

CUANTIFICACION DEL RIESGO DEBIDO A ACCIDENTES EN CENTRALES NUCLEARES

SEGURIDAD

Fernando LEGARDA IBAÑEZ

La valoración de riesgos constituye una de las muchas áreas que la ingeniería debe estudiar para conseguir que la tecnología proporcione sistemas capaces de mejorar las condiciones de vida del hombre, satisfaciendo sus necesidades y evitando que el propio sistema constituya una amenaza para su seguridad.

En el presente trabajo se expondrá una metodología para la cuantificación del peligro que, para la seguridad de la población, supone uno de los muchos sistemas creados por el hombre, la Central Nuclear, destinado a satisfacer una necesidad de primer orden, el suministro de energía.

INTRODUCCION

El peligro que supone el funcionamiento de una central nuclear proviene de la elevada magnitud del inventario de material radiactivo contenido en el núcleo del reactor, el cual ocasiona, durante la operación normal de la central, una aportación al medio ambiente de sustancias radiactivas.

Ahora bien, la cuantía de esta aportación es de una magnitud tal que su presencia es prácticamente indetectable, y es por esta razón por la que se considera que la operación normal de una central nuclear, desde el punto de vista radiológico, no tiene influencia apreciable sobre el medio ambiente y en consecuencia no supone una situación de peligro para la población.

Esta aportación de sustancias radiactivas al medio ambiente podrá verse incrementada en diversos grados como consecuencia de determinadas situaciones anormales en la operación de la central.

De todas éstas, como ponen de manifiesto los cálculos (1) y el análisis del accidente ocurrido en la Central de Three Mile Island (2), únicamente aquellas situaciones en las que se producen fallos «imposibles», los denominados accidentes de clase nueve, pueden suponer un peligro para la salud del público, y es a las situaciones originadas por éstos a las que se refiere este trabajo.

Para cuantificar el peligro que supone la operación de una central nuclear se viene utilizando una cuantificación de la definición de riesgo (contingencia o proximidad de un daño) mediante los denominados riesgo social y riesgo individual (1, 3, 4).

El primero hace referencia al valor esperado del ritmo de daño a que se encuentra sometida la sociedad, y se determina por suma del producto de la probabilidad, por unidad de tiempo, de accidente, por las correspondientes consecuencias, extendiendo la suma a todo el espectro de posibles accidentes.

El segundo hace referencia a la probabilidad, por unidad de tiempo/individuo sufra un determinado daño como consecuencia de un accidente, y se determina por cociente entre el riesgo social y la población potencialmente afectada, la cual se define como la contenida en un círculo en torno a la central, cuyo radio es función del efecto sobre la salud que se considere y que se fija a la luz de los resultados de los cálculos de consecuencias.

En relación con esta definición cuantitativa del riesgo individual, debe notarse que adolece de una falta de representatividad por cuanto que promedia la probabilidad de sufrir las consecuencias de un accidente entre todos los individuos que integran el conjunto potencialmente afectado y porque no tiene en cuenta el factor distancia a la central, que puede influir decisivamente sobre el riesgo.

Con el ánimo de incluir ambas dependencias se ha desarrollado una metodología de valoración de riesgos (5), cuyos aspectos principales se exponen en el presente trabajo.

RIESGO INDIVIDUAL Y SOCIAL

Tras el establecimiento de los medios que se utilizan para cuantificar el riesgo es preciso preguntarse sobre cuál es el objetivo que se persigue con tal cuantificación.

La respuesta se encuentra en el precepto legal y ético que obliga a garantizar la salud y la seguridad del público.

Ahora bien, la siguiente cuestión a formular es si con los medios empleados en la cuantificación puede garantizarse el cumplimiento del precepto.

La respuesta debe ser afirmativa si se habla en términos de valores medios, pero negativa si se habla en otros términos, ya que existe una diferencia, que puede ser muy importante, en el riesgo a que se encuentran sometidos los habitantes del entorno de la central como consecuencia de su posición respecto a la misma.

Por esto, la garantía del cumplimiento del citado precepto pasa necesariamente por el establecimiento de una metodología para la determinación del riesgo que tenga en cuenta el ser humano como individuo y no como parte de una colectividad.

Para alcanzar este objetivo, basta considerar que en un punto genérico, del entorno de la central, en el que se considere determinar el riesgo a que se encontraría sometido quien allí residiera, existe, de forma permanente, un individuo y trata de evaluar la probabilidad de que sufra cada una de las posibles consecuencias de un accidente.

De esta forma, puede determinarse el riesgo que gravita sobre cada individuo y, mediante el adecuado criterio de aceptabilidad de riesgos, puede conocerse si algún conjunto de habitantes se encuentra sometido a un riesgo excesivo, lo cual permitirá si la seguridad del

Fernando LEGARDA es Doctor Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Bilbao y es Profesor de la Cátedra de Física Nuclear.

público se encuentra suficientemente garantizada.

Ahora bien, si la seguridad de cada persona se encuentra suficientemente garantizada, se hace innecesaria la determinación del riesgo social por cuanto que este valor permitiría definir si la seguridad de la sociedad se encuentra suficientemente garantizada, lo cual es una consecuencia lógica de la garantía de seguridad individual.

La consideración del riesgo, desde una perspectiva individualista, además de reflejar el riesgo real asociado a cada punto del entorno de la central, con la exactitud que permita el conocimiento sobre los procesos que pueden tener lugar en un accidente, posee dos propiedades importantes.

La primera de ellas es su independencia de la distribución demográfica en el entorno de la central, ya que la determinación del riesgo se efectúa bajo la hipótesis de existencia, de forma permanente, de un individuo en cada punto del entorno.

Esta propiedad, junto con el adecuado criterio de aceptabilidad, permite definir el entorno de la central en el que el riesgo es inaceptable y, en consecuencia, dependiendo de que en este entorno exista, o no, población, definir el emplazamiento de la central como inaceptable o aceptable.

La segunda propiedad se refiere a la comparación de emplazamientos.

Para efectuar la comparación es necesario establecer un conjunto de intervalos de riesgo, a partir de máximo admisible y en sentido decreciente, y delimitar las zonas en torno a la central que se encuentran sometidas a cada uno de los citados intervalos. Superponiendo, a la división en zonas de los posibles entornos, las correspondientes distribuciones demográficas se obtendrán los valores absolutos de población contenidos en cada zona, y será mejor aquel emplazamiento que menor población contenga en la zona de mayor riesgo.

CUANTIFICACION DEL RIESGO INDIVIDUAL

La causa básica de un accidente es la alteración del equilibrio térmico existente en el reactor, lo cual puede ser motivado por una pérdida de refrigerante o un transitorio que incremente en sentido positivo la generación de calor, reduzca la capacidad de refrigeración o provoque una combinación de ambas. No obstante, toda central cuenta con los sistemas necesarios para hacer frente a

las alteraciones citadas, por lo que debe producirse el fallo de al menos uno de estos sistemas para que pueda tener lugar el accidente.

El análisis de las posibles secuencias de accidente comienza por la identificación de los sucesos iniciadores o sucesos que alteran el equilibrio térmico en el reactor, y continúa postulando todas las posibles combinaciones de fallos en los sistemas de seguridad, incluidos aquellos cuya misión es mitigar las consecuencias del accidente, lo cual dará lugar a un conjunto de secuencias, algunas de las cuales pueden causar la fusión del núcleo del reactor.

En cada una de estas secuencias se tendrá una evolución de las condiciones de presión, temperatura, composición química, etc., existentes en el interior de la estructura de contención que ocasionarán unas acciones sobre la misma, en función de las cuales se analizará su forma de fallo.

Este análisis permitirá obtener un subconjunto, del conjunto de secuencias que dan lugar a la fusión del núcleo, que ocasionarán el fallo de la citada estructura, lo que provocará un conjunto de liberaciones de radionucleidos al medio ambiente, las cuales pueden agruparse en clases de equivalencia denominadas categorías de liberación.

Cada una de estas categorías, C_1 , poseerá unas características y una probabilidad por unidad de tiempo, P_1 , de producirse (1, 4).

Es necesario aclarar que no se tiene en cuenta la incertidumbre existente en la determinación de las características y las probabilidades porque no tiene influencia alguna sobre la forma de la expresión que cuantifica el riesgo, aún cuando la tiene sobre los resultados numéricos, y el objetivo que se persigue es la obtención de la expresión.

Una vez que el fallo de la estructura de contención tenga lugar se producirá una emisión de sustancias gaseosas, aerosoles y partículas, conteniendo radionucleidos que se denomina «nube radiactiva» o simplemente «nube».

Esta nube se verá sometida a las condiciones meteorológicas reinantes, que influirán en su dispersión en la atmósfera, a la vez que por acción del viento provocarán un movimiento de arrastre de la misma que definirá las zonas sometidas a su influjo.

Ahora bien, esta influencia estará determinada por el conjunto de parámetros atmosféricos: vector velocidad del viento, estabilidad atmosférica, altura de la capa de mezcla y pluviometría; las características de la nube y las caracte-

rísticas orográficas del terreno por el que se desplaza.

Sin embargo, la consideración del conjunto completo de parámetros, con el fin de obtener la evolución de la nube en cualquier circunstancia, es un problema extraordinariamente complejo, por lo que usualmente se recurre a simplificaciones, y en este trabajo se recurrirá a ellas, que permiten resolver el problema con una fiabilidad razonable.

Tales simplificaciones son: no considerar la orografía del terreno ni la variación en el tiempo de la dirección del vector velocidad del viento. Aún así, el tratamiento del problema es complejo por cuanto que el módulo y la dirección del vector velocidad del viento son funciones complicadas del tiempo, por lo que se recurre a una discretización de ambos parámetros, lo que resulta en sendos conjuntos de direcciones, D_k , y velocidades, V_j , del viento.

No obstante, la importancia de estos parámetros, la forma que adquiere la nube, y, en consecuencia, su cobertura espacial, está definida por las condiciones de estabilidad atmosférica (6), las cuales se discretizarán de acuerdo con la clasificación de Pasquill (7), dando lugar a un conjunto de condiciones de estabilidad S_s .

La conjunción de estos parámetros no presenta excesivas complicaciones, máxime si se utiliza el método de trabajo denominado de meteorología constante, que es el que se empleará en este trabajo.

Este método determina la evolución de la nube, suponiendo que no se alteran las condiciones meteorológicas que existían cuando comenzó a generarse la nube; es decir, se ve sometida constantemente a la influencia del elemento del conjunto producto cartesiano de los conjuntos de direcciones, velocidades y estabildades que reinaba en el momento de su generación.

$$\{D_k\} \times \{V_j\} \times \{S_s\} = \{kjs\}$$

Una vez definidos los valores discretos de los parámetros meteorológicos que influirán sobre la dispersión es necesario determinar la probabilidad de todas las posibles combinaciones que pueden hacerse con ellos, lo cual se efectúa de forma experimental mediante observaciones realizadas en el emplazamiento, determinado, la probabilidad, P_k , de cada una de las direcciones del viento y de cada combinación velocidad-estabilidad en cada dirección $P_{js/k}$.

Para cada combinación velocidad-estabilidad se tendrá una determinada forma de dispersión, lo cual originará

una nube con una cierta evolución de la concentración de radionucleidos y un nivel de contaminación del terreno, siendo el tiempo de paso de dicha nube por un punto situado en su dirección de propagación, aproximadamente al tiempo que tardó en completarse la liberación de radionucleidos.

En consecuencia, cada nivel de contaminación y concentración en cada dirección será debido a cada elemento del conjunto $\{kjs\}$.

Hasta este momento no han sido tenidas en cuenta las cantidades de radionucleidos que serán liberadas en cada categoría y su consideración multiplicará por el número de categorías el número de nubes que pueden tenerse, entendiendo por tal el número de elementos del conjunto producto cartesiano:

$$\{C_i\} \times \{kjs\} = \{ikjs\}$$

Queda por último, considerar la relación entre la contaminación producida por el paso de la nube, la concentración en la misma, su tiempo de paso y las personas sometidas a su influjo.

Para ello se considerarán las dosis recibidas por los diferentes caminos de exposición: irradiación directa desde la nube, inhalación de radionucleidos durante su paso, irradiación desde superficies contaminadas, ingestión de alimentos contaminados e inhalación de radionucleidos resuspendidos, lo cual permitirá obtener las dosis, $R(\rho, \theta_k)$, en función de la posición (ρ, θ_k) respecto a un eje polar que tenga su origen en el punto de emisión y esté orientado en la dirección D_k del vector velocidad del viento, para cada elemento del conjunto producto cartesiano de los conjuntos de categorías, velocidades y estabildades:

$$\{C_i\} \times \{V_j\} \times \{S_s\} = \{ijjs\}$$

Esta función R , cuando el entorno de la central está constituido por terreno liso, es, por simetría, independiente de la dirección en que se oriente el eje polar, permitiendo, por tanto, definir una función de dosis R_a , siendo $\{a\} = \{ijjs\}$, que será aplicable a cualquier dirección, D_k ; del vector velocidad del viento.

La dosis, que será una función creciente del tiempo, dará lugar a tres tipos de efectos sobre la salud: muerte, lesión y efectos genéticos, que se designan genéricamente con el subíndice «e» y puede determinarse en función $P_e(R)$, que

expresa la probabilidad de sufrir el efecto «e» al recibir la dosis R .

Por tanto, la probabilidad de sufrir el efecto «e» en la situación general «a» y en el punto de coordenadas (ρ, θ_k) será $P_{eijjs}(\rho, \theta_k)$.

Ahora bien, la probabilidad de sufrir el efecto «e» en el punto de coordenadas (x, y) tomadas respecto a un sistema de referencia único que se define para efectuar la valoración de riesgos, por ejemplo, semieje X positivo coincidente con la dirección Norte y semieje Y positivo coincidente con la dirección Este, vendrá dada por la suma de la probabilidad asociada a cada elemento del conjunto $i k j s$, lo cual puede expresarse por la ecuación:

$$P_e(x, y) = \sum_k P_k \left[\sum_j \sum_s [P_{js/k} \cdot \sum_i P_i \cdot P_{eijjs}(\rho, \theta_k)] \right]$$

que constituye la definición cuantitativa del riesgo individual en el punto de coordenadas (x, y) .

Supóngase, ahora, un punto próximo a la central. En él, debido a los elevados valores de concentración de radionucleidos en la nube y de contaminación del terreno en cualquier situación meteorológica, la probabilidad de sufrir cualquier efecto que se considere será la unidad; es decir, $P_{eijjs}(\rho, \theta_k) = 1$ para todo valor de k , tal que la superficie cubierta por la nube en su dispersión contenga al punto y $P_{eijjs}(\rho, \theta_k) = 0$ para los restantes valores de k .

En consecuencia, la expresión del riesgo individual en tal punto será:

$$P_e(x, y) = \sum_k P_k \left[\sum_j \sum_s [P_{js/k} \cdot \sum_i P_i] \right] \\ = \sum_i P_i \cdot \sum_k P_k \left[\sum_j \sum_s P_{js/k} \right] = \sum_i P_i \cdot \sum_k P_k$$

extendiendo $\sum_k P_k$ a todas aquellas direcciones en que $P_{eijjs}(\rho, \theta_k) \neq 0$.

Mediante esta expresión es posible evaluar el valor del riesgo máximo, inducido por la central en su entorno, en función de la dirección sin necesidad de los complejos cálculos de dispersión, irradiación y efectos inducidos, lo cual supone una notable economía de cálculo.

Ahora bien, si la función de riesgo máximo obtenida no supera el valor del máximo riesgo admisible, es innecesaria

la búsqueda de una mayor precisión, simplificando así notablemente el análisis de aceptabilidad de emplazamientos, ya que ningún individuo se encontraría sometido a un riesgo excesivo.

Así si el máximo riesgo individual admisible es P y la Central, considerada como conjunto, tiene una probabilidad de accidente $P_a = \sum_i P_i$, un emplazamiento sería aceptable si:

$$\sum_k P_k < \frac{P}{P_a}$$

es decir, si ningún punto del entorno de la central tiene una probabilidad de verse afectado por la nube mayor que P/P_a .

Los análisis de consecuencias son necesarios, sin embargo, desde el punto de vista de la previsión de dosis en condiciones de accidente, lo cual constituye una de las facetas de la adecuada protección al público, ya que permiten determinar dónde y cuándo deben adoptarse mediante extraordinarias destinadas a evitar la irradiación del público.

BIBLIOGRAFIA

1. U.S. Nuclear Regulatory Commission - Reactor Safety Study: **An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants** (WASH-1400). Octubre 1975.
2. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Environmental Protection Agency, Department of Health: **Education and Welfare-Population Dose and Health Impact of the Accident at the Three Mile Island Nuclear Station**. Mayo 1979.
3. U.S. Nuclear Regulatory Commission - **Safety Goals for Nuclear Power Plants: a Discussion Paper** (NUREG-0880). Febrero 1982.
4. Commonwealth Edison - **Zion Probabilistic Safety Study**. Febrero 1982.
5. Legarda, F. **Tesis Doctoral**. ESII. Bilbao, 1982.
6. U.S. Atomic Energy Commission - **Meteorology and Atomic Energy** (TID-24190), 1968.
7. Pasquill, F. **Atmospheric Diffusion**. Van Nostrand, New York, 1962.



JUNTA GENERAL DE ACCIONISTAS DE HIDROELECTRICA ESPAÑOLA

*Celebrada en Madrid el 30 de mayo de 1984, bajo la Presidencia de
don José María de Oriol y Urquijo, Marqués de la Casa Oriol*

Datos 1983

- Entrada en servicio del segundo grupo C. N. Almaraz.
 - Establecimiento productivo bruto: 594.085 millones pts. (*).
 - Fondos propios: 485.462 millones pts. (*).
 - Valor contable acción: 311 % (*).
 - Del beneficio, 18.484 millones pts., dividendo de 40 pts. líquidas/ac-
ción y 3.750 millones pts. a remanente.
- (*) Incluida Actualización L. Presupuestos 1983.

DEL INFORME DEL PRESIDENTE, MARQUES DE CASA ORIOL

● Hidroeléctrica Española ha procurado seguir, en sus ya 77 años de vida, determinados procedimientos y normas que la han permitido ir superando interrogantes e incidencias de los más variados signos. Con unas ideas claras y sencillas como son el esfuerzo, la continuidad y la iniciativa creadora, nació y se desarrolló nuestra Sociedad, creyendo que sobre estas bases estamos en la posibilidad de continuar no sólo su marcha hacia adelante sino de prever un futuro francamente alentador.

Cuando se analiza la situación de la Hidroeléctrica Española, tanto por las propias empresas del sector como por la Administración o por las auditorías que han examinado nuestras cuentas, nos encontramos con que todos reconocen que somos una Sociedad en todo sentido equilibrada.

● Dentro del Protocolo de Acuerdo con el Gobierno, firmado en mayo de 1983, y al objeto de asegurar la optimización de la producción, figuraba la creación de una entidad que tuviese la propiedad de los tramos de la Red de Alta Tensión necesarios para dicha optimización. Se ha llegado a un acuerdo en las instalaciones a transferir, así como en su valoración y forma de pago, consistente para las empresas privadas en una participación del 49 % del capital de la Sociedad Mixta detentadora de las instalaciones y en la entrega de títulos de Deuda con tipos de interés y plazos de amortización que consideramos aceptables.

● En la revisión del PEN se adoptan, según han declarado las autoridades competentes, unas medidas instrumentales que tienen en cuenta, entre otras circunstancias, la existencia de una sobrecapacidad en todos los sectores energéticos en España. Y por lo que se refiere al sector eléctrico se llega así a la justificación actual de la reducción de cinco grupos nucleares de los que hoy en día se encuentran en construcción: Lemóniz I y II, Valdecaballeros I y II y Trillo II. por lo que a la C. N. de Valdecaballeros, I y II, nos afecta, queremos recordar las palabras del Sr. Ministro de Industria y Energía en su comparecencia ante el Senado: «Han quedado en una situación de moratoria, no se han cancelado ninguno de estos proyectos, sino que se han detenido..., estableciéndose una reserva del aumento de la recaudación para amortizar y pagar los intereses intercalarios de las obras que quedaban en paralización».

Lo que Hidroeléctrica Española planteó en 1970-72 con la construcción de las centrales nucleares de Almaraz, en colaboración con Unión Eléctrica Fenosa y Sevillana, Cofrentes y Valdecaballeros, junto con Sevilla, no era sino una reconversión industrial anticipada en servicio de los intereses generales de la Nación y de los particulares de nuestra Sociedad, y que habrá de recoger los frutos de haber invertido en momentos de dificultad y riesgo. Teníamos que tomar este camino en el año en que lo emprendimos, porque las instalaciones de energía hay que programarlas a largo plazo, 10 a 12 años, y es por este largo plazo de duración por el que podemos decir que la inversión material en una central nuclear en España es el 50 % de la inversión total, el otro 50 % restante se produce por los intereses intercalarios y por las actualizaciones sucesivas. De aquí, los perjuicios y daños que representa una parada. Pero, en definitiva, quienes tienen la responsabilidad del Gobierno son los

que nos fijan estos caminos y los que, hay que reconocerlo, afirman que las consecuencias financieras de estos retrasos tendrán su compensación de acuerdo con lo que se dice en el Protocolo que en su día firmamos.

● Dentro de las orientaciones establecidas para el reajuste económico del sector eléctrico, se habla del traspaso de activos, que pueden ser de producción o de mercado, y se habla asimismo, de compensaciones económicas entre las empresas, aspecto éste que puede entrañar consecuencias de gran importancia. No creo que se trate de poner a todas las empresas en las mismas condiciones económicas, sino que se ha de permitir e impulsar que cada cual marche con arreglo a las normas generales de una libertad de empresa, con administración sujeta a la técnica y conocimientos que cada una entienda que debe aplicar.

● Al finalizar 1983, el número de nuestros abonados ascendía a 3.586.000, siendo el incremento de la energía facturada en 1983 con respecto a la de 1982, del 7,3 %.

El favorable efecto de la disposición de la energía térmica de carbón de Cía. Eléctrica de Langreo y de la nuclear de la Central de Almaraz, se aprecia en la menor producción térmica de fuel-oil en 1983, 7.612 millones de KWh, frente a 10.945 y 9.083 millones de KWh en 1981 y 1982, respectivamente. En este sentido, la próxima entrada en servicio de la C. N. de Cofrentes multiplicará este favorable impacto.

● La C. N. de Cofrentes se encuentra completamente terminada, estando a la espera del cumplimiento de los pertinentes trámites administrativos, para poder cargar el combustible y empezar su producción a los dos meses de autorización de la carga.

En 1983 se ha conectado a la red el II Grupo de la C. N. de Almaraz, y asimismo, se ha podido disponer del 100 % de la potencia del Grupo I una vez efectuada la modificación de sus generadores de vapor.

● Las recientes disposiciones del Ministerio de Industria y Energía, R. D. 774/84, de 18 de abril, y O. M. de 26-4-84, sobre aumento de tarifas eléctricas, contienen la exigencia de unos condicionantes que, para las empresas que llevamos un largo período de elevada inversión y con los actuales niveles de cotización bursátil, suponen la obligación de bajar el dividendo con cargo al ejercicio 1983 del 10 % al 8 % neto. No es una decisión agradable, pero deseo concretar que de los beneficios de 1983, llevaremos a remanente 3.750 millones de pesetas, importe integrable en la cuenta de Pérdidas y Ganancias de 1984. Si a esto sumamos la economía del fuel, el mejor año hidráulico, la puesta en marcha completa de Almaraz, y dentro de poco la entrada en servicio de Cofrentes, comprenderán Vds. que espero con gran confianza la evolución futura de Hidroeléctrica Española.

● Deseo pedir su solidaridad, para que todos juntos formemos esa pila compacta que debe ser la Sociedad, para de esta forma conseguir el objetivo final de una Hidroeléctrica Española sana, fuerte, eficaz, gracias a los señores accionistas y a cuantos trabajan y colaboran con nosotros.