

EL BIÓXIDO DE AZUFRE LÍQUIDO COMO FUMIGANTE PARA BUQUES

Por el Dr. C. L. WILLIAMS

Cirujano del Servicio de Sanidad Pública de los Estados Unidos

Parte I.—VENTAJAS, MÉTODOS, APARATOS, Y COSTO

Desde que se introdujera el ácido cianhídrico para la fumigación, el bióxido de azufre ha sido en gran parte abandonado en los Estados Unidos, según demuestra claramente el número de buques fumigados conforme a ambos métodos con fines cuarentenarios. Antes de 1914, casi 100 por ciento de los buques eran fumigados con azufre, mientras que para 1932 esa cifra había descendido a 6.5 por ciento para los fumigados en el contiente, mientras que en los puertos de las dependencias insulares el ácido cianhídrico ya había suplantado en gran parte al azufre, salvo en las Filipinas. Las cifras absolutas para el año fiscal terminado el 30 de junio de 1932, tal como figuran en el informe anual del Cirujano General del Servicio de Sanidad Pública, aparecen en la tabla 1.

TABLA 1.—*Fumigaciones con HCN y SO₂ durante el ejercicio fiscal terminado el 30 de junio de 1932*

Puertos	Fumigaciones con HCN	Fumigaciones con SO ₂	Porcentaje de fumigaciones con SO ₂
Puertos continentales de Estados Unidos.....	1, 321	93	6. 5
Dependencias insulares:			
Filipinas.....	72	500	89. 2
Todos los demas.....	46	8	17. 4

Sin embargo, a pesar de esa tendencia manifiesta, no parece a esta fecha ¹ que el HCN llegará a suplantar del todo al SO₂ para la fumigación de buques por bastantes años todavía. En las estaciones más pequeñas de cuarentena, donde sólo fumigan algunos buques cada año, hay manifiestos reparos económicos al mantenimiento de brigadas adiestradas para la fumigación con cianuro, cuando trabajadores relativamente inexpertos pueden fumigar esos buques con bastante eficacia con SO₂.

Desventajas de la quema de azufre.—Nada se ganaría con relatar aquí las numerosas ventajas que posee el ácido cianhídrico sobre el bióxido

¹ Mayo de 1933.

de azufre como fumigante, de modo que nos limitaremos a discutir los métodos de usar el último, los cuales comprenden, en diversas partes del mundo:

- (1) Combustión del azufre en ollas o cubetas en los espacios por fumigar.
- (2) Combustión de bisulfuro de carbón ("Salforkose") en los espacios por fumigar.
- (3) Combustión del azufre en hornos *ad hoc*, impulsando los vapores dentro del buque por medio de fuelles (aparato Clayton).
- (4) Pase del SO_2 líquido por un horno para transformarlo en gas, impulsándolo después dentro del buque (procedimiento Marot).
- (5) Introducción del SO_2 líquido directamente en el buque, dejándolo evaporar allí.

El primero de dichos procedimientos obliga a emplear una gran cantidad de material y aparatos, un sinnúmero de ollas y palanganas de agua, sustancias inflamables para encender el azufre, balanzas para pesarlo, etc., cuyos aparatos hay que recoger y retirar una vez concluida la fumigación. El acto mismo entraña un marcado riesgo de incendio.

El "Salforkose" exige menos aparatos, pero acrecienta el peligro de incendio.

Todos los métodos en que se produce el SO_2 fuera del buque, impulsándolo después al interior de éste, requieren aparatos pesados y complicados, construídos *ad hoc*.

De todos los métodos enumerados, el primero, es decir, la quema de azufre en ollas, o braseros, es con mucho el menos exacto, lo cual se debe a dos motivos principales: primero, a que en una proporción considerable de las ollas queda algún azufre sin quemar; y segundo, a que por regla general, la incineración consume varias horas, de modo que jamás se obtiene la concentración teórica de SO_2 , varía mucho la cantidad realmente producida, y la concentración máxima se alcanza tardíamente. Con el Salforkose, el material se consume rápida y completamente, ofreciendo así mayor exactitud. Con todos los métodos en que se produce el gas fuera del buque y se impulsa a éste, a fin de conseguir una dosificación exacta es necesario determinar la concentración obtenida en los diversos compartimientos fumigados.

Bióxido de azufre líquido.—Las ventajas del SO_2 líquido aplicado directamente, consisten en que pueden introducirse dosis exactas, y se elimina el riesgo de incendio y mucho instrumental complicado. Las desventajas radican en que se expide actualmente en recipientes relativamente pesados, y a un costo relativamente elevado.

El SO_2 líquido es un flúido sumamente volátil, de un punto de ebullición de -11.7°C . Se almacena y remite en cilindros fuertes de acero o tanques resistentes, en los cuales, a la temperatura corriente, lo mantiene líquido una presión gaseosa autogenerada de 50 a 100 libras.

En cantidades, puede obtenerse en el mercado de dos calidades. La más barata es bastante satisfactoria para la fumigación y es designada SO_2 líquido anhidro, conteniendo menos de 0.1 por ciento de agua. Hoy día se expide en cilindros que contienen 150 libras cada uno (tara aproximadamente 130 libras; peso total aproximadamente 280 libras), y en tambores o bidones que contienen una tonelada (tara, 1,000 libras). También puede comprarse en lotes de vagón-tanque. La clase más costosa y mejor, que se emplea generalmente para la refrigeración, puede obtenerse en cilindros de 35, 10, 5, y 2 libras.

Manipulación de los cilindros.—Un cilindro de acero de SO_2 de un peso total de 280 libras, no puede ser manejado por un individuo, y aun para dos resulta pesado; pero no una vez que se encuentra en la cubierta del buque. Los puntos en que hay que alzar más es al cargarlo en un camión o bote en la estación de cuarentena, o al trasbordarlo del bote o camión al buque. En la estación puede vencerse esa dificultad empleando una plataforma inclinada o pequeña cabria. En el buque casi resulta necesaria la ayuda de la tripulación. Los cilindros pueden ser izados a la cubierta empleando uno de los pescantes de botes.

Puede evitarse esta manipulación de los cilindros pesados, trasegando el líquido a cilindros más pequeños en la estación de cuarentena, lo cual exige al principio el gasto de un repuesto de los mismos, pues se necesitarán unos 40 ó 50 (de los de 35 libras) para fumigar los buques de carga corrientes y, además, precisa bastante tiempo para hacer el trasiego. Esto apenas parece ofrecer suficientes ventajas que justifiquen la medida, salvo en las estaciones en que el volumen de fumigaciones justifica la compra del SO_2 líquido en bidones de una tonelada.

El SO_2 líquido en tambores puede trasegarse a cilindros para empleo, pues aquéllos están provistos de un tubo interior que conduce desde la válvula de salida a la periferia, de modo que, rotando el bidón a una posición apropiada (indicada por la posición de la válvula) puede extraerse el contenido bien en forma de gas o de líquido. Esta tubería también permite cargar el bidón en un camión o bote, llevarlo al costado del buque, e introducir el SO_2 directamente por medio de tubos largos. Cuando se emplea de ese modo en tiempo frío, hay que tomar alguna disposición para bombear aire bajo presión, o para calentar el tambor. Cuando se dedica un camión exclusivamente a la fumigación, puede resolverse el problema erigiendo en el mismo una cuna de lámina metálica con doble forro, haciendo circular en el interior los gases cálidos expedidos por el motor.

Liberación del bióxido.—El SO_2 líquido puede extraerse de los cilindros de dos modos. Colocando el cilindro verticalmente, es decir, con la válvula arriba, y abriendo ésta, el gas acumulado bajo presión será expulsado, y puede ser llevado por un tubo al espacio por fumigar.

En cambio, si se invierte o inclina el cilindro, de modo que la válvula quede en el punto más bajo, y se abre ésta, el contenido será expulsado en forma de líquido, que, al ser pulverizado, se evapora con suma rapidez. Por supuesto, al hacerlo, se conecta la válvula de salida con un tubo que termina en un pulverizador, que a su vez se introduce en el compartimiento por fumigar.

El primer procedimiento tiene aplicación muy limitada, debido a que apenas ha salido el gas acumulado en el extremo superior del cilindro, disminuye marcadamente la velocidad de la salida del gas, la cual se reduce cada vez hasta que, a la temperatura corriente, alcanza un mínimo de unas tres libras y media por ahora; es decir, que del cilindro de 150 libras, pueden obtenerse unas 25 libras de gas en la primera media hora, y de ahí en adelante la salida será a la velocidad mínima. La causa de esto radica en que el SO_2 exige un calor latente suficientemente alto para la evaporación, de modo que ésta provoca un marcado enfriamiento, el cual, a su vez, retarda la velocidad de la evaporación. Esto se observa como a la media hora de abrir la válvula, al formarse una escarcha espesa en el exterior del cilindro hasta llegar al nivel del líquido. Puede acelerarse la evaporación por medio de la calefacción o, hasta cierto punto, por la agitación.

En cambio, la introducción del SO_2 por la inversión del cilindro y expulsión en forma de líquido por medio de un pulverizador, puede realizarse con bastante rapidez, pues la presión del gas ya contenido en el cilindro es suficiente para vaciar completamente las 150 libras en 20 minutos. Si se pulveriza en la parte de arriba de una bodega, tomará la forma de una neblina espesa, que se evapora antes de descender al fondo.

Medición.—Si se desea medir con exactitud la cantidad de fumigante introducido, es necesario colocar el cilindro, montado en su cuna, en una báscula, observando la pérdida gradual de peso, y cerrando la válvula una vez introducida la cantidad deseada. Sin embargo, en la práctica puede evitarse eso, determinando la velocidad de la salida del líquido por el pulverizador o pulverizadores utilizados, lo cual se averigua vaciando completamente un cilindro con un pulverizador, y anotando cuidadosamente el tiempo transcurrido por cada cinco libras de peso perdido. Una vez determinada la velocidad, puede eliminarse la mucha molestia inherente al empleo de una báscula pesada, calculando la cantidad de SO_2 introducida tomando por base el tiempo que se deja salir. A medida que se vacía el cilindro, la evaporación interior basta para mantener la presión, de modo que la velocidad de la salida es notablemente uniforme.

Aparatos.—Además de los cilindros de fumigantes, los únicos aparatos necesarios comprenden: llaves inglesas para abrir y cerrar la válvula y apretar los empalmes de los tubos de goma; un enchufe de reducción para acoplarlo a la válvula de $\frac{3}{4}$ de pulgada del cilindro

en un extremo y al empalme de $\frac{1}{4}$ de pulgada del tubo en el otro; 20 pies de tubo de presión de $\frac{1}{4}$ de pulgada, con empalmes de rosca de $\frac{1}{4}$ de pulgada a ambos extremos; un pulverizador que se enchufa al extremo libre del tubo; y una cuna *ad hoc* para sostener el cilindro en posición inclinada. (Véanse las ilustraciones.) Puede acelerarse marcadamente la introducción empleando varios juegos de tubos, pulverizadores y enchufes, así como varias cunas (o una sola que sostenga dos, tres, o más cilindros), de modo que puedan funcionar simultáneamente todos los cilindros que se desee.

Pulverizadores.—Puede emplearse un pulverizador de cualquier género, pero para la fumigación práctica es necesario adoptar uno que

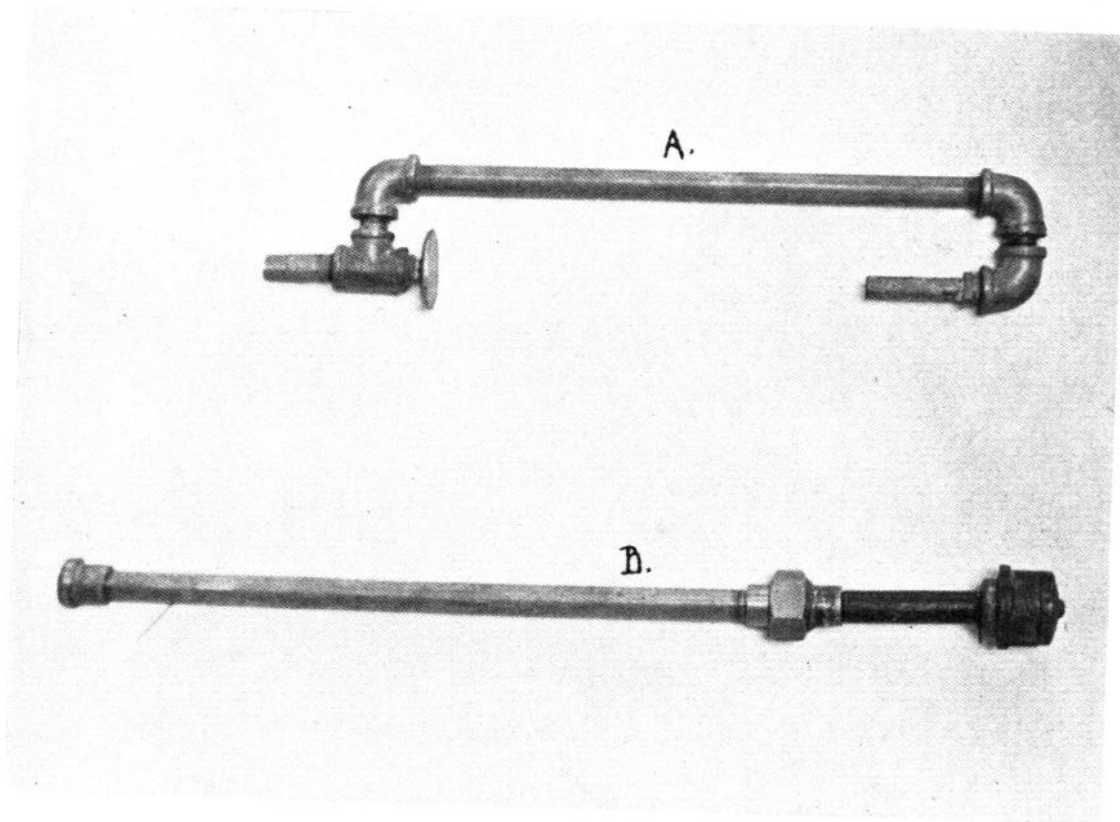


FIGURA 1.—(A) pulverizador de chorro; el líquido al salir de la boca del tubo a la derecha choca contra el platillo a la izquierda, esparciéndose en la atmósfera. (B) pulverizador llamado de disco; el líquido sale por la pequeña rendija del extremo derecho en toda su circunferencia, difundiéndose en nube circular.

permita el pase rápido. Los pulverizadores reproducidos en la figura 1 (A y B), fueron elaborados y utilizados en la Estación de Cuarentena de Nueva York, en donde resultaron bastante satisfactorios. En las figuras 3 y 4 puede observarse la clase de pulverización que producen.

Es absolutamente indispensable que tanto el pulverizador como el interior del tubo permanezcan sin agua, pues de haberla, aunque sea en cantidades comparativamente pequeñas, el enfriamiento producido por la evaporación del SO_2 la congelará en la estrecha salida, obturándola. Sin embargo, si el tubo y pulverizador están secos, funcionarán perfectamente.

Cantidad de gas y período de exposición.—Para la fumigación mediante la quema de azufre, los reglamentos cuarentenarios de los Estados Unidos prescriben el empleo de tres libras de la sustancia por cada 1,000 pies cúbicos, con una exposición de seis horas y, teóricamente, eso debería producir una concentración de 3 por ciento por volumen en el aire. En realidad es dudoso que se obtenga por lo general una concentración mayor de la mitad de dicha cifra. Además, por motivo de la lenta incineración, parece bastante manifiesto que la

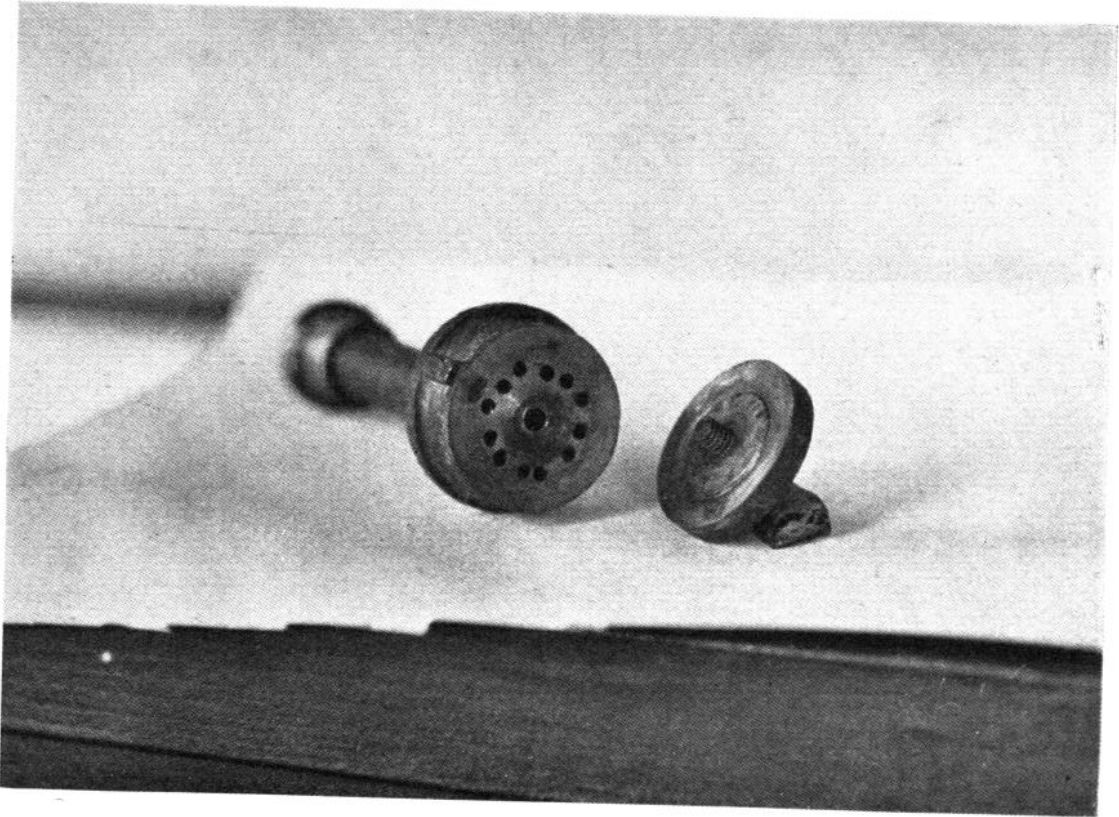


FIGURA 2.—Pulverizador de disco desmontado (Fig. 1-B).

concentración máxima no aparece sino hasta ya cerca del fin del período de exposición prescrito.

En contraposición a eso, cuando se emplea SO_2 líquido, por medirse con exactitud la cantidad introducida en el espacio fumigado, se produce la concentración máxima al comenzar el período de exposición. Parece, pues, completamente lógico, cuando se emplea esa sustancia, reducir, bien la cantidad de fumigante estipulada, o la exposición, o quizás ambas cosas. Si fuera a emplearse una concentración de 3 por ciento por volumen, según estipulan los reglamentos cuarentenarios, resultaría necesario introducir unas 6 libras de SO_2 líquido por cada 1,000 pies cúbicos. Si la exposición fuera después de seis horas, según estipulan los reglamentos, tendríamos en realidad como el doble de la concentración obtenida quemando azufre, aplicada durante el mismo espacio de tiempo. Parece razonable, pues, bien mermar el tiempo de exposición a la mitad, es decir, a tres horas, o reducir la

cantidad de gas en la misma proporción, es decir, a tres libras por 1,000 pies cúbicos.

Lo más económico sería reducir el gas, pero hay varias razones para no rebajarlo a menos de la cantidad que produzca una concentración de 2 por ciento por volumen. Una de las más importantes consiste en que ésta es la pauta que han fijado generalmente los investigadores que utilizan SO_2 como fumigante en el extranjero; otra es haberse determinado ² que ésa es la concentración mínima que destruirá realmente las ratas con rapidez (dentro de 5 a 10 minutos). Además, es sabido que el SO_2 penetra con alguna lentitud en los espacios cerra-



FIGURA 3.—Nube producida en la boca de la escotilla por el pulverizador de chorro (Fig. 1-A.).

dos, por lo cual no parece prudente acortar demasiado el período de exposición.

Teniendo presente dichos puntos, recomendamos el empleo de cuatro libras de SO_2 líquido por cada 1,000 pies cúbicos, y una exposición de cuatro horas, contando desde el momento en que se ha introducido la cantidad total de gas. En una fumigación experimental verificada en esa forma en la Estación de Cuarentena de Nueva York, se descubrió, mediante la titulación de muestras, que a la hora de introducir el gas la concentración en una bodega era de 1 por ciento por volumen, que descendió progresivamente hasta que, al cabo de cinco horas y media, no pasaba de 0.6 por ciento por volumen, mientras que en los mismos períodos, en un resguardo de la tubería relativa-

² Clark, G. A.: Jour. Royal Nav. Med. Serv., ab. 1932.

mente ceñido de la misma bodega, era de 0.5 y 0.4 por ciento por volumen, respectivamente.

Toxicidad.—El SO_2 mata a las ratas y a otros animales hematermas por la irritación que produce en los tejidos pulmonares. A concentraciones de 2 por ciento o más por volumen, las ratas mueren en 5 a 10 minutos de edema pulmonar.² En los experimentos verificados en la Estación de Cuarentena de Nueva York, se determinó que aproximadamente 0.1 por ciento por volumen hace morir las ratas

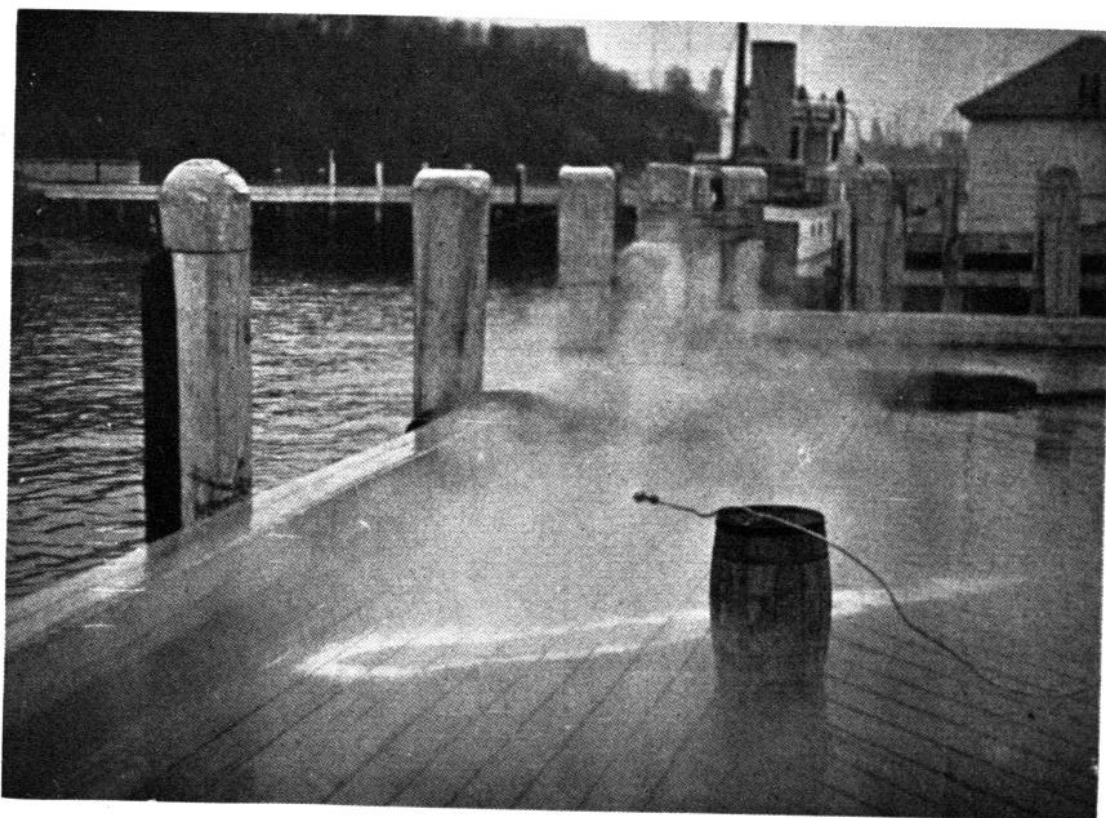


FIGURA 4.—Nube producida por el pulverizador llamado de disco (Fig. 1-B).

expuestas en 2 a 4 horas; 0.2 por ciento en 1 a 2; 0.3 en una hora o menos; y 0.5 por ciento en media hora.

Aplicando esas cifras a la fumigación experimental citada en la sección anterior, se observará que durante el período comprobado, es decir, desde una hora hasta 5½ horas después de introducir el gas, existía en la bodega una concentración suficiente para matar las ratas en menos de media hora, y en el resguardo de la tubería, para matarlas en una hora o menos.

Absorción.—El bióxido de azufre es absorbido fácilmente por el agua, que toma hasta unas 30 veces su volumen de gas, lo cual reviste importancia en la fumigación de buques, por ser la inmensa mayoría de las bodegas marcadamente húmedas. En la precitada fumigación experimental, el descenso de la concentración inicial de 2 por ciento por volumen, a 1 por ciento al comprobarla una hora después, se

² Clark G. A.: Jour. Royal Nav. Med. Serv., ab. 1932.

atribuye a la absorción por las superficies húmedas de la bodega. En este experimento, la bodega utilizada era absolutamente hermética, sin poder observarse durante el experimento ningún escurrimiento apreciable por el encerado que cubría la escotilla.

Fumigación de buques cargados.—En la fumigación de buques cargados, el principal problema consiste en introducir el gas a todos los niveles de las bodegas. Cuando se quema azufre, es posible fumigar las bodegas cargadas de modo que el pozo de la escotilla quede franco desde la cubierta principal hasta el sollado, y en esa forma el gas pasará con bastante uniformidad a los distintos niveles. Sin embargo, tratándose de una bodega abarrotada, de modo que el pozo de la escotilla entre el shelter-deck y el entrepuente y entre éste y el sollado, se halla repleto de carga, no es posible fumigar adecuadamente con ese método, y lo mejor es remover suficiente carga de la porción superior para colocar las ollas de azufre, fumigando así el nivel de arriba. Una pequeña porción de gas penetrará por las mangueras hasta los compartimientos inferiores, pero no suficiente para matar las ratas.

Con los varios métodos en que se quema azufre fuera del buque y se impulsan luego los vapores a éste, es posible, por supuesto, introducir el gas por las mangueras, de modo que penetre en los distintos niveles. Sin embargo, este método probablemente no es muy exacto, pues las corrientes de aire encuentran más obstrucciones en los niveles bajos que en los superiores; de modo que sería de esperar que la mayor parte del gas introducido por la manguera penetrara en los compartimientos superiores, una porción menor en los intermediarios, y el mínimo en el sollado. Sin embargo, puede vencerse esa tendencia, introduciendo el tubo del gas por la manguera directamente hasta el sollado, elevándolo después al nivel de cada uno de los compartimientos superiores.

Por supuesto, el SO_2 líquido puede pulverizarse fácilmente a cualquier nivel deseado en una bodega cargada, haciendo pasar el tubo de introducción del gas, con su pulverizador, por la manguera, impulsándolo hasta el sollado, y alzándolo después sucesivamente a los distintos compartimientos, y pulverizar en cada uno de éstos la cantidad calculada. La dificultad que entraña este procedimiento consiste en que todavía son muy pocos o nulos los datos disponibles acerca de las averías que pueda experimentar la carga pulverizada directamente con unas 100 libras de SO_2 líquido. En lo tocante a muchas mercancías, cabe afirmar en general que no sufrirían averías de importancia, y entre aquellas figuran muchos de los cargamentos a granel, tales como granos, linaza, minerales, pulpa para papel, etc. Sin embargo, tratándose de otros artículos, es probable que sobrevengan averías de consideración, aunque por ahora hay pocos datos en ese sentido. Es probable que productos tales como café, caucho, harina, géneros teñidos, y tejidos, sufrirían.

La única alternativa a la pulverización del SO_2 líquido en las bodegas cargadas, es calentarlo en su envase e introducirlo en forma gaseosa. Para obtener una exactitud razonable, precisa un aparato de calefacción, así como algún dispositivo para pesar el gas introducido, o empleo de un gasómetro que indique la cantidad introducida en pies cúbicos. La medición del gas no debe ser muy difícil, pues pueden utilizarse varios gasómetros de comercio; el verdadero problema radica en aplicar suficiente calor para evaporar la gran cantidad de SO_2 necesario. Con el procedimiento de Marot, el líquido pasa por un serpentín de cobre, calentado en uno de los aparatos por los gases expulsados por un motor de gasolina.

Las bodegas parcialmente cargadas, en que el pozo de la escotilla se halla franco hasta el sollado, pueden fumigarse pulverizando SO_2

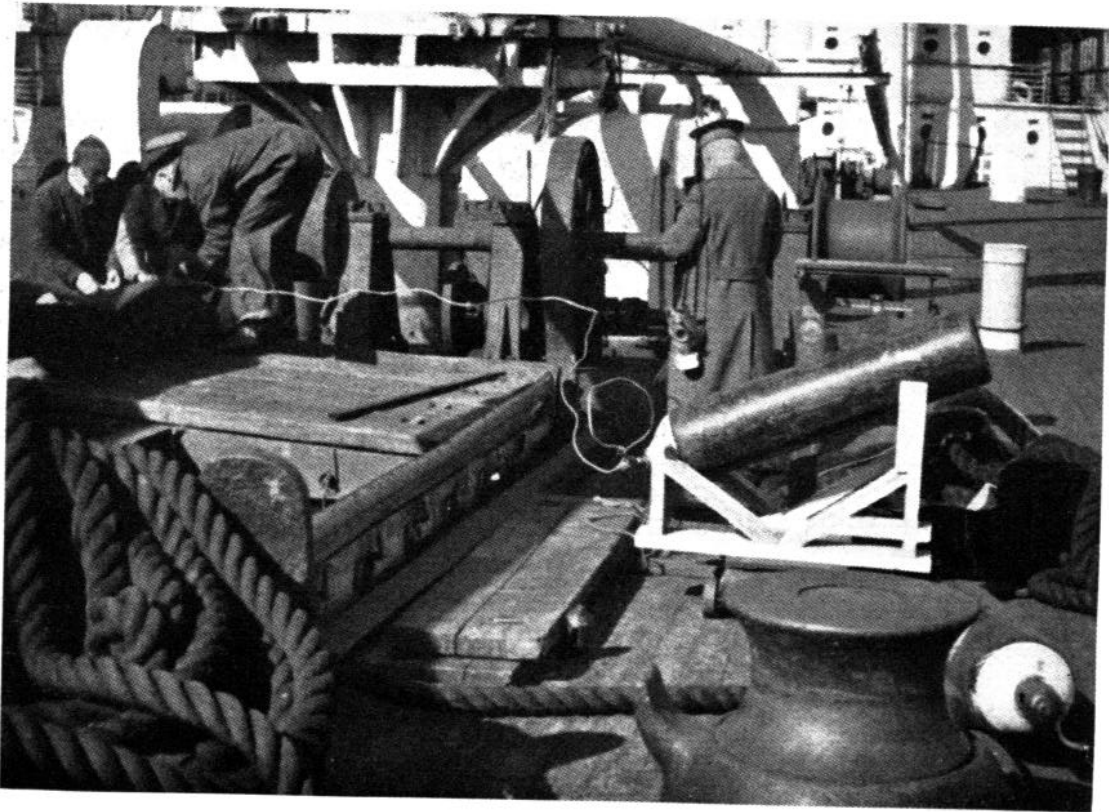


FIGURA 5.—Cilindro de SO_2 líquido, montado en su cuna, y colocado en la báscula; el tubo de introducción del gas está conectado y los fumigadores empalman la cánula pulverizadora.

líquido en la porción superior, sin más averías para la carga que las que acarrearía la combustión de azufre en la bodega.

En vista del pequeño número de buques que hay que fumigar con SO_2 en los puertos continentales de los Estados Unidos, cuando están abarrotados, parece que, en esos casos, lo más práctico consistiría en descargar los bultos estibados hasta dejar franco, el pozo de la escotilla y fumigar entonces. Dado que cuando se emplea SO_2 no hay mayor reparo a que la exposición continúe toda la noche, parece que este procedimiento acarrearía muy poca o ninguna demora adicional en las operaciones del buque.

Costo.—A esta fecha, el SO_2 líquido (anhidro comercial, que contiene menos de 0.1 por ciento de agua) puede conseguirse en cilindros de 150 libras a 7 centavos por libra l.a.b. Por cada cilindro, se requiere un depósito de \$20, que es reembolsado al devolverlo. Para los bidones de una tonelada, el precio actual es de 6 centavos por libra l.a.b., con un depósito de \$200 por cada bidón. Esa calidad de SO_2 líquido no se expide en la actualidad en envases pequeños, pero de haber suficiente demanda, puede probablemente obtenerse en cilindros de 35 libras, al precio de unos 10 centavos por libra, con un depósito de \$10 por cada cilindro. Los precios cotizados son para el puerto de Norfolk, Virginia.

Los barcos de carga corrientes, son como de 3,500 toneladas netas, y para fumigarlos con SO_2 líquido a razón de 4 libras por cada 1,000 pies cúbicos, precisarían unas 1,500 libras. Comprada esta cantidad en cilindros de 150 libras, vendría a costar, incluso flete, entre \$125 y \$150.

Parte II.—PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL BIÓXIDO DE AZUFRE LÍQUIDO*

Los experimentos realizados tenían cuatro objetivos, a saber:

- (1) Determinar el tiempo necesario para pulverizar el bióxido de azufre líquido.
- (2) Determinar las concentraciones del gas producidas a diversos niveles de la bodega.
- (3) Determinar las concentraciones obtenidas en los espacios cerrados.
- (4) Determinar la velocidad de la expulsión del bióxido de azufre de los cilindros en forma de gas.

Espacios escogidos para el experimento.—Las bodegas No. 1 y No. 6 del vapor *President Fillmore*.

Material.—Bióxido de azufre líquido anhidro del comercio, que, según las estipulaciones, no contenía más de un décimo de 1 por ciento de agua.

Procedimientos

Primer objetivo.—Un cilindro de acero que contenía unas 150 libras de bióxido de azufre líquido fué conectado con una bomba de aire, e introdujose una presión neumática que llegó hasta 150 libras por pulgada cuadrada, observándose que la presión del gas ya en el cilindro, ascendía al comenzar a 50 libras. Separado entonces el cilindro de la bomba, fué colocado sobre una cuna de modo que quedara inclinado y con la válvula abajo, y todo el aparato puesto en una báscula. Empalmado al cilindro un tubo de cobre flexible de 6 mm de diámetro, se acopló un pulverizador al otro extremo, que fué introducido en la bodega. Luego se abrió de par en par la válvula, observándose en la báscula la pérdida gradual de peso, y anotándose con un reloj el tiempo necesario para la salida del gas. (Fig. 5.) Se comprobaron dos clases de pulverizadores: uno de chorro dirigido contra una superficie plana (Fig. 1-A), y el otro llamado de disco (Fig. 1-B) (el líquido se difunde en forma de nube circular). Al funcionar, ambos desintegraban el bióxido líquido en forma de una neblina espesa (véanse las Figs. 3 y 4).

*Comunicación presentada en la sesión de mayo de 1933, del Comité Permanente de la Oficina Internacional de Higiene Pública; publicada en el *Bulletin Mensuel*, agto. 1933.

Objetivos segundo y tercero.—Antes de comenzar la fumigación, se introdujeron tubos de goma en varios puntos de las dos bodegas, a fin de obtener muestras de la atmósfera interior (Figs. 8 y 9), llevándose los extremos de los tubos a la cubierta principal a través de las escotillas. En cubierta se colocó un frasco aspirador, por medio del cual se hacían pasar cantidades medidas de aire a través de una solución yodada normal (1/10), a fin de titular el contenido de SO_2 . El aparato en funcionamiento aparece en la figura 6.

La bodega No. 1 consta del pozo de la escotilla que cruza dos cubiertas, dando acceso a los dos entrepuentes inferiores y el sollado, con un cabida de 41,000 pies cúbicos. La profundidad total de la bodega desde la brazola de la escotilla en cubierta hasta el techo del tanque del fondo, era de 58 pies. El lastre sobre el tanque del fondo tenía 8 pies de profundidad, pero en el centro tenía un espacio franco de 3 pies cuadrados que daba acceso a la tapa del tanque. Esta entrada

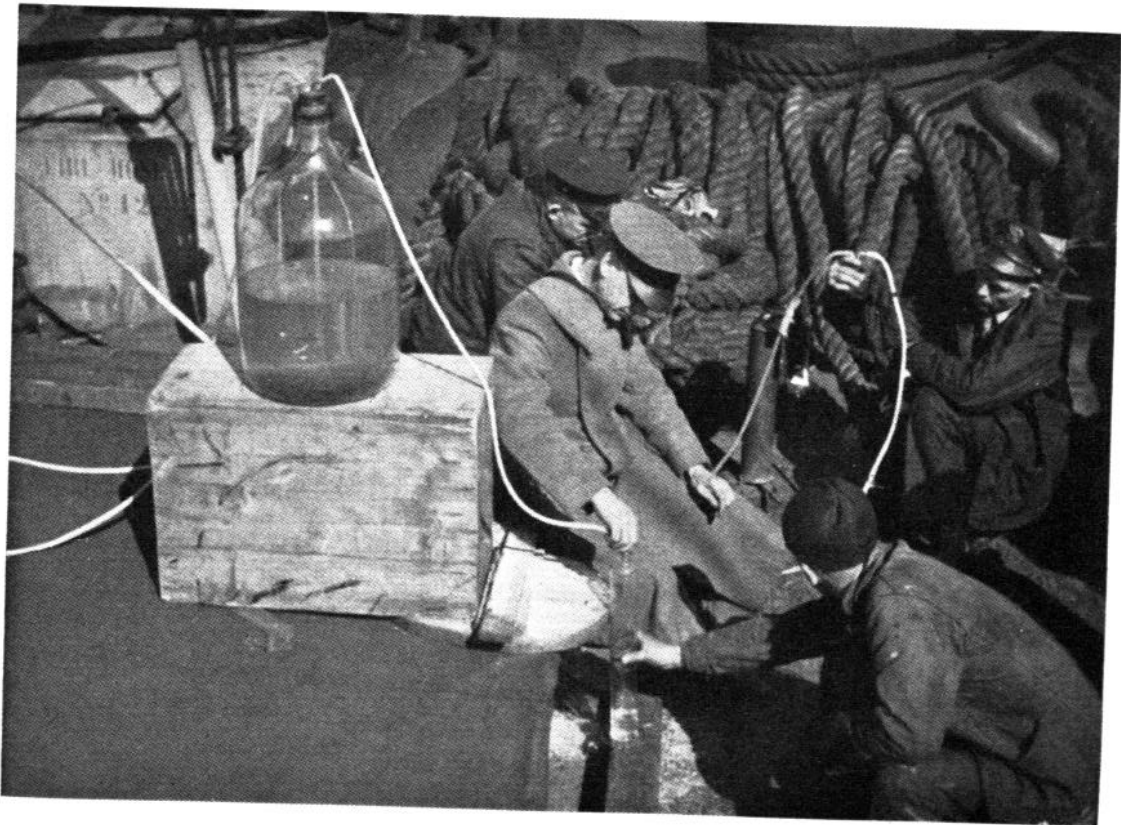


FIGURA 6.—Frasco aspirador y tubos para tomar muestras de la atmósfera interior.

estaba cubierta con tablas sueltas, entre las cuales quedaban varias rendijas de 1.25 cm de ancho. Uno de los tubos de toma de muestras (No. 4) fué introducido hasta el fondo de la entrada, y otro (No. 3) colocado en el sollado a 4 pies sobre el nivel del lastre; el tubo No. 2 fué colocado en el primer entrepuente a 20 pies de la brazola de la escotilla; el No. 1 en el pozo de la escotilla a 6 pies de la brazola; el No. 6 en un resguardo de la tubería bastante ceñido en el segundo entrepuente, en un punto que quedaba a 30 pies debajo de la brazola de la escotilla. Este resguardo de la tubería tenía un agujero como de 3.75 cm² cerca del extremo inferior, y dos más pequeños, como de 1.25 cm², cerca del extremo superior.

En la bodega No. 6 el primer entrepuente fué aislado cerrando la boca de la escotilla que comunica al primero y segundo entrepuentes, de modo que para los fines de esta fumigación, el espacio constaba del pozo de la escotilla semejante al de la bodega No. 1, y el primer entrepuente, subdividido a su vez en varios compartimientos frigoríficos cuya disposición aparece en la figura 9. Los tubos para toma de muestras fueron colocados en tres de las cámaras frigoríficas y en el pozo de la

escotilla a 25 pies de la brazola. Ninguno de los tubos quedaba en espacios cerrados, pues el objeto era determinar hasta que punto se difundiría el gas por las puertas relativamente pequeñas en esos compartimientos. En uno de éstos, se colocó el tubo cerca del techo y en otro próximo al piso.

Cuarto objetivo.—A fin de determinar la velocidad de la introducción del fumigante en forma de gas, se colocó verticalmente en la báscula un cilindro de acero que contenía unas 150 libras de bióxido de azufre líquido, y de la salida del cilindro

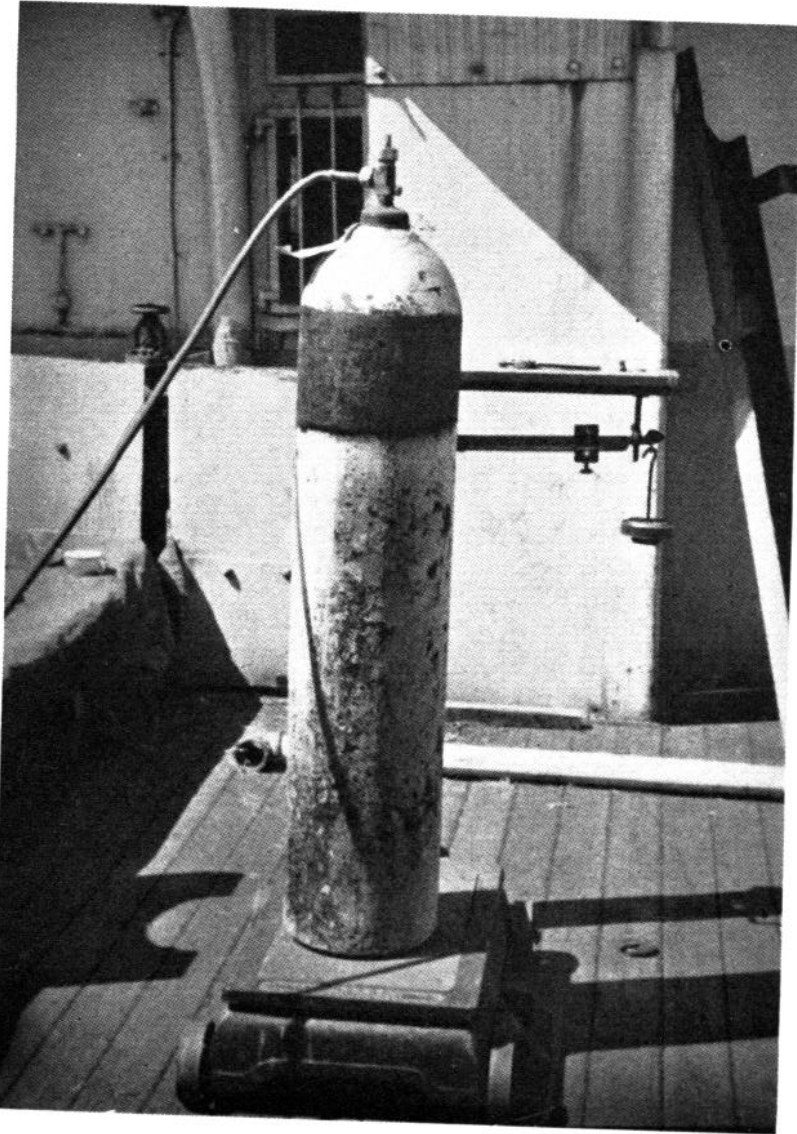


FIGURA 7.—Introducción de bióxido de azufre por evaporación espontánea. La cabeza del cilindro está pintada de blanco y todo el resto de negro. Obsérvese la escarcha, que alcanza hasta el nivel del líquido en el interior.

se llevó un tubo de goma de 20 pies hasta la bodega. Luego se abrió la válvula y se dejó salir el gas, comprobándose la cantidad entregada por la pérdida gradual de peso, y anotándose el tiempo con un reloj.

Resultados

Primer objetivo.—Con el pulverizador de chorro, se entregaron 50 libras de SO_2 en los primeros 4 minutos, 50 más en los próximos 5 minutos, y 45 en los 6 minutos siguientes, o sea un total de 145 libras en 15 minutos. Al llegar a este punto, cesó la pérdida de peso del cilindro, demostrando que éste estaba vacío. Después de dejar extinguir la presión neumática, se desconectó el tubo de entrega y se empalmó a otro cilindro lleno. Se suplantó el pulverizador de chorro con el de

disco. Antes de empalmar el tubo, se había introducido en el cilindro una presión neumática de 150 libras. Ya todo dispuesto, se abrió la válvula y se pulverizaron 25 libras de bióxido de azufre líquido en tres minutos, cerrándose de nuevo la válvula.

El total de tiempo necesario para introducir 170 libras de bióxido de azufre líquido en la bodega fué de 28 minutos, y como la cabida de la misma era de

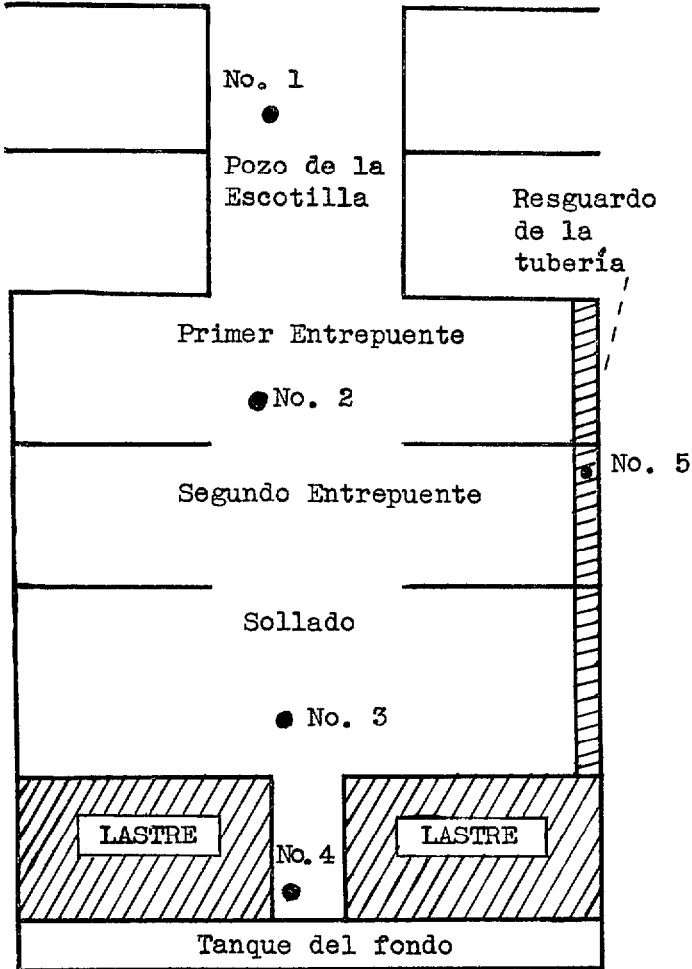


FIGURA 8.—Plano de sección longitudinal de la bodega no. 1, indicando los puntos donde se tomaron las muestras.

41,000 pies cúbicos, el fumigante representaba más de 4 libras por cada 1,000 pies cúbicos y, teóricamente, debió haber producido una concentración de 2.27 por ciento por volumen.

El cilindro, con el pulverizador de disco conectado, fué entonces trasladado a la bodega No. 6, en que se instaló del mismo modo que antes. Se abrió la válvula, y se pulverizó el líquido restante. El tiempo transcurrido y las cantidades introducidas fueron éstos: en los primeros 2 minutos, 20 libras; en los próximos 2, 20 libras más; en los 2 siguientes, 20; en los 2 después, 20; y en los últimos 4

minutos, 43 libras más, o sea un total de 123 libras en 12 minutos desde el momento que se abrió la válvula.

En la bodega No. 6, se introdujeron 31 libras más de SO_2 líquido de un modo que se explicará más adelante. Esto representa un total de 154 libras en esta

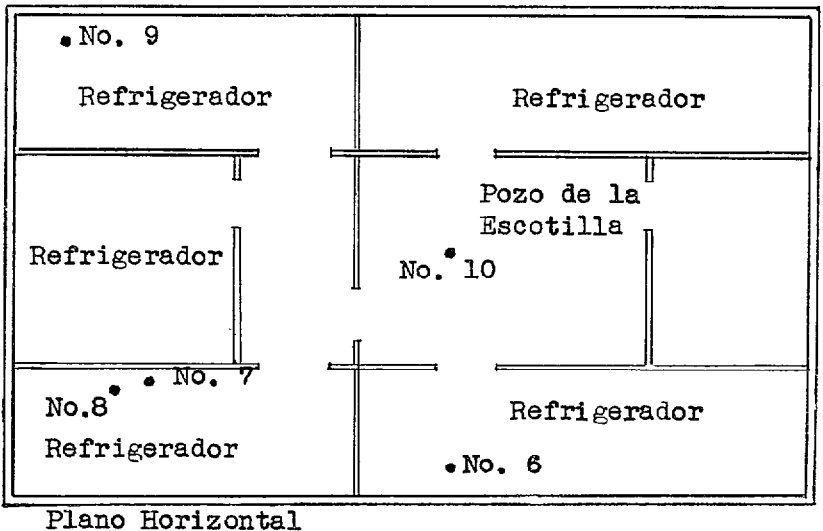
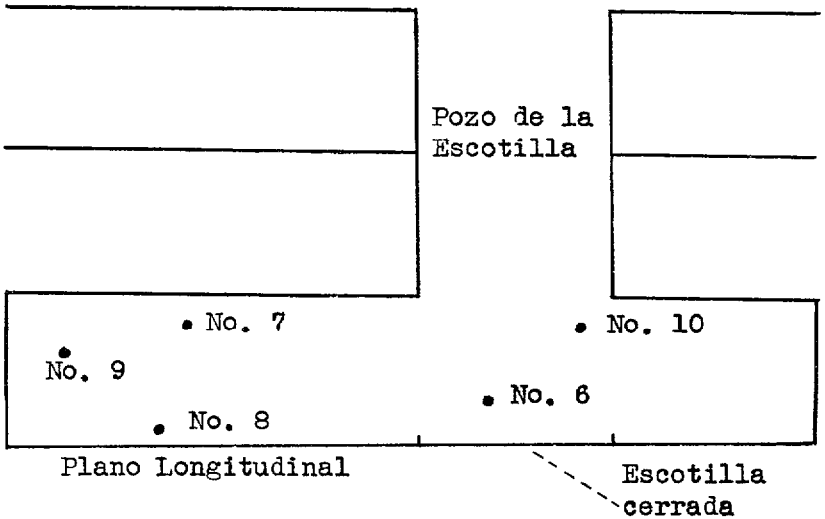


FIGURA 9.—Planos de sección longitudinal y horizontal de la bodega no 6, indicando los puntos donde se tomaron las muestras.

bodega, cuya cabida era de 32,000 pies cúbicos, de modo que la concentración teórica debió ser de 2.63 por ciento por volumen.

En ningún momento hubo mayor retardo de la velocidad de la entrega con cualquiera de los pulverizadores. Al parecer, no hubo la menor tendencia de

parte de los pulverizadores a congelarse, aunque ambos, al sacarlos de la bodega, estaban escarchados en la superficie.

Recapitulando, se observará que utilizando cilindros que contenían 150 libras de bióxido de azufre líquido, bajo una presión inicial de 150 libras por pulgada cuadrada y con las clases de pulverizador utilizadas, se pulverizó el líquido a razón de unas 10 libras por minuto. El traslado del aparato pulverizador de un cilindro a otro, se tomó 10 minutos. Por supuesto, en la manipulación, lo esencial fué que los cilindros estaban inclinados de modo que la válvula de salida quedaba en el fondo, y el aire y el vapor se hallaban bajo presión arriba. Esto logró dos fines: primero, rápida expulsión del bióxido en forma de líquido; y segundo, impedir toda evaporación considerable hasta después de expulsado el líquido por el pulverizador, impidiendo así el enfriamiento excesivo del aparato.

A guisa de comentario, proponemos dos perfeccionamientos: empleo de cilindros más pequeños; y empleo de más tubos y cánulas pulverizadoras para introducción del fumigante, a fin de poder vaciar dos, tres o más cilindros al mismo tiempo. También es probable, aunque no se comprobó en este experimento, que la presión normal en los cilindros baste para expulsar el líquido por los pulverizadores sin necesidad de agregar presión neumática. En cuanto a tamaño, los cilindros que no contengan más de 50 libras serán mucho más convenientes que los utilizados, pues el peso total de uno de los últimos se aproximaba a 300 libras.

Segundo objetivo.—En la bodega No. 1, el segundo objetivo, que era averiguar las variaciones de la concentración a distintos niveles, se determinó comparando las concentraciones de las muestras 1, 2 y 3 a niveles de 6, 20 y 46 pies respectivamente bajo la brazola de la escotilla o, expresado en otra forma, a niveles de 4, 30 y 44 pies sobre la línea del lastre en el sollado. En la tabla 2 aparece el resultado de la comprobación de esas muestras a plazos de una, tres horas y media y cinco horas y media después de introducir el gas. En resumen, revelan una concentración muy semejante a niveles distintos e, inesperadamente, algo inferior en los más profundos.

TABLA 2.—Concentración comparada de SO_2 en distintos niveles de la bodega No. 1. Concentración calculada (a base de la cantidad de SO_2 introducida) 2.27 por ciento por volumen

Muestra	Nivel	Porcentaje de concentración (por volumen)		
		A la hora	A las 3½ horas	A las 5½ horas
No. 1----	6 pies bajo la escotilla 44 pies sobre el lastre.....	1.09	0.67	0.51
No. 2----	20 pies bajo la escotilla 30 pies sobre el lastre.....	1.03	.63	.50
No. 3----	46 pies bajo la escotilla 4 pies sobre el lastre.....	1.04	.61	.45

En la bodega No. 6 se obtuvieron muestras a la hora de introducir el gas. El resultado aparece en la tabla 3, revelando más o menos la misma concentración en las varias cámaras frigoríficas, y algo menor en la boca de la escotilla. En un compartimiento donde se tomaron muestras a distintos niveles, la concentración fué mucho mayor cerca del piso que del techo.

TABLA 3.—Concentraciones de SO_2 en distintos compartimientos de un mismo nivel. Muestras tomadas a la hora de introducirse el fumigante. Concentración calculada, 2.63 por ciento por volumen

Muestra	Compartimiento	Porcentaje de concentración (por volumen)
No. 6.....	Cámara frigorífica de la banda de babor—extremo de popa.....	1.86
No. 7.....	Cámara frigorífica de la banda de babor—extremo de proa—cerca del techo.....	1.32
No. 8.....	Igual que la No. 7, pero cerca del piso.....	2.19
No. 9.....	Cámara frigorífica de la banda de estribor—extremo de proa.....	1.94
No. 10.....	Pozo de la escotilla, a 25 pies bajo la brazola.....	1.03

Obsérvese que la concentración en la bodega No. 1 a la hora de introducir el gas, fué solamente la mitad de la calculada, tomando por base la cantidad de gas introducido, y en las cuatro y media horas siguientes, disminuyó gradualmente en 25 por ciento más. Como se observó muy poco escurrimiento, parece que la mayor parte de dicha reducción procedió de la absorción en las superficies húmedas de la bodega, y en particular en el sollado, donde tanto las obras de acero como de madera se hallaban sumamente húmedas.

En la bodega No. 6 las concentraciones se aproximaron más a lo calculado, lo cual parece deberse en gran parte a que el sollado, donde radican la mayoría de las superficies húmedas, quedó eliminado en el experimento, y los compartimientos fumigados quedaban a un nivel más cálido sobre la línea de flotación.

Tercer objetivo.—Este objetivo (determinar la cantidad de gas que penetra en los espacios cerrados) se logró en la bodega No. 1 mediante las muestras Nos. 4 y 5 tomadas en el hueco semicerrado en medio del lastre en el fondo del sollado y en el resguardo de la tubería en el segundo entrepuente.

El resultado de las pruebas figura en la tabla 4, por la cual se verá que la cantidad de gas en cada período de tiempo (con una excepción) era menos de la mitad que en la bodega correspondiente. La desaparición del gas con mayor rapidez en el sitio de toma de la muestra No. 4, queda presuntamente explicada por la presencia de agua en el fondo del hueco en el lastre, de donde se tomara. Obsérvese que en ambos sitios, por un período por lo menos de tres horas y media, la concentración fué mayor que la ya determinada en los experimentos llevados a cabo en la Estación de Cuarentena de Nueva York como necesaria para matar las ratas en una a dos horas, o sea dos décimos de 1 por ciento.

TABLA 4.—Concentraciones de SO_2 en dos espacios cerrados de la bodega No. 1

Muestra	Nivel	Porcentaje de concentración (por volumen)		
		A la hora	A las 3½ horas	A las 5½ horas
No. 2.....	Tomada de la tabla 2 como testigo; 20 pies bajo la escotilla 30 pies sobre el lastre.....	1.03	0.63	0.50
No. 4.....	Cerca del fondo del pozo en el lastre a 8 pies de profundidad—en el sollado.....	.45	.21	.09
No. 5.....	Resguardo de la tubería en el segundo entrepuente—23 pies bajo la escotilla; 22 pies sobre la línea del lastre....	.48	.54	.21

Cuarto objetivo.—El propósito en este caso era determinar la velocidad de la introducción del fumigante cuando se dejaba evaporar en el cilindro.

Se colocó verticalmente sobre la plataforma de la báscula un cilindro que contenía unas 150 libras de bióxido de azufre líquido, determinándose que la presión del vapor en la parte superior del cilindro era casi exactamente de 50 libras. Se conectó entonces un tubo de goma de 20 pies, que fué introducido en la bodega No. 6, y se abrió la válvula de par en par. Durante los primeros 6 minutos se introdujeron 4 libras; en los 6 siguientes, 4 más; en los 16 siguientes, 5 más; y en los últimos 30 minutos, 5 libras más. Se mantuvo entonces la válvula cerrada por 30 minutos. Se abrió después la válvula, y en 30 minutos pasaron 10 libras; en los 12 siguientes, 2 más; y en los últimos 8 minutos, una libra más.

Al terminar el primer período de observación, se había enfriado a tal punto el líquido restante en el cilindro, que la superficie exterior de éste se hallaba cubierta de escarcha hasta el nivel del líquido en el interior. Esta escarcha desapareció durante el intervalo de media hora, pero reapareció al cabo del segundo período de observación (Fig. 7).

Por esta prueba resulta manifiesto, que una vez expulsado el gas ya evaporado en el cilindro, el pase subsecuente del SO_2 evaporado depende del calor absorbido. Mientras duró el experimento, la temperatura atmosférica subió de 10° a 12.75° C. Además, el cilindro, que estaba pintado de negro, quedaba expuesto al sol.

Por los datos dados, es decir, introducción de un total de 31 libras de gas en unas dos horas, cabe calcular toscamente que precisarían unas 10 horas para introducir 150 libras de un solo cilindro. Aunque resulta manifiesto que puede aumentarse la cantidad introducida en un período dado utilizando simultáneamente varios cilindros, también es aparente que a menos que la cantidad de gas en cada cilindro sea bastante pequeña, hay que conceder mucho tiempo para introducir el gas con dicho método.

El resultado de este experimento reviste sumo interés, visto ese modo de emplear bióxido de azufre líquido en algunos puertos marítimos, pues hace deducir que su utilización en el pasado puede haber sido en gran parte empírica, sin comprobación exacta, de modo que no cabría esperar resultados de los mejores.

Congelación de los Pulverizadores

Como ha habido referencias a la congelación de los pulverizadores mientras se introducía bióxido de azufre líquido, de modo que el gas no pasaba sino después de dejarlos deshelar, se verificó un experimento con bióxido líquido, al cual se había agregado aproximadamente 5 por ciento de agua. Cuando se trató de pulverizar con la cánula de disco (Fig. 1-B), el agua congelada en la estrecha salida bastó para obstruir completamente el pulverizador, y eso sucedió cuando apenas habían pasado unas cinco o seis libras de fumigante. Parece, pues, que hay congelación del pulverizador cuando el fumigante contiene una cantidad apreciable de agua.