

GUÍA AR 7

REVISIÓN 0

Diseño de conjuntos críticos

Aprobada por Resolución
ARN N° 21/02



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

República Argentina – 2003

AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR
Av. del Libertador 8250
(C1429BNP) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, ARGENTINA
Tel.: (011) 6323-1356
Fax: (011) 6323-1771/1798
<http://www.arn.gov.ar>

DISEÑO DE CONJUNTOS CRÍTICOS

A. GLOSARIO

1. Barras de Control: Absorbentes neutrónicos, accionados mecánica o hidráulicamente, destinados a introducir variaciones de reactividad en el conjunto crítico. Las barras de control se dividen en barras de seguridad y en barras de regulación.

2. Barras de Seguridad: Barras de control que, ante una señal de actuación al sistema de extinción asociado, se introducen totalmente en el núcleo del conjunto crítico. Las barras de seguridad se clasifican en:

- **Barras de Seguridad Compensadoras:** Barras de seguridad, que pueden estar parcialmente insertadas, se utilizan para compensar el exceso de reactividad con el conjunto crítico en operación.
- **Barras de Seguridad no Compensadoras.** Barras de seguridad, que permanecen totalmente extraídas cuando el conjunto crítico está en operación.

3. Barras de Regulación: Barras de control que compensan pequeñas variaciones de reactividad y no se insertan ante una señal de actuación al correspondiente sistema de extinción.

4.- Canal de Activación: Sistema compuesto por dos o más detectores de una variable física, y otros dispositivos electrónicos, eléctricos y mecánicos que, ante demanda, pueden generar una señal para iniciar la ejecución de una función de seguridad.

5. Conjunto Crítico: Sistema para la multiplicación de neutrones, que puede autosostenerse y controlarse, susceptible de modificación y compuesto de materiales fisionables y de otros materiales empleados en tecnología nuclear. Su potencia máxima de operación no supera los 100 Watt.

6. Combustible: Compuestos o elementos químicos, que contienen materiales físi les, fisionables o fértiles, utilizados en un conjunto crítico con el fin de producir fisiones.

7. Criterio de la Falla Única: Criterio para diseñar un sistema de manera tal que admita la ocurrencia de una falla única en cualquier subsistema o componente del mismo, sin que por ello el sistema deje de prestar la función que le compete.

8. Dispositivo Experimental: Dispositivo instalado en el conjunto crítico, o en torno a él, para utilizar los neutrones u otras radiaciones ionizantes generadas en el conjunto crítico, con fines de investigación, desarrollo, u otros. Incluye los componentes estructurales, las fronteras de encapsulado o confinamiento y los fluidos o sólidos contenidos.

9. Diversidad: Provisión de diferentes medios para lograr el mismo objetivo.

10. Elemento Combustible: Componente del núcleo del conjunto crítico que consta, fundamentalmente, del combustible y de sus materiales de encapsulamiento (vaina).

11. Elemento de Control: Medio utilizado para controlar la reactividad del conjunto crítico de manera prevista. En caso de utilizarse barras de control, su conjunto constituye el elemento de control.

12. Elementos de Importancia para la Seguridad: Son los elementos que comprenden:

- a. Las estructuras, sistemas o componentes cuya falla puede ocasionar una irradiación indebida del personal involucrado o del grupo crítico.
- b. Las estructuras, sistemas y componentes que evitan que los incidentes operacionales lleguen a producir eventuales accidentes.

13. Elementos o Sistemas Relacionados con la Seguridad: Son los elementos o sistemas de importancia para la seguridad que no forman parte de un sistema de seguridad.

14. Eventos Inicianes Postulados: Eventos determinados que originan fallas o secuencias de fallas que puedan concluir en un accidente en una instalación nuclear. Los eventos iniciantes postulados pueden ser fallas de equipos, componentes o estructuras del conjunto crítico, errores humanos, eventos naturales, o eventos externos imputables al hombre.

15. Experimento: El término se aplica a los siguientes casos:

- a. Una actividad que utiliza los neutrones u otras radiaciones generados en el conjunto crítico.
- b. Una evaluación o ensayo de una técnica operacional, o una actividad de vigilancia en el conjunto crítico.
- c. Una actividad experimental o de ensayo que se realiza dentro del confinamiento del conjunto crítico.

16. Experimento Removible en Operación: Todo experimento en el que se utiliza un dispositivo experimental (o componente de un dispositivo experimental) que se mantiene estacionario respecto del núcleo del conjunto crítico, salvo durante las maniobras de carga o descarga, las que podrán realizarse con el conjunto crítico en operación. Se incluye en esta definición el caso de un experimento en el que el tiempo de irradiación sea tan corto que las etapas de carga, irradiación y descarga puedan considerarse como una única operación (por ejemplo algunos sistemas neumáticos).

17. Extinción del Conjunto Crítico: Proceso mediante el cual el núcleo del conjunto crítico es llevado al estado subcrítico, permaneciendo en este estado con un margen suficiente de anti-reactividad durante un intervalo de tiempo apropiado.

18. Factor de Seguridad Asociado a las Barras de Seguridad: Es la relación entre el valor en reactividad de todas las barras de seguridad y el máximo exceso de reactividad del conjunto crítico. Su expresión matemática es:

$$FSR = \frac{\Delta\rho_{\text{barras de seguridad}}}{\rho_{\text{exceso}}}$$

19. Funcionamiento Normal: Operación de una instalación Clase I dentro de los límites y condiciones operacionales especificados, incluidos el estado de parada, el funcionamiento en régimen, la parada, la puesta en marcha, el mantenimiento, las pruebas y, en el caso de conjunto críticos, la recarga de combustible.

20. Incidente Operacional: Proceso operacional que produce una alteración del funcionamiento normal pero que, debido a la existencia de características de diseño apropiadas, no ocasiona daños significativos a los elementos de importancia para la seguridad ni conduce a situaciones accidentales.

21. Límites de Seguridad para un Conjunto Crítico: Valor máximo o mínimo que puede tomar una variable de proceso, sin afectar la seguridad del conjunto crítico

22. Mantenimiento: Actividad organizada de carácter administrativo y técnico consistente en conservar las estructuras, sistemas y componentes del conjunto crítico, en buenas condiciones de funcionamiento, incluyendo los aspectos preventivo y correctivo (o de reparación).

23. Margen de Antirreactividad: Reactividad (con signo cambiado) correspondiente al estado subcrítico del conjunto, con el elemento de control actuado, que expresa la capacidad del elemento de control para extinguir al conjunto crítico. Su expresión matemática es:

$$\Delta\rho_{\text{margen antirreact.}} = -\rho_{\text{elemento de contr. actuado}} = \Delta\rho_{\text{elem. cont.}} - \Delta\rho_{\text{exc.react.inv.}}$$

24. Monitoreo: Conjunto de mediciones e interpretación de los resultados, que se realiza para evaluar la exposición a la radiación.

25. Máximo Exceso de Reactividad: Exceso de reactividad que tendría el conjunto crítico con los experimentos removibles en operación y las demás variables que afectan la reactividad en la condición más reactiva posible. El máximo exceso de reactividad se lo representa por (ρ_{exceso}).

26. Mínimo Margen de Antirreactividad: Valor límite (mínimo) del margen de antirreactividad considerando todas las variables que afectan a la reactividad (dispositivos experimentales removibles en operación, temperatura de los materiales del núcleo, quemado del combustible, concentración de productos de fisión, etc.) en la condición más reactiva.

27. Núcleo: Conjunto de elementos combustibles, moderador, reflector, elementos de control, apoyos y componentes estructurales. Incluye, además, la instrumentación asociada, el refrigerante primario, los dispositivos reguladores del caudal ubicados dentro del conjunto crítico y los dispositivos experimentales.

28. Personal involucrado: Plantel del conjunto crítico nuclear integrado por el personal de operación de esta instalación y por el personal que utiliza al conjunto crítico con fines de experimentación.

29. Programa de Calidad: Programa donde se definen la política de calidad, los objetivos, la planificación, la organización, las responsabilidades, los procesos y aquellas actividades que requieren procedimientos escritos.

30. Reactividad (ρ): Valor de la expresión $(K_{\text{ef}} - 1)/K_{\text{ef}}$. En esta norma se expresa en pcm (partes por cien mil).

31. Reactividad del Elemento de Control ($\Delta\rho_{\text{elem. cont.}}$): Valor en reactividad entre los estados del conjunto crítico sin y con el elemento de control actuado.

32. Redundancia: Provisión de dos o más sistemas -idénticos o diversos- independientes entre sí, cada uno de los cuales puede llevar a cabo una misma función.

33 Seguridad: Logro de las condiciones de funcionamiento normal, garantía de una adecuada prevención de accidentes o mitigación de las eventuales consecuencias asociadas a los mismos y cuyo resultado sea la protección del personal involucrado, del grupo crítico y del ambiente respecto a riesgos radiológicos indebidos.

34. Señal de Actuación: Señal proveniente del sistema de protección que produce la actuación de un sistema de seguridad.

35. Sistema de Calidad: Conjunto de actividades planificadas y desarrolladas para asegurar el nivel de calidad de una instalación o de una práctica.

36. Sistema de Extinción: Sistema que provoca la extinción del reactor. El sistema incluye cada uno de los componentes necesarios para cumplir su función, desde el sensor de la señal de disparo del mecanismo activador hasta el material absorbente de neutrones.

37. Sistema de Protección de un Conjunto Crítico: Equipamiento provisto para actuar directamente en el caso de fallas de la instalación, mala operación o eventos externos, garantizando la seguridad mediante acciones protectivas apropiadas.

38. Sistema de Seguridad de un Conjunto Crítico: Sistema para lograr, en cualquier circunstancia, la parada segura o extinción del conjunto crítico, o para limitar las consecuencias de situaciones operacionales y accidentales postuladas.

39. Situación Operacional: Situación definida como funcionamiento normal o incidente operacional.

40. Tasa Relativa de Potencia: Magnitud definida por la siguiente expresión:

$$\psi_p[\%] = 100 \times \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}$$

41. Umbrales de Disparo: Valores escogidos de las variables del proceso para la actuación del sistema de protección.

B. CONSIDERACIONES GENERALES

B1. Relativas a la Seguridad

42. El objetivo general de seguridad a tener en cuenta en el diseño de un conjunto crítico, es el de proteger a las personas y al ambiente, creando y manteniendo una defensa eficaz que permita minimizar los riesgos radiológicos. En particular:

- a. Garantizar que la operación y la realización de experimentos esté justificada de conformidad con consideraciones de protección radiológica.
- b. Garantizar que, durante las situaciones operacionales, la exposición a las radiaciones ionizantes del personal involucrado y del grupo crítico se mantenga por debajo de los límites prescritos por las normas vigentes y se reduzca al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse.
- c. Garantizar la mitigación de las exposiciones a la radiación causadas por eventuales accidentes postulados.

43. El diseño debería incorporar características de defensa en profundidad de modo que se establezcan múltiples niveles de protección que incluyan barreras sucesivas contra la liberación de materiales radiactivos. En este sentido deberían tenerse en cuenta:

- a. La utilización de márgenes de seguridad adecuados, la ejecución de un programa de calidad y el establecimiento de una cultura de la seguridad.
- b. La utilización de sucesivas barreras físicas para la protección contra la liberación de materiales radiactivos.
- c. La protección de las barreras físicas contra su rotura.
- d. La disposición de medios para garantizar al máximo las funciones básicas de seguridad a fin de:
 - Evitar las desviaciones del funcionamiento normal.
 - Limitar la emisión de efluentes radiactivos al ambiente en cualquier situación operacional.
 - Evitar que incidentes operacionales pudieran conducir a eventuales accidentes.
 - Llevar al conjunto crítico a la situación de parada segura durante todas las situaciones operacionales o en eventuales accidentes.
 - Mitigar las condiciones y consecuencias radiológicas de eventuales accidentes.

44. El diseño debería incluir características específicas para permitir la evacuación segura del personal en caso de emergencia; por ejemplo, salidas de emergencia con iluminación propia o medios autónomos de comunicación e instrumentación de vigilancia radiológica.

B2. Relativas al Diseño Neutrónico del Núcleo

45. El núcleo del conjunto crítico debería diseñarse de modo que, en cualquier situación operacional, se mantengan los valores de las variables de proceso relacionadas con el combustible, dentro del rango indicado por los límites de seguridad.

46. El núcleo del conjunto crítico debería diseñarse de modo que, en eventuales accidentes postulados, se mantengan la integridad del combustible, la de los dispositivos experimentales y la de los componentes de los sistemas de protección y de seguridad.

47. En cualquier situación operacional, el diseño del conjunto crítico debería garantizar que se cumpla que:

- a. La tasa media de inserción de reactividad positiva, asociada a la operación de cualquier elemento de control, sea inferior a 20 pcm/s.
- b. Durante la etapa de arranque del conjunto crítico, la tasa relativa de potencia sea menor al 2,5%.
- c. Durante la etapa de marcha del conjunto crítico, los cambios de potencia se realicen con una tasa relativa de potencia menor al 5%.

48. Todos los componentes del sistema de protección deberían poder ser ensayados funcionalmente.

49. El tiempo máximo de actuación de cualquier canal de activación del sistema de protección, excluyendo al sensor debería ser menor a 60 ms.

50. Los umbrales de disparo deberían establecerse con márgenes adecuados respecto a los límites de seguridad, para evitar que se alcance un límite de seguridad. En el establecimiento de dichos márgenes deberían tenerse en cuenta, por lo menos, los siguientes factores:

- a. Inexactitud de la instrumentación.
- b. Errores de calibración.
- c. Deriva de los instrumentos.
- d. Tiempo de respuesta de los canales de activación.

51. El diseño del sistema de protección debería hacer uso de un grado de redundancia tal que, si fuera físicamente posible, la ocurrencia de cada evento iniciante postulado, seleccionado entre los que figuran en el listado adjunto, pueda detectarse por dos o más canales de activación diferentes.

52. En el caso que uno de los sistemas de extinción esté constituido por barras absorbentes deberían cumplirse las siguientes condiciones:

- a. Tener un FSR > 1.5 aún en la condición de máximo exceso de reactividad.
- b. Existir disparos manuales de este sistema, ubicados adecuadamente en la instalación, para ser utilizados en caso de emergencia.
- c. El mínimo margen de antirreactividad ser mayor que 3000 pcm, para cualquier situación operacional.
- d. El mínimo margen de antirreactividad ser mayor a 1000 pcm, aún cuando la barra de seguridad de mayor valor en reactividad esté totalmente extraída.

53. El diseño del segundo sistema de extinción debería cumplir con las siguientes condiciones:

- a. Activarse en forma simultánea con el primer sistema (o sistema rápido) de extinción.
- b. La reactividad compensada por cualquier dispositivo (de control de la reactividad) en el instante en que se da la señal de actuación a este segundo sistema, siga siendo compensada (por dicho dispositivo) durante todo el tiempo que el segundo sistema esté actuado.

- c. Extinguir al conjunto crítico con un margen de antirreactividad que garantice esta extinción para todas las posibles situaciones operacionales que se desprendan de lo considerado en a) y b).
- d. Existir disparos manuales de este sistema, ubicados adecuadamente en la instalación, para ser utilizados en caso de emergencia.

Además, el diseño del conjunto crítico debería cumplir con el criterio de la falla única.

54. El o los sistemas de extinción rápidos deberían poder extinguir al conjunto crítico con un margen de antirreactividad adecuado. El tiempo de actuación de estos sistemas (para lograr un margen de antirreactividad de 2000 pcm) debería ser inferior a 500 ms.

55. En caso que exista una barra de regulación, el valor en reactividad de la misma no debería superar los 600 pcm.

56. El diseño de conjuntos críticos que utilizan agua como moderador, debería garantizar que los cambios de configuración del núcleo no se puedan realizar con la presencia de dicho moderador.

57. Se debería preservar la vaina del elemento combustible del fenómeno de la corrosión. Para este propósito se debería verificar que:

- a. El refrigerante mantenga una calidad adecuada. Por ejemplo, en el caso de utilizarse agua liviana, el valor de la conductividad sea inferior a 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- b. El pH del refrigerante se mantenga dentro de valores adecuados. Por ejemplo, en el caso de elementos combustibles con vainas de aluminio, los valores límites pueden establecerse en 4,5 y 7,5.

B3. Relativas a Experimentos y Dispositivos Experimentales

58. El diseño debería garantizar que solo se podrá cargar o descargar dispositivos experimentales con el conjunto crítico en estado de extinción.

59. El diseño debería garantizar que en todo experimento, la temperatura en la superficie del dispositivo experimental en contacto con el refrigerante, moderador o reflector sea inferior a la temperatura para el comienzo de la ebullición del líquido.

60. El diseño debería garantizar que todos los dispositivos experimentales que estén en contacto con el refrigerante, moderador o reflector, sean resistentes a la corrosión o estén encapsulados en recipientes resistentes a la corrosión.

61. Los medios de sujeción de los dispositivos experimentales deberían resistir los efectos previstos de las fuerzas hidrodinámicas, neumáticas, hidrostáticas o de otra índole que se ejercen regularmente sobre tales dispositivos durante su funcionamiento, o las fuerzas que puedan producirse como resultado de fallas o eventuales situaciones accidentales previsibles.

B4. Relativas al Almacenamiento de los Elementos Combustibles

62. El diseño debería garantizar que los elementos combustibles irradiados y los dispositivos con combustibles irradiados, sean almacenados en una disposición geométrica tal que quede garantizada la subcriticidad con un margen de antirreactividad de 11 000 pcm y que permita una refrigeración suficiente por convección natural, tal que la temperatura de los mismos sea inferior a la temperatura a la que se produce el comienzo de la ebullición del líquido.

63. El diseño debería garantizar que los elementos combustibles no irradiados del conjunto crítico y los dispositivos con elementos combustibles no irradiados, sean almacenados en una disposición geométrica tal que quede garantizada la subcriticidad, aún en el caso de inundación, con un margen de antirreactividad de al menos 11000 pcm.

C. EVENTOS INICIANTES POSTULADOS

La siguiente es una lista indicativa de eventos iniciantes postulados, en base a la cual debería evaluarse qué eventos iniciantes resultan aplicables al diseño específico y el sitio de emplazamiento del conjunto crítico de que se trate.

C1. Pérdida del Suministro de Energía Eléctrica

- Pérdida del suministro de energía eléctrica normal.

C2. Inserción de Reactividad Positiva

- Excursión crítica durante la aproximación a crítico.
- Fallas en las barras de control o de sus seguidoras.
- Falla en el dispositivo de accionamiento de las barras absorbentes o del sistema de control de la reactividad.
- Fallas en otros dispositivos que afectan la reactividad (moderador, reflector, etc.).
- Fallas o hundimiento de componentes estructurales.
- Insuficiente margen de antirreactividad.
- Expulsión inadvertida de barras de control.
- Errores de mantenimiento en los dispositivos de control de la reactividad.

C3. Manipulación Errónea o Fallas de Equipos o Componentes

- Daño mecánico en el núcleo o en los elementos combustibles (mala manipulación del elemento combustible, caída de materiales pesados sobre el elemento combustible, etc.).
- Criticidad en elementos combustibles en almacenamiento.
- Pérdida o reducción del blindaje adecuado.
- Fallas en dispositivos o componentes de dispositivos experimentales.

C4. Eventos Internos

- Incendios o explosiones internas.
- Inundación interna.
- Fallas en estructuras.
- Mal funcionamiento de dispositivos experimentales en el conjunto crítico.
- Acceso no autorizado a zonas de acceso restringido.

C5. Eventos Externos

- Terremotos (incluso fallas y corrimiento de tierras sísmicamente inducidos).
- Inundación (incluso la rotura de presas aguas arriba, obstrucciones en ríos, etc.).
- Tornados y proyectiles debidos a tornados.
- Huracanes, tempestades y rayos.
- Caídas de aeronaves.
- Incendios.
- Derrame de materiales tóxicos.
- Accidentes de tránsito.
- Influencia de instalaciones adyacentes.

C6. Fallas en la Instrumentación del Sistema de Protección

- Pérdida de la fuente de alimentación de los sensores.
- Saturación de señales.
- Falla en la lógica del sistema de protección.
- Falla de funcionamientos de sensores.

C7. Errores Humanos