

ROTURA HIDRAULICA DE CISTERNAS PARA ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE HEXAFLUORURO DE URANIO (UF6)

Alfredo L. Biaggio, Horacio M. Lee Gonzales
Jorge R. López Vietri y Rubén G. Novo

Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad
Comisión Nacional de Energía Atómica

En primer lugar, se describen someramente los modelos de cisternas propuestos en las normas utilizadas internacionalmente para el transporte y almacenamiento de hexafluoruro de uranio (UF₆), así como también aquellas operaciones que, de conducirse anormalmente, pueden dar lugar durante su desarrollo o en etapas posteriores a la rotura hidráulica de las cisternas.

A continuación, se evalúan cuantitativamente los desvíos, respecto de los valores nominales establecidos por las normas, para los parámetros controlados durante la calefacción de las cisternas, que conducen a la rotura de las mismas. Para ello, a partir de ciertas hipótesis simplificadoras, se realiza un estudio generalizado, aplicable a todos los modelos de cisternas propuestos por las normas que tiene como objeto la determinación de la temperatura a la cual se produce la rotura hidráulica, cuando son calefaccionadas a válvulas cerradas. Los resultados fueron volcados en una curva que representa la temperatura de rotura hidráulica en función del grado de llenado.

1. INTRODUCCION

El hexafluoruro de uranio (UF₆), es el compuesto químico que se utiliza en el proceso de enriquecimiento de uranio. En enero de 1986, un cilindro 48Y cargado con UF₆, rompió hidráulicamente mientras era calefaccionado en las instalaciones de la Sequoyah Fuels Corporation en Oklahoma /1/. Este hecho, pone de manifiesto la atención que merece el estudio de la rotura hidráulica de cisternas para transporte y almacenamiento de hexafluoruro de uranio, debido a las consecuencias radiológicas, tóxicas y corrosivas asociadas a un accidente de estas características /2/, /3/.

El presente trabajo, aborda el cálculo para distintas condiciones de llenado, de la temperatura a la cual se produciría la rotura hidráulica de una cisterna cuando es calentada gradual y uniformemente a válvulas cerradas (no es el caso de una cisterna sometida a un incendio).

2. CISTERNAS PARA TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE UF₆

En casi todos los países donde se utiliza hexafluoruro de uranio, el transporte, almacenamiento y toma de muestras se realiza mediante cisternas diseñadas y construidas de acuerdo a la norma ANSI N14.1 /4/ (en la tabla I, se presentan las principales características de los distintos modelos propuestos en dicha norma). Un detalle interesante, es que en ningún modelo se incluyen dispositivos de seguridad para alivio de presión (válvulas de seguridad, discos de ruptura, etc.).

Esta norma también establece recomendaciones en lo que hace a operaciones de limpieza de cilindros nuevos y en servicio, mantenimiento, pruebas e inspecciones rutinarias, pruebas e inspecciones periódicas, reparación de defectos admisibles, rotulado y marcación de cilindros y certificación.

Modelo Número	Diámetro nominal (mm)	Materia l	Espe sor mínimo de Pared (in)	Vm Volumen mínimo (l)	Tara (Kg)	Enriquec imiento máximo (wt% ²³⁵ U)	M _{UF6} Límite de llenado (Kg UF ₆) ^(*)	M _{UF6} /Vm (g/cm ³)
1S	38.1	níquel	1/16	0.15	0.793	100.0	0.45359	3.0
2S	38.1	níquel o al.Ni-Cu	1/16	0.719	1.905	100.0	2.223	3.083
5A	127	al.Ni-Cu	1/8	8.04	24.947	100.0	24.947	3.106
8A	203.2	al.Ni-Cu	1/8	37.349	54.43	12.5	115.665	3.096
12A	304.8	níquel	3/16	67.392	83.914	5.0	208.65	3.096
12B	304.8	al.Ni-Cu	3/16	67.392	83.914	5.0	208.65	3.096
30B	762	acero	5/16	736.21	635.026	5.0(**)	2277.02	3.093
48A(***)	1219.2	acero	1/2	3083.61	2041.155	4.5(**)	9539	3.093
48X	1219.2	acero	1/2	3083.61	2041.155	4.5(**)	9539	3.093
48F(***)	1219.2	acero	1/2	3964.24	2358.67	4.5(**)	12260.5	3.092
48Y	1219.2	acero	1/2	4040.69	2358.67	4.5(**)	12260.5	3.093

- (*) El límite de llenado se establece de forma tal que, el UF₆ líquido con un grado de pureza no inferior a 99.5% y a una temperatura de 250°F (121°C), ocupe el 95% del volumen mínimo de la cisterna en cuestión.
- (**) Este grado de enriquecimiento, requiere un control de moderación equivalente a una pureza de UF₆ de 99.5%. Sin control de moderación, el enriquecimiento máximo permitido es de 1.0%.
- (***) Los modelos 48A y 48F son idénticos a los modelos 48X y 48Y respectivamente, excepto que sus volúmenes no son certificados.

TABLA I

3. ASPECTOS OPERATIVOS

Se describen brevemente los sistemas y procedimientos recomendados en la referencia /5/, para las operaciones de llenado, vaciado y toma de muestras de cisternas para transporte y almacenamiento de hexafluoruro de uranio.

3.1 Procedimiento de llenado:

En general, el UF₆ se lleva a estado líquido y es drenado por gravedad, a través de líneas calefaccionadas, hacia el interior del cilindro a cargar. Debe evitarse que quede material atrapado, sin lugar para expandirse, por este motivo se controla que la temperatura se mantenga entre 79°C y 121°C para asegurar la fluidez del UF₆. La carga del cilindro se controla por pesaje y una vez completada la misma, se cierra la válvula de la cisterna y se espera que el contenido solidifique antes del transporte.

En los modelos de cisterna provistos de dos válvulas (5A, 8A y 12B), el llenado se practica habitualmente por condensación del UF₆ en estado gaseoso. En este caso se mantiene al cilindro a baja temperatura (-32°C), conectando una de las válvulas a un sistema de baja presión e ingresando el UF₆ gaseoso por la otra.

3.2 Procedimiento de vaciado:

Se realiza con UF₆ en estado gaseoso o líquido. En este último caso, el procedimiento es similar al de llenado. En estado gaseoso, el UF₆ es vaporizado, calefaccionándose el cilindro, y durante el trasvase se controla la presión y se mantiene al sistema en un rango de temperatura entre 79°C y 121°C. Completado el mismo, se cierran las válvulas y se pesa al contenedor para determinar la cantidad de UF₆ removida.

3.3 Procedimiento de toma de muestras

Para obtener una mayor homogenización, el muestreo se realiza en fase lí-

quida. El sistema se mantiene en un rango de temperatura de 93°C a 113°C y la presión se controla de manera que no exceda 5,1 atm a 93°C ó 8,5 atm a 113°C.

Las siguientes características físicas del UF6, introducen la posibilidad de que durante el desarrollo de dichas operaciones pueda producirse la rotura hidráulica del contenedor:

a) Posibilidad de obtener fase sólida, líquida y gaseosa a presiones y temperaturas relativamente bajas. El punto triple del UF6 se alcanza a 64.4°C y 1,496 atm. Referencias /6/ y /7/.

b) En fase líquida, el hexafluoruro de uranio presenta una gran disminución de densidad con el aumento de la temperatura (ver figura I) /4/.

4. ROTURA HIDRAULICA DE CISTERNAS PARA TRANSPORTE DE UF6

Se realizó un estudio generalizado, válido para todos los modelos de cisternas propuestos por la norma ANSI N14.1, en el cual se determinó la temperatura de rotura hidráulica, cuando las mismas son calefaccionadas a válvulas cerradas.

Se adoptaron las siguientes hipótesis simplificativas:

A - La cisterna es de paredes rígidas,

B - El contenido es calefaccionado lentamente y se asume temperatura prácticamente uniforme en toda la masa del UF6 líquido.

Dado que se establece que el grado de llenado debe ser tal que el volumen ocupado por el UF6 líquido a 121°C no supere el 95% del volumen interno del recipiente /4/, /7/, /8/, llamando:

(ML)_i = al límite de masa máximo previsto por la norma ANSI N14.1 para el modelo i; y

(VM)_i = al volumen interno mínimo previsto por la norma ANSI N14.1 para el modelo i,

Se observa que (ML)_i/(VM)_i, $\approx 3,1 \text{ g/cm}^3$ (1) para todos los modelos de cisternas propuestos (ver tabla I).

Por otra parte, si el líquido ocupara todo el recipiente, su densidad sería:

$$\rho_R = M_{\text{UF6}} / \text{VM} \quad (2)$$

Siendo M_{UF6} , la masa real cargada en la cisterna y VM, el volumen interno, que por simplificación y asumiendo una condición conservativa se considera igual al mínimo. En esas condiciones, cualquier incremento de temperatura dilataría el líquido aún más y provocaría la rotura hidráulica de la cisterna, debido a la casi incompresibilidad de los líquidos. Relacionando (1) y (2) y llamando $A = M_{\text{UF6}} / \text{ML}$, resulta:

$$\rho_R = A \cdot \text{ML} / \text{VM} = A \cdot 3,1 \text{ g/cm}^3 \quad (3)$$

En el contexto de las hipótesis A y B indicadas, la expresión (3) es una expresión genérica que permite, para distintas condiciones de llenado (o sea distintos valores de A) de cualquiera de los modelos de cisterna, obtener la temperatura a partir de la cual se puede producir la ruptura hidráulica de la cisterna, empleando la relación entre densidad del UF6 líquido y temperatura (gráfico I). Los resultados obtenidos se indican en el gráfico II.

Observaciones:

- 1) Los valores de densidad adoptados, corresponden a UF₆ con un grado de pureza igual o superior al 99.5%.
- 2) La referencia /6/ indica que no hay coincidencia entre los datos de densidad del UF₆ líquido extraídos de distintas fuentes. Esto afectaría los resultados del gráfico II.
- 3) Como en realidad las cisternas se deforman antes de producirse la rotura hidráulica, habría un margen de seguridad variable según el modelo de cisterna, (el aumento de volumen interno para una cisterna 30B podría ser de hasta un 30% /9/ y en ese caso, la temperatura a partir de la cual sería posible rotura hidráulica, para condición límite de llenado (A = 1), resultaría de 218°C en vez de 150°C).

5. CONCLUSIONES

La operación de pesaje para determinar la masa de UF₆ contenida en la cisterna es de particular importancia, ya que un exceso de carga respecto al máximo valor admisible puede conducir a la rotura hidráulica del contenedor durante su calentamiento dentro del rango de temperaturas prescrito para carga normal y aún para temperaturas inferiores. Además, la rotura hidráulica puede producirse aún cuando no se exceda el límite de carga establecido para cada modelo de cisterna, si la temperatura del hexafluoruro de uranio excede los 150°C.

REFERENCIAS

- /1/ NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, "Rupture of Model 48Y UF₆ Cylinder and Release of Uranium Hexafluoride". NUREG-1179, Vols. 1 y 2. Junio 1986. USA.
- /2/ BIAGGIO, A.L., LOPEZ VIETRI, J.R. y NOVO, R.G., "Aspectos radiológicos y químicos en el caso de escapes accidentales de hexafluoruro de uranio (UF₆)". II Congreso Argentino de Radioprotección, organizado por la Sociedad Argentina de Radioprotección, Buenos Aires, Noviembre 1986. Argentina.
- /3/ BIAGGIO, A.L., LOPEZ VIETRI, J.R. y NOVO, R.G., "Escapes accidentales de UF₆ en recintos cerrados", XIV Reunión Científica, organizada por la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Córdoba, Octubre 1986. Argentina.
- /4/ AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE, "American National Standard for Packaging of Uranium Hexafluoride for Transport". ANSI N14.1 - 1982. USA.
- /5/ OAK RIDGE OPERATIONS OFFICE; "Uranium Hexafluoride: Handling, Procedures and Container Criteria". ORO 651, Revisión 4, Abril 1977. USA.
- /6/ ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, "Recommendations for Providing Protection during the Transport of Uranium Hexafluoride". IAEA-TECDOC-423. Viena, Junio 1987. Austria.
- /7/ DEWITT, R., "Uranium Hexafluoride: a Survey of the Physico-Chemical Properties", Goodyear Atomic Corporation, Portsmouth, Ohio, 1960. USA.
- /8/ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, "Packaging of Uranium Hexafluoride (UF₆) for Transport". Draft International Standard ISO/DIS 7195, 1986. Suiza.
- /9/ BARLOW, C.R., ZIEHLKE, K.T., PRYOR, W.A. y HOUSHOLDER, W.R., "Testing and Evaluation of Used UF₆ Shipping Packages". IAEA-SM-286/230 P, Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 86, Davos, Junio 1986. Suiza.

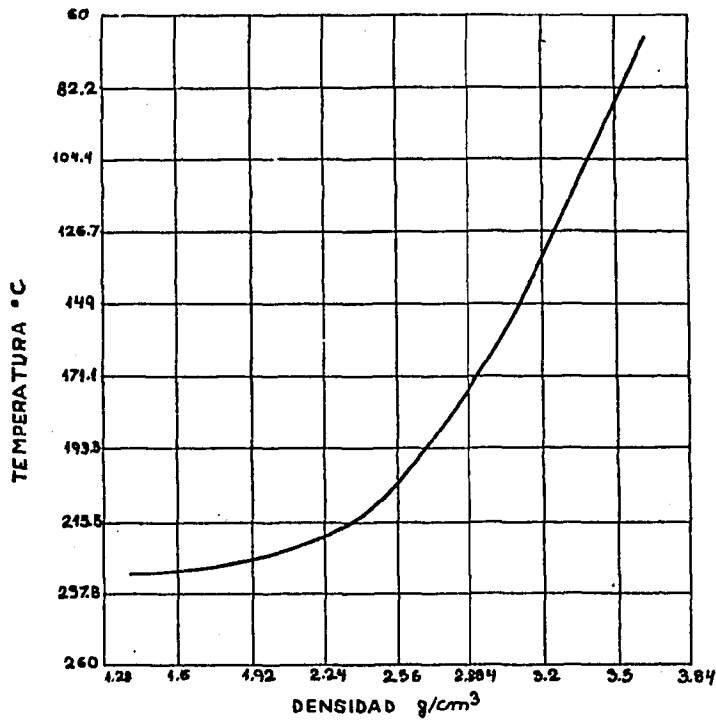
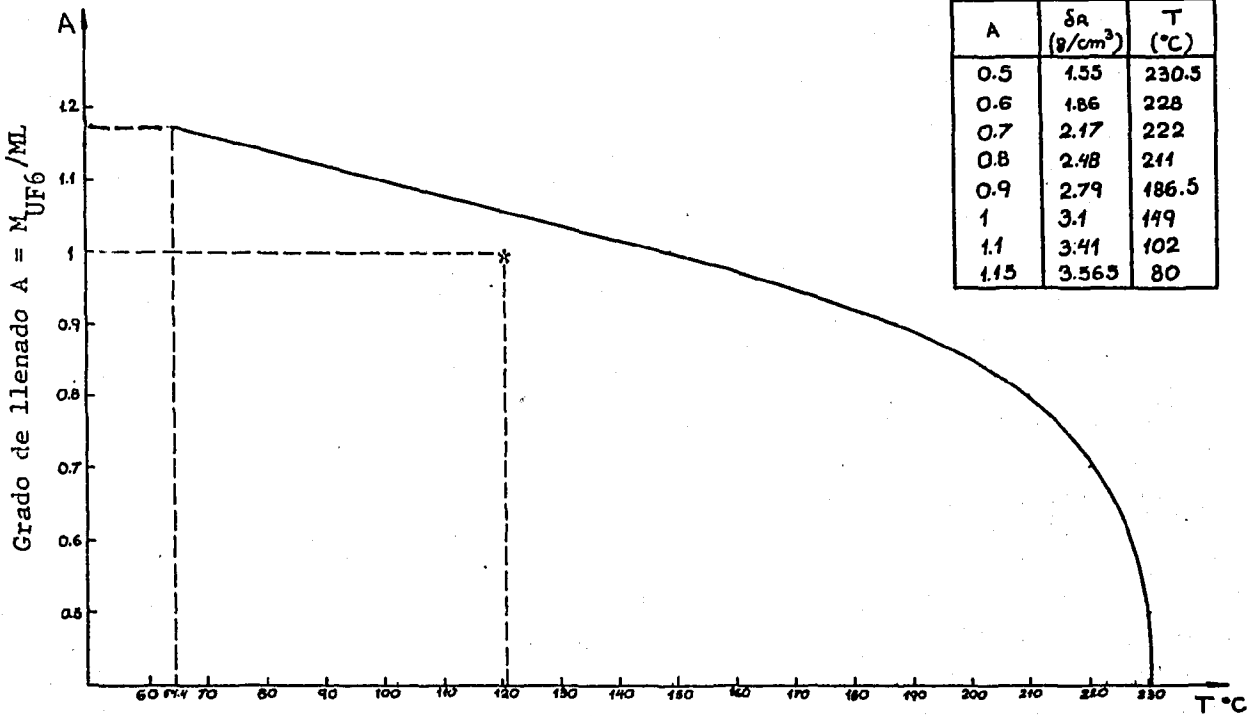


GRAFICO I

Densidad del UF6 líquido /4/



A	δ_R (g/cm ³)	T (°C)
0.5	1.55	230.5
0.6	1.86	228
0.7	2.17	222
0.8	2.48	211
0.9	2.79	186.5
1	3.1	149
1.1	3.41	102
1.15	3.565	80

GRAFICO II

Temperatura a partir de la cual puede producirse rotura hidráulica

* Máximo límite de llenado y temperatura máxima de operación