que:

- la vibración que ello produce en el puente de mecanismo, puede producir alteraciones en otros componentes montados sobre el mismo;
- el daño que puede sufrir la barra en caso de que el "tenedor" toque la base del elemento combustible dentro del cual desliza; y,

- producir deformaciones en el "tenedor" o en la guía del elemento a consecuencia de lo cual el rozamiento que se produce puede llevar a tener que cambiar el conjunto elemento combustible-barra, de lo cual en el RA-6 no se cuenta con repuesto.

A fin de que dicho tiempo pudiese ser medido en forma confiable, segura para la integridad del sistema y que la medición pudiese ser realizada por el operador del reactor; se construyó en el CAB un equipo electrónico que se incorporó a la instrumentación de consola principal en forma permanente, el cual permite medir en forma automática al "tiempo de caída" de las cuatro barras del reactor, con una resolución de 1 mseg.

En la figura N°2, se muestran los valores obtenidos para la barra N°4 para distintos porcentajes de extracción de la barra. Se ha graficado además la velocidad alcanzada por la barra durante su caída; de lo cual se deduce que el recorrido total de la barra es tal que la misma no alcanza su velocidad asintótica (velocidad máxima), en el medio en el cual cae. Dicha velocidad podría ser alcanzada en menos tiempo aumentando así la rapidez del sistema de extinción del reactor, si se aumenta la aceleración inicial, por ejemplo con un resorte incorporado al sistema; método utilizado en reactores de potencia.

En la figura 2, puede además observarse, que para extracciones de barra mayores de aproximadamente 5%, el "tiempo de caída" varía aproximadamente en forma lineal con el recorrido efectuado. Del ajuste lineal de dicha variación, se obtiene que el término independiente será despreciable dentro del 1%, esto es la velocidad de caída alcanzará su valor máximo de aproximadamente 84 cm/seg en 13 segs.; lo cual daría recorridos de barra mucho mayores que los reales (16 veces más).

La calibración de la barra N°4, reactividad versus porcentaje de ^{extracción} ~~introducción~~, se muestra en la figura N°3 la misma fue obtenida por el método del "período". A partir de la función de ajuste obtenida para los valores de esta figura, conjuntamente con la función obtenida ajustando los valores de la fig.2, se obtuvo la figura N°4. De la misma se obtiene que para compensar con la barra N° 4 la reactividad que se introduciría de produ-

cirse durante la operación del reactor (puesta a crítico) un "salto instantáneo", se necesitarían aproximadamente 370 μ segs. Si comparamos este valor con el tiempo entre generaciones para tal situación accidental, esto es $l_p = 63 \mu$ seg (valor obtenido para reactores tipo piscina, con elementos combustibles tipo MTR), es obvia su importancia. Aún considerando que las cuatro barras caen juntas, se obtiene un factor realmente importante.

A partir de lo expuesto, es evidente la importancia de los tiempo involucrados.

Si bien, dado el cuidadoso procedimiento que debe seguirse para la puesta a crítico y la sofisticada lógica de seguridad con que cuenta el reactor RA-6, la posibilidad de que se produzca la condición de "salto instantáneo" es prácticamente nula deben considerarse situaciones accidentales en las cuales pudiese introducirse al sistema una fuerte reactividad, por ejemplo al irradiar objetos utilizando el cabezal del sistema neumático ubicado en el núcleo del reactor, o al introducir objetos en los canales de irradiación pasantes, o al realizar movimientos de objetos en el núcleo con el reactor crítico, etc.

En la figura N°5, se ha graficado el "tiempo de caída" de la barra N°4, en función de su porcentaje de extracción, para porcentajes de extracción menores del 10% (los valores graficados fueron además utilizados para ajustar una parábola).

A fin de verificar que los valores graficados en la fig. N°5 no esten afectados por el frenado neumático de la barra, se midió el "tiempo de caída" para extracciones de hasta 5% con la "válvula aguja" que regula dicho frenado totalmente abierta. No se encontraron diferencias dentro del error experimental (1%).

A partir de los valores graficados, es obvio que para valores de extracción tendientes a cero, el tiempo de caída no tiende a cero. La explicación de este fenómeno está dado en que al interrumpirse la corriente aplicada al electroimán para que la barra caiga, queda en el núcleo de dicho electroimán un campo magnético remanente. La intensidad de dicha campo magnético decaerá temporalmente de acuerdo a las propiedades magnéticas del material del núcleo. La barra iniciará su caída cuando la

fuerza de atracción que induce dicho campo magnético sea menor que la fuerza ejercida por la atracción gravitatoria sobre la barra. El tiempo transcurrido desde que se interrumpe la corriente al electroimán hasta que la barra inicia su caída, esto es hasta que la barra se desacopla del electroimán lo llamo "tiempo de despegue" (t_d). Por lo expuesto es evidente que el "tiempo de despegue" dependerá del campo magnético remanente, y dado que este último depende de la corriente aplicada previamente al electroimán (siempre que la misma sea menor que la corriente de saturación magnética), el "tiempo de despegue" será función de la corriente aplicada al electroimán (I_e).

La física del electromagnetismo nos demuestra que al interrumpirse la corriente que circula por la bobina de un electroimán, se genera una tensión ("fuerza contraelectromotriz"), que se opone a dicha interrupción; y que también se genera una tensión si se mueve un material ferromagnético en cercanía de una bobina, tensión que induce un campo magnético que se opone al movimiento. O sea que en nuestro caso, tanto al interrumpirse la corriente aplicada al electroimán, como al despegarse la barra, se inducirán tensiones en la bobina del electroimán. Por ello, se conectó un osciloscopio con memoria en paralelo con la bobina del electroimán a fin de observar la variación temporal de las tensiones inducidas y a partir de ellas determinar el "tiempo de despegue". A fin de verificar que se estuviese observando realmente el pulso inducido por el despegue de la barra del electroimán, se la despegó manualmente y se verificó que se ~~introducía~~ ^{inducía} un pulso de tensión similar al producido cuando la barra iniciaba su caída luego de interrumpirse la corriente al electroimán.

Luego se fue modificando la corriente aplicada al electroimán y se obtuvieron los resultados que se presentan en la figura N°6. Dado que el "tiempo de despegue" es proporcional al campo magnético existente antes de interrumpirse la corriente, podemos asociar dicho campo magnético al "tiempo de despegue", con lo cual la forma de la curva obtenida es lógica, ya que es del tipo del de una "curva de imanación" para materiales ferromagnéticos.

Para medir el "tiempo de despegue" no se puede utilizar la señal proveniente del "microcontacto" de indicación de barra acoplada ya que el retardo introducido por el movimiento mecánico del mismo daría un error considerable.

En general la corriente a aplicar al electroimán se elige de manera tal que:

~ sea lo suficientemente intensa para que la barra no se caiga cuando la misma esté aplicada; evitándose así "scram" no pedido;

~ sea lo suficientemente pequeña para que la barra caiga si al ser extraída "arrastra" consigo el elemento combustible dentro del cual desliza (potencial causa de accidente en reactores del tipo del RA-6).

A partir del valor obtenido para el "tiempo de caída" total de la barra, aproximadamente 900 μ seg, obtenemos que a la misma le toma del orden del 8% de su tiempo total de caída en despegarse del electroimán. Si tomamos nuevamente en consideración, que para reactores del tipo del RA-6, el tiempo entre generaciones para los neutrones instantáneos es del orden de 60 mseg; intervalo de tiempo de 70 mseg, como es el del "tiempo de despegue", son peligrosamente grandes en caso de situaciones accidentales.

Por ello al determinarse la corriente de electroimán a utilizarse, debemos además tener presente que la misma debe ser la menor posible a fin de disminuir el "tiempo de despegue". El criterio seguido en el reactor RA-6 para fijar la corriente de electroimán es de utilizar una corriente un 20% mayor que la corriente mínima que mantiene sujeta a la barra en forma dinámica, esto es con el mecanismo en movimiento.

Si bien el "tiempo de despegue", es considerable si se lo compara con el tiempo total de caída de la barra o con la vida media de los neutrones instantáneos, en casos prácticos su importancia es relativa.

Consideremos por ejemplo una falla en el sistema del piloto automático del reactor RA-6. Dicho sistema está diseñado de manera que pueda accionar el movimiento de las dos barras gruesas de control (velocidad máxima de extracción 7 minutos,

reactividad máxima del orden de 3000 pcm), y de la barra fina (velocidad máxima de extracción 1 minuto, reactividad máxima del orden de 1000 pcm). Si bien en condiciones normales de operación el piloto automático no puede extraer más de una barra por vez, asumamos una situación accidental en la cual se extraen las 3 barras "simultáneamente" por parte del piloto automático y no actúa la inhibición de este sistema al ser la tasa de crecimiento del flujo mayor del 1%/seg. Se tendría en tal caso hipotético una tasa de adición máxima de reactividad de 30 pcm/seg. Dado que la lógica de seguridad disparará la señal de "scram" al obtenerse un período menor de 14.3 seg (usualmente 25 seg); se introducirá como máximo una reactividad en exceso tal que se obtenga dicho período, esto es 254.5 pcm en exceso. Asumo que frente al disparo de la señal de "scram" sólo cae una de las dos barras de seguridad y que las dos barras de control no sólo no caen sino que continúan subiendo. Luego del disparo de la señal de "scram", durante 70mseg. ("tiempo de despegue"), las barras no comenzarán a caer, por lo cual se introducirán 2,1 pcm extras, lo cual producirá finalmente un período (reactividad en exceso de 257 pcm), de 14 seg. La potencia evolucionará en ese lapso un factor despreciable (0.5%), antes de que la barra inicie su caída. La reactividad en exceso existente será compensada luego de dispararse la señal de "scram" en menos de 265 mseg.

Por lo expuesto resulta evidente que los tiempos involucrados en la caída de las barras son adecuadas para la segura operación del reactor.

A partir de los resultados obtenidos al realizar el presente estudio, se planea iniciar en el reactor RA-6, un estudio tal que permita determinar si es posible disminuir el "tiempo de despegue", ya sea incorporando un resorte al sistema, modificando el diseño del electroimán, modificando el diseño del acople barra-electroimán, induciendo una corriente opuesta al interrumpir " I_e ", colocando una resistencia con la bobina del electroimán a fin de que el circuito no quede abierto cuando se interrumpe la corriente, etc.

Agradecimientos:

El presente estudio no podría haber sido realizado sin la tarea y/o discusiones mantenidas con el Lic. H. Boado, los ingenieros G. Padin, A. Velazco, el Lic. A.J. Kestelman, el Dr. C. Fainstein y los señores M. Bronca y R. Mogdan. A todos ellos mi agradecimiento.

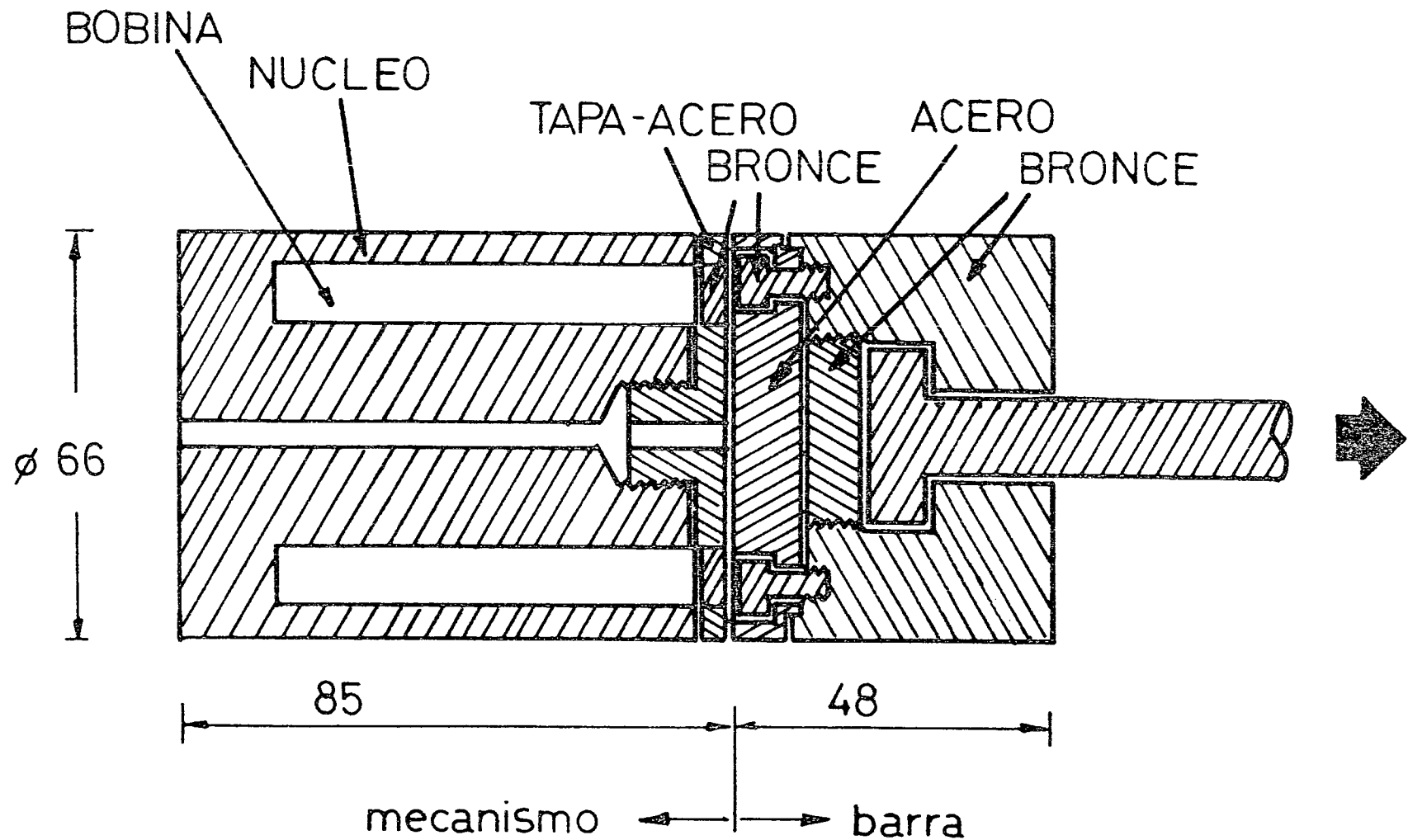


FIG: 1

REACTOR RA-6

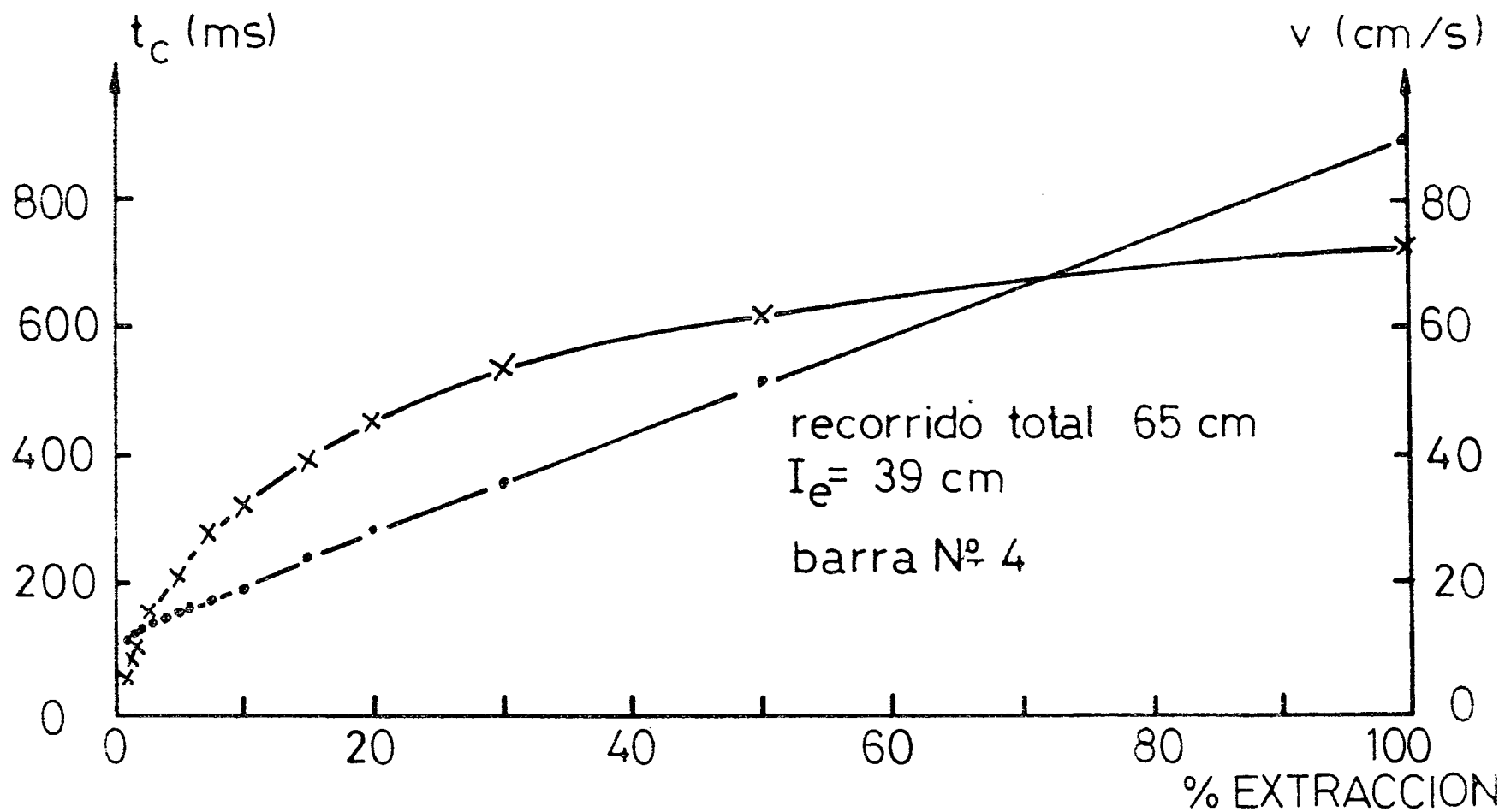


FIG: 2

REACTOR RA-6

FIG: 3

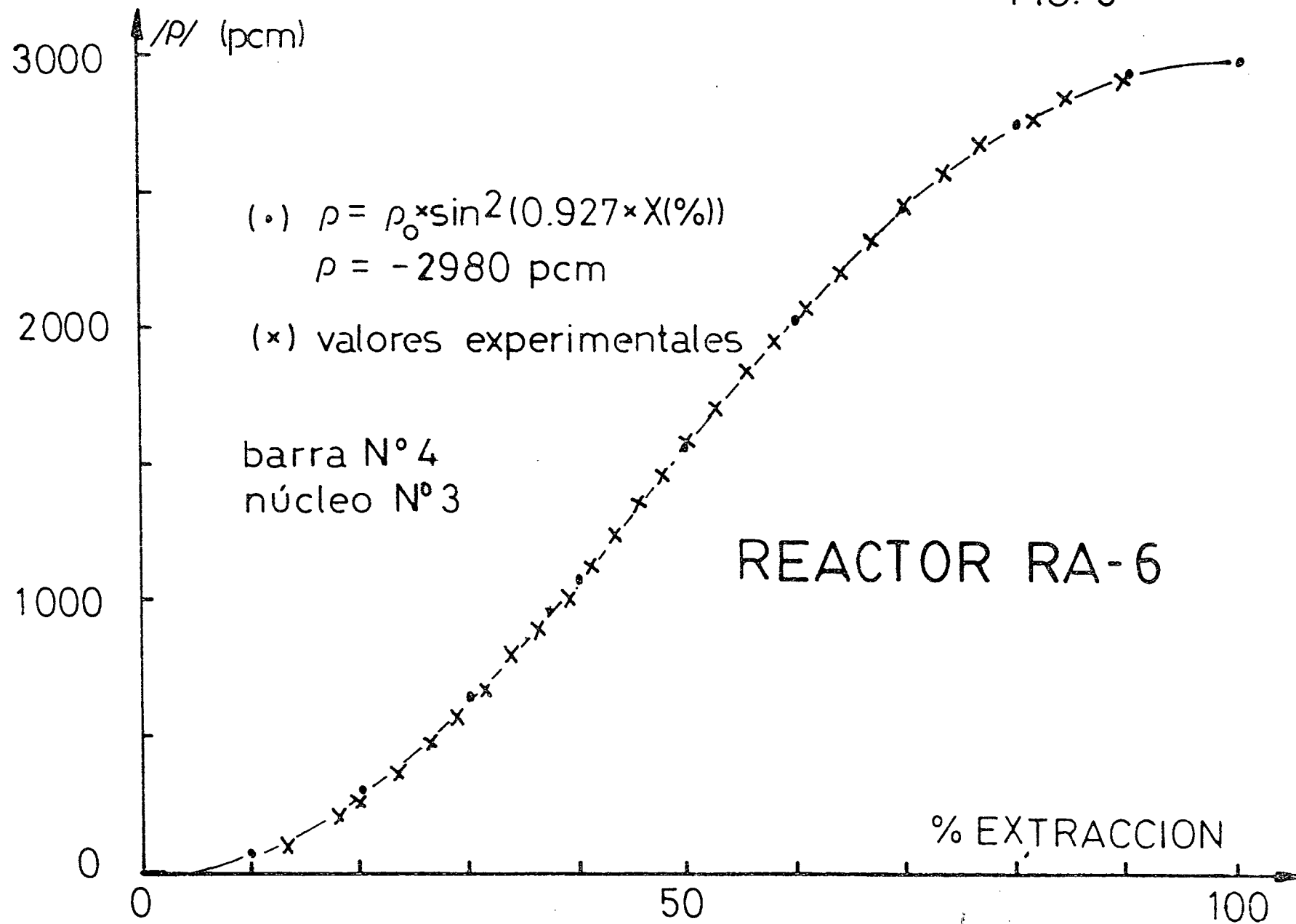
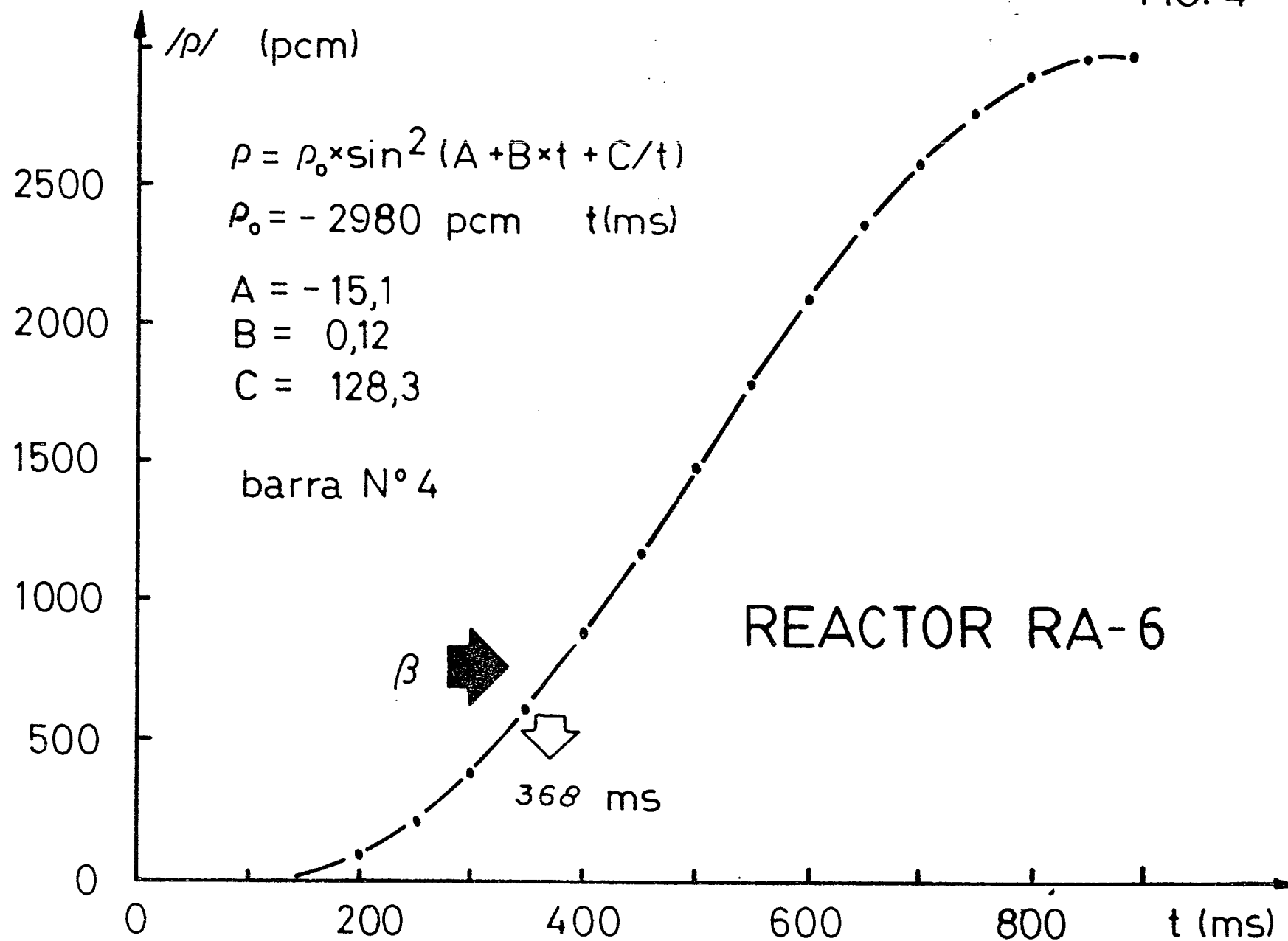
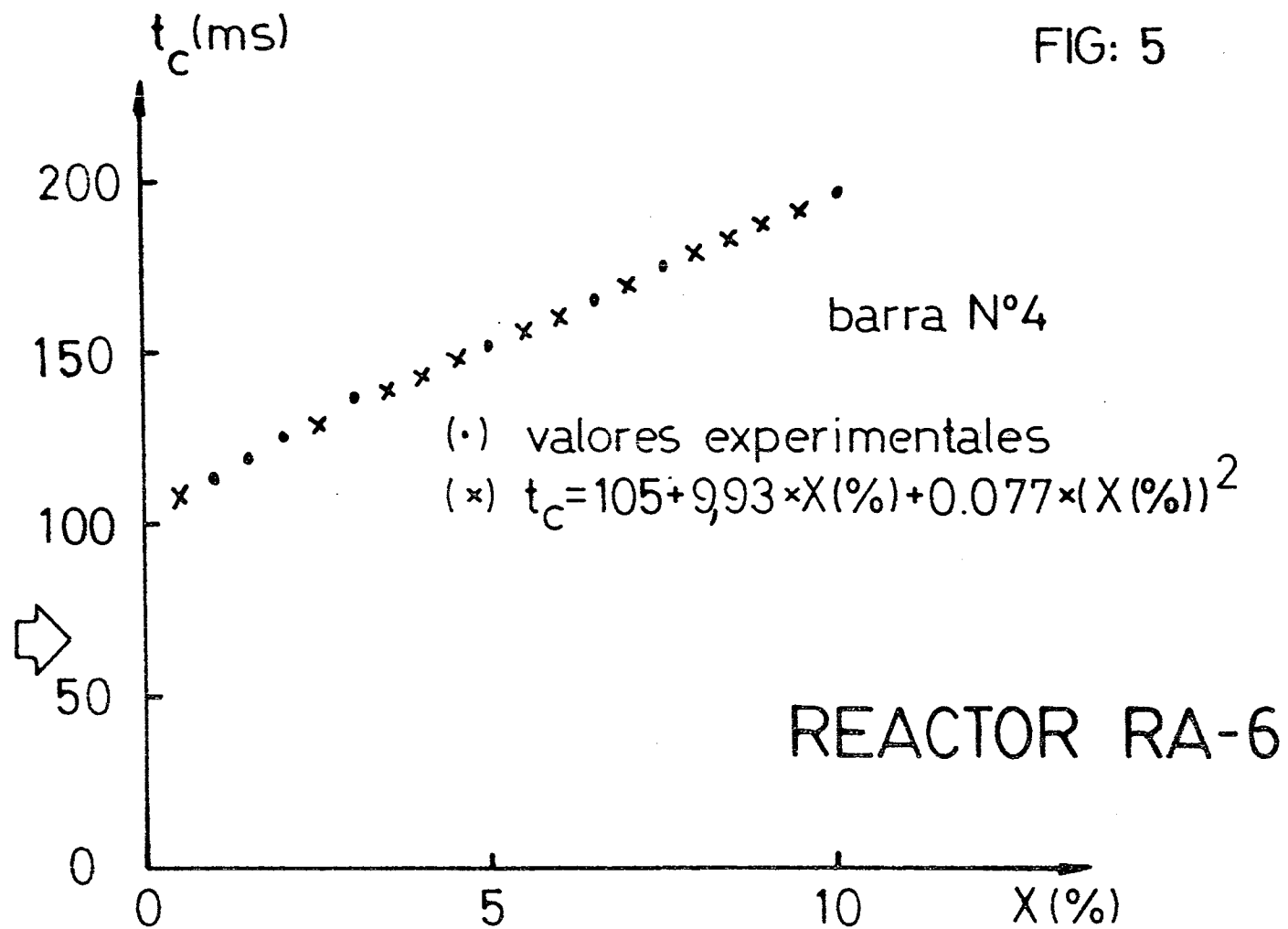


FIG: 4





REACTOR RA-6

FIG: 6

