

Hexafluoruro de azufre: El mejor aislante gaseoso y el

Jaime de Urquijo Carmona
Laboratorio de Plasmas de Baja Temperatura
Instituto de Ciencias Físicas
Universidad Nacional Autónoma de México
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos
jdu@fis.unam.mx

En dos entregas previas he hablado un poco sobre el calentamiento global, producido por la liberación de gases fuertemente absorbentes de radiación infrarroja [1] cuyos efectos se resumen en el término *efecto invernadero*, y en la segunda entrega traté sobre la destrucción de la capa de ozono [2]. En esta entrega abordaré una vez más el calentamiento global, ocupándome ahora de aquellos gases invernadero los que, si bien su presencia en la atmósfera alcanza sólo el 1% del total, sus efectos llegan a superar los del bióxido de carbono -hasta ahora el gas invernadero más abundante- por el poder que tienen para absorber la radiación infrarroja. Estos gases, conocidos con el término genérico de *fluorinados* han sido y son, por otra parte, sustancias clave en muchos procesos industriales tales como la refrigeración, la fabricación de semiconductores, la producción del magnesio y el aislamiento y control de muy altos voltajes y corrientes.

Por su fórmula química, los gases fluorinados se dividen en hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y, solo en la lista, el hexafluoruro de azufre, SF₆. En la Tabla 1 se resumen las principales propiedades y usos de estos gases.

Entre los gases invernadero se ha elegido al bióxido de carbono, CO₂, como el estándar contra el cual comparar los efectos de absorción infrarroja de todos los otros gases. Entonces se ha establecido que el CO₂ tiene un potencial de calentamiento global, GWP (global warming potential) igual a la unidad. Uno de los gases con mayor poder de calentamiento global es el hexafluoruro de azufre, SF₆, con un GWP=23,900. Lo anterior quiere decir que, por ejemplo, una tonelada de SF₆ liberada en la atmósfera equivale a 23,000 toneladas de CO₂.

La molécula de SF₆ es muy estable, difícilmente destruible por la radiación solar y poco reactiva, es decir, que bajo condiciones atmosféricas normales difícilmente se combina con otras moléculas que pudiesen reducir sus efectos de calentamiento global. Es así que el tiempo de permanencia de una molécula de SF₆ en la atmósfera terrestre es de 3,200 años, o bien 3.2 milenios. Esto quiere decir que el SF₆ liberado en el siglo XXI estará activo en la atmósfera hasta el siglo XXIV. Puesto de otra forma, si en el año 1,250 antes de nuestra era, cuando Troya fue invadida por los griegos, Aquiles hubiera emitido varias toneladas de SF₆ en la atmósfera, aún en nuestros días habría algo de aquello. Lo acontecido en Troya es una epopeya de la Edad de Bronce que nos cuenta Homero [3], en tanto que lo del SF₆ es real.

Cada año se producen más de 10,000 toneladas de SF₆, de las cuales 8,000 se usan en la industria eléctrica para el aislamiento y control de altos voltajes y corrientes, y las 2,000 restantes en

la industria de semiconductores y del magnesio. Debido a su mayor densidad que el aire y transferencia de calor, hasta 2006 se inyectaba este gas en las suelas de los tenis Nike para aligerarlos al eliminar los colchones plásticos, aumentando así el confort del usuario. Sólo en 1997, Nike produjo un efecto invernadero equivalente a 7 millones de toneladas de CO₂ [4]. En la Tabla 2 se da un ejemplo de equivalencias entre la reducción de emisiones de SF₆ en la atmósfera con otros agentes contaminantes [5].

de la molécula de SF₆.

Entre todas estas aplicaciones es importante destacar que la presencia cada vez mayor de SF₆ en los equipos de la industria eléctrica ha desplazado a los aceites, algunos de ellos altamente cancerígenos, conocidos genéricamente como *ascareles*. Además, el uso del SF₆ ha reducido el tamaño de las subestaciones, algo que es muy buscado en ciudades muy grandes, como la de México, ya que algunas deben ser subterráneas.

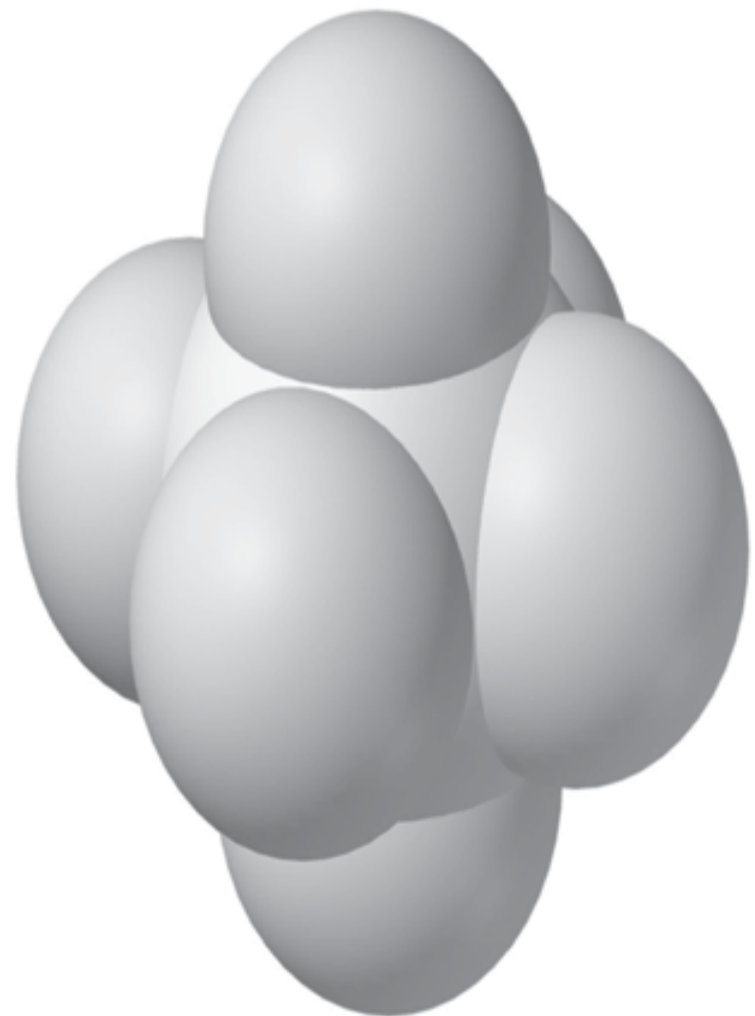
hay también de menor rigidez dieléctrica como el aire, pero la presencia del oxígeno complica las cosas por la formación de óxidos y ácidos.

Es importante destacar que el oxígeno juega un papel muy importante en la rigidez dieléctrica del aire porque el primero *atrapa* o *captura* electrones lentos, inhibiendo así la descarga. Sin embargo, el SF₆ es muy superior al oxígeno en este aspecto porque su habilidad para capturar electrones lentos es varios órdenes de magnitud mayor. Se ha intentado diluirlo en gases que no son invernadero, como el nitrógeno, pero esta mezcla es útil sólo en algunas aplicaciones.

Es difícil encontrar datos confiables sobre la emisión de gases fluorinados a nivel mundial, aunque sí se cuenta con datos confiables de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA), los que pueden darnos una idea de lo que se hace al respecto de la utilización y control de las emisiones de estos gases. En general, las emisiones de gases fluorinados han aumentado cerca de 83% entre 1990 y 2012. En particular, las emisiones de HFCs han aumentado en 310% debido a

Por otra parte, el SF₆ ha sido el gas por excelencia en la industria eléctrica mundial para el control de muy altos voltajes y corrientes, ya que tiene una rigidez dieléctrica 2.5 a 3 veces mayor que la del aire, lo que permite compactar las subestaciones eléctricas. El SF₆ también se utiliza ampliamente para fabricar semiconductores, es decir, principalmente transistores, los que se encuentran ya por decenas de millones en las computadoras y dispositivos de comunicación avanzados (celulares, iPads y toda esa familia de distractores), y los ahora famosos LEDs que están desplazando a otros tipos de lámparas. El SF₆ también tiene usos quirúrgicos en el tratamiento del desprendimiento de la retina, por ejemplo. La Fig. 1 muestra la estructura

Desde la década de los años sesenta se han buscado sustitutos del SF₆ para la industria eléctrica, sin llegar hasta la fecha a encontrar uno que lo haga. Algunos gases pueden tener una rigidez dieléctrica mayor y un GWP cercano a la unidad, pero los productos de su disociación en la presencia de una descarga eléctrica resultan ser tóxicos y/o corrosivos. Los



1. Estructura de la molécula de SF₆. El átomo central representa al azufre y los seis átomos a su alrededor representan al flúor.

Tabla 1

Principales propiedades (calentamiento global) y usos de los gases fluorinados

Acrónimo químico	Tiempo de permanencia en la atmósfera	Poder de calentamiento global (GWP)*	Usos principales
HFC	1 a 270 años	140 – 11,700	Refrigerantes, propelentes de aerosoles, solventes, y extinguidores de fuego. Se usan para reemplazar los gases que atacan la capa de ozono, como el R134a, presente en los sistemas de aire acondicionado de los coches. Refrigerantes, propelentes de aerosoles, solventes, y extinguidores de fuego. Se usan para reemplazar los gases que atacan la capa de ozono, como el R134a, presente en los sistemas de aire acondicionado de los coches.
PFC	800 a 50,000 años	6,500 – 9,200	Producción de aluminio y fabricación de semiconductores
SF ₆	3,200 años	23,900	Aislamiento y control de altos voltajes y corrientes; fabricación de semiconductores

*En un período de 100 años

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx



peor gas invernadero

que estos gases han sustituido a los terribles clorofluorocarbonos, causantes de la destrucción de la capa de ozono y prohibidos por el Protocolo de Montreal [6]. Por el contrario, las emisiones de los PFC y el SF₆ han declinado gracias a los esfuerzos de las industrias eléctrica y de producción de aluminio y magnesio en los EUA. En el futuro cercano se espera que las emisiones de HFC sigan creciendo en un 140% entre 2005 y 2020 en la medida que crezca la demanda de refrigeración y la sustitución de gases que atacan la capa de ozono.

Lo anterior hace recordar aquel refrán popular que reza: Por no darle al violín se le da al violón. El problema, al parecer, reside en la búsqueda del confort a costa de la contaminación atmosférica. Cuando el progreso se confunde con la medida del confort, lo que es muy común, ocurren distorsiones que causan un daño grave al planeta.

Trabajo apoyado por el Proyecto

PAPIIT-UNAM 111014.

Bibliografía

- [1] J. de Urquijo *Los gases invernadero* La Unión de Morelos, Lunes 11 de noviembre de 2013, p. 31, <http://www.acmor.org.mx/?q=content/los-gases-invernadero>
- [2] J. de Urquijo *La indispensable capa de ozono* La Unión de Morelos, Lunes 27 de enero de 2014, p. 31, <http://acmor.org.mx/?q=content/la-indispensable-capa-de-ozono>
- [3] La Iliada, atribuida a Homero y escrita hacia el siglo VIII antes de nuestra era.
- [4] <http://www.businessweek.com/stories/2006-09-24/nike-goes-for-the-green>
- [5] <http://epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/fgases.html>
- [6] <http://www2.schneider-electric.com/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/breaking-techniques-switchgear/general-knowledge/ect188.pdf>



2. Interruptor de energía eléctrica para alto voltaje empleando SF₆ para extinguir los arcos eléctricos. De no emplear dicho gas, el sistema tendría que ser mucho más grande.

Día del Ex-alumno IBT

Vuelve a tu casa del IBT

Conoce a los ex-alumnos del IBT

Invita a un estudiante actual a la comida de convivencia

Participa como patrocinador del evento

14·NOV·14

Con el objetivo de estrechar lazos entre las generaciones, conocer sus experiencias y promover interacciones, el IBT convoca a sus ex-estudiantes al "Día del Ex Alumno del IBT" el VIERNES 14 DE NOVIEMBRE DE 2014 en el Auditorio Francisco Bolívar Zapata del IBT.

En el IBT UNAM, tenemos el orgullo de haber graduado a:

800 TESIS DE LICENCIATURA	500 MAESTROS EN CIENCIAS	30 Años en Morelos	300 DOCTORES	ACTIVOS EN LA ACADEMIA, INDUSTRIA, DOCENCIA, ETC.
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------	---------------------	---

PROGRAMA

(todos los ponentes invitados son ex-alumnos del IBT)

8:30 - 9:30	Registro	12:30 - 12:45	"Biotecnología y propiedad industrial"
9:30 - 10:00	Bicentenario 30 años del IBT y su desarrollo Dr. Tomás Salinas, Director del Sistema de Estudios Científicos y Tecnológicos Dra. Claudia Treviño, Coordinadora de Estudios	12:45 - 13:10	"Desarrollos tecnológicos. Conociendo la utilidad por ingenieros del sector"
10:00 - 10:25	"30 años de presencia al examen de ingreso al pregrado del IBT-UNAM"	13:10 - 13:30	"Una perspectiva del papel que desempeña la Biotecnología en los programas de enseñanza de secundaria y bachillerato intermedios"
10:25 - 10:40	"70 años tras los vestigios de la ciencia y otras aventuras en el mundo de las ciencias sociales"	13:30 - 14:00	"Comercialización de biotecnología"
10:40 - 11:30	Café / Comida	14:00 - 14:15	Actividad Física
11:30 - 11:35	"Viaje al Tando del viento: una historia milenaria"	14:15 - 15:00	Visita al museo de Ciencias del IBT
11:35 - 12:20	"Conocimiento y tecnología al servicio de la salud"	15:00 - 15:00	Ceremonia de Clausura del evento

ENTRADA LIBRE A LAS PLATAFÓRMAS (COPADO/UNIFORMADO/REGISTRO OBLIGATORIO)

¡HAY UN LÍMITE EN REGISTRO! 20 DE OCTUBRE DE 2014 www.acmor.org.mx / editorial@acmor.org.mx

El Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos
Programa del 2009-10-11
Centro: Morenense de Comunicación de la Ciencia

MORELOS

Invita a

Jóvenes de Morelos a integrarse como voluntarios en la

Noche de las ESTRELLAS

29 de noviembre 2014

Podrás apoyarnos en:

- Talleres de ciencia
- Observación con telescopio
- Apoyo en conferencias
- Montaje de exposiciones
- Proyección de videos
- Logística durante el evento

Regístrate en:

www.museodecienciasdemorelos.org.mx

museodecienciasdemorelos@gmail.com