

FLÚOR UNA SUSTANCIA DE ALTO RIESGO

Ing. Ramiro Hernán Polanco Contreras

Jefe programa de Ingeniería Industrial y Agroindustrial de la Corporación Universitaria del Meta. Magister en Relaciones Internacionales, Especialista en Tecnológico en seguridad y prevención de riesgos profesionales, Ingeniero Industrial y Mecánico de mantenimiento general. E-mail: ramiropolanco@hotmail.com y jindustrial@unimeta.edu.co

Introducción

En la vida cotidiana y más aún en las organizaciones a nivel general se cuenta con un gran número de sustancias químicas cuyos efectos a la salud de los trabajadores en algunos casos se encuentra identificado, sin embargo la mayoría estos efectos aún no se conocen de forma precisa. Es por ello que las acciones preventivas y los controles estrictos se convierten en las mejores herramientas para prevenir la ocurrencia de patologías asociadas a la exposición a dichas sustancias.

El Flúor es una de las muchas sustancias químicas utilizadas a nivel industrial en una gran variedad de compuestos que facilitan o mejoran procesos desde la fabricación de cerámica y vidrio pasando por la elaboración de utensilios de cocina hasta la generación de energía en fuentes de origen nuclear. A continuación se presenta la caracterización del flúor como sustancia de estudio, el valor de los TLV, el procedimiento de muestreo y un ejemplo a manera de ejemplo del proceso de muestreo.

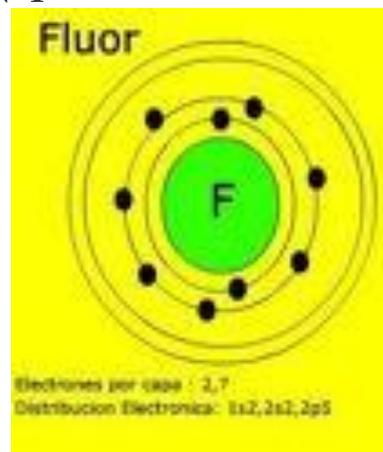
Objetivo

A partir de un caso de estudio presentar la peligrosidad del flúor, los procedimientos de evaluación, valoración y controles aplicables.

1. Caracterización

El flúor (del latín fluere, que significa fluirspan). Formando parte del mineral fluorita, CaF_2 , fue descrito en 1529 por Georgius Agricola por su uso como fundente, empleado para conseguir la fusión de metales o minerales. En 1670 Schwandhard observó que se conseguía grabar el vidrio cuando éste era expuesto a fluorita que había sido tratada con ácido. Karl Scheele y muchos investigadores posteriores, por ejemplo Humphry Davy, Gay-Lussac, Antoine Lavoisier o Louis Thenard, realizaron experimentos con el ácido fluorhídrico (algunos de estos acabaron en tragedia).

Imagen N° 1



Fuente:

<http://www.ecocircuitos.net/agua/consecuencias-del-fluor-en-el-agua>

No se consiguió aislarlo hasta muchos años después debido a que cuando se separaba de alguno de sus compuestos, inmediatamente reaccionaba con otras sustancias. Finalmente, en 1886, el químico francés Henri Moissan lo consiguió aislar, lo que le valió el Premio Nobel de Química de 1906.

La primera producción comercial de flúor fue para la bomba atómica del Proyecto Manhattan, en la obtención de hexafluoruro de uranio, UF⁶, empleado para la separación de isótopos de uranio. Este proceso se sigue empleando para aplicaciones de energía nuclear.

Nombre de la roca, piedra o mineral	Flúor (F ₂)
Tipo básico	No metal
Grupo	Halógeno
Sistema Cristalino / Estructura	Método de cristalización / gaseoso
Composición química	Tiene 7 electrones de valencia, n. a 0 y p. a 19
Formación u origen	El flúor existe en la naturaleza combinado en forma de fluorita, criolita y apatito. La fluorita, de la que se derivan la mayoría de los compuestos de flúor, está muy extendida en México, el centro de Estados Unidos, Francia e Inglaterra. El flúor también se presenta en forma de fluoruros en el agua del mar, en los ríos y en los manantiales minerales, en los tallos de ciertas hierbas y en los huesos y dientes de los animales. La preparación de flúor como elemento libre es difícil y se lleva a cabo en raras ocasiones pues es muy reactivo.
Dureza	No tiene
Textura	Impalpable; líquido
Densidad	1.51 en estado líquido
Color	Amarillo pálido
Brillo	Opaco
Propiedades	Ligeramente más pesado que el aire, venenoso, corrosivo y posee un aroma penetrante y desagradable.
Usos	Para la elaboración de teflón, para grabar vidrio, para obtener fluoruros metálicos que se añaden al agua potable y a los productos dentífricos para prevenir la caries dental.
Observaciones particulares	No puede reaccionar con el nitrógeno ni con los gases nobles. Antiguamente se utilizaba como dispersantes en los vaporizadores de aerosol y como refrigerante, sin embargo, algunos científicos sugirieron que esos productos químicos llegaban a la estratosfera y estaban destruyendo la capa de ozono de la tierra.

2. Procesos en que se usa el Flúor

2.1. Industria de vidrio y cerámica:

Los compuestos que contienen flúor se utilizan para incrementar la fluidez del vidrio fundido y escorias en la industria vidriera y cerámica.

Imagen N° 3



Fuente:

<http://www.google.com.co/imgres?imgurl>
 Metalurgia del hierro:

El espato flúor (fluoruro de calcio) se introduce dentro del alto horno para reducir la viscosidad de la escoria en la metalurgia del hierro.

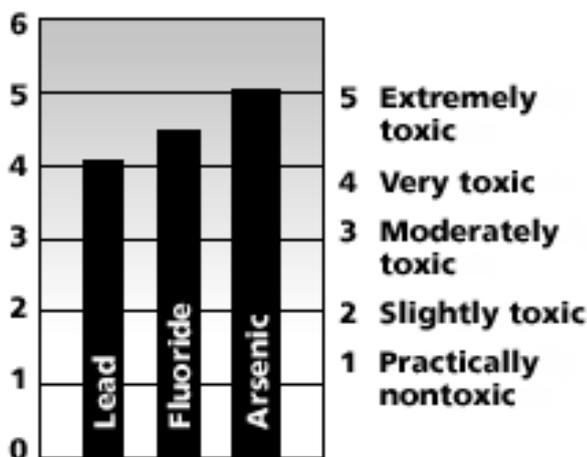
2.2. Metalurgia del aluminio:

La criolita, Na₂AlF₆, se utiliza para formar el electrólito en la metalurgia del aluminio. El óxido de aluminio se disuelve en este electrólito, y el metal se reduce, eléctricamente, de la masa fundida.

2.3. Refrigerante y propelente de aerosoles:

El uso de halocarburos que contienen flúor como refrigerantes se patentó en 1930, y estos compuestos estables y volátiles encontraron un mercado como propelentes de aerosoles, así como también en refrigeración y en sistemas de aire acondicionado. Sin embargo, el empleo de fluorocarburos como propelentes ha disminuido en forma considerable a causa del

Imagen N° 2



posible daño; a la capa de ozono de la atmósfera.

Imagen N° 4



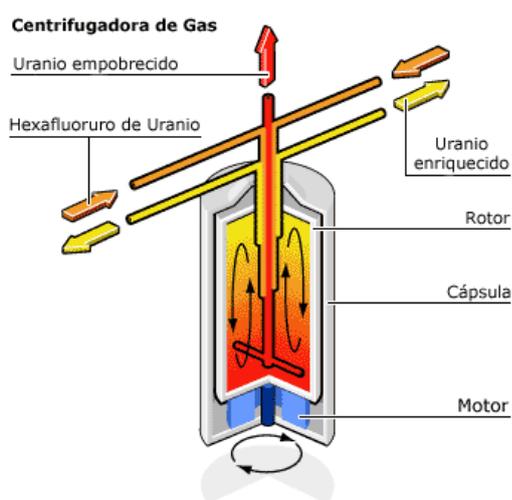
Fuente:

<http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://www.wiedmer.com.ar>

2.4. Fisión nuclear:

Un uso del flúor, muy importante durante la Segunda Guerra Mundial, fue un el enriquecimiento del isótopo fisionable ^{235}U ; el proceso más importante empleaba hexafluoruro de uranio. Este compuesto estable y volátil fue con mucho el material más adecuado para la separación del isótopo por difusión gaseosa.

Imagen N° 5



Fuente:

<http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://newsimg.bbc.co.uk/media/images>

Pastas de dientes:

Mientras que para los consumidores la utilización de compuestos de flúor en la industria pasa casi inadvertida, algunos compuestos se han vuelto familiares a través de usos menores pero importantes, como aditivos en pastas de dientes

Imagen N° 6



Fuente:

<http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/>

2.5. Fabricación del teflón:

El politetrafluoroetileno (PTFE), también denominado teflón, se obtiene a través de la polimerización de tetrafluoroetileno que a su vez es generado a partir de clorodifluorometano, que se obtiene finalmente a partir de la fluoración del correspondiente derivado halogenado con fluoruro de hidrógeno, HF. También a partir de HF se obtienen clorofluorocarburos (CFCs), hidroclorofluorocarburos (HCFCs) e hidrofurocarburos (HFCs). y superficies fluoropoliméricas antiadherentes sobre sartenes y hojas de afeitar (teflón por ejemplo).

Imagen N° 7



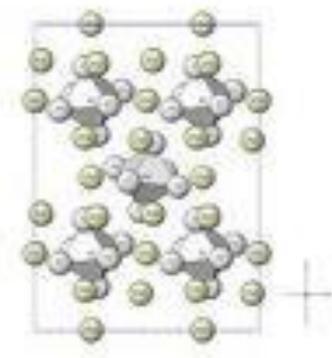
Fuente:

<http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://fondosdibujosanimados.com.es>

2.6. Fabricación de creolina sintética:

El fluoruro de hidrógeno se emplea en la obtención de criolita sintética, Na_3AlF_6 , la cual se usa en el proceso de obtención de aluminio.

Imagen N° 8



Fuente:

<http://www.google.com.co/search?hl=es&biw=1024&bih=509&site>

2.7. Sales de flúor:

Hay distintas sales de flúor con variadas aplicaciones. El fluoruro de sodio, NaF , se emplea como agente fluorante; el difluoruro de amonio, NH_4HF_2 , se emplea en el tratamiento

de superficies, anodizado del aluminio, o en la industria del vidrio; el trifluoruro de boro, BF_3 , se emplea como catalizador; etc. En algunos países se añade fluoruro al agua potable para favorecer la salud dental. Se emplea flúor monoatómico en la fabricación de semiconductores. El hexafluoruro de azufre, SF_6 , es un gas dieléctrico con aplicaciones electrónicas. Este gas contribuye al efecto invernadero y está recogido en el Protocolo de Kioto.

Imagen N° 10



Fuente:

<http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com>

3. Hoja de seguridad (MSDS)

De acuerdo a la Hoja de Datos de Seguridad (Ver anexo N° 1) los valores de los TLV son:

TLV (como TWA): 1 ppm; 1.6 mg/m^3 (ACGIH 1995-1996).

TLV (como STEL): 2 ppm; 3.1 mg/m^3 (ACGIH 1995-1996).

MAK: 0.1 ppm; 0.2 mg/m^3 (1996).

Sin embargo en marzo de 1999 la hoja informativa de sustancias peligrosas del Departamento de Salud y Servicio para Personas Mayores de la

ciudad de New Jersey (Ver anexo N° 2), presenta los siguientes valores:

OSHA: Límite legal permitido en el aire (PEL) es de 0,1 ppm como promedio para un turno laboral de 8 horas.

NIOSH: Límite recomendado de exposición en el aire es de 0,1 ppm como promedio para un turno laboral de 10 horas.

ACGIH: Límite recomendado de exposición en el aire es de 1 ppm como promedio para un turno laboral de 8 horas y 2 ppm como límite de exposición a corto plazo (STEL).

4. Enfermedades

El flúor y el HF deben ser manejados con gran cuidado y se debe evitar totalmente cualquier contacto con la piel o con los ojos. El HF anhidro hierve a 19 °C y es capaz de destruir un cadáver, incluyendo sus huesos, sus vapores son muy irritantes y tóxicos, sus descubridores murieron por su acción. Nunca ha de mezclarse con metales alcalinos ni con amoníaco. En presencia de SbF_5 , se convierte en un superácido (el HF anhidro). La capacidad de protonación es tan grande que oxida a metales como el cobre y protona al metano etc. Tanto el flúor como los iones fluoruro son altamente tóxicos. El flúor presenta un característico olor acre y es detectable en unas concentraciones tan bajas como 0,02 ppm, por debajo de los límites de exposición recomendados en el trabajo.

Es así como a las posibles afecciones considerando su vía de ingreso, según la información presentada por PRAXAIR (Ver anexo

N° 3) en la ficha de datos de seguridad versión 10¹, se presentan:

Efectos por inhalación:

* La absorción excesiva de F⁻ puede producir un sistema agudo de fluorosis con hipocalcemia, interferencia con varias funciones metabólicas y daños orgánicos al corazón, hígado y riñones.

Efectos por contacto con la piel:

* Puede producir quemaduras graves en la piel.

Efectos por contacto con los ojos:

* Puede producir quemaduras graves en las córneas.

La exposición prolongada puede producir la fluorosis o esmalte moteado y manchas en los dientes².

5. Síntomas

Es posible que se presente los siguientes afectos agudos (a corto plazo) ocurridos inmediatamente o poco después de la exposición al flúor, así.

- ✓ Irritación y quemadura en ojos y piel.
- ✓ Irritación de nariz y garganta.
- ✓ Irritación de pulmones, tos y falta de aire.
- ✓ Edema pulmonar.
- ✓ Dolor óseo y fracturas
- ✓ Hemorragia nasal
- ✓ Náuseas
- ✓ Vómito
- ✓ Pérdida apetito
- ✓ Diarrea
- ✓ Estreñimiento³

¹ PRAXAIR. Ficha de datos de seguridad del Flúor. Versión 10. 18 de diciembre de 2006.

² LAUWERYS, Robert R. Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales. Ed. MASSON. Barcelona 1994.

³ Departamento de Salud y Servicio para Personas Mayores de la ciudad de New Jersey. Hoja informativa de sustancias peligrosas. marzo de 1999.

6. Procedimiento de muestreo

Tomando en cuenta el procedimiento de muestre de NIOSH en el procedimiento 7902 para sustancias fluoradas, aerosoles y gases con ISE cuyo CAS es 7664-39-3 (HF), establece el uso de filtros uno con membrana de ester de celulosa de 0,8 µm y otro con membrana de Na₂CO₃-. El caudal de la bomba varía entre 1 y 2 Lt/min, con el objetivo de logra un paso de aire por el sistema entre 12 a 600 litros, de acuerdo a las orientaciones del método de muestreo se deben utilizar de 2 a 10 blancos por set de muestreo.

7. Ejemplo

En una planta de fabricación de vidrio se adiciona un compuesto de flúor con el fin de aumentar la fluidez del material, el área posee un alto costo de puesta a punto, por lo cual de trabaja de manera continua durante todos los días del año. El suministro del compuesto de flúor a la fundición de vidrio se realiza de forma continua y automática mediante un dosificador. En el área se cuenta con tres operadores por turno de ocho horas, cuyos cargos son operario del equipo quien además realiza la calibración del dosificador, auxiliar de fundición quien debe alimentar la tova del dosificador con el compuesto de flúor que es suministrado en sacos de 25 kilos por el proveedor y un muestreador encargado de la toma de muestras del vidrio antes en dos puntos del proceso antes del suministro del compuesto de flúor e inmediatamente después del mismo. Los operarios han manifestado la dolor de huesos, diarrea, vomito y pérdida de apetito. Al conocer los síntomas manifestados por los trabajadores el departamento de Higiene, seguridad y salud ocupacional de la

organización ha solicitado el muestreo de la sustancia, para lo cual se establecieron las siguientes condiciones. Para realizar el muestreo se cuentan con tres bombas calibradas y certificadas.

Como parámetros para la toma de las muestras se establecieron los valores presentados en la tabla a continuación.

Tabla N° 1

FLÚOR						
TOMA DE MUESTRA	CAUDAL (Litros/min)		VOLUMEN (Litros)		MUESTRAS	BLANCOS
	MIN	MAX	MIN	MAX		
NIOSH (7902)	1	2	12	800		2 A 10

OPERARIO	TURNO	HORAS / TURNO	TIEMPO DE MUESTREO (min)	CAUDAL (Litros/min)	VOLUMEN (Litros)	
OPERARIO EQUIPO	6:00 a.m. A 2:00 p.m.	8	384	2	768	OK
AUXILIAR DE FUNDICIÓN	6:00 a.m. A 2:00 p.m.	8	432	1,5	648	OK
MUESTREADOR	6:00 a.m. A 2:00 p.m.	8	432	1,5	648	OK
OPERARIO EQUIPO	2:00 p.m. A 10:00 p.m.	8	384	2	768	OK
AUXILIAR DE FUNDICIÓN	2:00 p.m. A 10:00 p.m.	8	480	1,5	720	OK
MUESTREADOR	2:00 p.m. A 10:00 p.m.	8	480	1,5	720	OK
OPERARIO EQUIPO	10:00 p.m. A 6:00 a.m.	8	360	2	720	OK
AUXILIAR DE FUNDICIÓN	10:00 p.m. A 6:00 a.m.	8	360	1,5	540	OK
MUESTREADOR	10:00 p.m. A 6:00 a.m.	8	360	1,5	540	OK

Una vez recibidos los análisis de las muestras suministradas al laboratorio, se hace necesario, se requiere hallar el valor del TLV corregido utilizando el valor de horas de trabajo por semana que son 56, el cual arroja un factor de corrección del 0,625 y un TLVc de 0,0971 (Ver tabla a continuación)

Tabla N° 2

TOMA DE MUESTRA	CAUDAL (Litros/min)		VOLUMEN (Litros)		MUESTRAS	BLANCOS	TLV (ppm)	TLV (mg/m ³)	HORAS TRABAJADAS EN EL EXHA	FACTOR CORRECCION TLV	TLV c
	MIN	MAX	MIN	MAX							
NIOSH (7902)	1	2	12	800		2 A 10	0,1	0,15541922	56	0,625	0,087137014
Mw	38										

Al calcular la concentración a la cual se encuentran expuestos los trabajadores las nueve muestras se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el procedimiento de muestreo de la guía NIOSH variando la concentración de la exposición desde 0,053 hasta 0,652 mg/m³, como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla N° 3

OPERARIO	TURNO	HORAS / TURNO	TIEMPO DE MUESTREO (min)	CAUDAL (Litros/min)	VOLUMEN (Litros)	VOLUMEN (m ³)	MASA (mg)	[F ₂] (mg/m ³)	GR		
OPERARIO EQUIPO	6:00 a.m. A 2:00 p.m.	8	384	2	768	OK	0,768	0,5	0,652	6,7122	SOBREEXPUUESTO
AUXILIAR DE FUNDICIÓN	6:00 a.m. A 2:00 p.m.	8	432	1,5	648	OK	0,648	0,034	0,053	0,5458	TOMAR MEDIDAS
MUESTREADOR	6:00 a.m. A 2:00 p.m.	8	432	1,5	648	OK	0,648	0,31	0,479	4,9312	SOBREEXPUUESTO
OPERARIO EQUIPO	2:00 p.m. A 10:00 p.m.	8	384	2	768	OK	0,768	0,42	0,547	5,6012	SOBREEXPUUESTO
AUXILIAR DE FUNDICIÓN	2:00 p.m. A 10:00 p.m.	8	480	1,5	720	OK	0,72	0,23	0,32	3,2943	SOBREEXPUUESTO
MUESTREADOR	2:00 p.m. A 10:00 p.m.	8	480	1,5	720	OK	0,72	0,19	0,264	2,7178	SOBREEXPUUESTO
OPERARIO EQUIPO	10:00 p.m. A 6:00 a.m.	8	360	2	720	OK	0,72	0,185	0,257	2,6457	SOBREEXPUUESTO
AUXILIAR DE FUNDICIÓN	10:00 p.m. A 6:00 a.m.	8	360	1,5	540	OK	0,54	0,09	0,167	1,7192	SOBREEXPUUESTO
MUESTREADOR	10:00 p.m. A 6:00 a.m.	8	360	1,5	540	OK	0,54	0,129	0,35	3,6032	SOBREEXPUUESTO

Sin embargo al analizar el Grado de Riesgo (GR) se observa la sobreexposición en ocho de las nueve muestras realizadas, mientras que la restante requiere la toma de medidas. Por otro lado al analizar los tres cargos muestreados en el caso del operador del equipo los tres se encuentran sobre expuestos con valores de concentración de Flúor del 0,652, 0,547 y

0,257 mg/m³ en cada turno respectivamente, arrojando el menor grado de riesgo para el operador del turno de 10:00 p.m. a 6:00 a.m.

En el caso del auxiliar de fundición los turnos entre 2:00 p.m. a 10:00 p.m. y entre 10:00 p.m. a 6:00 a.m. presentan sobreexposiciones del orden del 0,32 y 0,167 mg/m³ respectivamente, mientras que el auxiliar del turno de 6:00 a.m. a 2:00 p.m. presenta una exposición del 0,053 mg/m³ que requiere tomar medidas. Finalmente para el muestreador en los tres casos se presentaron concentraciones de 0,479, 0,264 y 0,35 mg/m³, respectivamente indicando sobreexposición para los tres.

Conclusiones y recomendaciones

Una vez conocidos los resultados del monitoreo de Flúor en la fabricación de vidrio se puede afirmar que esta es un área con alto grado de peligrosidad en términos generales, que requiere especial atención mediante el constante monitoreo de las condiciones de trabajo, la eficiencia de los controles propuestos así como la salud de los trabajadores expuestos a las labores analizadas.

Por ello las recomendaciones se dan entre niveles diferentes, a saber:

1. Ingeniería

Se recomienda el encerramiento que la adición de flúor al proceso sea inmersa o en el pinto más cercano al vidrio líquido, de tal manera que el chorro no produzca o minimice la

emisión del flúor al ambiente y entre en contacto con los trabajadores. Por su parte se podría establecer una cabina de control aislada para el operario del equipo, la una automatización de las labores realizadas por el auxiliar de fundición y el muestreador evitando así el contacto de estos con la sustancia. Instalar sistemas de monitoreo y alarma permanente que le indique al operario la concentración de la sustancia y pueda realizar una toma de decisión asertiva para la protección de su salud y vida.

2. Administrativas

Realizar mediante un estudio de métodos y tiempos, la evaluación y respectiva mejora en el método de trabajo orientado hacia la reducción en los tiempos de exposición y la frecuencia de los mismos. Reducir los turnos de trabajo y generar esquemas de rotación de personal. Entrenar, concientizar del riesgo y dar al trabajador la autonomía necesaria para la toma de decisiones de acuerdo a los niveles de riesgo presentes en el área de trabajo.

3. Trabajador

Suministrar al trabajador vestido de trabajo adecuado, así como los elementos de protección de personal idóneos, acompañado de un entrenamiento periódico y controlado sobre el uso y mantenimiento de los mismos siguiendo las recomendaciones a continuación.

- a. **Ropa de Trabajo:** En general, uso de indumentaria de trabajo resistente a químicos.
- b. **Protección Respiratoria:** Permanente en caso de sobrepasarse alguno de los límites permisibles normados. Debe ser específica para gases de flúor.
- c. **Guantes de Protección:** Usar guantes de características impermeables y que no sean atacados por el flúor.

- d. **Lentes Protectores:** Se deben usar lentes de seguridad resistentes contra gases de flúor.
- e. **Calzado de seguridad:** En general, utilizar calzado cerrado, no absorbente, con resistencia química y de planta baja.

Como diría Karl Marx “el obrero tiene más necesidad de respeto que de pan”⁴, respeto que inicia desde una orientación adecuada, entrenamiento eficaz, capacitación constante, suministro de espacios, herramientas y protecciones adecuadas para el desarrollo de la labor asignada sin perjuicio o con el mínimo impacto en la salud del trabajador.

Bibliografía

Enciclopedia Encarta 2002.

<http://tannheilsa.is/interpro/heilb/tannvernd.nsf/pages/wpp0054>

García Valoria, Ana. Metabolismo del flúor. <http://www.ada.org/publics/fluoride/facts-saf13-22.html#13>. Publicado el 31/07/2001en geodental.com.

⁴ <http://www.notrabajo.com/frases.htm>