

C.N.E.A. - BUEENOS AIRES	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1982

ACCIDENTES EN REACTORES TIPO PISCINA

D. PARKANSKY - A. GARCIA - A. VERTULLO - J.J. DELLEPIANE

I.- INTRODUCCION.

El análisis de los accidentes posibles en reactores tipo piscina con potencias hasta 40 o 50 Mw. y el dominio de las bajas presiones permite evaluar el grado de seguridad intrínseco que poseen este tipo de reactores, así como el que es posible establecer por diseño.

Los accidentes aquí considerados conducen en general a fallas de refrigeración en el núcleo con posible fusión de las placas combustibles. Dichos accidentes son:

- 1.- Excursión de Reactividad.
- 2.- Pérdida de Caudal.
- 3.- Bloqueo de canales de refrigeración.
- 4.- Pérdida de refrigerante.

Ante la imposibilidad de simular estos accidentes en los reactores existentes en el país el presente estudio se ha hecho en base a experiencias realizadas en reactores diseñados para tal fin en países como Francia (reactor Cabri) y Estados Unidos (reactor Spert).

II.- EXCURSION DE REACTIVIDAD.II.1.- DEFINICION Y ORIGEN DEL ACCIDENTE

La introducción en el núcleo de una cantidad de reactividad positiva en forma instantánea, puede llevar al reactor a condiciones incontrolables.

Posibles causas de este accidente serían:

- Agregado de material fisionable o bien por extracción de veneno cuando este se encuentre en condición de crítico. Ejemplo: caída de un elemento combustible sobre el núcleo o la extracción de elementos de control cuando el núcleo está crítico.

II.2.- CONSECUENCIAS DEL ACCIDENTE.

Este accidente fue simulado en el reactor "Cabri" (Francia) con núcleos equivalentes al del Siloe con elementos combustibles de 18 y 23 placas. Las experiencias realizadas fueron:

- a) Sin caudal y para diferentes temperaturas iniciales.
- b) Con caudal y a temperatura inicial fija de aproximadamente 30 °C.

El parámetro más importante para el análisis de las consecuencias de este accidente es el período. El período es el tiempo en el cual el flujo neutrónico de un reactor se incrementa en un valor "e". (ver figura 1)

Se comprobó que:

- para períodos mayores o iguales a 30 milisegundos ($T \geq 30$ mseg.) el pico de potencia producido es independiente de la temperatura inicial y
- para $T \leq 30$ mseg. el pico de potencia se hace más débil para temperaturas iniciales crecientes (20° ; 40° ; 80°C) (Figura 2 y 3).

Se concluyó, además:

- Que para períodos cortos la temperatura máxima alcanzada dentro del núcleo supera los 130°C y el núcleo entra en ebullición durante el transitorio y
- El pico de potencia resulta independiente del caudal para períodos entre 10 y 100 mseg. al igual que la temperatura (Fig. 4)
- Si el período es mayor de 100 mseg. no se produce pico de potencia sino una subida continua de la misma (idem para la temperatura). (Figura 5).

La evolución de la potencia, luego de producido el pico máximo fue estudiada a través de dos tipos de experiencias.

A) SIN CAUDAL EN EL NÚCLEO.

Se observó que una vez producido el pico de potencia la evolución de la misma es:

- Para períodos mayores de 30 mseg. la potencia decrece progresivamente hasta estabilizarse en una meseta.
- Para períodos menores de 30 mseg. la potencia decrece rápidamente hasta un mínimo y luego crece hasta estabilizarse.
- Temperaturas iniciales en el refrigerante superiores a los 60°C provocan un decrecimiento oscilatorio de la potencia similar a la situación que se presenta para períodos de 200 mseg. Si se trata-se de períodos menores de 10 mseg. el decrecimiento de la potencia tendría un comportamiento oscilatorio pero con picos que podrían igualar al inicial cuanto mayor es la temperatura del refrigerante.

La conclusión final a la que se llegó es que en todos los casos la potencia de equilibrio es del orden de 1 a 2 Mw., luego de producido el accidente.

B) CON CAUDAL EN EL NUCLEO

El nivel de estabilización de la potencia es tanto más elevado cuanto mayor es el caudal circulante en el núcleo. Para períodos de aproximadamente 200 msec. la potencia crece progresivamente a mayores caudales (Figura 5).

Para períodos menores de 20 msec. luego de producido el pico, la potencia evoluciona con un régimen oscilatorio que se amortigua hasta alcanzar un nivel de equilibrio elevado con ebullición franca en el núcleo. (Figura 4).

Se observaron las siguientes potencias de equilibrio en función del caudal:

- Caudal: 300 m³/hr. Potencia: 10 Mw.
- Caudal: 1200 m³/hr. Potencia: 30 Mw.

B.1) EVOLUCION DEL CAUDAL DURANTE EL TRANSITORIO

Si el período es mayor de 20 msec. se producen oscilaciones débiles del caudal dentro de los canales de refrigeración. Pero si el período está comprendido entre 10 y 20 msec. se observa eyección de refrigerante inmediatamente al pico de potencia seguido de reinyección con inversión momentánea del sentido de circulación. Este fenómeno es más crítico en el caso que el accidente se produzca en un núcleo con caudal que sin caudal.

Velocidad de EYECCION DE REFRIGERANTE: 1 a 2 m/s
sin caudal en el núcleo.
PERIODO= 10 msec.

Velocidad de Eyección: 10 m/seg. con caudal en el núcleo.

EXTRAPOLACION Velocidades de Eyección de: 20 a 30 m/seg. con
A PERIODOS DE caudal en el núcleo - Dominio explosivo.
= 3-5 msec.

Para períodos aún más cortos (T < 3 msec.) la producción de vapor es tan rápida que genera una elevada sobrepresión en el núcleo y la velocidad de eyección del refrigerante queda limitada por el fenómeno de Bloqueo Sónico: la velocidad del refrigerante supera el valor de propagación del sonido en dicho medio, produciéndose la explosión del núcleo.

II.3.- CONCLUSIONES.

A) Desde el punto de vista del coeficiente de peligrosidad:

- Un núcleo frío es más riesgoso que uno caliente.
- Un núcleo con caudal es más riesgoso que sin caudal.

B) La autoeliminación de la potencia en un reactor tipo piscina en excursión, está ligada a la antireactividad producida por los siguientes fenómenos:

- Efecto Doppler del U^{238} , cuya importancia está ligada al grado de enriquecimiento del combustible del núcleo.
- Calentamiento del núcleo (aumento de la relación: VOLUMEN METAL/VOLUMEN AGUA) dilatación de las placas combustibles.
- Ebullición del agua en el núcleo (aumento de la relación citada por el volumen de vapor producido).

Para períodos mayores de 30 mseg. la temperatura de las placas no es suficiente para provocar ebullición y la antireactividad que pueda producirse está ligada al fenómeno de calentamiento.

Si el período es inferior a los 30 mseg. hay ebullición local y franca en el núcleo y la antireactividad es función del nivel de vapor producido.

III.- PERDIDA DE CAUDAL

III.1. DEFINICION Y ORIGEN

La disminución del caudal de refrigeración o bien la parada total del mismo (hasta el establecimiento lento de la convección natural) entraña un aumento de la temperatura de las placas.

Las causas posibles que podrían dar origen a este accidente son:

- Pérdida de suministro eléctrico.(para total)
- Falla del motor propiamente dicho (disminución del caudal).
- Rotura del acople bomba motor (disminución del caudal según cuantas sean las bombas).

III.2. CONSECUENCIAS DEL ACCIDENTE

En este tipo de reactores los fenómenos que se presentan durante el accidente,tales como el calentamiento del núcleo y el vacío por ebullición actúan siempre en el sentido de regulación de la potencia.

En el reactor Cabri (francés) se realizaron experiencias a fin de inferir si dentro de un accidente de circulación la potencia decrece lo suficiente como para evitar la fusión de las placas combustibles.

Se determinó por cálculo que la potencia de comienzo de Ebullición local es = $10,5$ Mw. y se simuló el accidente para los núcleos Si 23 y Siloe -18- Núcleo Siloe -18. Reducción de un 40 % del caudal.

Caudal inicial: $400 \text{ m}^3/\text{hr.}$

Caudal final: $240 \text{ m}^3/\text{hr.}$

$v_0 = 1,20 \text{ m/seg.}$

$v_f = 0,7 \text{ m/seg.}$

Para potencias iniciales inferiores a 10,5 Mw, la caída de potencia es lenta luego de la reducción del caudal. El equilibrio no se alcanza antes de 20 seg. y el nivel está en 3,5 Mw. Las nuevas temperaturas son superiores a las iniciales.

Para potencias iniciales mayores a 10,5 Mw. la caída de potencia es rápida y el equilibrio se establece a los 15 seg. en un valor aproximado a 6 Mw. Las temperaturas son inferiores a las iniciales.

Las temperaturas máximas para potencias menores oscilan entre 130 ° a 140 °C en el momento de la inversión del caudal.

- Parada Brutal del caudal.
La parada ocurre en 5 seg. a partir de 400 m³/hr.
- Potencia inicial = 6 Mw. La potencia decrece lentamente y se estabiliza en 1 Mw.
- Potencias iniciales mayores de 8 Mw. se producen oscilaciones durante el decrecimiento provocadas por la ebullición franca. El equilibrio se establece entre 10 y 15 seg. a un nivel de 1,5 a 2 Mw.

III.3.- CONCLUSIONES.

Tal como pudo observarse, la parada del caudal jamás entraña una fusión de placas.

La antireactividad producida por el calentamiento y por el vacío introducido con el vapor formado durante la ebullición es siempre suficiente para reducir rápidamente la potencia antes que la temperatura de placa se eleve limitándose la fusión. Esta es una seguridad intrínseca de estos reactores.

La antireactividad introducida entraña una seguridad muy grande frente a la redistribución de caudal.

IV.- BLOQUEO DE CANALES DE REFRIGERACION

IV.1.- DEFINICION Y ORIGEN

El taponamiento de uno o más canales de refrigeración por elementos extraños, conduce al quemado de una o más placas involucradas por la imposibilidad de circulación del refrigerante.

Las causas que podrían dar origen a este accidente es la caída de objetos extraños por boca de tanque. Los objetos más peligrosos son aquellos cuya detección visual no es posible (polietileno).

IV.2.- CONSECUENCIAS DEL ACCIDENTE

Debido a que las placas comprometidas por el accidente no son refrigeradas, se produce vapor pudiéndose alcanzar la fusión de las mismas.

Si bien la potencia comienza a oscilar descendiendo, por el vacío producido, en los canales afectados, esta variación puede no ser sensible en el registro de la potencia de operación siendo aconsejable la instalación de un sistema de scram por período ya sea creciente o decreciente.

IV.3.- CONCLUSION

En el año 1967 y durante un ensayo a sobrepotencia en el reactor Siloe se produjo este accidente, el cual condujo a la fusión de 6 placas combustibles de la caja más caliente. La detección del evento se realizó por el aumento de actividad en el refrigerante.

V.- PERDIDA DE REFRIGERANTE

La pérdida de refrigerante en el núcleo de un reactor puede producirse por rotura de cañerías que atraviesan el tanque del reactor.

Este accidente conduce a la fusión total o parcial del núcleo.

El único modo de impedir este accidente es extremando la seguridad por diseño en todos los componentes que pudieran ocasionarlo.