

PREVENCION DE ACCIDENTES DE CRITICIDAD EN UNA
FABRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

POR

A.M. GATTI, S.I. CANAVESE Y N.M. CAPADONA

Comisión Nacional de Energía Atómica
República Argentina

Trabajo a ser presentado a la XVIII. Reunión
Anual de la Asociación Argentina de Tecnología
Nuclear, 22-26 octubre de 1990 en Buenos Aires,
Argentina.

SPANISH ABSTRACT

En este trabajo se tratan las consideraciones basicas de prevención de accidentes de criticidad aplicadas a una planta de producción de elementos combustibles en base a dióxido de uranio. Se describen someramente las distintas etapas de fabricación, identificando las áreas aisladas neutras. Una vez definidas las zonas se efectúa su evaluación estableciendo los límites de control a utilizar en cada una de ellas, sus rangos de variación y se establecen límites para operación normal en base a datos experimentales o calculados, aplicados específicamente a óxidos de uranio enriquecidos. Finalmente se analizan desviaciones de los parámetros definidos, debidas a condiciones accidentales a fin de prevenir accidentes de criticidad en condiciones normales de trabajo y en operaciones de mantenimiento. (Autor) _____

PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DE CRITICIDAD EN UNA FABRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

A.M.Gatti, S.I.Canavese, N.M.Capadona
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

En este trabajo se tratan las consideraciones básicas para prevención de accidentes de criticidad aplicadas a una planta de producción de elementos combustibles en base a dióxido de uranio. Se describen someramente las distintas etapas de fabricación, identificando las áreas aisladas neutrónicamente. Una vez definidas las zonas se efectúa su evaluación estableciendo los parámetros de control a utilizar en cada una de ellas, sus rangos de variación y se establecen límites para operación normal en base a datos experimentales o cálculos validados, aplicados específicamente a óxidos de uranio enriquecidos al 5%. Luego se analizan desviaciones de los parámetros definidos, debidas a condiciones incidentales a fin de prevenir accidentes de criticidad en condiciones normales, incidentales de trabajo y en operaciones de mantenimiento.

1.- INTRODUCCION

En este trabajo se tratan las consideraciones básicas para la prevención de accidentes de criticidad en el manipuleo de materiales fisiles aplicados a una planta de producción de elementos combustibles a base de dióxido de uranio enriquecido al 5%.

Estas consideraciones básicas establecen límites en los parámetros relacionados con la posibilidad de ocurrencia de un accidente de criticidad. Por ello es necesario tener una definición clara de las características fisico-químicas de los materiales y procesos involucrados y de los rangos de variación de los parámetros.

2.- PROCESOS Y MATERIALES UTILIZADOS

Se considera la fabricación de EE CC constituidos por barras de pastillas sinterizadas de UO_2 contenidas en vainas de Zircaloy. Este proceso se puede dividir en las siguientes etapas: recepción y almacenamiento, formación de los lotes, homogeneización, prensado, sinterizado, rectificado, llenado de vainas, armado del elemento combustible, almacenamiento final.

El material utilizado es UO_2 , cuya densidad varía durante el proceso. El UO_2 se recibe en forma de polvo seco con densidad aparente de 2.15 g/cm^3 , y se mantiene en esa condición hasta el prensado, donde se obtienen pastillas "verdes" de densidad de 6.2 g/cm^3 . Luego de sinterizadas, las pastillas, adquieren una densidad máxima de 10.75 g/cm^3 .

3.- MODOS DE CONTROL

Dadas las características propias de la fabricación se pueden identificar áreas neutrónicamente aisladas. Estas son: almacenamiento inicial, fabricación y envasado de pastillas, ensamblado del elemento combustible, almacenamiento final y laboratorios de control.

Para todas las etapas del proceso que involucran el manipuleo de UO_2 en polvo se definen dos parámetros de control: masa y moderación. Esto permite trabajar con cantidades importantes de material fisil manteniendo bajo el grado de moderación.

Una vez que el polvo ha sido procesado en forma de pastillas se utiliza control a través de geometría favorable para el resto de las operaciones hasta la obtención del elemento combustible: transporte interno, almacenamiento en proceso y almacenamiento final de los elementos combustibles armados.

En los lugares donde las cantidades de material fisil a manipular son muy inferiores a las mínimas masas límites no se realiza control explícito.

4.- CONSIDERACIONES EFECTUADAS

4.1 Almacenamiento inicial

Se consideró que la masa total de material almacenado es de 2000 kg de UO_2 enriquecido al 5%, almacenado en tambores de 50; 100 o 200 l de capacidad, en contacto en la configuración más reactiva. Se evaluaron sistemas con distinto contenido de humedad y diversas posibilidades de reflexión.

4.2 Formación de los lotes

Se arman lotes, de acuerdo a la demanda de producción, de 100 kg de UO_2 , que están contenidos en tambores de características similares a los de almacenamiento.

4.3 Homogeneización

La masa del material a homogeneizar puede adquirir distintas formas; se consideró la menos favorable y se descartó el ingreso de agua al recipiente de homogeneización.

4.4 Prensado

Para alimentar la prensa se utilizan los tambores mencionados en el punto 4.2. La zona de alimentación está sobre-elevada respecto del piso, razón por la cual se supuso que no hay posibilidad de inundación.

A partir de la transformación del polvo en pastillas se adopta una disposición en bandejas apilables.

4.5 Sinterizado

El ingreso al horno de sinterizado se realiza en bandejas.

4.6 Rectificado

En caso que el rectificado sea vía húmeda hay acumulación de material fisil en los residuos líquidos.

4.7 Llenado de vainas

El material fisil se encuentra confinado en lugares predeterminados (bandejas o vainas).

4.8 Armado del elemento combustible:

El material fisil está confinado en el interior de las vainas.

4.9 Almacenamiento final:

Se consideran distintos ordenamientos posibles de elementos combustibles tipo CANDU, teniendo en cuenta la posibilidad de inundación.

4.10 Transportes internos:

El UO_2 en polvo se transporta en los mismos contenedores utilizados en el almacenamiento inicial.

Para el transporte de pastillas se utilizan estructuras que alojan en forma horizontal las bandejas conteniendo las pastillas.

Las vainas y los elementos combustibles armados se transportan en cajas.

En las zonas donde se realiza control por masa-moderación, para definir los límites de masa, se debe fijar un límite razonable del tenor de hidrógeno en el óxido, considerando el correspondiente a la absorción máxima de humedad del ambiente.

Se evaluó la influencia en la seguridad por criticidad de la planta de la ocurrencia de inundación y sismo.

5.- RESULTADOS OBTENIDOS

Todas las evaluaciones se realizaron por medio del código Montecarlo MONK 5.2.

5.1 Cilindros con polvo de UO_2

5.1.a Unidad aislada

TABLA I

CAPACIDAD	H/U ²³⁵	k _{eff}	
		SIN REFLECTOR	CON REFLECTOR
50 l (ρ = 2.15 g/cm ³) 107,5 kg UO ₂	0	0,0848	0,5145
	2	0,0864	0,5076
	10	0,0861	0,5382
	50	0,2459	0,6704
100 l (ρ = 2.15 g/cm ³) 215 kg UO ₂	0	0,1037	0,5584
	2	0,1072	0,5433
	10	0,1154	0,5839
	50	0,3751	0,7602
200 l (ρ = 2.15 g/cm ³) 430 kg UO ₂	0	0,1363	0,5964
	2	0,1305	0,5838
	10	0,1617	0,6280
	50	0,4013	0,8443

5.1.b Unidad aislada inundada

Se calculó el coeficiente de multiplicación efectivo para un cilindro de 50 l suponiendo la existencia de agua en los intersticios del polvo de UO₂, resultando una relación de moderación H/U²³⁵ = 200 y con reflector. El resultado obtenido fue: K_{eff} = 1,1446

5.1.c Ordenamientos

TABLA II

CAPACIDAD Y ORDENAMIENTO	H/U ²³⁵	k _{eff}	
		SIN REFLECTOR	CON REFLECTOR*
50 l 4 x 5 x 1	0	0,1440	0,6078
	2	0,1219	0,6227
	10	0,1361	0,6751
	50	0,4552	0,8730
100 l 4 x 3 x 1	0	0,1573	0,6428
	2	0,1667	0,6519
	10	0,2138	0,6860
	50	0,6201	0,9615
200 l 3 x 2 x 1	0	0,1560	0,6433
	2	0,1990	0,6499
	10	0,2433	0,6998
	50	0,6897	0,9676

* Se considera 30 cm de agua que rodea a cada ordenamiento.

5.1.d Ordenamientos inundados

TABLA III

CAPACIDAD Y ORDENAMIENTO	H/U ²³⁵	k _{eff}
50 l 4 x 5 x 1	10	0,7609
100 l 4 x 3 x 1	10	0,8015
200 l 3 x 2 x 1	10	0,7702

5.2 Esfera de polvo de UO_2
 Se calculó el coeficiente de multiplicación efectivo para una esfera de 100 kg de polvo de UO_2 y con una relación de moderación $H/U^{235} = 2$. Se obtuvieron los siguientes resultados:

sin reflector: $k_{\text{eff}} = 0,085$
 con reflector: $k_{\text{eff}} = 0,51$

5.3 Disposiciones de pastillas
 Se evaluaron ordenamientos de pastillas con densidad $10,75 \text{ g/cm}^3$ ubicadas en bandejas separadas verticalmente 2 cm. Las pastillas se distribuyen en forma de cilindros con las generatrices apoyadas en dichas bandejas.

5.3.a Ordenamiento de bandejas
 Se calculó el coeficiente de multiplicación efectivo para 8 bandejas de alto (16 cm de altura) formando una placa infinita en el plano x, y; y con reflector. Se obtuvo:

$k_{\text{eff}} = 0,73$

5.3.b Ordenamiento de bandejas inundadas
 Se evaluaron las siguientes distribuciones sumergidas en agua, con reflector y formando una placa infinita en el plano x, y.

Cantidad	Altura (cm)	k_{eff}
10 bandejas	20	1.02
8 bandejas	16	0.93
5 bandejas	10	0.84

5.4 Disposición de elementos combustibles
 Se evaluaron ordenamientos de elementos combustibles en contacto a través de sus generatrices, formando planos infinitos y con distinta altura. Para inmersión total de los mismos en agua se obtuvieron los siguientes resultados:
 altura igual a 2 EE CC: $k_{\text{eff}} = 1,10$
 altura igual a 1 EE CC: $k_{\text{eff}} = 0,86$

6. LIMITES A APLICAR

6.1 Almacenamiento inicial

6.1.1 Condiciones normales

Si se considera la humedad ambiente como única fuente de hidrógeno, un límite razonable del mismo es 3000 ppm, (relación de moderación $H/U^{235} = 2$). De acuerdo a los resultados de 5.1.a y c, todos los posibles contenedores aislados y su ordenamiento para almacenar 2000 kg de UO_2 en polvo serían seguros en condiciones normales.

6.1.2 Condiciones accidentales

En caso de inundación, de acuerdo al resultado de 5.1.b, es indispensable evitar el ingreso de agua en los contenedores de UO_2 a fin de evitar un accidente de criticidad. Por lo tanto es necesario imponer que todo contenedor de las dimensiones estudiadas sea estanco.

Conforme a los resultados de 5.1.d los ordenamientos reflejados son subcríticos para $H/U^{235} = 10$; en la práctica, conservando la estanquidad de los contenedores, la relación de moderación es inferior a ésta según lo expuesto en el punto 6.1.1, por lo tanto se asume la subcriticidad del sistema.

En caso de ocurrencia de un sismo el efecto sería una modificación en la forma del almacenamiento; pero los ordenamientos considerados en 5.1 son simétricos, por lo tanto constituyen la configuración más reactiva.

6.2 Formación de lotes

Dado que los contenedores utilizados para formar y movilizar lotes de polvo de UO_2 tienen las mismas características que los usados en el almacenamiento inicial, los límites son análogos a las indicados en 6.1.

6.3 Homogeneización

6.3.1 Condiciones normales

Teniendo en cuenta las consideraciones sobre el grado de moderación realizadas en 6.1.1 y de acuerdo a los resultados de 5.2, el tambor del homogeneizador sería seguro.

6.3.2 Condiciones accidentales

Conforme al resultado obtenido en 5.1.b deberá establecerse la estanquidad del tambor del homogeneizador.

6.4 Prensado

5.2 no habría problemas en el manejo del UO_2 en polvo.

De acuerdo a los resultados de 5.3.a se podrían apilar 8 bandejas conteniendo las pastillas.

6.4.2 Condiciones accidentales

En caso de inundación y de acuerdo al resultado de 5.1.b, se deberá exigir mediante un procedimiento administrativo que el tambor con el UO_2 en polvo sea colocado sobreelevado inmediatamente después que haya perdido su estanqueidad.

En cuanto a la disposición de bandejas, conforme a los resultados de 5.3.b, deberá limitarse a un máximo de 5 la cantidad a apilar de las mismas.

6.5 Sinterizado

El horno podrá procesar hasta 5 bandejas apiladas por vez, y conforme a los resultados de 5.3 el sistema sería seguro tanto en condiciones normales como accidentales.

6.6 Rectificado

Dado que se rectifica de a una pastillas por vez, el único límite a fijar es en el recipiente que colecta los residuos líquidos. Si el mismo es cuboidal y con la longitud de uno de sus lados igual al valor de espesor de placa límite, sería seguro aún en condiciones accidentales.

6.7 Llenado de vainas y armado del elemento combustible

El único límite a establecer es que tanto las vainas como los elementos combustibles se ubiquen en cajas no apilables y con una altura máxima igual a la que tendrían 5 bandejas (10 cm). De acuerdo con los resultados de 5.3.b el sistema sería seguro tanto en condiciones normales como en caso de inundación.

En caso de sismo, el efecto sería cambiar la geometría a una más conservativa.

6.8 Almacenamiento final

De acuerdo a los resultados obtenidos en 5.4, si se limita la disposición de los elementos combustibles a un plano infinito y con altura máxima de un EE CC, el almacenamiento sería seguro aún en caso de inundación.

La estructura que los contenga deberá ser de modo tal que resista el sismo base de diseño para evitar el apilamiento de los EE CC en caso de sismo.

6.9 Transportes internos

Para el transporte del UO_2 en polvo es válido lo establecido en 6.1.

Conforme a los resultados de 5.3.b se fija que las estructuras portabandejas alojen hasta un máximo de 5 bandejas y que no sean apilables.

Las cajas para el transporte de vainas y elementos combustibles deberán cumplir con lo establecido en 6.7.

De esta forma los transportes internos serían seguros aún en condiciones accidentales.

7.- CONCLUSIONES

De lo expuesto surge que, observándose los principios básicos de prevención de accidentes de criticidad, puede diseñarse una instalación intrínsecamente segura para todas las operaciones de fabricación de elementos combustibles, excepto para la etapa de alimentación de la prensa, donde se efectuará control operacional o administrativo sin que se comprometa el ritmo de producción de los elementos combustibles.

BIBLIOGRAFIA

- Normas Básicas de Seguridad Radiológica y Nuclear. S.I No.11 (CNEA 1966).
- J.T. Thomas, "Nuclear Safety Guide/TID 7016/Rev.2". NUREG/CR-0095 U.S. Nuclear Regulatory Commission (1978).
- KNIEF, R.A., "Nuclear Criticality Safety. Theory and Practice" ANS-1985.
- PUIT, J.C., SIMONNEAU: "La Sureté criticité dans les usines de retraitement et les ateliers de fabrications d'éléments combustibles". Seminaire sur la surete criticite dans le cycle du combustible. Valdue. 16-18 octobre, 1979.
- K.C. RUSHTON: "The Montecarlo Code MONK. A guide to its use for criticality calculations". SRD-R.86. 1978.UKAEA.
- SHERRIFS, V.S.W: "MONK. A general purpose Montecarlo neutronics program" SRD.R.86.UKAEA.