

Guía para la Aplicación de la Norma AR 3.1.3 “Criterios Radiológicos Relativos a Accidentes en Reactores Nucleares de Potencia”

Víctor Ibarra

IX Congreso Argentino de Protección Radiológica
Mendoza

Octubre de 2013

Introducción

En Argentina, el riesgo radiológico de una central nuclear debe ser evaluado mediante la aplicación de un APS de nivel 3.

Para obtener una licencia, debe demostrarse que el riesgo radiológico es aceptable.

El criterio está establecido en la Norma AR 3.1.3 dictada por la Autoridad Regulatoria Nuclear de Argentina.

Introducción

- La Norma AR 3.1.3 establece un criterio probabilístico que es **complementario** a la lista de criterios determinísticos “clásicos” que **también** deben cumplirse (ej. AR 3.4.2-9: debe haber al menos dos sistemas de extinción independientes y diversos)
- El análisis debe incluir todas las secuencias accidentales incluyendo los accidentes severos (más allá de la base de diseño)

Introducción

La aplicación práctica de la Norma ha dado lugar a varias dudas que la Autoridad Regulatoria debe responder para poder dar una guía en cuanto a lo que es aceptable desde el punto de vista regulatorio.

La ARN ha trabajado en este tema junto con sus asesores técnicos y con la colaboración de CNEA/NASA

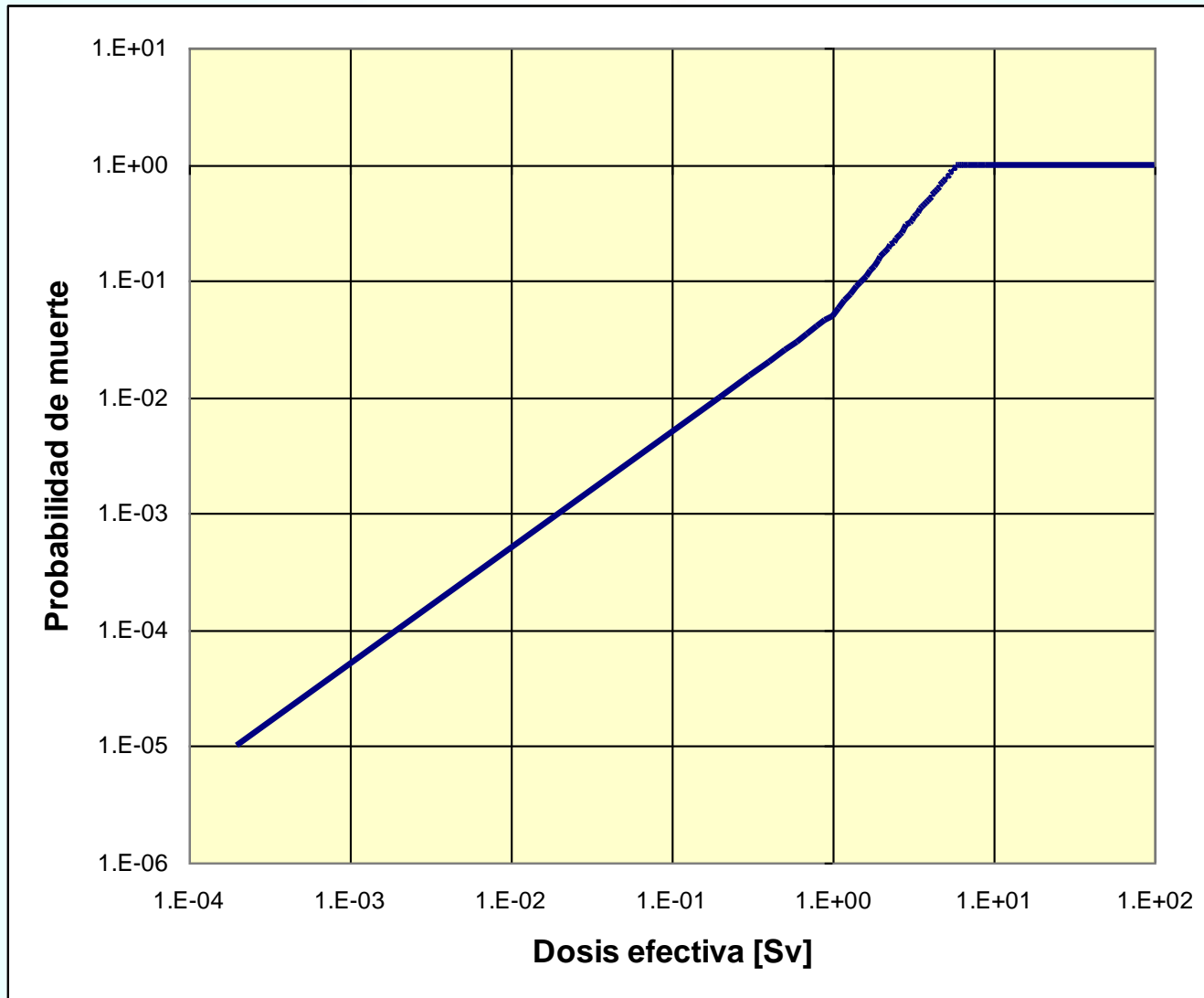
Descripción del Criterio de Aceptación Argentino y sus Fundamentos

Criterio de Aceptación Argentino

- Está basado en la limitación del riesgo radiológico individual relacionado con el sistema de limitación de dosis recomendado por el ICRP para la protección contra las exposiciones normales
- El objetivo es limitar el riesgo individual asociado con exposiciones **potenciales** a valores no mayores que el riesgo individual asociado con exposiciones **normales**

Hipótesis

- El límite anual de dosis efectiva $L_A = 1 \text{ mSv}$
- Argentina ha establecido una restricción anual de 0.3 mSv para cada instalación nuclear (AR 3.1.2)
- Para dosis de hasta 1 Sv el coeficiente para efectos estocásticos es $\alpha \cong 5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ según lo recomendado por el ICPR en 1990
- Entonces, para cada instalación nuclear el riesgo límite es $1.5 \cdot 10^{-5}$
- Se asume que más allá de 6 Sv la probabilidad de muerte es 1



$f(D)$

Criterio de Aceptación Argentino

- La Autoridad Regulatoria ha limitado el riesgo total a un valor $\mathbf{R_T = 10^{-6}}$ por año y por instalación nuclear para el público.
- Nótese que existe un factor de 15 (comparado con el riesgo calculado de $1.5 \cdot 10^{-5}$) como un margen para cubrir incertezas.

Criterio de Aceptación Argentino

- Postulamos que con $N=10$ grupos de secuencias accidentales (con diferentes términos fuente) son suficientes para abarcar todos los accidentes radiológicos concebibles. Por lo tanto, la contribución al riesgo de cada grupo al riesgo total R_T no debería ser mayor que $R_i = 10^{-7}$ por año, para no exceder el valor de R_T

Definición de Riesgo

El riesgo de cada secuencia i se define como:

$$R_i = P_i \cdot f(D_i)$$

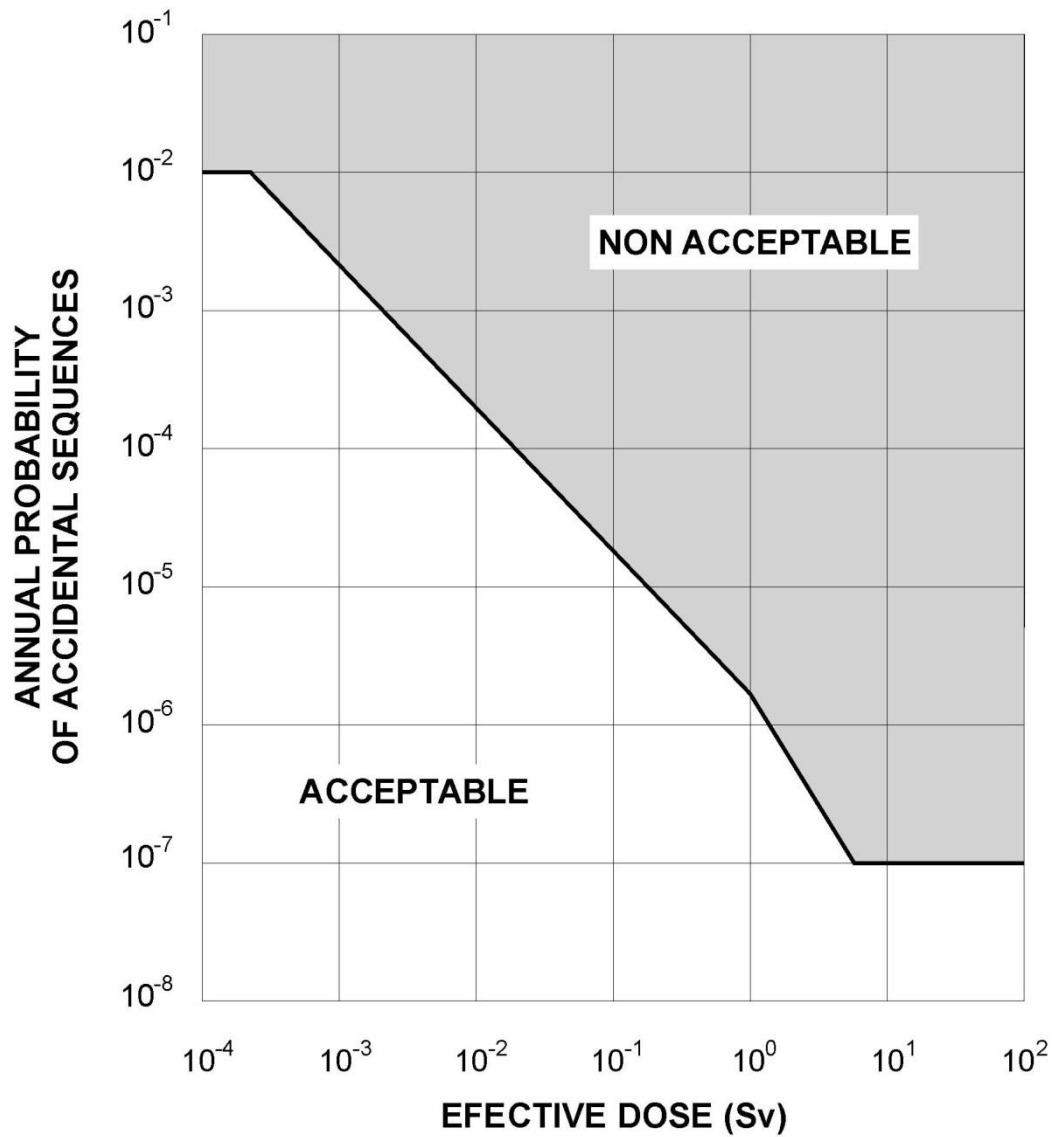
donde:

- P_i es la probabilidad de ocurrencia de la secuencia accidental i
- D_i es la dosis efectiva en el público debida a la secuencia accidental i
- $f(D)$ es la probabilidad de muerte debido a la dosis D

Criterio de Aceptación Argentino

- Finalmente, el criterio establece que todos los valores resultantes de probabilidades y dosis efectivas correspondientes a las secuencias accidentales postuladas deben ser graficados en la siguiente curva criterio:

CRITERION CURVE FOR THE PUBLIC



Criterio de Aceptación Argentino

- Ninguna secuencia accidental debe tener una probabilidad anual de ocurrencia tal que, representada gráficamente de acuerdo con su dosis efectiva, resulte en un punto ubicado en la zona no aceptable de la “curva criterio para el público”

Criterio de Aceptación Argentino

- Acerca del número de secuencias N , si $N < 10$, la situación es conservativa, por lo tanto no hay problema. En caso que $N > 10$, los valores de la escala de ordenadas de la curva criterio deben ser divididos por $N/10$ antes de representar gráficamente los puntos de los accidentes potenciales.

Criterio de Aceptación Argentino

- Para el agrupamiento de las secuencias accidentales, la peor secuencia del grupo (la de mayor dosis) debe tomarse como representativa de todo el grupo, y la correspondiente probabilidad resulta de la suma de las probabilidades de las secuencias del grupo.

Criterio de Aceptación Argentino

- El cálculo de la dosis efectiva debe tener en cuenta las condiciones meteorológicas y su probabilidad de ocurrencia.
- No debe considerar la eventual aplicación de contramedidas que afecten al público después de la liberación de la nube radioactiva.

La Guía

La aplicación práctica

Puntos a Tratar

- Secuencia Accidental Representativa
- Datos Meteorológicos
- Vías de Irradiación
- Tiempos de Irradiación Considerados
- Contramedidas
- Evaluación de Dosis y Riesgo
- Dosis Equivalente en Riesgo
- Incertezas

Secuencia Accidental Representativa

- El cálculo del término fuente resulta del cálculo determinístico de una secuencia accidental.
- Pero cada categoría de liberación que se obtiene en el APS Nivel 2 agrupa a muchas secuencias accidentales.
- Siguiendo el criterio de la Norma, se debería escoger la secuencia con la peor consecuencia, sin embargo, es imposible calcular todas.
- Si la probabilidad anual de ocurrencia de la categoría de liberación es menor que 10^{-7} , no hay impacto al elegir secuencias distintas.

Secuencia Accidental Representativa

- Por lo tanto, se recomienda que para todas las categorías de liberación cuya probabilidad anual de ocurrencia sea mayor que 10^{-7} se analicen al menos los grupos de secuencias de nivel 1 que tengan un aporte mayor al 10% en dicha probabilidad.
- De todas las analizadas, se tomará la peor como la secuencia accidental representativa.

Datos Meteorológicos

- El cálculo de las dosis en el público es fuertemente dependiente de las condiciones meteorológicas durante y después del accidente.
- Para una buena representación de todas las posibles condiciones meteorológicas y de su probabilidad de ocurrencia, se recomienda tomar los datos de un año con una frecuencia de muestreo de una por hora (8760 muestras)

Vías de Irradiación

- A los efectos del cálculo de dosis se tendrá en cuenta solamente el término fuente (nube radioactiva) liberado al ambiente como consecuencia del accidente, por lo tanto, el público está sometido a irradiaciones y contaminación proveniente de dichos radionucleidos.

Vías de Irradiación

- Exposición externa por inmersión en la nube radioactiva (cloudshine)
- Exposición externa debida al depósito de radionucleidos en el suelo (groundshine)
- Contaminación interna debida a la inhalación de aire contaminado

Tiempo de Irradiación

Se consideran dos regiones diferentes:

- La gente ubicada hasta 10 km desde la central permanecerá en el sitio 24 h a partir de la declaración de la emergencia.
- La gente ubicada más allá de 10 km desde la central permanecerá en el sitio 24 h a partir del arribo de la nube radioactiva.

Tiempo de Irradiación

El tiempo de integración debe considerar:

- El tiempo que dure el pasaje de la nube radioactiva para la dosis por inmersión
- El período de permanencia para la irradiación por depósito en el suelo
- La dosis comprometida para la contaminación interna por inhalación

Contramedidas

- El criterio debe cumplirse sin considerar la aplicación de contramedidas después de la liberación radioactiva.
- La hipótesis es entonces que la gente continuará con sus actividades normales durante todo el tiempo de permanencia en el sitio.
- Por supuesto, las contramedidas deben ser consideradas en los planes de emergencia y eventualmente serán aplicadas, pero no cuantificadas en el estudio de APS.

Cálculo de Dosis

El cálculo de la dosis efectiva individual depende de:

- El término fuente de cada categoría de liberación (es el resultado del APS Nivel 2) (n)
- Posición de la persona respecto de la central (distancia y posición angular) (k)
- Condiciones meteorológicas (i)

Estimación del Riesgo

- Dado una cierta categoría de liberación n y una persona, ubicada en una posición definida k , es posible estimar el riesgo teniendo en cuenta las diferentes condiciones climáticas i

$$R_{n,k,i} = P(CL_n) \cdot P(CM_i) \cdot f(D_{n,k,i})$$

$$R_{n,k} = \sum R_{n,k,i}$$

$$R_{n,k} = P(CL_n) \cdot \sum P(CM_i) \cdot f(D_{n,k,i})$$

Estimación del Riesgo

$$\sum P(\text{CM}_i) = 1$$

Si todas las condiciones meteorológicas son igualmente probables, y hay Z casos (por ej. $Z = 8760$ para un caso por hora por un año) entonces tenemos:

$$P(\text{CM}_i) = 1 / Z$$

$$R_{n,k} = P(\text{CL}_n) \cdot \sum_i f(D_{n,k,i}) / Z$$

Dosis Equivalente en Riesgo

- Evaluando el conjunto de valores $R_{n,k}$ se puede identificar la posición donde se encuentra la persona de mayor riesgo para cada categoría de liberación n y entonces el mayor de estos riesgos $R_{n,MAX}$ es el que tomamos para calcular la dosis.
- Entonces, la “dosis equivalente en riesgo” para la categoría de liberación n $D_{n,EQR}$ es la dosis tal que:

$$f(D_{n,EQR}) = R_{n,MAX} / P(CL_n)$$

Incertezas

- Incertezas Paramétricas
- Incertezas de Modelado
- Incertezas Dosimétricas

Incertezas

- Se requerirá una estimación de incertezas paramétricas.
- Estas incertezas se expresarán a través de la función distribución de probabilidad acumulada de la probabilidad de cada secuencia accidental.
- Los parámetros a ser considerados son los eventos iniciantes, los parámetros de confiabilidad de los eventos básicos en los árboles de fallas para el APS Nivel 1 y las probabilidades estimadas en el árbol de eventos de la contención para el APS Nivel 2.
- No se va a imponer ningún criterio de aceptación sobre el resultado de esta estimación de incertezas.

Incertezas

- Este procedimiento permitirá además obtener la mejor estimación de la probabilidad anual de ocurrencia de cada categoría de liberación como el promedio de todos los valores resultantes del muestreo, que entonces será el valor a usar en la demostración del cumplimiento del criterio.

Agradecimientos

Este trabajo se basó en:

- un trabajo previo realizado por H. Bruno, C. Chiossi y E. Felizia de la ARN
- el trabajo de revisión y prueba de la Norma realizado por N. Bixler del SNL
- las pruebas y el trabajo para definir el criterio basado en riesgo realizado por M. Giménez y M. Caputo de la CNEA

Gracias