

### Análisis de Accidentes en el LPR

F. KAUFMANN

TECHINT S.A.

L.I. BOUTET

CNEA

Para el licenciamiento del LPR la gerencia de Desarrollo de la Dirección de Investigaciones encargo la elaboración del Informe de Seguridad correspondiente. Uno de los múltiples aspectos que comprende este Informe de Seguridad es el análisis de los posibles accidentes que pudieran ocurrir en esta instalación describiendo sus causas, las previsiones que se tomaron para evitarlos, las emisiones de materiales radioactivos que pudieran resultar y sus consecuencias radiológicas a las poblaciones vecinas.

Para que la instalación sea licenciable debe cumplir con la Norma 3.1.3 del CALIN que reglamenta dentro de que límites los riesgos de accidentes son aceptables o no. La figura N° 1 tomada de dicha norma define éstos límites.

Los accidentes se definen como ocurrencias no planeadas que pueden resultar en la emisión de cantidades significativas de materiales radioactivos al medio ambiente. Para que la emisión sea considerada significativa la dosis equivalente efectiva producida en el grupo crítico deberá ser mayor de  $10^{-2}$  rem. Emisiones que producen dosis menores no se deben catalogar como accidentes sino como incidentes menores.

Como primera medida se procedió a listar los posibles accidentes que pudiera dar lugar a emisiones significativas al medio ambiente.

En este listado se incluyeron eventos que han sido históricamente incluidos en análisis de accidentes de otras plantas de reprocesamiento aunque la evaluación de sus consecuencias en el caso del LPR demostró que en nuestro caso no merecían ser considerados como tales. Se identificaron así 13 de estos accidentes concebibles que están listados en la tabla N°1.

Para la evaluación de estos accidentes se empleó el método determinístico o el método probabilístico de acuerdo a la facilidad con que éstos métodos se adaptan al tratamiento de cada caso.

En un caso (efecto del impacto de la caída de un avión) resulta más fácil aplicar el método probabilístico para determinar que la probabilidad de ocurrencia de este accidente es menor de  $10^{-7}$  por año para poder descartar así sus consecuencias.

En 11 casos se recurrió al método determinístico suponiendo que el accidente ocurre y calculando las emisiones al medio ambiente en cada caso y las dosis resultantes al grupo crítico, suponiendo siempre las condiciones más desfavorables para su ocurrencia.

En otros dos casos (falta del sistema de refrigeración del tanque de almacenamiento de residuos de alta actividad e inundación) se demostró que aunque ocurran, no pueden producir emisiones de materiales radioactivos al medio ambiente y por lo tanto no deben ser considerados como accidentes.

Los resultados de esta evaluación se indican en la tabla N°1. Se puede apreciar que solo 4 accidentes pueden producir dosis al grupo crítico superiores a  $10^{-2}$  rem. Siete quedan descartadas por producir dosis tan pequeñas que pasan a la categoría de incidentes menores, uno se descarta por tener una probabilidad de ocurrencia menor de  $10^{-7}$  y dos por no conducir a ninguna liberación de material radioactivo.

Trasladados los resultados de la tabla precedente a la figura N°1 tomada de la Norma CALIN 3.1.3 resulta que para que los 4 accidentes recientes caigan dentro de la zona de riesgo aceptable para la norma, deberán presentar una probabilidad de ocurrencia menor de  $3 \times 10^{-3}$  para los dos accidentes de criticalidad y menor de  $10^{-2}$  para los accidentes de incendio de la resina de intercambio iónico de plutonio y explosión de hidrógeno en los tanques de almacenamiento de plutonio.

A continuación se analizan en más detalle estos cuatro casos.

### Accidente de Criticalidad en el Area de Tratamiento Final del Plutonio

La purificación y concentración final del plutonio se realiza en el LFR en cajas de quante fuera del recinto de celdas blindadas.

Aunque la mayor parte de los equipos de este sistema está formado por equipos de geometría segura algunos no tienen esta característica.

Una evaluación de los componentes del sistema permitió seleccionar el evaporador de solución de nitrato de plutonio como al equipo que mayor riesgo presenta. Este evaporador es de vidrio con un volumen de 10 l que evapora la solución de plutonio proveniente de la extracción por solvente hasta la concentración necesaria para alimentar la columna de intercambio iónico. Se supuso que se acumula una masa crítica en este evaporador originando un único pulso cuya consecuencia sería la rotura del balón de vidrio y de la caja de quantes que lo contiene. Como consecuencia se generarían dos fuentes de contaminación. La primera serían los gases nobles y elementos volátiles como iodo, generados y liberados como consecuencia del proceso de fisión y la segunda sería el aerosol de solución de plutonio que llenaría el laboratorio y que sería arrastrado hasta los filtros del sistema de ventilación. Estos filtros pueden resistir ondas de choque mucho mayores que las generadas en este accidente, por lo tanto se supone que se mantienen intactos reteniendo los aerosoles con una eficiencia de  $10^{-3}$  pero dejando pasar todos los gases nobles y volátiles generados en la excursión crítica. Aplicando las fórmulas que permiten calcular el número de fisiones originadas en una excursión crítica de este tipo y consecuentemente la actividad de los productos de fisión generados, así como la concentración máxima posible del aerosol que llena el ambiente del laboratorio después de la explosión, se determinaron las emisiones por la chimenea y la dosis al grupo crítico que figura en la tabla N°1.

Para que una excursión crítica pueda tener lugar en un volumen de 10 l se requiere una concentración mínima de 63 grPu<sup>239</sup>/l o sea una masa total de 630gr de Pu<sup>239</sup>. Ahora bien, esta sección de la planta opera con baches de 100 gr por lo que requeriría la acumulación de más de 5,8 baches sucesivos dentro del evaporador para que pueda producirse el accidente. Esto equivale a decir que la producción de más de 1 semana de operación de la planta debe acumularse dentro de este equipo en forma inadvertida. Se comprende fácilmente que la probabilidad de ocurrencia de este accidente es muy inferior al máximo de  $3 \times 10^{-3}$  por año.

### Accidente de Criticalidad en una Celda de Proceso

A diferencia del caso anterior se supone aquí que una excursión crítica tiene lugar en uno de los tanques de acero inoxidable de mayor tamaño de la planta (45 cm de diámetro). La excursión tiene lugar en forma cíclica es decir que después de un pulso se produce una expansión de la solución por formación de gases y vapores que al disminuir la densidad detiene automáticamente la reacción. Al separarse los gases y vapores la solución vuelve a su volumen original reiniciándose la excursión. La mayor energía es liberada durante el primer pulso que sin embargo no es suficiente para reaper un recipiente de las características de los tanques del LFR. Se supone que la sucesión de ciclos continua sin interrumpirse hasta que la evaporación del agua conduzca a un volumen menor del crítico.

El número de fisiones y consecuentemente el volumen de gases y vapores de productos de fisión es mucho mayor que en el caso anterior en el que se supuso que la excursión nuclear se detiene después del primer pulso, al romperse el recipiente y dispersarse su contenido. En cambio en este caso, esta ausente la fuente de radiación originada en el aerosol producido en la explosión del recipiente.

Epleando los métodos de cálculo normalizados aplicables a este tipo de accidentes y asumiendo siempre hipótesis conservadoras en la evaluación de todos los parámetros, se calcularon las emisiones por la chimenea y la dosis al grupo crítico que figura en la tabla N°1.

Para que una excursión nuclear pueda tener lugar en un recipiente de 45 cm de diámetro se requiere una concentración mínima de 11grPu<sup>239</sup>/l. Si comparamos este valor con la concentración máxima normal de las soluciones que se almacenan en estos tanques que es de solo 0,57 grPu/l llegamos a la conclusión de que se requeriría que el contenido de plutonio de más de 19 baches se acumule en uno de ellos. Para que esto pueda pasar se necesitaría de un mecanismo que precipite el plutonio de la solución como pudiera ser el agregado de un reactivo equivocado y que este precipitado se almacene dentro del tanque a pesar de los vaciamientos que se producen al final de cada ciclo por su tubería de salida inferior.

Es muy difícil imaginar algún proceso creíble que pudiera conducir a esta acumulación de plutonio dentro de los tanques. Además en caso de ocurrir el accidente lo más seguro es que durante el primer pulso de la excursión, parte de la solución sería expulsada del tanque por su salida inferior interrumpiéndose el proceso y produciendo con ello una emisión por la chimenea inferior en por lo menos dos ordenes de magnitud a la empleada para el cálculo de la tabla N<sup>o</sup>1.

#### Incendio de Resina del Intercambiador Ionico del Sistema de Purificación de Plutonio

La purificación final del plutonio producido en el LPR se efectúa por un proceso de intercambio iónico fijando el complejo hexanitratato de plutonio en una resina aniónica. Es sabido, y la historia registra varios casos, que estas resinas, saturadas con ácido nítrico y a temperaturas superiores a 60°C, pueden iniciar reacciones autocatalíticas de descomposición que pueden romper la columna si ésta no está debidamente ventada y secar e incendiar la resina contenida en la columna. En el Laboratorio de Tratamiento Final de Plutoni del LPR este peligro se evita controlando tanto la concentración de ácido de la alimentación como la temperatura de alimentación y del lecho de resina en forma redundante.

Para el cálculo de la dosis que resultaría para el grupo crítico en caso de ocurrir este accidente se asumió que se quema la totalidad de la resina en el momento en que está saturada con plutonio. La resina incendiada sale por la válvula de seguridad de la columna desparrajándose por el interior de la caja de guante que se supone que pierde su integridad. De la cantidad máxima de ceniza volante que se puede generar en un incendio de estas características se estimó la cantidad de plutonio que es arrastrada hasta los filtros absolutos del sistema de ventilación del laboratorio. Los filtros se supone que mantienen su eficiencia de retención de  $10^3$  pues tanto la temperatura de los gases de combustión, como la carga de hollín que llevan son muy inferiores a los que estos filtros admiten.

Para que este accidente se produzca es necesaria la ocurrencia simultánea de las siguientes anomalías:

- 1) falla en la preparación de la solución de alimentación.
- 2) falla simultánea de los análisis de control redundantes de la solución de alimentación.
- 3) falla simultánea de las alarmas redundantes de exceso de temperatura de la solución de alimentación.
- 4) falla simultánea de las alarmas redundantes de exceso de temperatura en la columna de intercambio iónico.

La probabilidad de ocurrencia de un evento de esta naturaleza es muy inferior al máximo de  $10^{-2}$  por año exigido por la Norma 3.1.3 del CALIN.

#### Explosión de Hidrógeno en los Tanques de Almacenamiento de Plutonio

El nitrato de plutonio producido en el LPR se almacena en forma de solución en tanques de geometría segura hasta su transferencia a la futura planta piloto de producción de combustibles de óxidos mixtos. Debido a su fuerte actividad alfa, esta solución sufre degradación radiolítica con formación de hidrógeno que si llega a acumularse dentro del tanque, puede dar lugar a la formación de mezclas explosivas que si se incendian pueden producir la ruptura del tanque y la dispersión de su contenido. El peligro se previene mediante una purga continua de aire en el interior del tanque de manera de evitar que el hidrógeno alcance una concentración mayor del 4%, que es la mínima necesaria para que la reacción se propague y diseñando el tanque de manera de evitar toda posibilidad de producción de chispas que pudieran iniciar la reacción.

La dosis al grupo crítico se calculó suponiendo que en una hipotética explosión el ambiente de la celda se llena con un aerosol de solución de plutonio de la máxima concentración posible, que es arrastrado hasta los filtros absolutos del sistema de ventilación donde el aerosol se retiene con una eficiencia de  $10^3$  siendo el remanente expulsado por la chimenea.

Para que el accidente pueda ocurrir se necesitan dos condiciones simultáneas

- 1) Falla en la inyección de aire de purga que se puede deber a la falla simultánea de energía eléctrica normal y de emergencia o la falla simultánea de los dos compresores de aire o la falla de la tubería de distribución de aire. Esta condición de falla debería mantenerse por un período mínimo de 13 días para que la concentración de hidrógeno en un tanque lleno alcance la concentración del 4% suponiendo que el hidrógeno se mantenga dentro del tanque y no se difunda por el sistema de venteo. Este período de tiempo es más que suficiente para reparar una avería o instalar una inyección de aire de emergencia.
- 2) Como segunda condición se necesitaría una chispa o fuente de ignición de la mezcla explosiva lo que es muy difícil que pueda ocurrir, dada la ausencia de todo instrumento eléctrico o posibilidad de inducción de cargas estáticas en los tanques.

#### Descripción del Programa de Cómputo SEDA Usando para el Cálculo de Dosis al Grupo Crítico

El programa SEDA es un código de cálculo desarrollado para estimar las consecuencias radiológicas de un accidente con liberación de material radioactivo al medio ambiente, en una central nuclear.

Basado en el modelo de la pluma gaussiana, permite predecir las concentraciones en aire integradas durante el paso de la nube, el depósito y las dosis debidas a irradiación interna y externa.

En dicho modelo la concentración se expresa como:

$$C(x, y, 0, h) = (Q/\pi\sigma_y\sigma_zU) \cdot \exp(-y^2/2\sigma_y^2 - h_m^2/2\sigma_z^2)$$

Con los ejes x e y en el plano de tierra (x en la dirección media del viento) y z en la vertical hacia arriba. Se supone al receptor ubicado en  $z=0$  estando ubicada la fuente emisora en  $z=h$ . Los parámetros de dispersión utilizados ( $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ ) son los de Martin y Likvar para las categorías A, B, C, D, E y F de Pasquill. El valor  $\sigma_y$  es el  $\sigma_y$  corregido por las fluctuaciones del viento durante el tiempo (t) de emisión según la fórmula:

$$\sigma_y^2(x, t) = \sigma_y^2(x) \cdot (t/0.05)^{1.5} \text{ donde t está en horas}$$

Para la velocidad del viento (u) se adopta un perfil de velocidades según la dirección z dado por la expresión:

$$u(z) = u(10) \cdot (z/10)^a$$

donde u(10) es la velocidad del viento medida a z=10 m  
y a=0.2 representa el tipo de superficie predominante.

El modelo también tiene en cuenta la elevación de la pluma debida al calor que acompaña a la emisión, si bien en este caso particular se supuso una emisión fría (sin elevación de la pluma).

El programa tiene incorporada una base de datos que incluye los factores dosimétricos de 45 radionucleidos de importancia radiológica en accidentes en centrales nucleares de potencia, como así también los inventarios de las dos centrales nucleares argentinas actualmente operativas.

Teniendo en cuenta que el inventario de interés radiológico en caso de accidente en la Planta de Reprocesamiento difiere notablemente del inventario de una central nuclear, fue necesario incluir otro más apropiado, y por lo tanto se modificó la base de datos para adecuarla a este requerimiento.

#### REFERENCIAS

"Sistemas de computación para la evaluación de consecuencias, radiológicas de accidentes nucleares"  
Kunst J.J., Routet L.I., Bruno H. Seminario sobre la aplicación de la tecnología de computadoras en protección radiológica. Bled, Yugoslavia, 22 al 26 de Junio de 1987.

Análisis de Accidentes del LPR

Accidente	Dosis del grupo crítico rem
Criticalidad en el Sistema de Purificación de Pn	3.40 E-01
Criticalidad en Celda de Proceso	2.83 E-01
Incendio de Resina de Intercambio Iónico de Pn	7.81 E-02
Explosión de H <sub>2</sub> en Tanque de Almacenamiento de Pn	3.35 E-02
Explosión de Aceite Rojo en el Concentrador de Pn	3.81 E-03
Falla del Absorbador de I <sub>2</sub> del Sistema de Venteo	1.44 E-03
Fuga de Concentrado de Residuo de Alta Actividad	1.22 E-04
Explosión de Aceite Rojo en el Concentrador de Residuos de Alta Actividad	4.97 E-06
Caída de un Elemento Combustible	8.50 E-07
Incendio de Solvente del 1er Ciclo	4.00 E-07
Incendio de Vainas de Zircaloy	1.00 E-07
Falla de Enfriamiento del Tanque de Almacenamiento de Residuos de Alta Actividad	-----
Inundación	-----
Impacto de la Caída de un Avión	probabilidad menor de 10 <sup>-7</sup> /a

### ACEPTABILIDAD DE RIESGOS DE ACCIDENTES

