

DEMOSTRACIÓN TECNOLÓGICA PARA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MERCURIO EN LAS PEQUEÑAS REFINERIAS DE ORO



Preparado por

*U.S. Environmental Protection Agency
(Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América)
Oficina de Asuntos Internacionales*

Y

*Argonne National Laboratory
División de Ciencia del Ambiente*

*Informe Final del Anteproyecto
Febrero 2008*

DEMOSTRACIÓN TECNOLÓGICA PARA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MERCURIO EN LAS PEQUEÑAS REFINERIAS DE ORO

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vii
ANOTACIONES.....	viii
1 INTRODUCCIÓN Y GUÍA PARA EL LECTOR.....	1-1
2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE UN COLECTOR DE AEROSOL.....	2-1
2.1 Principios teóricos.....	2-1
2.1.1 Teoría de la Coagulación.....	2-1
2.1.2 Teoría de choque.....	2-2
2.2 Parámetros Críticos Para el Proyecto Conceptual.....	2-6
3 PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA PARA COLECCIÓN DEL MERCURIO.....	3-1
3.1 Prototipo inicial y modificaciones.....	3-1
3.2 Diseño del reductor de velocidad de platos seleccionado.....	3-4
3.2.1 Tambor de acero y entrada de gas.....	3-5
3.2.2 Tapa superior.....	3-5
3.2.3 Ventilador.....	3-6
3.2.4 Ensamblado de las placas desviadoras.....	3-12
3.2.5 Ensamblado final.....	3-12
4 MÉTODO DE INSTALACIÓN.....	4-1
5 PROPUESTAS DE MUESTREO.....	5-1
5.1 Muestreo con filtros de carbón.....	5-1
5.2 Muestreo del tamaño de las partículas.....	5-6
5.3 Eficiencia en la remoción del mercurio gaseoso.....	5-8
6 PRUEBA DE LOS PROTOTIPOS EN LAS TIENDAS DE ORO BRASILEÑA.....	6-1
6.1 Primer prototipo de cama de pedregullo en Marsam.....	6-1
6.2 Segundo prototipo en la tienda Melado oro.....	6-2
6.3 Segundo prototipo en la tienda D'Gold (CREPORIZÃO).....	6-3
6.4 Segundo prototipo modificado (menor distancia entre placas) en la tienda 'Ourominas'.....	6-3
6.5 Segundo prototipo modificado en la tienda Parmetal.....	6-4
6.6 Sistema Kalimantan basado en agua.....	6-5
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	7-1
8 BIBLIOGRAFIA.....	8-1

INDICE (cont)

APÉNDICE A:	PLAN DE SALUD Y SEGURIDAD.....	A-1
APÉNDICE B:	HOJA DE REGISTRO PARA EL MUESTREO	B-1
APÉNDICE C:	INTRUCCIONES PARA EL USO DE LOS TUBOS DRÄGER.....	C-1
APÉNDICE D:	DISEÑO DE LA CAMPANA EXTRACTORA EN KALIMANTAN Y EL PROYECTO DEL FILTRO BASADO EN AGUA	D-1

TABLAS

2-1	Números de placas para la obtención de una eficiencia de 50% en los impactadores	2-5
3-1	Posibles sistemas para ser usados como colectores de mercurio gaseoso	3-1
3-2	Partes catalogadas por los dibujantes técnicos	3-4
6-1	Resultados en pruebas seleccionadas	6-7

FIGURAS

1-1	Mapa de las tiendas de oro en Brasil donde se hicieron las demostraciones	1-2
1-2	Ejemplos de una instalación de colector de mercurio en la tienda en Creporizão, Brasil.....	1-3
2-1	Vista transversal del impactador.....	2-2
2-2	Curva típica de la eficiencia de un impactador	2-3
2-3	Curvas de eficiencia de sistemas en uso e ideales	2-4
2-4	Diseño conceptual de sistemas para la colección de mercurio	2-6
2-5	Curva de coagulación térmica de los aerosoles en función del tiempo	2-7
2-6	Relaciones de cinética y coagulación térmica como función del tamaño de partículas.....	2-8
2-7	Espacios y superficies de impacto creadas por la configuración de la cama de pedregullo.....	2-9
2-8	Espacios y superficies de impacto con la configuración de placas desviadoras alternadas	2-9
3-1	Detalles esquemáticos de los componentes del sistema de placas desviadoras	3-3
3-2	Diseños de los sistemas de entrada y tipo de flujo (a) entrada lateral con flujos (b) entrada por debajo con flujos	3-7
3-3	Detalles mecánicos del tambor de hierro y entrada de gas.....	3-8
3-4	Construcción del tambor de hierro y entrada de gas, entrada lateral (foto).....	3-9
3-5	Detalle mecánico de la tapa superior	3-10
3-6	Foto de la construcción de la tapa superior	3-11
3-7	Detalle mecánico de la ventilación.....	3-11
3-8	Medición de la velocidad relativa.....	3-12
3-9	Detalle mecánico del sistema de placa desviadoras.....	3-13
3-10	Método propuesto para la construcción del sistema de placas desviadoras.....	3-14
3-11	Sistema completo.....	3-15
4-1	Configuración típica de las campanas extractoras y exaustores sin el condensador/colector de mercurio.....	4-1
4-2	Instalación del sistema vertical de colector de mercurio con entrada lateral	4-2
4-3	Instalación del sistema horizontal de colector de mercurio con entrada lateral e inferior	4-3
4-4	Ejemplos de la instalación vertical y horizontal de los sistemas colectores de mercurio (fotos)..	4-4
5-1	Configuración típica de campana extractora y exaustores	5-1
5-2	Aparato de muestras: (a) Dibujo conceptual, (b) Componentes, (c) Montaje	5-2

INDICE DE CONTENIDOS (Cont)

FIGURAS (Cont)

5-3	Foto de la jeringa para mezclar con aire limpio en una bolsa de dilución (foto).....	5-3
5-4	Análisis de las muestras diluidas con tubo Dräger (foto).....	5-3
5-5	Rótulos para la identificación de las muestras (foto).....	5-4
5-6	Preparando para tomar una muestra (foto).....	5-5
5-7	Sistema de almacenamiento de los filtros de carbón usados (foto).....	5-5
5-8	Esquema del impactador RESPICON.....	5-7
5-9	Ilustración conceptual de la concentración del aerosol de mercurio durante una quema.....	5-8
6-1	Area de muestreo para el sistema cama de pedregullo: Tienda Marsam (foto).....	6-2
6-2	Areas de muestreo para el sistema de placas desviadoras: Tienda Melado Oro.....	6-3
6-3	Areas de muestreo para el sistema de placas desviadoras modificado: Tienda Ourominas (foto)	6-4
6-4	Areas de muestreo para el sistema de placas desviadoras modificado: Tienda Parmetal (foto)....	6-5
6-5	Areas de muestreo para el sistema basado en agua Kalimantan (foto).....	6-6

AGRADECIMIENTOS

Laboratorio Nacional Argonne

Loren J. Habegger - Coordinador del proyecto
James L. Bailey - Principios teóricos y dibujante mecánico de los sistemas colectores
Adelio C. Corcuera - Dibujantes gráficos de los sistemas de colección
John T. Davis y James L. Woodring - Consultor de higiene industrial y muestreo
Margaret MacDonell - Compiladora de datos
Dave Peterson - Analista de muestras y Seguridad en el Area de Investigación
Denise M. Seeman - Analista del contenido de mercurio en muestras de filtros de carbono

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de America.

Marianne Bailey y Marilyn Engle - Técnica y Jefe del Proyecto.
Luis E. Fernandez - Director técnico; comunicación con los oficiales de los gobiernos locales, regionales y federales.
Cameryl J. Hill-Macon y Stephen Hoffman - Consultoras técnicas y de procedimientos

Itaituba y Creporizao, Para, Brasil.

Dirceu Santos Sobrinho y *Elias Leão Moraes (in memorium)* - Ayuntamiento de Itaituba, Secretario de Minas y Ambiente - Coordinación local con las tiendas de oro
Edison Assunção de Silva - Fabricación e instalación de los sistemas colectores de mercurio
Dueños y operadores de las tiendas de oro

Agencia Brasileña de Medio Ambiente y Tecnología de la Información - ECODATA

Daniela dos Santos Pinto y Julio Lizárraga Ramirez - Traducción de este trabajo para el portugués y el español

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial Organización, Proyecto Global de Mercurio

Rodolfo Neiva de Sousa - participación en la fabricación de los colectores e instalación en la Tienda Parmetal, Itaituba
Marcello Veiga - Jefe del Proyecto Global y Consultor Técnico - Coordinador del proyecto con la EPA.

Consejo Nacional del Ambiente - CONAM / Peru

Ing. Yenifer Zavala Areque - Coordinador nodo Puerto Maldonado
Maria Ysabel Amador Chavez - Coordinador nodo Ibéria

RESUMEN

El oro que es extraído en minas pequeñas y en forma artesanal es llevado a las tiendas que lo procesan y venden, contiene en general entre un 5% y un 40% de mercurio. La eliminación sin control del mercurio residual en esas tiendas usando el proceso de evaporación de alta temperatura puede ser una fuente significativa de emisión de mercurio en áreas urbanas donde tales tiendas están localizadas. Emisiones de chimeneas de tiendas “de oro” durante una quema pueden exceder 1000mg/m³. Dado que la concentración de saturación del vapor de mercurio a las temperaturas usadas en el exaustor es de menos de 100mg/m³ - cuando está en funcionamiento, el componente dominante del producto de salida de la chimenea esta en forma de aerosol o partículas líquidas.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (USEPA), con soporte técnico de Argonne National Laboratory completó un proyecto para diseñar y probar una tecnología para la remoción del componente aerosol dominante en las emisiones que parten de esas tiendas que procesan y comercializan oro. El objetivo fue demostrar una tecnología que pudiera ser fabricada a un costo bajo, usando materiales y capacidad de fabricación de fácil acceso local. Seis prototipos diseñados por Argonne fueron fabricados localmente, instalados y probados en las “tiendas de oro” en Brasil, en ‘Itaituba y Creporizão’.

El prototipo inicial diseñado incorporaba una capa de pedregullo como medio para recolectar los aerosoles de mercurio. En este sistema una eficiencia en la colección del mercurio de más de 90% fue demostrada. A pesar de tener alta eficiencia, se determinó que el prototipo inicial poseía desventajas prácticas tales como peso excesivo, una construcción un tanto compleja y un costo alto (más de \$1000 dólares). Para simplificar la construcción, operación y costos agregados, se diseñó un nuevo prototipo y la capa de pedregullo fue sustituida por placas desviadoras de acero sobrepuestas. El sistema fue diseñado para tener flexibilidad para así poder ser instaladas en varias configuraciones de campanas extractoras.

El segundo prototipo con el diseño de placas desviadoras fue instalado y probado en varios sistemas diferentes de campanas extractoras/extractores para determinar la buena condición de instalación. La magnitud en el proceso de coagulación y de colecta de los aerosoles de mercurio en ductos de extracción, que son dependientes de la configuración de la campana extractora y del colector, también fue evaluada.

Pruebas de demostración del prototipo confirmaron que los principios teóricos para captura del aerosol de mercurio pueden ser utilizados para la optimización el diseño de la placa desviadora, las velocidades de flujo, los ductos de extracción y sus cámaras superiores para poder alcanzar un 80% o más en la eficiencia. Resultados indicaron que la configuración tiene un efecto significativo en la eficiencia del sistema de captura. Configuraciones con ductos de entrada resultaron en eficiencias del sistema por encima de un 80%, mientras que configuraciones que no poseían estos ductos de entrada resultaron en una reducción significativamente en la eficiencia de la captura. Basados en los resultados de esas pruebas se desarrollaron y recomendaron procedimientos de instalación y operación.

El costo de construcción e instalación del prototipo de placa desviadora fue de aproximadamente, \$400 (cuatrocientos) dólares. Esos costos fueron considerados aceptables por los dueños de tiendas “de oro” locales y órganos reguladores gubernamentales y es significativamente más bajo que el costo de un filtro de mercurio utilizado comercialmente hecho de una combinación de carbón y cobre disponible en la región al costo de, aproximadamente, \$10 000 (diez mil) dólares.

El sistema de captura de mercurio basado en agua que fue diseñado originalmente en Indonesia para ser instalado en pequeñas tiendas fue probado y mostró ser efectivo para ciertas aplicaciones.

Un procedimiento de muestreo que consiste en una combinación de filtro de partículas y analizador de vapor demostró ser efectivo para analizar las concentraciones de mercurio tanto en aerosol como vapor.

ANOTACIONES

(Esta sección muestra las abreviaciones comunes y los acrónimos usados en este estudio; aquellos usados solamente en textos limitados, tablas y ecuaciones fueron definidos los capítulos donde se utilizaron y no fueron repetidos aquí.)

cm	centímetros(s)
EPA	U.S. Agencia de Protección Ambiental
ft	pies
g	grama(s)
GI	Hierro galvanizado
hr	hora(s)
HSP	Plan de salud y seguridad
IDLH	Peligro inmediato a la salud o a la vida (concentración) NIOSH
in.	pulgadas
lpm	litros por minuto
m ³	metros cúbicos
mg	miligramas
ml	mililitros
mm	milímetros
NIOSH	U.S. Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional.
OIA	Oficina de negocios internacionales (EPA)
OSHA	U.S. Administración Ocupacional de Salud y Seguridad.
Pa	Pascal (unidad de presión)
PEL	límite de exposición permitido (OSHA)
PPE	equipo de protección individual
Re	número de Reynolds
REL	límite de exposición recomendado (NIOSH)
RfC	concentración de referencia
rpm	revoluciones por minuto
s	segundos
sm	metros cuadrados
Stk	número de Stokes
TLV	valores de límite (ACGIH)
µg	microgramas
µm	microns
USD	dólares estadounidenses

1 INTRODUCCIÓN Y GUIA PARA EL LECTOR

Millones de personas en más de 55 países están envueltas con minería y refinado artesanal de oro, produciendo entre un 20% y un 30% del estoque mundial, lo que equivale a algo entre 500 y 800 toneladas/año (Telmer, 2006). Los artesanos de pequeña escala hacen mucho usar mercurio como parte del proceso de minería para extraer el oro del mineral. La adición del mercurio al mineral forma un ligamento de oro y mercurio que es más fácil de separar del mineral que el oro solo.

El ligamento obtenido es, entonces, trabajado por los mineros para desprender parte del mercurio, produciendo una esponja de oro – *o doré* – que puede contener del 2% a un 40% de mercurio residual. Esa esponja generalmente es llevada a una “tienda de oro” donde es calentada con un soplete de alta temperatura de más de 1000°C, que es la temperatura en la cual el oro derrite. Por el hecho del mercurio hervir a 356°C, se evapora durante ese proceso de fusión y, si no es capturado, es liberado en la atmósfera. También por el hecho del mercurio ser un potente neurotóxico, exposiciones repetidas a niveles de mercurio relativamente altos pueden dañar los sistemas nerviosos central y periférico, así como otros órganos y sistemas. Así, emisiones atmosféricas de mercurio hacen surgir significantes preocupaciones relacionadas a la salud y el medio ambiente, incluyendo efectos ocupacionales sobre la salud de las personas que trabajan en “tiendas de oro”, exposición de comunidades en el área de esas tiendas, transporte a largas distancias para otras regiones y, por último, contacto de ese mercurio con la tierra y el agua. El uso de un exaustor rudimental puede arrojar los vapores de mercurio para fuera del área de trabajo. Cuando el mercurio se evapora durante el calentamiento, sus vapores rápidamente se enfrían, a la medida en que se elevan a través de la chimenea y para fuera del exaustor. Cuando se enfría, el vapor se condensa en gotitas de forma que el mercurio en el exaustor es liberado como una mezcla de gotitas y vapor. (Eso es semejante al vapor que sale de una cafetera y presenta una parte visible y la otra invisible, que son, simplemente, gotitas microscópicas de agua oriundas del vapor condensado. A pesar de coifas y exaustores que puedan reducir exposiciones dentro de la tienda “de oro”, liberar ese mercurio en el aire local puede aumentar la exposición para personas que viven o trabajan en las proximidades. Así, las prácticas actuales generan preocupación con efectos perjudiciales a la salud causados por exposiciones crónicas al mercurio, tanto para trabajadores en las instalaciones de refinado de oro como para comunidades locales.

En respuesta a esa preocupación, la Oficina de Asuntos Internacionales (OIA) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (USEPA) inició, en Brasil, un proyecto de demostración de tecnología para reducir emisiones de mercurio asociadas a tiendas “de oro”. Ese trabajo fue conducido con soporte técnico del Laboratorio Nacional Argonne y del Instituto de Ciencia Carnegie, de la Universidad de Stanford. Para que las personas locales adopten el equipo, un propósito fundamental fue el sistema ser de bajo costo y fácil de construir usando capacidad de fabricación local.

Dos prototipos básicos del sistema de colecta de mercurio fueron proyectados y perfeccionados en el Laboratorio Nacional Argonne y, entonces, fueron construidos, instalados y probados en “tiendas de oro” en Itaituba y Creporizão. Esas ciudades están localizadas en la región productora de oro del Tapajós, en el Estado de Pará, Brasil (figura 1-1). Un ejemplo de una instalación en la tienda “de oro” en Creporizão está mostrado en la figura 1-2. Este informe presenta los resultados de las demostraciones en Itaituba y Creporizão.

Un punto de partida para proyectar los sistemas candidatos fue saber que los niveles de mercurio pueden ser reducidos pasándose el humo que viene de la coifa localizada dentro de la tienda “de oro” a través de colectores para remover las gotitas de mercurio y, entonces, a través de filtros para remover cualquier líquido o vapor restante. Dependiendo de la tasa de evaporación de mercurio y de la velocidad de extenuación del vapor, los niveles de mercurio en el exaustor generalmente varían de varios centenares a 1.000 mg/m³. A medida que el humo que entra por la campana extratora sube y se enfría, el mercurio en la

práctica de vapor es limitado a su concentración de saturación, que es de cerca de 15 mg/m³, cuando contenido en espacio cerrado. Así, gotitas líquidas o aerosoles representan la fracción dominante del mercurio liberado en el aire ambiente.

A título de comparación, el límite permitido por la ley para vapor de mercurio en locales de trabajo en los Estados Unidos de América es 0,1 mg/m³ (OSHA 2004, NIOSH 2005), y 10 mg/m³ fue apuntado como nivel de peligro inmediato a la vida o a la salud (IDLH) (NIOSH 2005). Así, sin tecnologías para reducir esos niveles en las tiendas donde se trabaja el oro y alrededores, la preocupación con la salud es considerable.

El proyecto del sistema de remoción de mercurio se concentró en condensar/recolectar el componente aerosol líquido del humo por dos motivos principales:

1. Manifestar la preocupación con la exposición primaria – dado que la parte líquida comprende la mayor parte del mercurio en el humo (en general más del 90%); y
2. Facilitar la implementación – ofreciendo un sistema simple cuyo costo pueda ser acarreado por la mayoría de los dueños de tiendas “de oro”. El aumento de la probabilidad del uso local ayudará a asegurar que los beneficios de la emisión reducida de mercurio sean percibidos.

Para ese fin, concentrar el sistema de colecta en la fracción líquida del aerosol no sólo limita los costos de construcción, pero también evita costos adicionales – inclusive de mantenimiento de ese sistema doble y de sustitución de filtros agastados – que habrían sido generados si un filtro para capturar vapores residuales hubiera sido incluido.

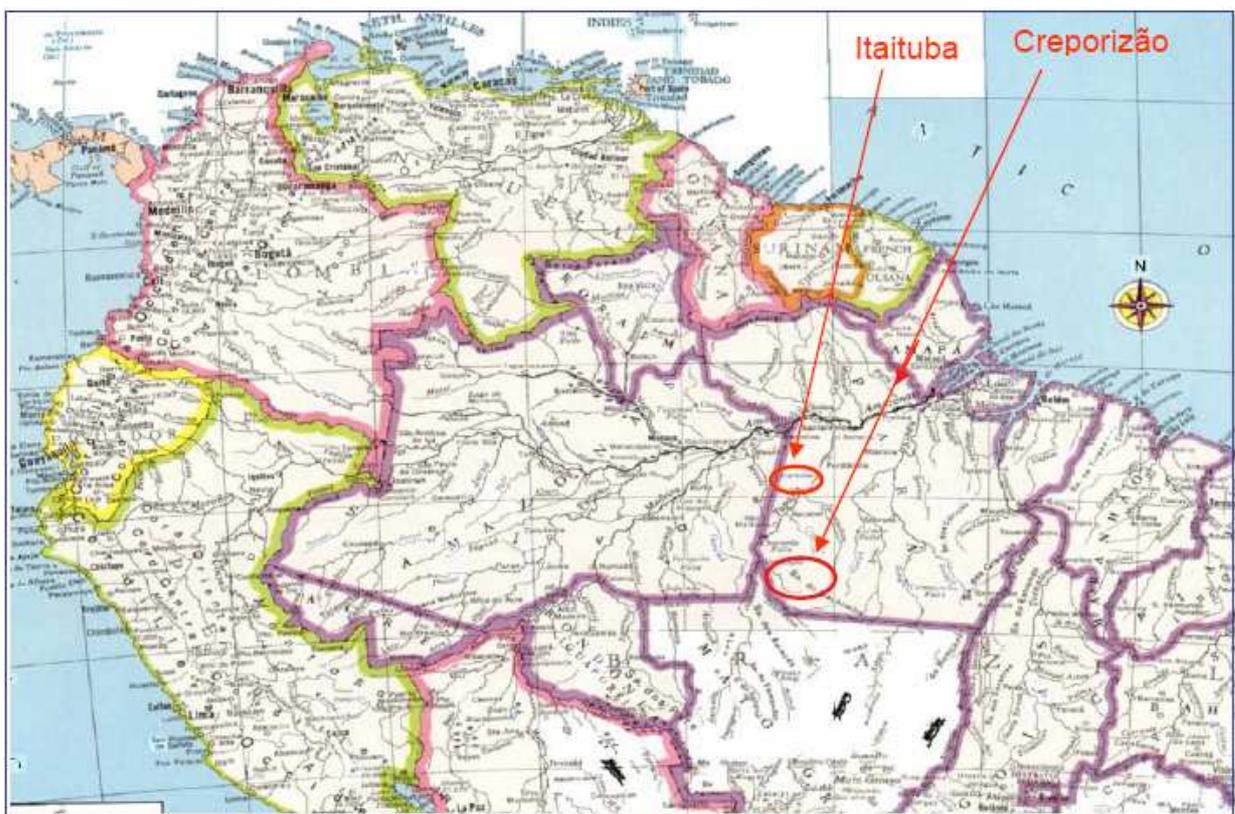


FIGURA 1-1 Mapa de las tiendas de oro en Brasil donde se hicieron las demostraciones



FIGURA 1-2 Ejemplos de una instalación de colector de mercurio en la tiendas en Creporizão, Brasil

Este informe está organizado de la siguiente manera:

- Capítulo 2: Explica la base teórica y las consideraciones del proyecto conceptual para colectores de aerosol de mercurio. Ese capítulo no necesita ser leído por personas interesadas sólo en la construcción, instalación y prueba de los colectores.
- Capítulo 3: Describe el proyecto y la construcción de sistemas candidatos para ese proyecto.
- Capítulo 4: Ilustra el proceso de instalación del sistema.
- Capítulo 5: Discute los procedimientos de muestreo usados para probar el desempeño del sistema.
- Capítulo 6: Suministra los resultados de la prueba y niveles estimados de eficiencia de colecta oriundos de otras aplicaciones de la tecnología.
- Capítulo 7: Resume los principales descubrimientos y ofrece sugerencias para los próximos pasos en relación a otras aplicaciones de la tecnología.
- Capítulo 8: Identifica las referencias citadas en ese informe.

- Apéndice A: Esboza un plan de seguridad y salud sugerido para proyectos que involucren mercurio.
- Apéndice B: Suministra una lista de registros sugerida para describir y reportar datos de muestreo.
- Apéndice C: Suministra instrucciones de operación para el tubo Dräger, un analizador de vapor de mercurio.

2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE UN COLECTOR DE AEROSOL

La teoría científica por detrás de la colecta del aerosol es presentada en la Sección 2.1 y el dibujo conceptual y parámetros críticos considerados en el desarrollo de los colectores de mercurio para ese proyecto son descritos en la Sección 2.2. el contenido, incluyendo ecuaciones, figuras y tablas, está resumido a partir de Hinds (1982), un recurso estándar para tecnología relacionada a aerosol.

2.1 PRINCIPIOS TEÓRICOS

Los proyectos más comunes de tecnología para filtración y colecta de partículas se fían en dos conceptos: (1) construcción de dinámica de flujo que causa el impacto de las partículas contra la superficie de un colector y (2) la adhesión de esas partículas a la superficie después del impacto. La fuerza adhesiva es dominante entre las más comunes en partículas micrométricas de aerosol. Las partículas aerosoles van a fijarse firmemente en cualquier superficie con la que entren en contacto.

La adhesión de partículas a las superficies es un fenómeno complejo y no hay teoría completa que esclarezca todos los factores que la influyen. Para los propósitos de esa discusión acerca del proyecto de colector de mercurio, se puede concluir que, después del impacto, las partículas irán a adherir a la superficie del colector (serán removidas del flujo de vapor), y, así, la variable principal del proyecto está relacionada al aumento de la dinámica de flujo para forzar con más eficiencia al impacto de las partículas de mercurio contra la superficie del colector. Dos procesos fundamentales para esa remoción del mercurio, coagulación e impacto, son descritos abajo.

2.1.1 – Teoría de la Coagulación

La efectividad de dinámicas de flujo en causar el impacto de las partículas de mercurio contra la superficie de un colector aumenta de acuerdo con el tamaño de las partículas. A causa de intensas fuerzas de adhesión, partículas de aerosol se coagulan en partículas mayores cuando entran en contacto con otra. La coagulación es el fenómeno inter-partículas más importante en relación a los aerosoles.

El objetivo de la teoría de la coagulación es describir como la concentración del número de partículas y su tamaño cambian como una función del tiempo. Una descripción exacta es muy complicada. Pero, en muchos casos, una teoría simplificada es adecuada para la comprensión de las características de la coagulación y estimar cambios en la concentración numérica y tamaño de las partículas.

Cuando el impulso relativo que causa contacto entre las partículas es debido al Movimiento Browniano, ese proceso es denominado coagulación termal. La coagulación termal es un fenómeno espontáneo y siempre presente en aerosoles. Cuando el impulso relativo proveen de fuerzas externas como gravedad o fuerzas eléctricas o de efectos aerodinámicos, el proceso es llamado coagulación cinemática. Ese proceso es crucial para el proyecto de colectores efectivos para ese proyecto de demostración.

El caso más simple de coagulación es la coagulación termal de partículas esféricas monodispersas. Para ese caso ideal, se presume que las partículas irán a adherir en todas las colisiones y la suposición inicial es que el tamaño de la partícula cambia vagarosamente. Ese tipo de coagulación es citado, algunas veces, como coagulación Smoluchowski a causa de la persona que desarrolló la teoría original.

Para coagulación termal, la teoría dice que el tamaño de la partícula aumenta con el tiempo, como en:

$$d(t) = d_o (1 + N_o K t)^{1/3} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde N_o y K son parámetros relativos a las características del material aerosol.

Un flujo con turbulencia produce remolinos que causan relativo impulso entre las partículas. Para aerosoles monodispersos, la relación de coagulación en flujo con turbulencia para coagulación termal es:

$$\frac{bd_p^2}{64\pi D} \left(\frac{\rho_g \epsilon}{\eta} \right)^{1/2} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde b es una constante de orden 10 y ϵ es la tasa de disipación de energía por unidad de masa de gas. Para flujo con turbulencia en un ducto con diámetro d_t y velocidad media U_{av} .

$$\epsilon = 2 f U_{av}^3 / d_t \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde f es el factor de fricción para el flujo en el ducto, semejante C_p . La cantidad suministrada por la ecuación 2.2 indica que la coagulación con turbulencia es más importante que la coagulación termal para partículas mayores que de 1 micron (μm).

2.1.2 – Teoría de choque

La característica de proyecto típica para alcanzar un nivel ideal de impacto de partículas impulsadas es el aumento de la velocidad de la corriente de aire, pasándola por un bico o tubo de salida direccionado para una placa de impacto, como mostrado en la figura 2-1. La placa de impacto enclina el flujo para formar una abrupta curva de 90° en la dirección de las partículas. Partículas con cierto nivel de inercia son incapaces de seguir la dirección del flujo y que sufran el impacto contra la placa de impacto. Partículas muy pequeñas siguen el flujo, pero no coliden en contra la placa.

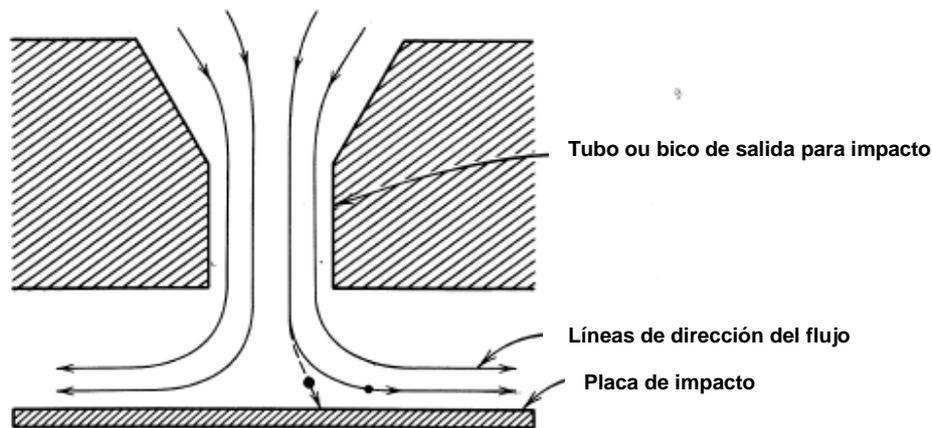


Figura 2-1. Vista transversal del impactador (Fuente: Hinds 1982)

El parámetro que determina la eficiencia de colecta es el número de *Stokes*, una cantidad no dimensionable en flujo fluido que representa la razón de la distancia de parada de una partícula con una dimensión característica de un objeto:

$$\text{Stk} = \tau U_o / d_c \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde τ es el tiempo de relajamiento de la partícula, U_o es la velocidad del fluido distante del obstáculo y d_c es la dimensión característica del obstáculo. Para $\text{Stk} \gg 1$, las partículas continuarán en línea recta - impactando contra la placa, consecuentemente - mientras el fluido contornea el obstáculo. Para $\text{Stk} \ll 1$, las partículas seguirán la dirección del fluido contorneando el obstáculo.

Para un impactador, el número de *Stokes* o parámetro impactante es definido como la razón de la distancia de parada de la partícula - a la velocidad (U) media de salida de gas en el bico - por la dimensión característica del bico (jato/tubo de salida), $D_j/2$, donde D_j es el diámetro de un jato/tubo de salida circular o la anchura de un rectangular:

$$\text{Stk} = \frac{\tau U}{D_j/2} = \frac{\rho_p d_p^2 U C_c}{9 \eta D_j} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

donde P_p =densidad de la partícula, d_p =diámetro de la partícula, η =viscosidad del gas y C_c =factor Cunningham de corrección de desvío (que es aproximadamente 1, cuando $dp > 1\mu\text{m}$).

Curvas de eficiencia de colecta para impactadores son definidas como la fracción de las trayectorias que interceptan las placas de impaco. Ellos son comumente representados de forma general como eficiencia versus la raíz cuadrada del número de *Stokes*, que es directamente proporcional al tamaño de la partícula. Determinar la curva de eficiencia característica de un impactador (ver ejemplo en la figura 2-2) requiere moldeo computarizado y calibración experimental.

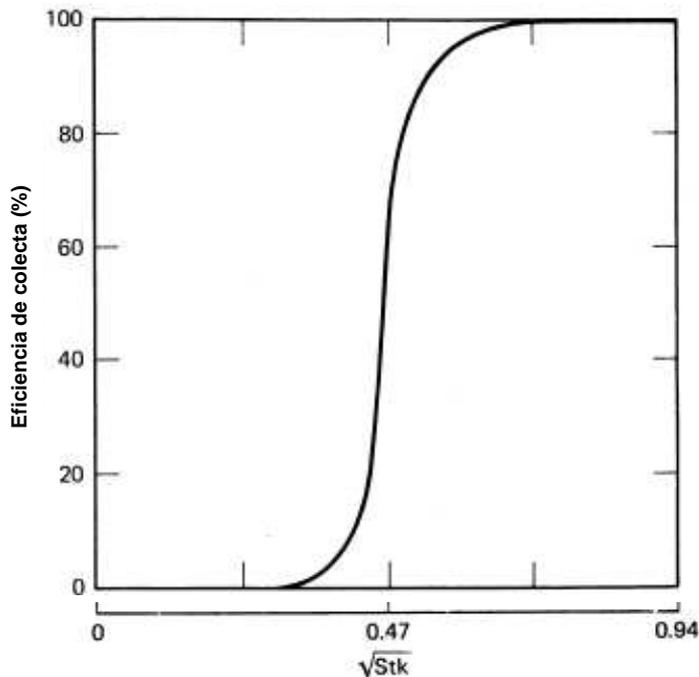


FIGURA 2-2 Curva típica de la eficiencia de un impactador (Fuente: Hinds 1982).

Una vez calibrada esa curva, todos los impactadores geoméricamente similares deben presentar la misma eficiencia cuando operados a la misma cantidad de Reynolds o Stokes. Los Reynolds (Re) indican la importancia relativa de dos tipos de fuerzas para una determinada condición de flujo como una razón simple de la fuerza inercial ($\mathbf{v_s \rho}$) por la fuerza de viscosidad (μ/L). El flujo turbulento es dominado por fuerzas *inerciales*. Entonces, el número de Reynolds es alto. (Para flujo laminar, fuerzas de viscosidad dominan y el número Reynolds es bajo.)

A pesar de la forma de la curva de eficiencia depender del tamaño del bico, las líneas de dirección del flujo no son fuertemente afectadas por el espacio entre el bico y la placa/chapa porque el jato de aerosol se expande levemente hasta alcanzar los límites de un diámetro de jato de la placa de impacto. De ahí, la dimensión característica para el impactador es el radio del bico o mitad de eso, en vez del espacio entre el bico y la placa/chapa.

Para la mayoría de los impactadores no es necesario construir una curva completa para eficiencia del impactador versus tamaño de la partícula. Impactadores que poseen una curva “de corte afilada” se aproximan de la situación ideal (del punto de vista de la clasificación del tamaño de la partícula) para una curva función-paso, en la cual todas las partículas mayores que un cierto tamaño aerodinámico son recolectadas y todas las partículas menores que aquel tamaño pasan directo. En la práctica, la mayoría de los impactadores bien proyectados pueden ser presumidos como ideales y sus curvas de eficiencia pueden ser caracterizadas por un único número, Stk_{50} , que es el número *Stokes* que presenta un 50% de eficiencia de colecta. Ese concepto está ilustrado en la figura 2-3. Como mostrado en la figura, el Stk_{50} equivale a presumir que la masa de partículas mayor que el tamaño del corte que pasa por el impactador (área sombreada superior) se iguala a la masa de partículas abajo del tamaño del corte que son recolectados (área sombreada inferior).

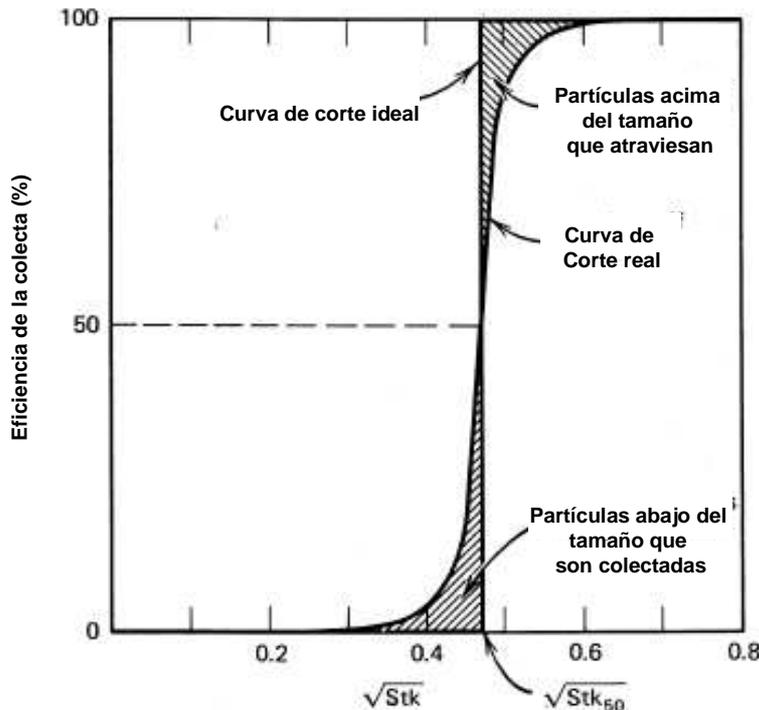


FIGURA 2-3. Curvas de eficiencia de sistemas en uso e ideales (Fuente: Hinds 1982).

Valores para Stk_{50} son suministrados en la tabla 2-1 para dos tipos de bicos de impactadores que presentan los criterios indicados para el número y la geometría Reynolds.

TABLA 2-1. Números de placas para la obtención de una eficiencia de 50% en los impactadores.

Tipo de Impactador	Stk_{50}	$\sqrt{Stk_{50}}$
Bico circular	0.22	0.47
Bico rectangular	0.53	0.73

^a Esos valores son aplicables cuando el número Reynolds está entre 500 y 3000 y $x/D_j > 1.5$.
(Fuente: Hinds 1982).

El modelo simplificado del impactador de bico rectangular analizado arriba presenta un Stk_{50} de 0.32, lo que es significativamente menor que el valor real suministrado en la tabla 2-1. La ecuación 2.5 puede ser replanteada para identificar el diámetro de partícula con 50% de eficiencia de colecta, d_{50} , basada en los valores de Stk_{50} de la tabla 2-1.

$$d_{50} \sqrt{C_c} = \left[\frac{9\eta D_j (Stk_{50})}{\rho_n U} \right]^{1/2} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Esa ecuación fue usada para desarrollar el diseño del impactador para el proyecto, como descrito en la Sección 2.2.

2.2 PARÁMETROS CRÍTICOS PARA EL PROYECTO CONCEPTUAL

A partir de la teoría fundamental para mecanismos físicos de coagulación y impacto de aerosol, un proyecto conceptual fue trazado para un sistema con tal de recolectar mercurio aerosol en “tiendas de oro”. La figura 2-4 ilustra la secuencia general de la formación y remoción de mercurio aerosol en un sistema conceptual.

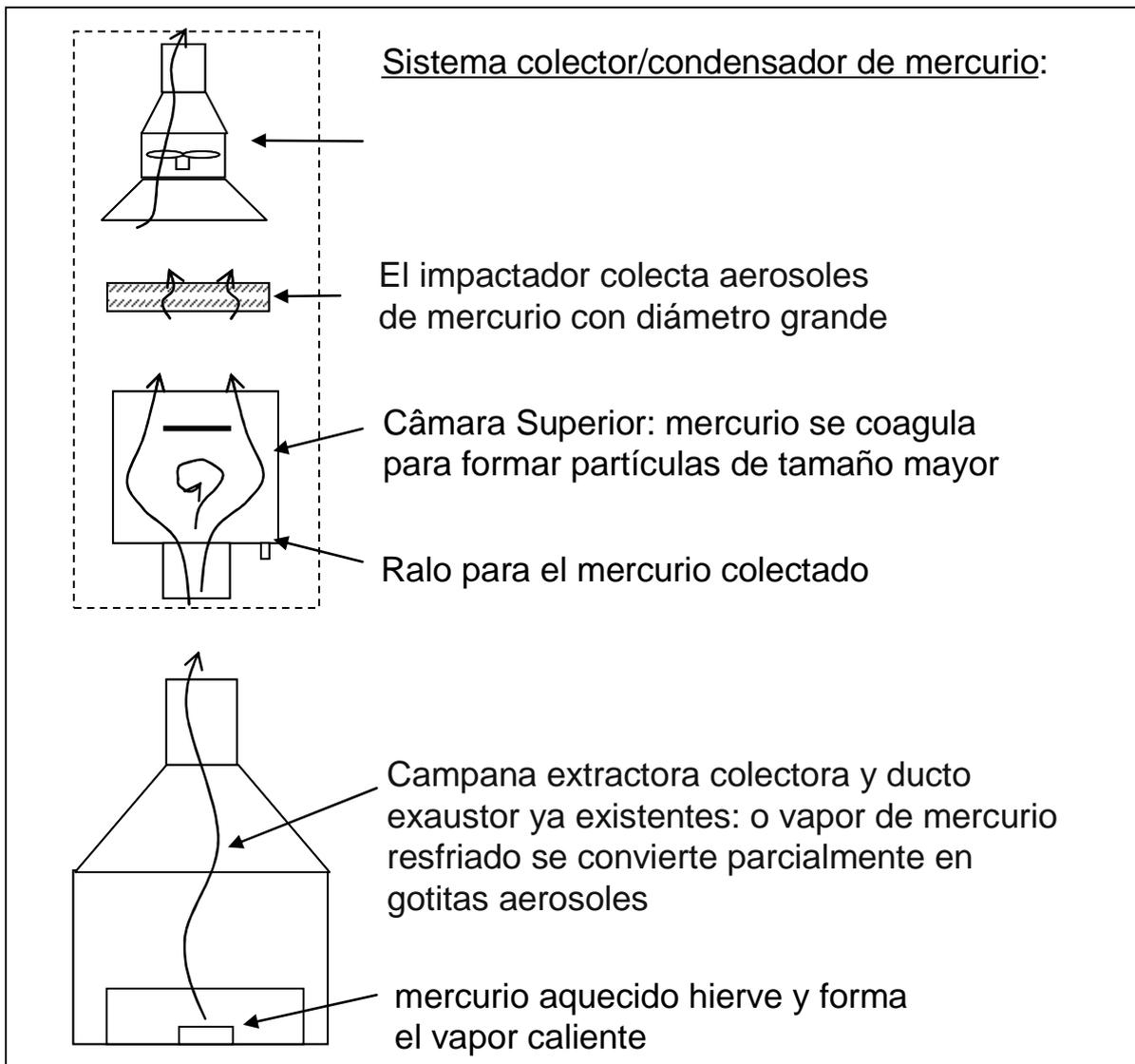


FIGURA 2-4. Diseño conceptual de sistemas para la colección de mercurio

Aspectos fundamentales del proyecto del sistema en prueba fueron determinados a partir de las siguientes consideraciones. El exhaustor de salida del tubo de humo y cámara superior del sistema de colecta permite que el mercurio resfrie y se coagule en partículas mayores. Algunas de esas partículas entrarán en contacto y se adherirán a las paredes del exhaustor y de la cámara superior. Partículas restantes serán sugadas a través de un medio de colecta por bicos o tubos de salida que son seguidos por las placas impactantes para capturar las partículas. Para sostener el proceso del dibujo conceptual, el sistema fue basado en una campana extractora típica.

En “tiendas de oro”, el mercurio evaporado entra en la campana extractora y forma un vapor caliente inmediatamente por encima de la caldera. El aire ambiente que entra en la campana extractora hace con que el vapor de mercurio rápidamente se condense en partículas líquidas. La tasa de flujo a través de la campana extractora es presumida como siendo de $0.1\text{m}^3/\text{s}$, y el diámetro inicial de esas partículas líquidas es, de modo conservador, estimado en $0.3\mu\text{m}$ (tamaño mínimo). Para una apertura típica de $38\text{cm} \times 61\text{cm}$ (15 pulgadas x 24 pulgadas), la velocidad resultante en la apertura para la campana extractora es aceptables 0.44m/s (86 pies/s). Un cálculo de equilibrio de calor entre el calor del soplete y la capacidad de calor del aire que entra muestra un aumento de temperatura media de la mezcla aire/aerosol en la campana extractora. Después de condensarse una pequeña parte de mercurio permanece en la fase de vapor, que corresponde a la presión de vapor de mercurio en temperatura ambiente.

Encima de la condensación, las 0.3 partículas del aerosol de μm -diámetro comienzan a coagularse en partículas mayores. Como descrito en la sección 2.1 arriba, la coagulación térmica domina inicialmente cuando los diámetros de la partícula son menores. Con el tiempo debido en la coagulación térmica hay un aumento proyectado en el tamaño de la partícula que es mostrado en la figura 2-5.

Asumiéndose una concentración maciza inicial razonable de $600\text{ mg}/\text{m}^3$ en la capa de las emanaciones, la concentración correspondiente de la partícula fue calculada para ser 3.13×10^{12} partículas/ m^3 . El tiempo medio de residencia para que el aire que corre a través de la sección de la capa de las emanaciones fue estimado para ser aproximadamente de 3 segundos. En la figura 2-5, este tiempo produciría un tamaño de crecimiento de la partícula de 0.3 a $4\mu\text{m}$ de la coagulación térmica. Así, el diámetro medio de las partículas en el aerosol que incorpora la sección del duct/plenum es estimado para ser de $4\mu\text{m}$. Para partículas de ese diámetro, también considerando la turbulencia elevada en esta sección del sistema, la coagulación cinemática dominará.

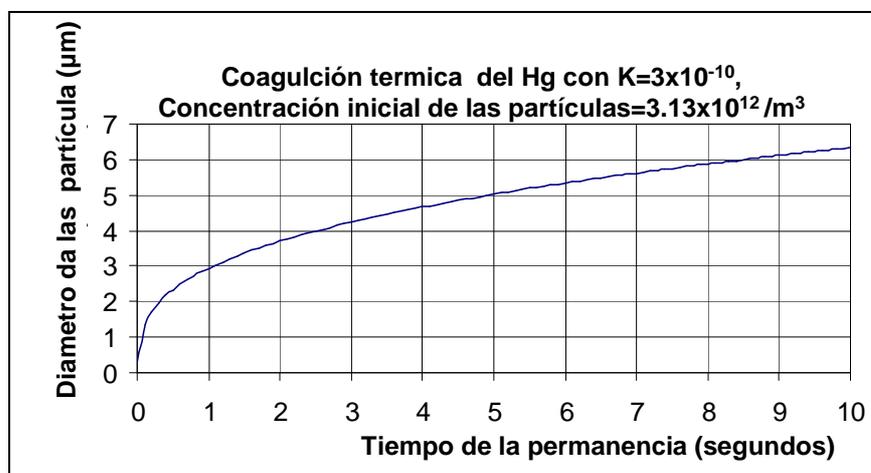


FIGURA 2-5 Curva de coagulación térmica de los aerosoles en función del tiempo
(Fuente: Hinds 1982)

El crecimiento de la partícula por la coagulación cinemática es muy rápida se comparado a áquel del proceso térmico. La relación de cinemática al diámetro térmico de la partícula versos de la coagulación es mostrada en la figura 2-6. Este gráfico muestra que con un diámetro inicial de la partícula de $4\mu\text{m}$, el crecimiento cinemático es de 2 a 3 órdenes de los valores de crecimiento que el desarrollo térmico. Para ilustrar, suponiéndose que la residencia del aire y el aerosol en la sección del duct/plenum es la misma que aquella en la capa (3 segundos), a continuación del lote térmico de la coagulación en la figura 2-5, el

crecimiento de aproximadamente 3 a 6 segundos corresponde a un aumento del diámetro de aproximadamente 1.25, que significa un aumento de 4.2 a 5.3 μm . Basado al punto cinemático de la coagulación en la figura 2-6, se puede esperar un aumento de 200 veces en la coagulación térmica en los procesos cinemáticos.

El aumento en el diámetro de la partícula está relacionado a la raíz cubica de la masa de la partícula, que depende del número, N, de las partículas que se coagularon. Consecuentemente, el diámetro de una partícula después de un tiempo de residencia de 3 segundos en la sección del duct/plenum, debido a la coagulación cinemática, puede ser calculada como: $(200)^{1/3} \times 1.25 \times 4 \mu\text{m} = 30 \mu\text{m}$. Este aumento calculado en el tamaño de la partícula de 4 para 30 μm es crítica dentro del proyecto para el sistema de colecta del mercurio.

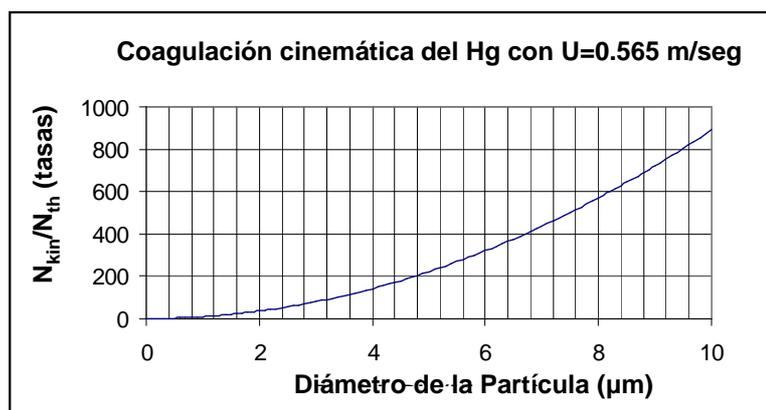


FIGURA 2-6 Relaciones de cinética y coagulación térmica como función del tamaño de partículas
(Fuente: Hinds 1982)

Aunque las descripciones generales de los sistemas de prueba sean suministradas en el capítulo 3, los diagramas conceptuales de los primeros dos prototipos son incluidos en esta sección para ofrecer el contexto útil para los criterios de un proyecto conceptual que emergieron con las consideraciones claves durante la evolución de estos sistemas. El prototipo inicial construido y probado para este proyecto era de una configuración de la cama de pedregullo, de acuerdo con las indicaciones de la figura 2-7. Los pedregullos crearon eficazmente los bocales y placas impactantes para el flujo de aire.

Este proyecto de cama de pedregullos consiguió eficientemente encontrar objetivos de un proyecto de bajo y razonable coste. Sin embargo, la ejecución fue complicada a causa de las dificultades para mantenerse el control apropiado de la forma de los pedregullos, la composición, el peso de los mismos, y también los alrededores de esa cama de pedregullo que eran necesarios para la flexibilidad en la orientación del sistema. Por estas razones, se proyectaron un sistema alternativo impactante, donde placas lisas con entalles fueron usadas, como ilustrado en la figura 2-8.

El tamaño para este proyecto fue calculado a partir de la información dada en la sección 2.1. Es decir, usando un número "Stokes" de 0.53 para bocales rectangulares y considerando una gota de presión razonable a través de un elemento impactante, fue calculada una velocidad del jato de aproximadamente 400 cm/s para 1cm de espacio de entalle. La largura de los entalles es determinado por el flujo total que corre a través del sistema, es decir, 0.1 m^3/s . La velocidad y el tamaño del entalle corresponden a un número de Reynolds de 2.600, que esta dentro de la escala del proyecto aceptable del diseño impactante. Basado en estos parámetros, se espera que la mitad de las partículas del diámetro de 4 μm esté removida y casi un 100% de las partículas > 10 μm sean removida.

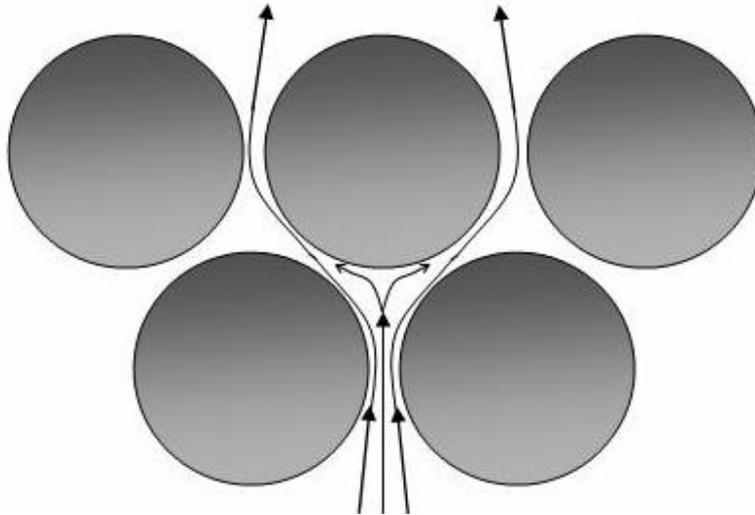
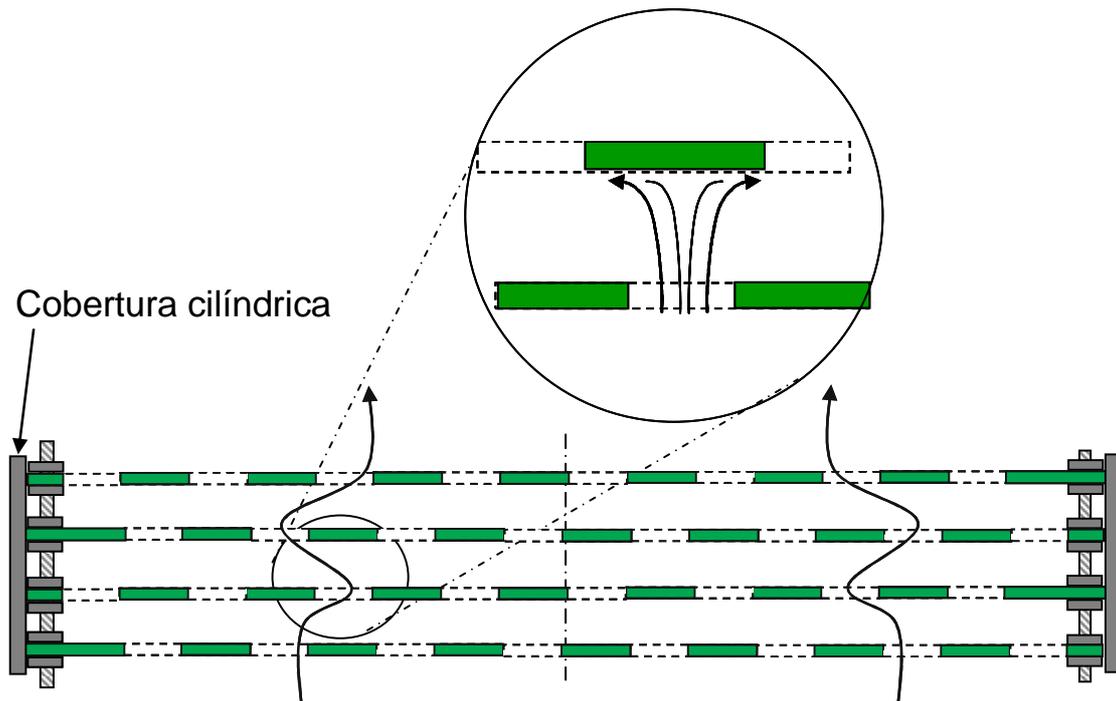


FIGURA 2-7 Espacios y superficies de impacto creadas por la configuración de la cama de pedregullo

Patrón de flujo de pequeña escala



Todas las placas son iguales y alternadas,
giradas 180 graus en el montaje

FIGURA 2-8 Espacios y superficies de impacto con la configuración de placas desviadoras alternadas

De hecho, el tamaño del entalle de 1 cm es considerado muy pequeño por dos razones: (1) la resistencia al aire que corre a través del jato, y (2) el aumento de presión limitado disponible del ventilador. Los entalles, unos tanto mayores, por ejemplo, 2 cm, asegurarían adecuadamente un mejor pasaje a través del sistema. Sin embargo, ese tamaño conduciría a la pérdida de eficiencia del elemento impactante para las partículas menores, principalmente aquellas con un diámetro de 4 μm .

A partir de este análisis, es claramente notable que cuando partículas mayores ($>4 \mu\text{m}$) que entran en el impacto se muestra que su eficiencia es importante, y que tal vez el diámetro medio de la partícula debe estar entre 20 a 30 μm para asegurar una elevada eficiencia impactante. Se puede concluir con esta evaluación que un tiempo de residencia adecuado en la sección del duct/plenum (donde la coagulación cinemática ocurre) es crítico para el diseño del filtro. Esta conclusión está apoyada por los ensayos iniciales en condiciones reales que fueron ejecutados para evaluar este proyecto, donde se mostró eficiencia de esas unidades con secciones cortas de duct/plenum y que eran considerablemente más baja que aquella con secciones más largas (ver el capítulo 6). Esta visión general de proyecto para sistema de colecta del mercurio es extremadamente y obviamente simplificada, y los cálculos presentados son números aproximados. Sin embargo, suministran una introspección considerable en las características que son críticas para filtrar la eficiencia y la buena práctica del proyecto de demostración.

3. PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE COLECCIÓN DEL MERCURIO

Este capítulo describe el proyecto iterativo y la construcción de sistemas de demostración para remover el mercurio por vía aérea de tiendas de compraventas de oro en Brasil. En el total, seis demostraciones fueron conducidas, el proyecto, la construcción, y la prueba basados en las características teóricas y conceptuales discutidas en el capítulo 2. El primer prototipo mostró un proyecto de cama de pedregullo cuando las versiones subsecuentes reflejaron un sistema de la placa desviadora, de acuerdo con la sección 3.1. Que la sección incluye la información en eficiencias de la remoción destacó de los resultados del análisis totales presentados en el capítulo 6.

El sistema de la colecta del mercurio seleccionado con base en las demostraciones de la prueba descrita en la sección 3.2. Esta sección incluye diseños conceptuales, diseños de ingeniería detallados, y fotografías de la construcción real. Junto, estos materiales servirán como un recurso práctico para guiar otros proyectos que añadirá a este sistema de tiendas de compraventas y venta de oro.

3.1. PROTOTIPO INICIAL Y MODIFICACIONES

El prototipo inicial para un sistema de la colecta del mercurio fue basado en la configuración de cama de pedregullo que fue ilustrada en la figura 2-7. Con los pedregullos que forman bocales y placas eficaces en el impacto del flujo, este sistema consiguió un numero > un 90% de eficiencias en la colecta del mercurio. Aunque los objetivos de proyecto hayan sido encontrados y su coste haya sido razonablemente bajo, diversos problemas fueron encontrados durante la ejecución de los mismos como puede ser visto sección 2.2. Tales dificultades condujeron este proyecto a un otro revisado para que el bocal/sistema impactante, donde los pedregullos fueron sustituidos por placas de acero lisas entalladas como fue ilustrado en la figura 2-8.

El prototipo de la placa desviadora era más fácil de construir, más leve, y menos caro que el proyecto de la cama de pedregullo. Consecuentemente, esta segunda configuración fue escogida como el modelo básico para la unidad de colecta de aerosol del mercurio, con los refinamientos subsecuentes visando un aumento de eficiencias de colecta. Una versión expandida del sistema usando el proyecto de la placa desviadora es presentada en la figura 3-1. Las variaciones proyectan en los términos de la construcción y del conjunto para las eficiencias producidas para la instalación de la colecta del mercurio que varían aproximadamente entre 40 a un 95%. Los varios sistemas que fueron probados en diferentes tiendas de compraventas de oro en Pará están resumidos en la tabla 3-1.

TABLA 3-1 Posibles sistemas para ser usados como colectores de mercurio gaseoso *

Número	Descripción general de la unidad coletora del mercurio	Tienda de compraventa de oro
1	Cama de pedregullo (1° prototipo)	Marsam
2	Placa desviadora (proyecto del segundo prototipo)	Melado Ouro
3	Placa desviadora (proyecto del segundo prototipo)	D'Gold
4	Placa desviadora con separación estrecho (proyecto del segundo prototipo cambiado)	Ourominas

5	Placa desviadora con separación estrecho (proyecto del segundo prototipo cambiado)	Parmetal
6	Agua basada en el sistema de Indonesia (más pequeño que el proyecto de prototipo)	Tienda de solda

* Las tiendas para prueba numero 1,2, 4, y 5 eran ubicadas en Itaituba, la tienda numero 3 era ubicada en Creporizão. La tienda numero 6 para probar el modelo basado en agua originalmente diseñado en la Indonesia fue hecho en una tienda de fabricación (orives).

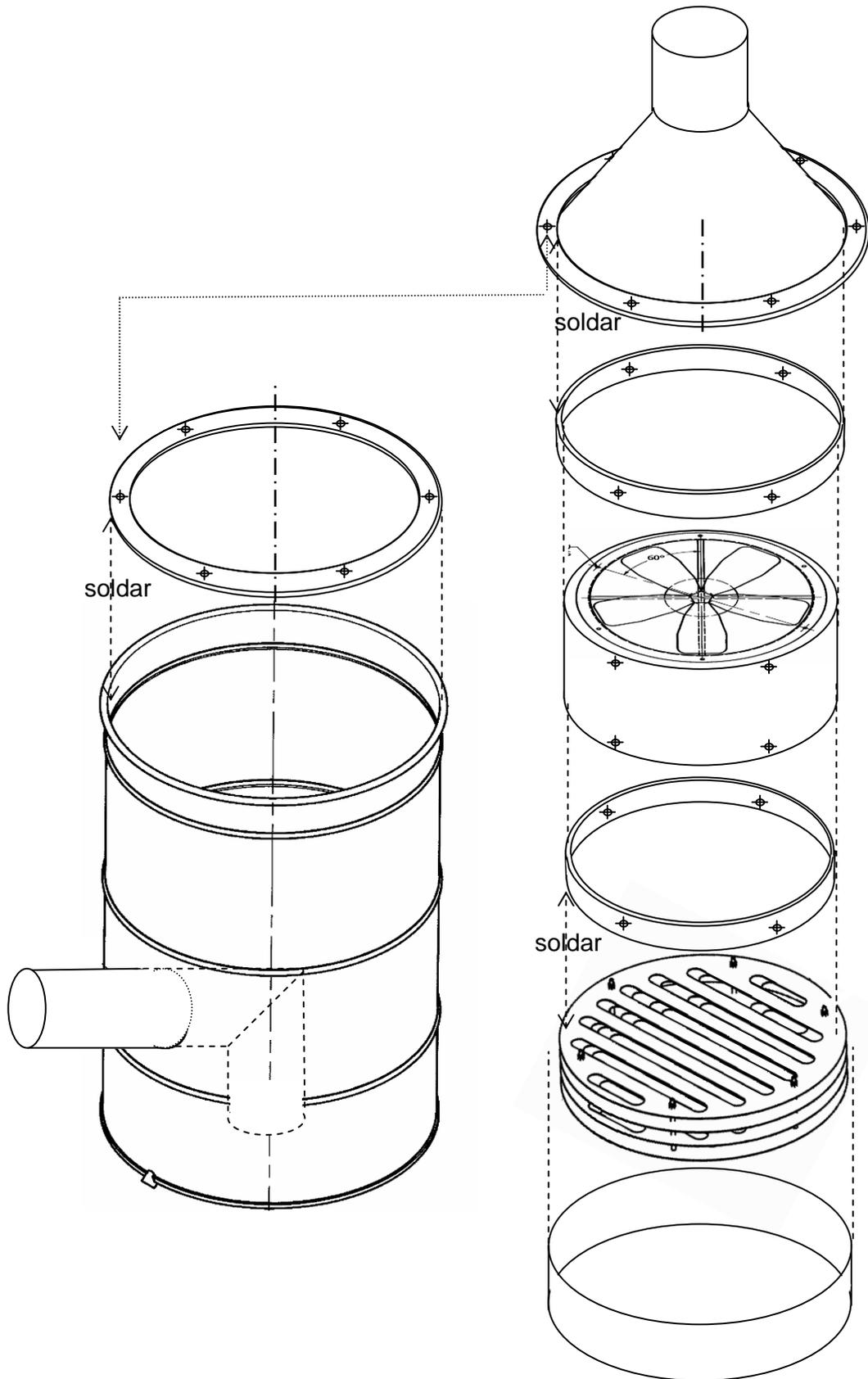


FIGURA 3-1 Detalles esquemáticos de los componentes del sistema de placas desviadoras

3.2. DISEÑO DEL REDUCTOR DEL VELOCIDAD DE PLATOS SELECCIONADO.

Los resultados de las demostraciones de la prueba (resumidas en el capítulo 6) determinaron el prototipo preferido, y esta sección suministra una información más específica para ese prototipo con el objetivo de guiar actividades futuras de la construcción de ese modelo en otras tiendas de compraventas de oro. Incluidos están los diseños conceptuales, los diseños de ingeniería detallados, y las fotografías de la construcción real. (Algunas de estas fotos son de las demostraciones del campo para proyectos más adelantados que el prototipo del sistema del desviador.) Las piezas básicas están en diseños de ingeniería en la tabla 3-2.

El coste acordado para construir e instalar este sistema de la placa desviadora era de aproximadamente US\$ 400,00. (Obs.: Los costes líquidos de la operación podrían ser reducidos con la reventa del mercurio recolectado.) Este sistema puede ser instalado en las varias configuraciones encontradas típicamente en las tiendas de compraventas de oro. Un sistema basado con agua para ser instalado en tiendas menores fue probado y mostrado ser eficaz para determinadas aplicaciones, como está discutido en el capítulo 6.

TABLA 3-2 - Partes catalogadas por los dibujantes técnicos.

Item	Cantidad	Descripción	Apuntes de construcción
1	1	200 litros (55 galones) tambor	Tope y apertura de 150 mm
2	1	Anillo de montaje superior del cilindro; o diámetro exterior combina el diámetro del cilindro, 4 t; parte superior de la tampa com material de la gaxeta.	Hacer 6 agujeros con taladradora para atornillar la tapa; tornillo de solda, porcas al lado debajo de los agujeros
3	1	tubulación de entrada en forma de "L"; solda de 3 milímetros t	Soldar
4	1	tubo de pequeño diámetro con la válvula para la solda del drenó del mercurio al cilindro	Soldar usando solda local
5	1	placa de deflector; disco semicircular; entrada inferior de 3 t	Ajustar diámetro soldando al cilindro interno
6	1	amortecedor del control de flujo; 150 diámetro x 2 t; opcional	soldar dentro de la tubulación de exaustión
7	1	tubulación de exaustión; 150 diámetro x 3 t.	Largura adaptable.
8	1	capa cónica de la tomada; 3 t	
9	1	anillo de apoyo de capa lisa, 4 t	Pinchar 6 huecos con taladradora para combinar com el item 2
10	1	flujo trapezoidal; 2 t	Soldar de forma que encaje em el item 8
11	1	anillo superior cilíndrico para sustentación del ventilador; 4 t	Hecho sob medida para que quepa en la parte externa del ventilador; 6 huecos de taladradora para unir al ventilador
12	1	Ventilador	Vea sesión 2 para analizar las exigencias de la capacidad del ventilador
13	4-6 ^b	placa desviadora de 13; 3 t	
14		Placas de placa desviadora de metal - 9 por la placa; corte de 2 t	Cortar en la largura para soldar anillo de soporte
15	4-6	barra de refuerzo del anillo, uno por la placa de 3 t diámetro	solda de punto para las tiras de metal y el anillo de apoyo
16	1	tapa cilíndrica del conjunto del deflector; 2t	
17	1	tapa cilíndrica de la sustentación del ventilador; 4 t	Hecho sob medida para que quepa em la parte externa del ventilador; 6 huecos hechos con taladradora para unir al ventilador

^a Las dimensiones son en milímetros, a menos que de otra manera; t: espesor. Algunas dimensiones pueden necesitar de ajuste para aplicaciones específicas y para la disponibilidad local de los materiales. Todas las superficies deben ser pintadas con anti oxidación. El peso total es aproximadamente 45 kilogramos.

^b El mayor número de placas es para asegurar una más alta eficiencia de la colecta para proyectos sin volumen suficiente de mezcla que precede el colector.

La información básica es suministrada en las siguientes subsecciones para los cinco elementos principales de la construcción: entrada del cilindro de acero y del gas, tapa superior, ventilador, conjunto de la placa desviadora, y conjunto final.

3.2.1 Tambor de acero y entrada de gás.

Para simplificar la construcción y mantener bajo coste, un cilindro de acero estándar es usado para abrigar el sistema de colecta del aerosol. Estos cilindros tienen un volumen aproximado de 200 litros (55 galones), diámetro de 600 milímetros (23.5 pulgadas) y altura de 880 milímetros (35 pulgadas). Un cilindro limpio de segunda mano que esté en buena condición de uso es recomendado para evitar problemas que podrían ser causados por materiales o por escapes residuales. Como precaución importante, las antorchas de solda y o/chispas calientes de la moedura no deben ser permitidas en las proximidades de los cilindros parcialmente cerrados, pues los mismos podrían explotar si antes contuviesen materiales inflamables. El interior del cilindro y de otras superficies internas debe ser revestido con la pintura antiherrumbre para inhibir y para extender la vida de funcionamiento de este sistema.

La posición de la entrada del gas a partir de la extenuación de la tapa puede estar en el lado o en la parte inferior del cilindro, como demuestra las indicaciones en la figura 3-2. El punto crítico de la construcción de la entrada del gas es que este debe estar dirigido para la parte inferior del cilindro, según las indicaciones de la figura 3-2 (a), o para una placa desviadora, indicaciones en la figura 3-2 (b). Esto asegura la mezcla del gas en el cilindro que aumenta el tiempo de residencia, promoviendo la refrigeración y coagulación del mercurio. También, conducir el gas de encuentro a la placa de acero hará con que algunas de las gotas del mercurio sean removidas por la adherencia al punto del impacto.

Los detalles de ingeniería de la entrada del cilindro de acero y del gas son mostrados en la figura 3-3, y las fotos de la construcción están en la figura 3-4. La tapa del cilindro es removida y un anillo liso es soldado a la parte superior para atornillar el conjunto interno en el lugar. Los agujeros para prender el tornillo son perforados en el anillo, y las cerdas de tornillo son soldadas abajo del anillo, pues después de ese conjunto unido, ya no habrá más un acceso abajo del anillo para prender las cerdas.

3.2.2 Tapa superior.

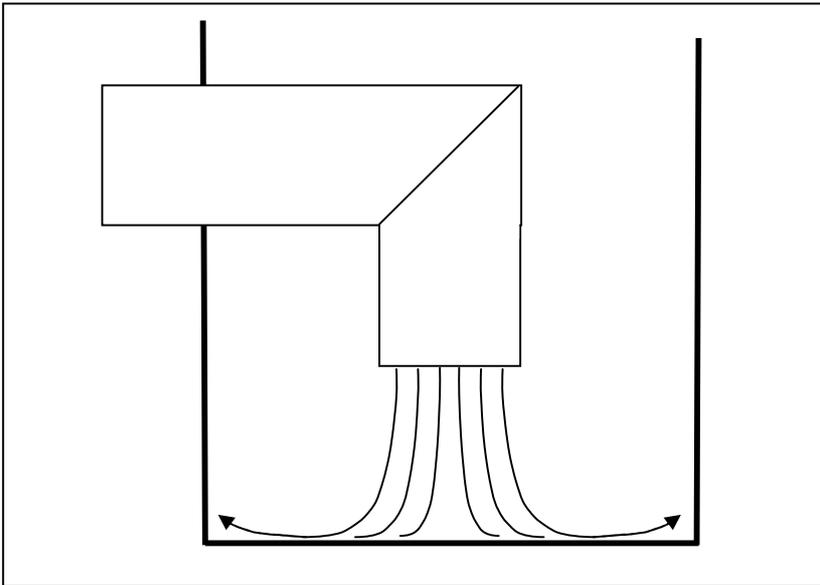
La tapa de cilindro es un forro cónico que es soldado a un anillo liso con agujeros para tornillo que conectan con el anillo superior en el cilindro, como ilustrado en las figuras 3-5 y 3-6. (El forro en forma de pirámide podría ser usado para facilitar esta parte de la construcción.) Dentro del forro deberá haber una varilla vertical que es necesaria para impedir el flujo rotatorio del ventilador-inducido inhibiendo el flujo ascendente.

Una sección de la cañería es unida a la parte superior del cono conectando la tubería que conduzca a la parte externa de la tienda. Una válvula para regular el pasaje del flujo es colocada en la cañería, aunque para muchas aplicaciones no haya ninguna necesidad de regular el flujo. Abajo del cono, un anillo es soldado uniendo esta parte a la parte superior de la carcasa del ventilador.

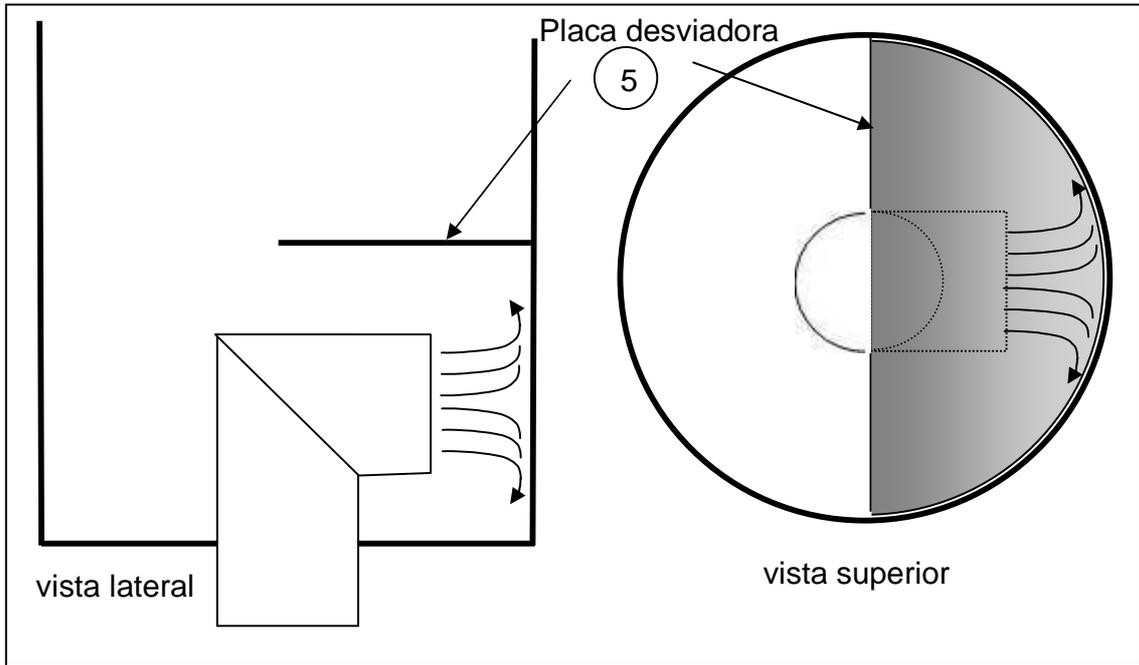
3.2.3 Ventilador

Un ventilador de 50 cm (figura 3-7) es conectado en la parte superior del anillo soldado al conjunto del cono, y en la parte inferior del anillo soldado al conjunto del desviador. El ventilador usado en este proyecto era 220 volts y con 3600 RPM, produciendo una medía de flujo de aproximadamente 0.1 m³/s. La tasa de flujo era de 6 m/s en los 15 cm de diámetro de ductos en la entrada y en la salida del sistema, y de 0.5 m/s en la cavidad del cilindro con 50 cm de diámetro.

El cableado eléctrico del ventilador es hecho a través de un agujero en el forro cónico, donde este cable pasa a través del agujero y este debe estar envuelto por una cinta aislante para protección.



(a) entrada lateral con flujos



(b) entrada por debajo con flujos

FIGURA 3-2 Diseños de los sistemas de entrada y tipo de flujo

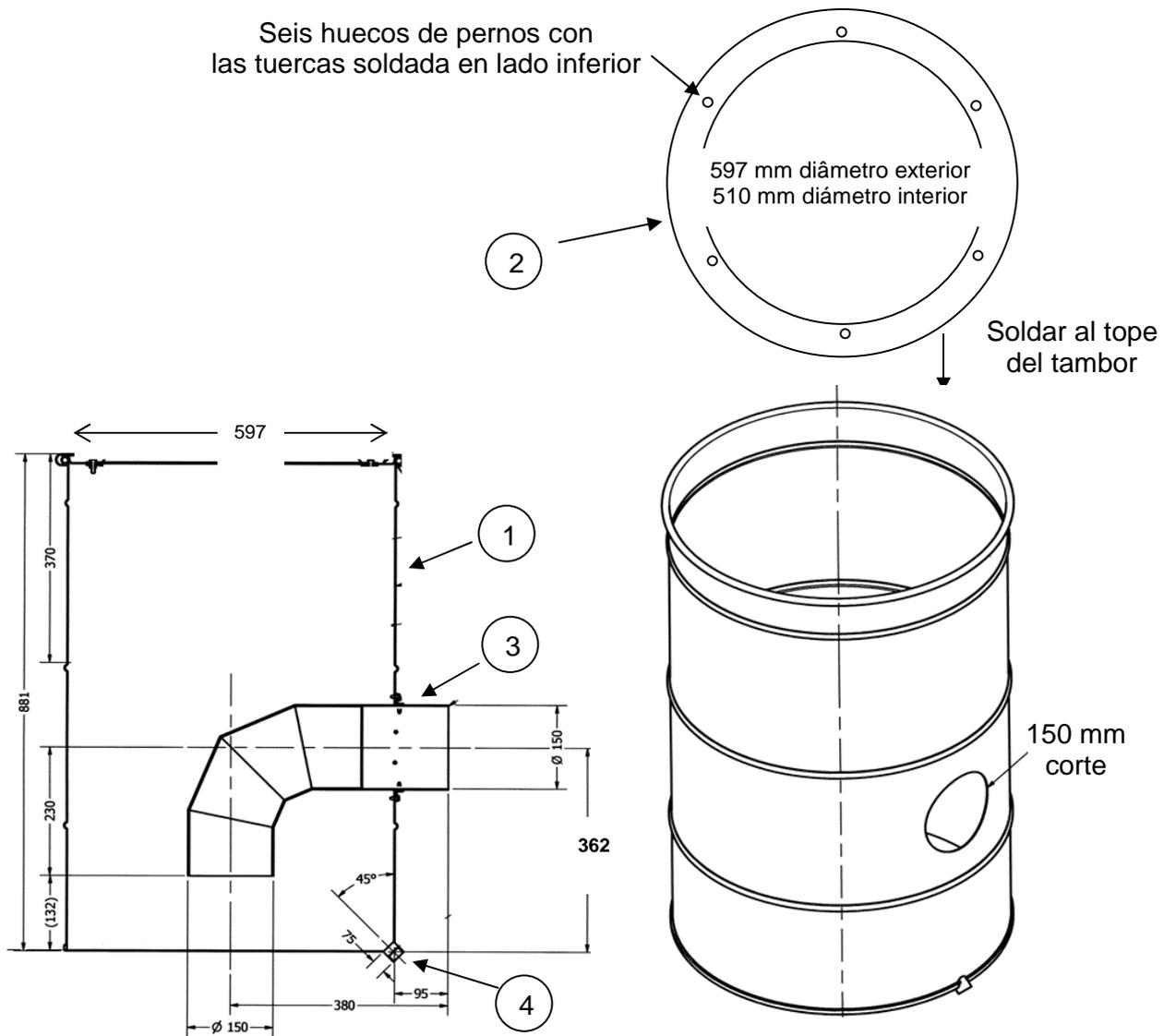


FIGURA 3-3 Detalles mecánicos del tambor de hierro y entrada de gas (las dimensiones estan en mm)



FIGURA 3-4 Construcción del tambor de hierro y entrada de gas, entrada lateral (foto)

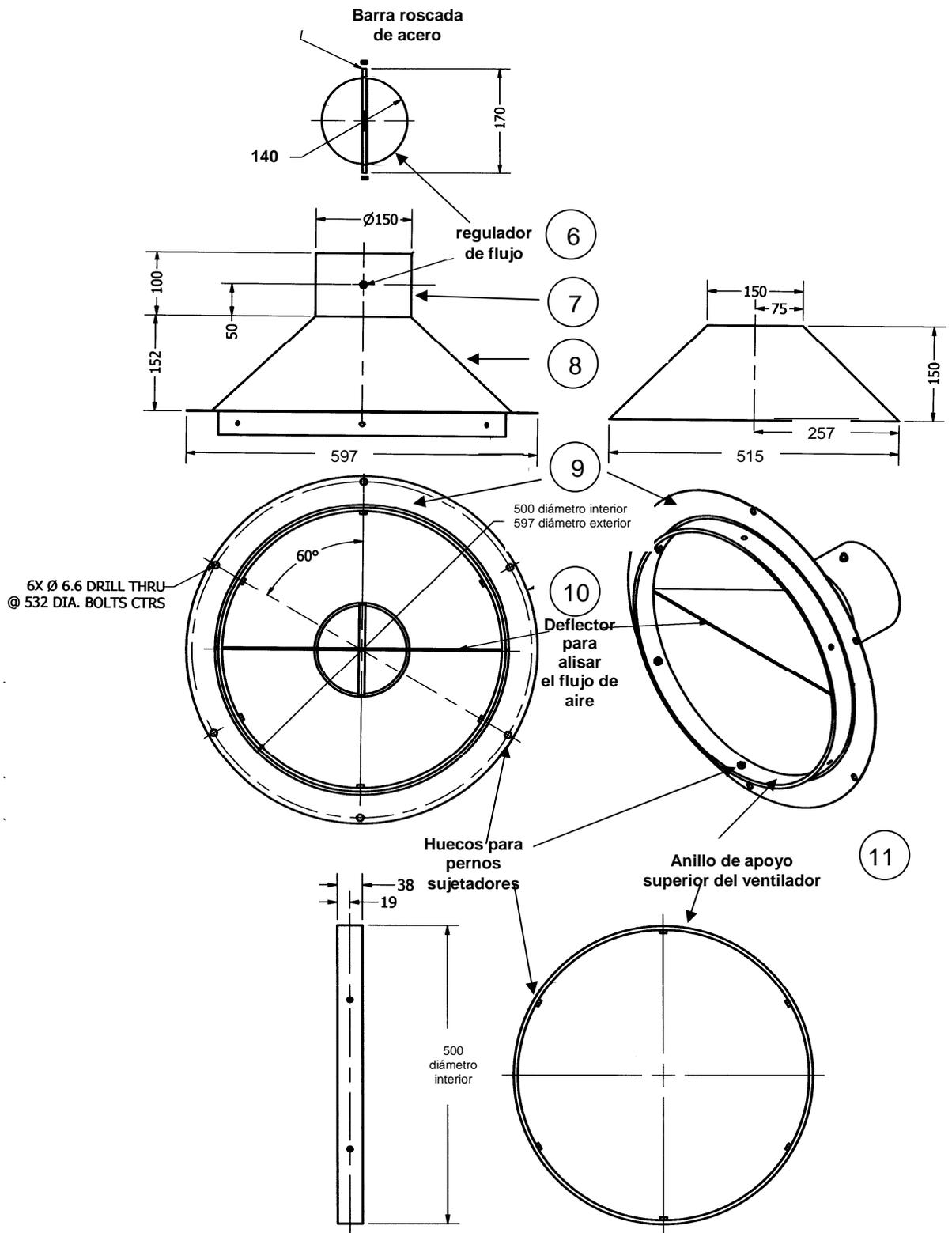


FIGURA 3-5 Detalle mecánico de la tapa superior (las dimensiones estan en mm)



FIGURA 3-6 Foto de la construcción de la tapa superior

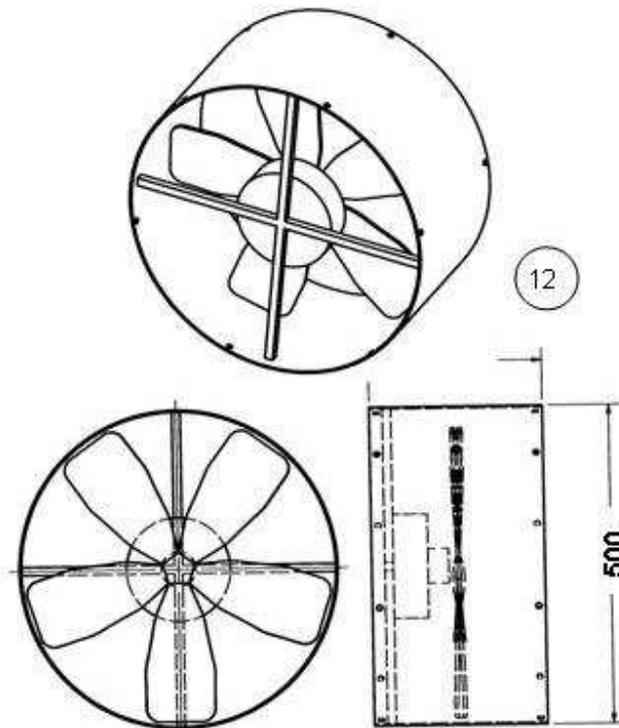


FIGURA 3-7 Detalle mecánico de la ventilación (las dimensiones estan en mm)

Algunas adaptaciones tal vez sean necesarias si ventiladores locales que son usados. La tasa de flujo no debe ser significativamente más alta que 0.1 m³/s, o 0.5 m/s en la cavidad del cilindro, para que las gotas de mercurio tengan tiempo suficiente para transitar y coagularse.

Por otro lado, el flujo debe estar en una velocidad relativamente alta en la apertura de la campana de por lo menos 0.25 m/s (100 ft/minuto) para proteger la seguridad de los trabajadores dentro de la tienda. Esta velocidad puede ser controlada con una tasa de flujo volumétrico dada cambiando así el tamaño de la campana. En un flujo de 0.1 m³/s, una campana de 0.4 m² dará la velocidad mínima de 0.25 m/s.

La fotografía (figura 3-8) ilustra la medida de la velocidad relativa con monitor de viento de Alcor™ con precio más barato.



Para ventiladores con tasas de flujo mayores, un desviador ajustable puede ser colocado en la extenuación del sistema del colector para controlar la tasa (figura 3-5).

El ventilador puede ser igualmente colocado en la parte exterior del cilindro. Sin embargo, se debe siempre ajustar el cilindro para mantenerse una presión relativa negativa dentro del mismo. Esto asegurará que todos los flujos de los escapes estén dirigidos para dentro en el sistema de la colecta del mercurio.

FIGURA 3-8 Medición de la velocidad relativa

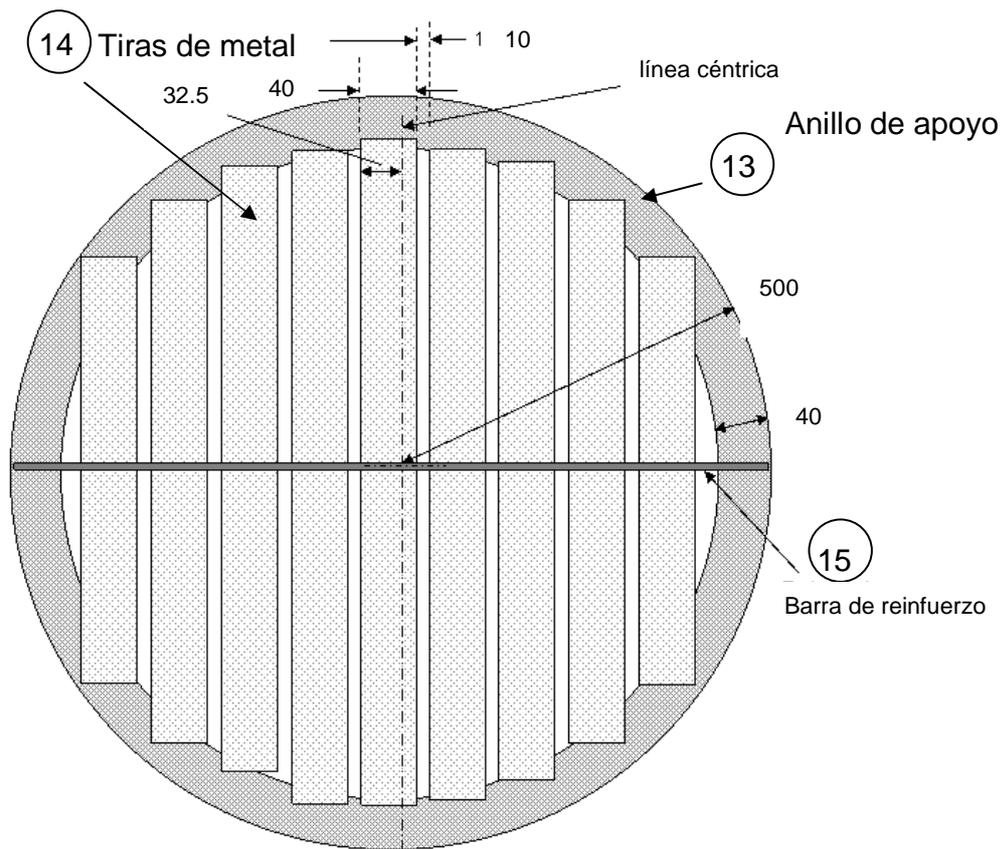
3.2.4 - Ensamblado de las placas desviadoras

La finalidad del ensamblado de la placa desviadora es forzar el aire que corre a través de los entalles que serán como los bocales o jatos. Estos entalles son proyectados para que el impulso de las partículas del aerosol del mercurio en el flujo de jato haga con que hayan impacto y que adhiera en el desviador. Las cuatro placas son construidas idénticas con entalle en las aperturas de la línea céntrica de la placa de modo que cuando las placas alternadas son montadas con una rotación 180° grados, las tiras continuas están sobre entalles abiertos en la placa abajo. Este ensamblado está ilustrado en las figuras 3-9 y 3-10. Más capas del desviador pueden ser añadidas para aumentar la eficiencia total de la colecta.

La sugerencia para construcción de placa desviadoras individuales es de que tiras hechas a medida de 40 mm (1.25 pulgadas) sean soldadas y con 10 milímetros de espaciado entre tiras en un anillo liso. Un anillo es soldado a la parte superior del conjunto para atornillar a la carcasa del ventilador, y un anillo cilíndrico en torno al conjunto impedirá un flujo de desvío en torno al conjunto del desviador.

3.2.5 - Ensamblado final

El forro del cono, el ventilador, y el conjunto del desviador son atornillados juntos en una única unidad, que entonces es ajustada en el cilindro y atornillado al anillo superior del cilindro, según la figura 3-11.



Todas las placas son iguales y alternadas giradas 180 graus en el montaje

Diseño de una placa desviadora

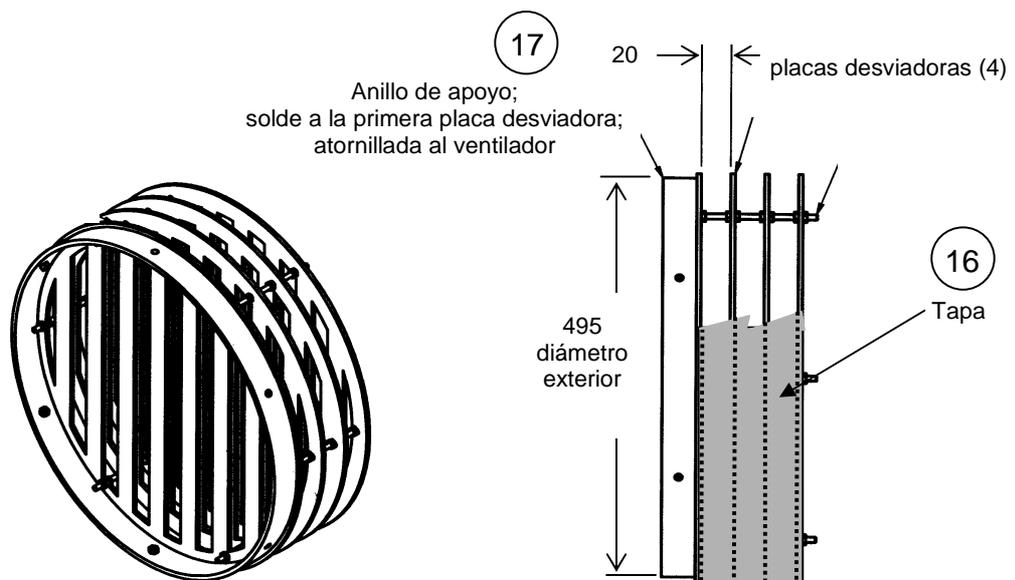


FIGURA 3-9 Detalle tecnico del sistema de placas desviadoras (las dimensiones estan en mm)



barras de acero plano (anchura: 40 mm y espaciado:10 mm) soldado a un anillo plano



FIGURA 3-10 Método propuesto para la construcción del sistema de placa desviadoras



FIGURA 3-11 Sistema completo

4 MÉTODO DE INSTALACIÓN

La instalación de cada sistema necesita ser adaptada a la configuración de cada tienda de compraventa de oro. Un sistema típico de la campana y de extenuación sin un colector del mercurio es mostrado en la figura 4-1. La instalación puede ser horizontal o vertical, y la entrada puede ser lateral o en la parte inferior del cilindro si la entrada es proyectada apropiadamente (figura 3-2). Algunas de las opciones de la instalación del colector son ilustradas en las figuras 4-2 la 4-4.

A partir del análisis hecho en la sección 2.2, para asegurar la colecta eficiente del aerosol del mercurio del 80% o más, la campana y la configuración del colector deben resultar en tiempo de tráfico del mercurio del punto de la evaporación a los desviadores del colector de por lo menos 6 segundos. El tiempo permite que las partículas del aerosol del mercurio se coagulen para los tamaños de 10-30 μm , que son capturados listamente por el proyecto de la placa desviadora mostrado en la sección 3.

El proyecto del sistema de la campana y del colector debe considerar diversos factores para asegurar las tasas de flujo y tiempo apropiados. El proyecto de sistema del colector está basado en una tasa de flujo nominal de $0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$ según lo que debe ser entregado por el ventilador del colector (figura 3-7). Para algunas instalaciones esto puede exigir un uso continuado de un ventilador como si fuera un suplemento. Para la seguridad del equipo de operarios, la velocidad de la campana (flujo de aire en la apertura de la campana durante la operación) debe tener un mínimo de 0.4 m/s (80 pies/ minuto). La combinación de velocidad de por lo menos 0.4 m/s y de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ tasa de flujo de volumen implica en una apertura de la campana de no más de 0.2 m^2 .

El tiempo puede ser aproximado dividiéndose el volumen combinado estimado de la campana y de la tubería por la tasa de flujo. Por ejemplo, un volumen de un medidor de la campana más la tubería con unos $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ significa un tiempo de 10 segundos. Este tiempo estimado supone una mezcla perfecta del vapor de mercurio/aerosol evaporados con el aire en la campana. (El sitio de referencia *Filip* puede ser usado para calcular el volumen de la parte de la campana en forma de pirámide).

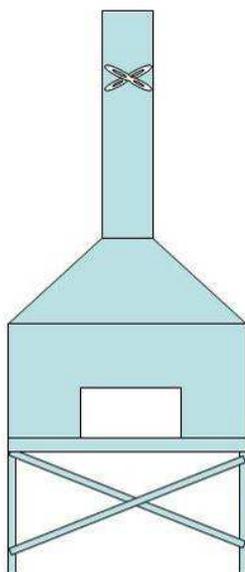


FIGURA 4-1 Configuración típica de las campanas extractoras y exaustores sin el condensador/colector de mercurio

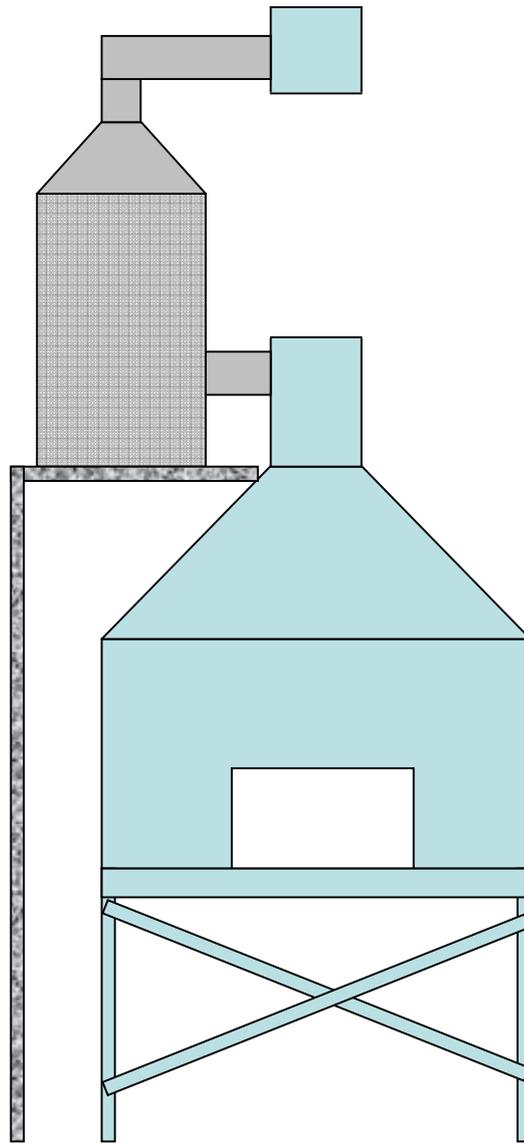


FIGURA 4-2 Instalación del sistema vertical de colector de mercurio con entrada lateral

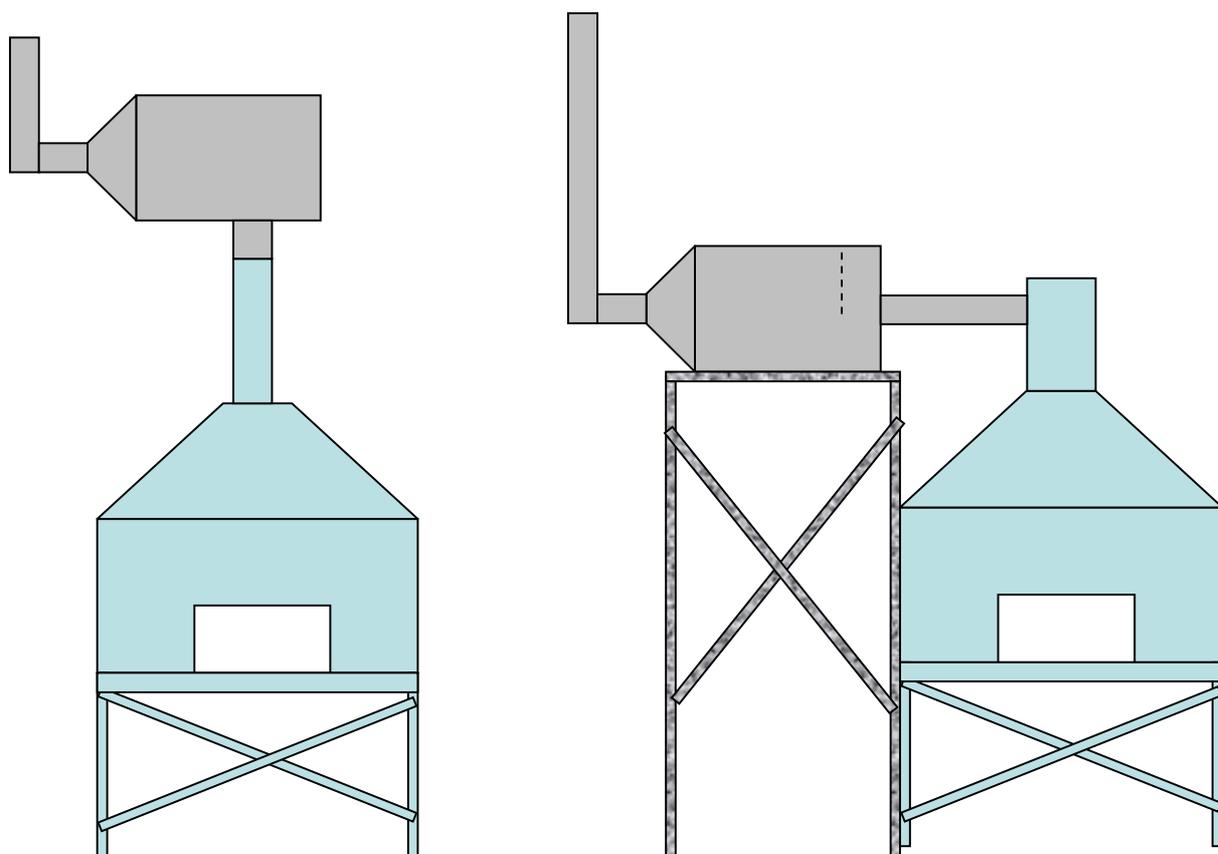


FIGURA 4-3 Instalación del sistema horizontal de colector de mercurio con entrada lateral y inferior



FIGURA 4-4 Ejemplos de la instalación vertical y horizontal de los sistemas colectores de mercurio (fotos)

5 PROPUESTA DE MUESTREO

El objetivo de un sistema del colector es remover el aerosol o los componentes ínfimos en la extenuación de la campana. Así, la función básica de un muestreo y de un esquema del análisis es determinar que un nivel relativo a la partícula ínfima permanezca después de la salida del gas y es descargada a la atmósfera. Para evaluar el desempeño de sistema, el sistema de vigilancia igualmente mide niveles del aerosol en la entrada del sistema de la colecta así como la concentración de vapor en la entrada y en el enchufe. El esquema para ejemplificar con un único filtro de carbón vegetal está descrito en la sección 5.1, y para ejemplificar el tamaño de partícula está descrito en la sección 5.2. Para calcular la eficiencia de la remoción del aerosol del mercurio utilizado vea el muestreo en la sección 5.3.

5.1 MUESTREO CON FILTROS DE CARBON

El aerosol en la entrada del sistema de la colecta y la concentración de vapor en la entrada y la toma puede ser medido usando (1) una bomba o una jeringuilla (o la otra cámara de vacío) para extraer una muestra, y (2) un filtro para capturar la partícula ínfima. Un análisis del índice del mercurio en el filtro para el volumen de muestra retirado indicará entonces el aerosol del mercurio o la concentración ínfima.

El proyecto del esquema del muestreo y del análisis para evaluar la remoción del mercurio está basado en parámetros típicos del proceso de la evaporación usado en las tiendas de compraventas de oro y en la configuración de equipo. Una configuración típica de la campana y de la extenuación sin y con un sistema del colector del mercurio está mostrada en la figura 5-1.

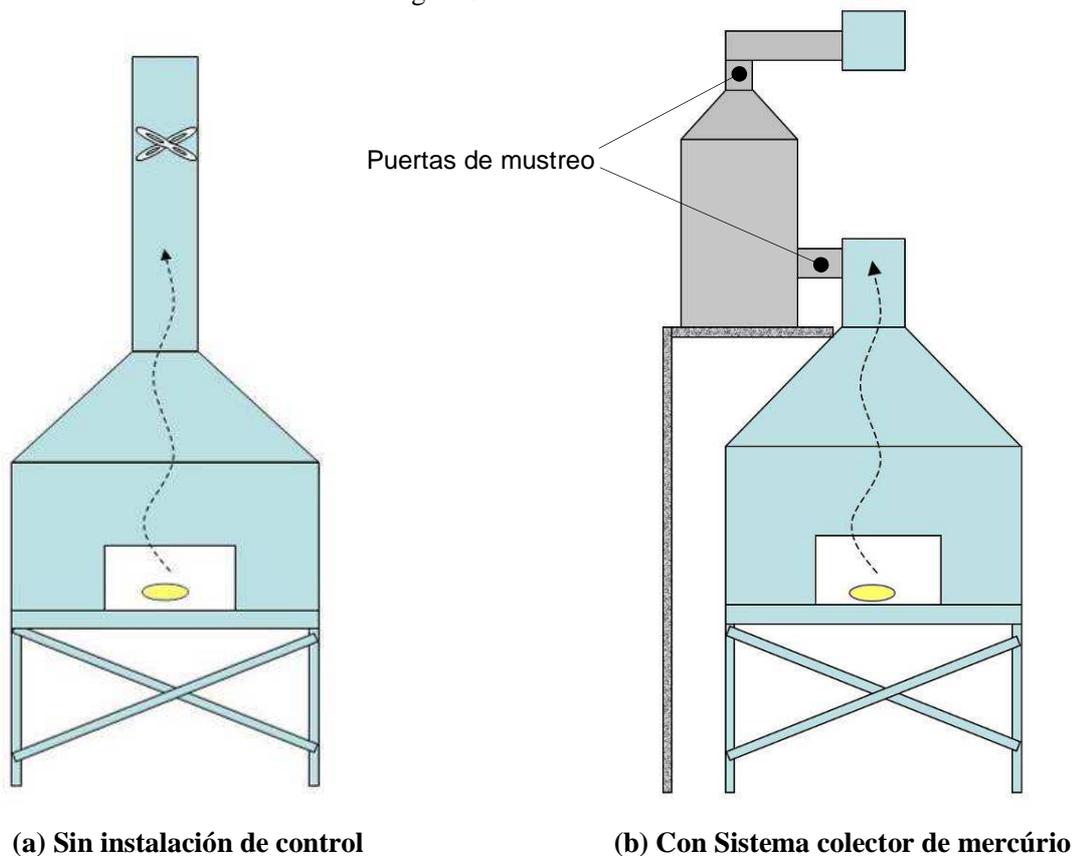


FIGURA 5-1 Configuración típica de campana extractora y exaustores

Las concentraciones típicas de mercurio en la extenuación de la campana pueden ser ilustradas usando un ejemplo hipotético:

- Considérese una evaporación de cinco gramos del mercurio en la capa usando una antorcha de alta temperatura.
- Suponiéndose que la tasa de evaporación del mercurio es uniforme durante un periodo de 60s.
- Suponiéndose una tasa de flujo típica de la extenuación de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

La concentración de la extenuación durante un periodo de 60 segundos de evaporación puede entonces ser estimada como:

$$5000 \text{ mg} / (60 \text{ s} \times 0.1 \text{ m}^3/\text{s}) = 830 \text{ mg}/\text{m}^3.$$

Porque la concentración de vapor saturado en el aire está en la orden de $15 \text{ mg}/\text{m}^3$, el mercurio en la extenuación es compuesto del vapor y las partículas o los aerosoles del líquido con cantidades aproximadas:

$$15 \text{ mg}/\text{m}^3 \text{ de vapor saturado} + 815 \text{ mg}/\text{m}^3 \text{ de aerosol.}$$

Un diseño conceptual y las fotografías del esquema de muestreo están en la figura 5-2. Con este sistema, un volumen conocido de aire/mercurio es extraído usando una jeringuilla calibrada durante el proceso de la evaporación. La muestra es extraída a través de un micro-filtro para capturar el aerosol, y la muestra que pasa completamente por la jeringuilla cuentan el componente solamente del aire/vapor. El filtro es enviado a un laboratorio para el análisis del índice del mercurio, y el gas de la jeringuilla es analizado con un analizador de vapor de mercurio.

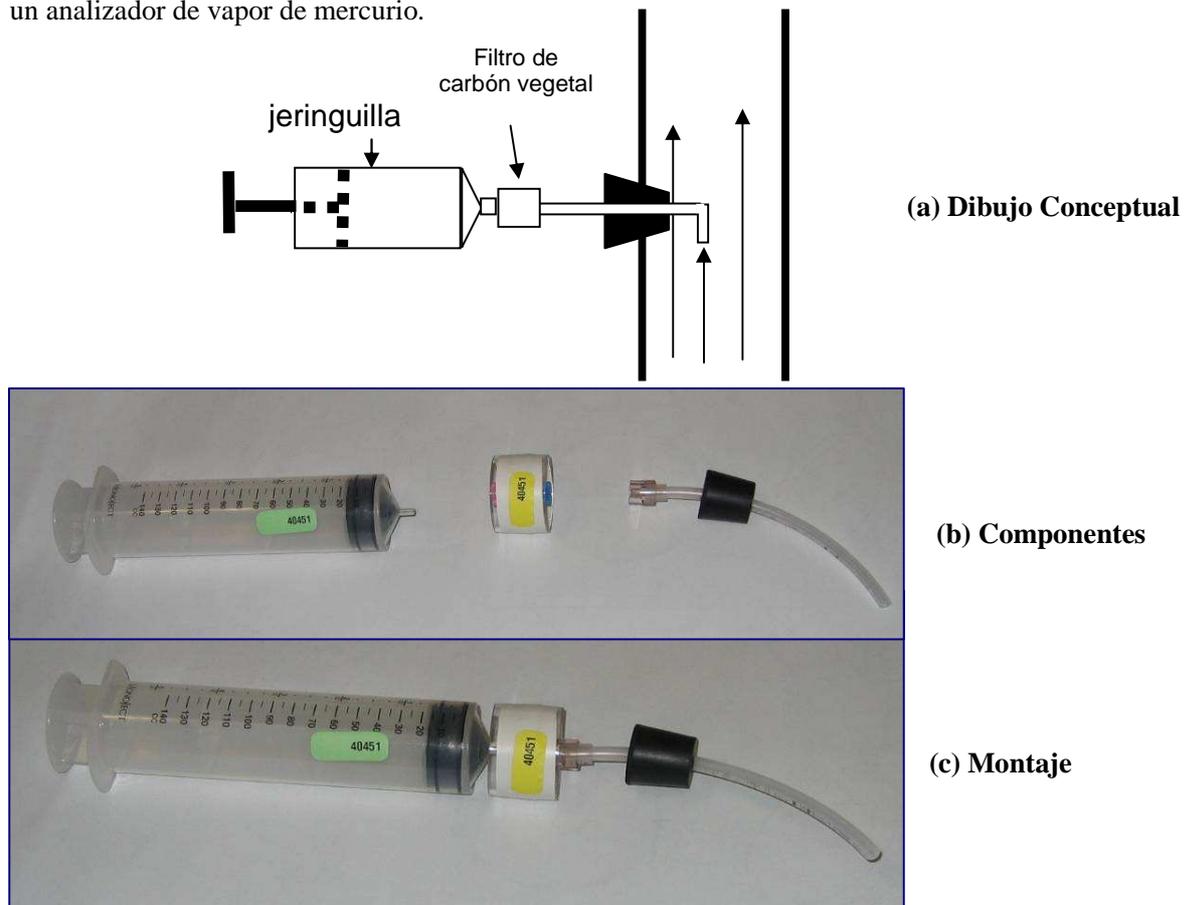


FIGURA 5-2 Aparato de muestras

Para evitarse un límite la mayor de vapor analizado, una porción del ejemplo del gas en la jeringuilla es mezclada a uno, pero ya sabido de aire límpido dentro de una bolsa como en la figura 5-3.



FIGURA 5-3 Foto de la jeringa para mezclar con aire limpio en una bolsa dilución

La mezcla del bolso de dilución entonces es probada usando un tubo Dräger Mercurio (mostrado en FIGURA 5-4) u otro analizador de vapor de mercurio



FIGURA 5-4 Análisis de las muestras diluidas con tubo Dräger (foto)

El procedimiento paso a paso para este sistema del muestreo es esbozado abajo.

1. Perfore salidas de muestreo en la entrada y en la extenuación del sistema de la colecta, como muestra indicación de la figura 5-1 (b). El tamaño de la salida de muestreo debe ser consistente con la bombona en el aparato del muestreo, como en la figura 5-4. La bombona continua debe ser introducida en la salida del muestreo cuando esta no esta en uso.
2. Remueva las tomas en el filtro en caja de carbón vegetal y monte el aparato del muestreo como en la figura 5-2. Certifíquese que el filtro está orientado de acuerdo con la entrada y la toma indicadas.
3. Rellena la dilución con un volumen de aire puro - es recomendado 2.000 ml, haga eso usando una jeringuilla y una cañería de conexión - es recomendado una jeringuilla de 140 ml. Vea figura 5-3.
4. Comience una hoja de registro para el funcionamiento de la muestra; una hoja de registro de ejemplo esta en el apéndice B.
5. Prepare etiquetas de la muestra con el mismo número (figura 5-5), y coloque una etiqueta en la jeringuilla, en el filtro de carbón vegetal, en el saco de la dilución, en el tubo de Dräger (si usado), y en la hoja de registro.



FIGURA 5-5 Rótulos para la identificación de las muestras (foto)

6. Introduzca un aparato del muestreo (figura 5-4) en las salidas del muestreo, con la curva en la cañería orientando así los puntos de la entrada del tubo en el flujo del gas, figura 5-2 (a).
7. Prepare el mercurio líquido o el amalgama de oro-mercurio (doré), y lo coloque en la capa. Identifique la cantidad específica de mercurio que está siendo usado, pesando el mercurio líquido o calculando el índice del mercurio (doré) después del procesamiento.
8. Comience el proceso de calentar el mercurio o el “doré” líquido.

- Después de aproximadamente 30 segundos que el mercurio comenzó a evaporar, extrae una muestra de 100 ml simultáneamente en las jeringuillas superiores y en las más bajas. La muestra debe ser extraída uniformemente durante aproximadamente 3 segundos. (Una segunda muestra puede ser obtenida sustituyendo el aparato completo y extrayendo una segunda muestra de 100 ml).



FIGURA 5-6 Preparando para tomar una muestra (foto)

- Remove el aparato de la muestra y coloca un bombona continua en cada uno de los puertos de la muestra.
- Desmontar el aparato del muestreo, manteniendo el actuador de la jeringuilla en uno de posición fija. Sustituir las tomas del conjunto de filtro, y colocar el filtro en el contentor (ver figura 5-7). Para emitir al laboratorio para el análisis (etapa 17). Mantener la etiqueta en el filtro.



FIGURA 5-7 Sistema de almacenamiento de los filtros de carbón usados

12. Conectar la jeringuilla a la bolsa de la dilución, y bombear 50 ml o la otra cantidad conocida de la jeringuilla en el saco de la dilución.
13. Cerrar el saco de la dilución, desconectar la jeringuilla, y descargar los índices restantes de la jeringuilla en un espacio abierto lejos de la zona de respiración.
14. Para analizar el índice del vapor de mercurio, conectar un tubo de Dräger (mostrado en figura 5-4), o el otro dispositivo vapor -monitorización a la bolsa de la dilución usando los tubos de conexión. Interrumpir ambos fines del Drägerel tubo y lo orienta como indicado por la flecha en el tubo. Las instrucciones específicas para usar un tubo de Dräger son suministradas en el apéndice C.
15. Si el volumen de aire puro en la bolsa de la dilución era 2000 ml y 50 ml fueron introducidos en la jeringuilla, la concentración del vapor del aparato de la muestra es calculada como sigue:

Amuestra de la concentración del aparato = (concentración de la bolsa de la dilución) (2000 + 50) /50.

16. Si el dispositivo del vapor-monitorización es un tubo de Dräger del mercurio, extraer 100 ml de la bolsa y a través del tubo de Dräger usando la jeringuilla o un curso con una bomba de Dräger (que iguala 100 ml). Repetir hasta que el tubo de Dräger cambie el color. La concentración es estimada usando la tabla en el apéndice C que correlaciona la concentración del mercurio con el número de 100 cursos del ml necesarios para obtener un cambio en el color dentro del tubo.
17. Emitir el filtro empaquetado al laboratorio analítico que fue arreglado de antemano para analizar la muestra.
18. Terminar la hoja de registro de la muestra con copias al EPA (o a su contratante), a la agencia ambiental local, y apropiar gerentes de la tienda.

5.2 – MUESTRO DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.

Para comprenderse la dinámica y la eficiencia de la colecta de aerosol del mercurio, es preciso conocer la distribución de las partículas por el tamaño. Esta información puede ser obtenida a través del elemento impactante de varias prácticas que prenden partículas transportadas por vías aéreas en filtros individuales de colecta.

Las partículas transportadas por vía aérea son extraídas a través de la entrada del muestreo a través de una bomba de muestra. Las partículas más gruesas pasan a través de los colectores más bajos mientras otras partículas son separadas aerodinamicamente en un filtro apropiado.

Un elemento impactante de varias prácticas de RESPICON™ fue usado en este estudio ilustrado en la figura 5-8. En este sistema, la primera práctica separa para fuera y colecta 4 µm de las partículas menores. La segunda etapa recolecta partículas abajo de 10 µm, mientras la tercera práctica recolecta las partículas restantes. La masa de partículas depositadas es determinada comparando los pesos del filtro antes y después de la muestra.

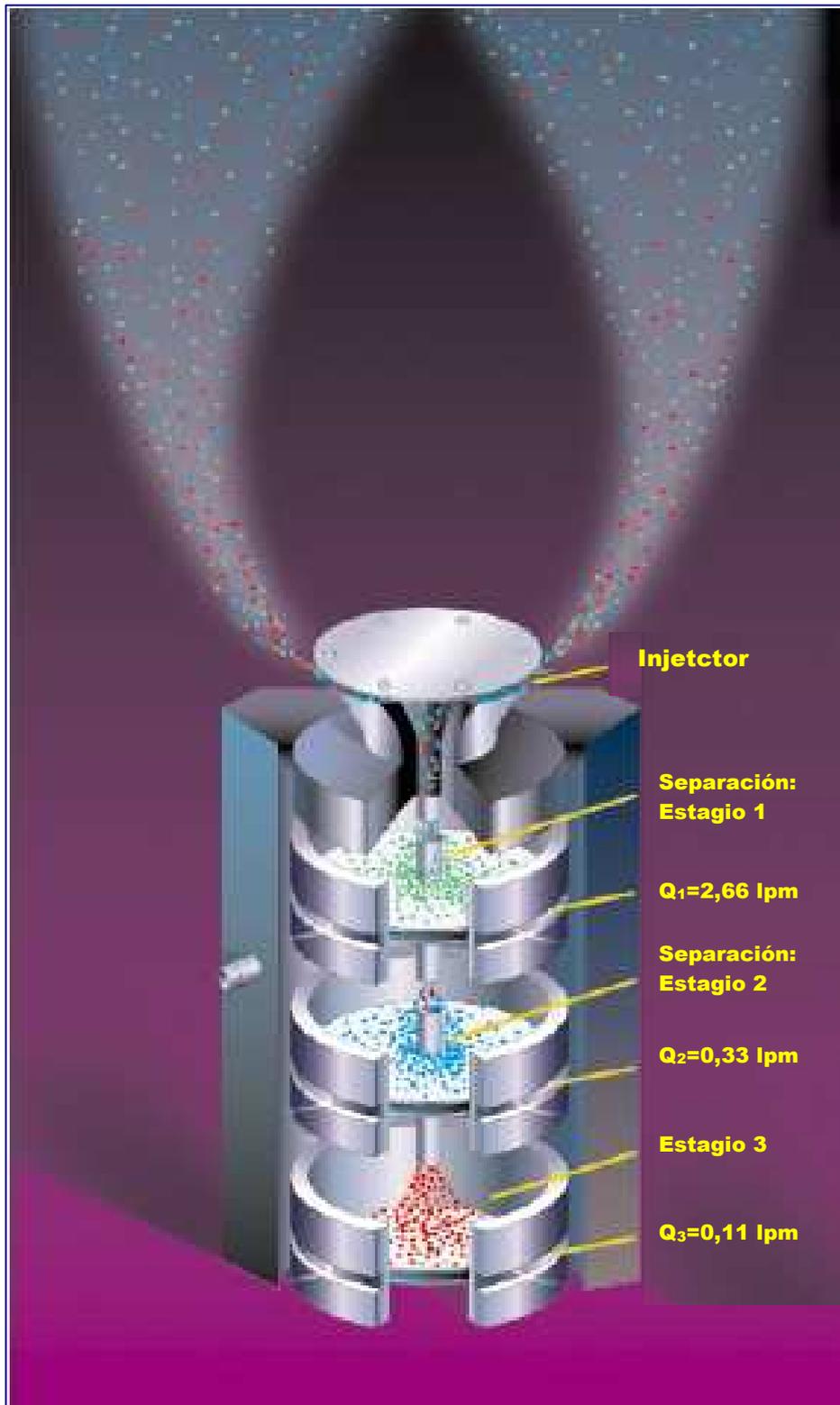


FIGURA 5-8 Esquema del impactador RESPICON

5.3 EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DEL MERCURIO GASEOSO

La eficiencia de un sistema para remover el mercurio del gas de extenuación puede ser determinada por la reducción en niveles de mercurio entre la entrada y los puntos de medida de toma. La combinación de componentes del aerosol y del vapor debe ser incluida en esta evaluación, pues parte de ese vapor se condensará de alguna forma a la partícula ínfima o del aerosol.

Una segunda evaluación cuanto a la eficiencia de la colecta es comparar el mercurio liberado de la campana con la cantidad estimada total en la extenuación del sistema de la colecta. Para probar el sistema, un cierto peso ya conocido de mercurio es evaporado en la capa. Si el mercurio viene del “doré”, la cantidad de mercurio puede ser calculada por la diferencia en el peso del “doré” y del producto final del oro. Los resultados del muestreo pueden ser usados para estimar la cantidad total de mercurio liberada, como mostrado en el diseño en la figura 5-9.

La forma real de la curva para la concentración de la extenuación de la capa en función del tiempo es estimada mientras un valor constante entre el comienzo y el revestimiento de la quemadura es conducido para evaporar el mercurio. Suponiéndose que este valor es igual al valor identificado de un análisis dado de la muestra, la cantidad total de mercurio que pasa del punto de muestra es estimado como sigue:

Mercurio total (g) = muestra de mercurio recolectado (g/m³) X tasa de flujo (m³/s) X tiempo de la quema (segundo).

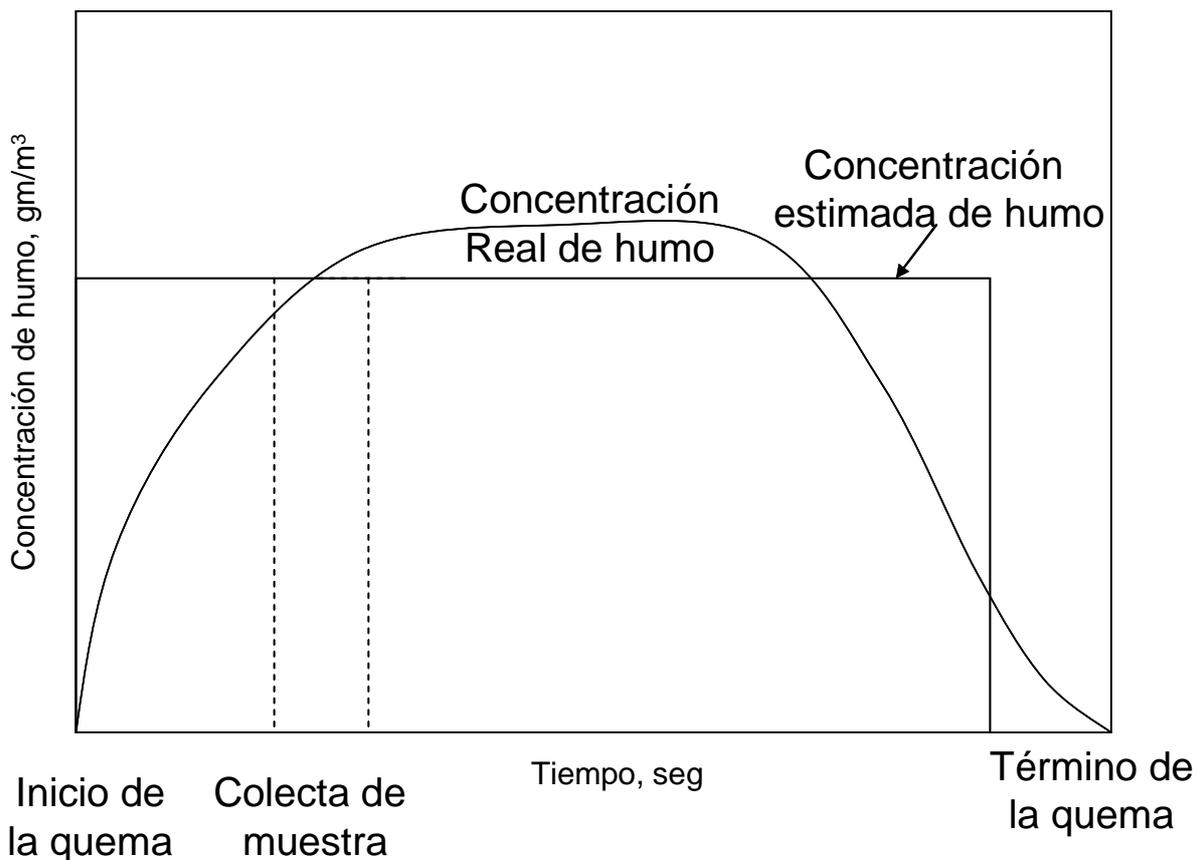


FIGURA 5-9 Ilustración conceptual de la concentración del aerosol de mercurio durante una quema

6 PRUEBA DE LOS PROTOTIPOS EN LAS TIENDAS DE ORO BRASILEÑA

El grupo hizo tres viajes al Para, Brasil, para coordinar la construcción, instalación y prueba de los colectores de mercurio elaborados por la Argonne para este proyecto. Durante el primer viaje en diciembre de 2006, una unidad demostrativa basada en el concepto cama de pedregullo fue construida por un artesano local e instalada en la primera tienda:

- Tienda Marsam en Itaituba

El segundo proyecto utilizó placas desviadoras dentro de un tambor de hierro, y fue instalado en julio de 2007 en 3 tiendas:

- Tienda Melado Oro en Itaituba
- Tienda D'Gold en Creporizão
- Tienda Ourominas en Itaituba

Durante el tercer viaje en octubre y noviembre de 2008, fue probada una versión revisada del segundo prototipo. El mayor cambio de ese proyecto modificado fue el estrechamiento del espacio en las placas de placa desviadoras, basado en la consideración teórica discutida en el capítulo 2. Ese sistema fue construido localmente e instalado en dos campana extractora en la cuarta tienda:

- Tienda Parmetal en Itaituba.

También, la unidad fue instalada en la tienda 'Ourominas' en julio de 2007, el proyecto anterior fue intercambiado por una unidad con este proyecto revisado. Además de estos sistemas de prototipos proyectados por la Argonne y posteriormente construidos en el local, estaba disponible un sistema hecho en Indonesia, basado en agua y elaborado para campanas extractoras menores – que direcciona el aerosol por un container de agua para recolectar el mercurio (ver apéndice D) – y que también fue probado en el tercer viaje.

Este capítulo retracts los resultados obtenidos de las pruebas demostrativas conducidos en el tercer viaje. Estos datos fueron recolectados usando los procedimientos de muestreo referidos en el capítulo 5. Estos procedimientos incorporaron lecciones aprendidas sobre los muestreos recolectados precozmente en los 2 primeros viajes. Como los datos de los dos primeros viajes fueron recolectados por procedimientos diferentes y no son considerados confiables, estos no serán incluidos aquí.

6.1 PRIMER PROTOTIPO DE CAMA DE PEDREGULLO EN MARSAM

El prototipo inicial utilizando el sistema cama de pedregullo fue instalado en la tienda Marsam, como mostrado en la figura 6-1, el local de los muestreos también son mostrados en esa imagen. Y los resultados están sintetizados en la tabla 6-1 localizada en el fin de este capítulo. Los datos muestran una reducción dramática en los niveles de mercurio en la variación de los niveles de pequeñas partículas. Se cree que esa disminución es resultante de la condensación que forma partículas mayores (1) que son capturadas más fácilmente y recolectadas en el largo ducto de entrada.

Fue usado el procedimiento de muestreo con filtros de carbón para medir el total de partículas, y fue usado un analizador de mercurio Jerome (Instrumentos Arizona, 2005) para medir el vapor dentro de las bolsas de dilución (ver procedimiento general descrito en el capítulo 5). Las concentraciones evaluadas en

los puntos A y B (ver figura 6-1) fueron de 509mg/m³ en la entrada (A) y 190mg/m³ en la salida (B). Lo que prueba una eficiencia de 63%.

Para una prueba de 60 segundos de quema de 6.1 gramos de mercurio con un flujo de 0.126 m³/s, la concentración máxima calculada fue de 800mg/m³. Basado en la medición de 190 mg/m³, eso sugiere que la eficiencia de colecta fue del 70%.



FIGURA 6-1 Area de muestreo para el sistema cama de pedregullo: Tienda Marsam (foto)

6.2 SEGUNDO PROTOTIPO EN LA TIENDA MELADO ORO

El segundo prototipo, que consiste en una serie de conjunto de la placa desviadora dentro del tambor, fue instalado en la tienda Melado Oro. Los puntos de muestreo de este sistema son mostrados en la figura 6-2 y los resultados sintetizados en la tabla 6-1.

Fue usado el procedimiento de muestreo con filtros de carbón para medir el total de partículas, y fue usado un analizador de mercurio Jerome (Instrumentos Arizona, 2005) para medir el vapor dentro de las bolsas de dilución. Las concentraciones evaluadas en los puntos A y B fueron de 1,580mg/m³ en la entrada (A) y 330mg/m³ en la salida (B). Lo que prueba una eficiencia del 79%.

Se cree que la eficiencia relativamente buena en la colecta en esta tienda es debido a los anchos ductos que preceden el sistema de colecta. Estos ductos anchos disminuyen la velocidad del flujo y permiten la formación de partículas mayores, que son más fáciles de capturar.

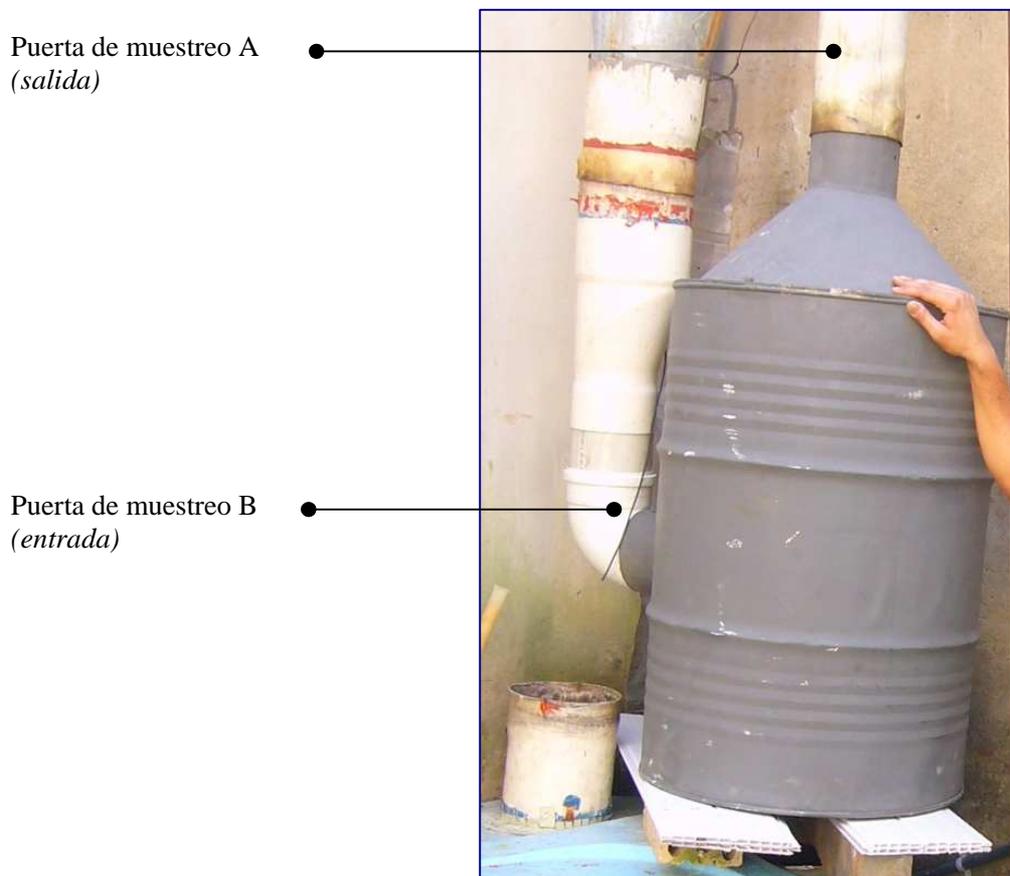


FIGURA 6-3: Areas de muestreo para el sistema de placas desviadoras modificado: Tienda Ourominas (foto)

6.5 SEGUNDO PROTOTIPO MODIFICADO EN LA TIENDA PARMETAL

Las dos instalaciones similares en la tienda Parmetal también utilizaron el sistema revisado con espazamiento estrechos entre los conjunto de la placa desviadora. El sistema instalado en él incluía un ducto entre la campana extractora y la unidad colectora, como visto en la figura 6-4. Los puntos de muestreo también son mostrados en la imagen, y los datos sintetizados en la tabla 6-1.

Usando el procedimiento de muestreo con filtros de carbón para medir el total de partículas usando un analizador de mercurio Jerome para medir el vapor dentro de las bolsas de dilución. Las concentraciones evaluadas en los puntos A y B en la figura 6-4 resultaron en un total de 745mg/m³ en la entrada (A) y 468mg/m³ en la salida (B) para una eficiencia del 37%.

Para una prueba de 30 segundos de quema de 5,47 gramos de mercurio con un flujo de 0.25 m³/s, la concentración existente calculada en la campana extractora fue de 745mg/m³. Esta fue la misma concentración medida en la entrada, entonces la eficiencia calculada también fue del 37%.

Esta eficiencia de colecta es consistente con las eficiencias indicadas por los datos de la RESPICON por

la unidad en la tienda Ourominas. El bajo nivel de eficiencia en la tienda Parmetal refleja la forma con que fue ejecutado. Es decir, el ducto fue conectado directamente a la campana extractora, entonces no hubo beneficio para la condensación y colecta en el ducto entre la campana extractora y el colector como fue demostrado en la otra tienda. Pongan atención que no fue posible obtener una medición de los tamaños de partículas por el RESPICON por el modo con que este sistema fue montado.

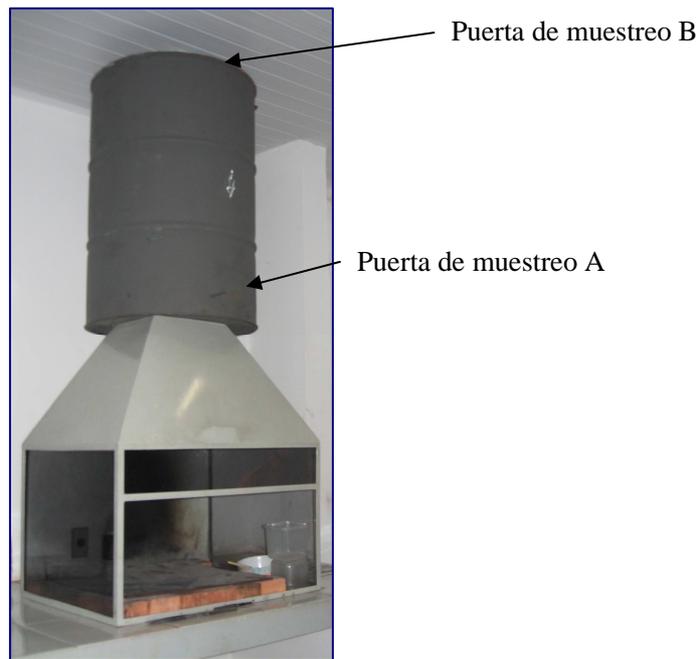


FIGURA 6-4: Areas de muestreo para el sistema de placaS desviadoras modificado: Tienda Parmetal (foto).

6-6 SISTEMA KALIMANTAN BASADO EN AGUA

Fue disponibilizado un sistema proyectado y construido en Indonesia para uso con campanas extractoras relativamente pequeñas para ayudar este proyecto en Brasil. Este sistema mostrado en la figura 6-5 y en el apéndice D fue demostrado y montado en Brasil. Este sistema fue desarrollado para las Organizaciones del Proyecto de Desarrollo Global de Mercurio de la ONU durante su campaña para concienciación e introducción de tecnología limpia. Los puntos de muestreo también son identificados en esta figura y los resultados sintetizados en la tabla 6-1 .

Usando el procedimiento de muestreo con filtros de carbón para medir el total de partículas usando un analizador de mercurio Jerome para medir el vapor dentro de las bolsas de dilución, las concentraciones evaluadas en los puntos A y B en la figura 6-5 resultaron en un total de 2.210mg/m³ en la entrada (A) y 550mg/m³ en la salida (B) para una eficiencia de colecta del 75%.

Para una prueba de 60 segundos de quema de 4.9 gramos de mercurio con un flujo de 0.023 m³/s, la concentración en la campana extractora calculada fue de 3,500mg/m³. Esto sugiere que la eficiencia de colecta fue del 84%.

Comparado al valor medido de $2,210\text{mg}/\text{m}^3$, esto indica una remoción considerable de mercurio por la deposición en las paredes de la tubería. Para determinar si es decir una explicación para la reducción substancial en los niveles de mercurio, después de la conclusión de las pruebas de quema, una muestra de 30 cm fue recolectada del ducto exhaustor de campana extractora usando un disco de carbón de 3.7cm de diámetro, y en la salida usando un fregona de 30 cm de diámetro. Las análisis laboratoriales indicaron que fueron recolectados $2,000\mu\text{g}$ de mercurio en el fregona de la tubería del exhaustor y fueron recolectados $280\mu\text{g}$ en la tubería del sistema de salida.

Esto confirma que la deposición en las tuberías disminuyendo posteriormente las emisiones del sistema.



Figura 6-5 Areas de muestreo para el sistema basado en agua Kalimantan (foto)

TABLA 6-1 Resultados de las demostraciones de los testes seleccionados

Sistema testado, Localización del muestreo y tamaño de la partícula		Número de la muestreo	Mercurio Coletado		
Ubicación	Tamaño de la partícula (μm)		Peso (μg) Concentraciones(mg/m^3) como notas	Porcentual del peso total	Alteración General
Sistema inicial de cama de pedregullos en la Tienda Marsam					
Superior	<4	RESPICON A: 39775	480	88%	Nivel de comparación
Central	4-10	39776	0.73	<1%	Nivel de comparación
Inferior	>10	39777	66	12%	Nivel de comparación
			<i>Total: 547</i>		
Superior	<4	RESPICON B: 40343	3.9	14	Reducción de 99%
Central	4-10	40344	7	25	Aumento de 860%
Inferior	>10	40345	17	61	Reducción de 74%
			<i>Total: 27.9</i>		<i>Reducción media 95%</i>
Muestreo de concentración de partículas		Filtro de Carbón, A (entrada)	509 mg/m^3		Eficiencia da Coleta
		Filtro de Carbón, B (salida)	190 mg/m^3		63%
		Calculado en la salida de la capela	800 mg/m^3		76% (calculada)
Sistema inicial de placa deflectoras en la Tienda Melado Ouro					
<i>Tiempo estimado de percurso, 13 seg*</i>					
Superior	<4	RESPICON A: 40348	18	82	Nivel de comparación
Central	4-10	40349	2.9	13	Nivel de comparación
Inferior	>10	40350	1.06	5	Nivel de comparación
			<i>Total: 22</i>		
Superior	<4	RESPICON B: 40340	0.37	10	Reducción de 98%
Central	4-10	40341	0.67	18	Aumento de 77%
Inferior	>10	40342	2.7	72	Aumento de 154%
			<i>Total: 3.74</i>		<i>Reducción media 83%</i>
Muestreo de concentración de partículas		Filtro de carbón, A (entrada)	1,580 mg/m^3		Eficiencia de la Colecta
		Filtro de carbón, B (salida)	330 mg/m^3		79%
Sistema modificado de placas deflectoras (menor distancia entre las placas) Tiempo estimado de percurso, 15 seg*					
Ourominas					
Superior	<4	RESPICON A: 40477	483	84	Nivel de comparación
Central	4-10	40477	49.7	9	Nivel de comparación

Sistema testado, Localización del muestreo y tamaño de la partícula		Número de la muestreo	Mercurio Coletado		
Ubicación	Tamaño de la partícula (μm)		Peso (μg) Concentraciones(mg/m^3) como notas	Percentual del peso total	Alteración General
Inferior	>10	40477	42.8	7	Nível de comparación
			<i>Total: 575.5</i>		
Superior	<4	RESPICON B: 40476	321	89	Reducción de 34%
Central	4-10	40476	26.5	7	Aumento de 47%
Inferior	>10	40476	12.9	4	Aumento de 70%
			<i>Total: 360.4</i>		<i>37% reducción media</i>
<i>Muestreo de concentración de partículas</i>		<i>Filtro de carbón, A (entrada)</i>	<i>(jeringa defectuosa)</i>		<i>Eficiencia de colecta:</i>
		<i>Filtro de carbón, B (salida)</i>	104 mg/m^3		(no calculada)
		<i>Calculada en la salida da capela</i>	1,100 mg/m^3		91% (calculada)
Sistema modificado de placas deflectoras (menor distancia entre las placas) Tiempo estimado de percurso, 2 seg* Tienda Parmetal					
<i>Muestreo de concentración de partículas</i>		<i>Filtro de carbón, A (entrada)</i>	745 mg/m^3		<i>Eficiência da coleta:</i>
		<i>Filtro de carbón, B (salida)</i>	468 mg/m^3		37%
		<i>Calculada en la salida de la capela</i>	745 mg/m^3		37% (calculada)
Sistema Kalimantan basado en agua					
Superior	<4	RESPICON A: 40478	43	79	Nível de comparación
Central	4-10	40478	10	18	Nível de comparación
Inferior	>10	40478	1.6	3	Nível de comparación
			<i>Total: 54.6</i>		
Superior	<4	RESPICON B: 40479	0.56	57	Reducción de 99%
Central	4-10	40479	0.22	22	Reducción de 98%
Inferior	>10	40479	0.2	20	Reducción de 87%
			<i>Total: 0.98</i>		<i>98% reducción</i>
<i>Muestreo de concentración de partículas</i>		<i>Filtro de carbón, A (entrada)</i>	2,210 mg/m^3		<i>Eficiencia de la colecta:</i>
		<i>Filtro de carbón, B (saída)</i>	550 mg/m^3		75%
		<i>Calculada en la saída de la capela</i>	3,500 mg/m^3		84% (calculada)

* Tiempo estimado de percurso del mercurio desde el punto de evaporación hasta las placas deflectoras, basado en el volume de la capela, ducto, y tambor abajo de las placas deflectoras dividido por el volume del flujo.

Las implicaciones de los resultados de estos testes son discutidos en el Capítulo 8

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las emisiones de las tiendas de oro durante una quema pueden exceder $1.000\text{mg}/\text{m}^3$. A causa de la concentración saturada del vapor de mercurio en las temperaturas operantes y en la extenuación de la campana extractora es menor que $100\text{mg}/\text{m}^3$, la forma dominante de mercurio en la extenuación es en aerosol y en partículas líquidas. La meta de este proyecto fue demostrar tecnología para remover ese componente dominante aerosol de las emisiones de los procesamientos de las tiendas de oro.

La determinación del total de mercurio en el flujo requiere la medición de ambos aerosol y componentes del vapor. Esto fue alcanzado por el esbozo de un volumen conocido de aire por un filtro activo de carbón. La cantidad de mercurio capturado en el filtro fue analizado en el laboratorio Argonne, y la concentración del vapor no capturado por el filtro fue analizado usando un analizador de vapor Jerome. A pesar de no ser exacto, las concentraciones de vapor también pudieron ser analizados con un coste bajo usando un tubo Drager.

La coagulación es un importante mecanismo de la remoción de los aerosoles de mercurio. Usando un aparato que identifica el tamaño de las distribuciones de los aerosoles, fue descubierto por mediciones en las tiendas Marsam y Melado Oro y por el sistema de Indonesia que aproximadamente un 80% o más de los aerosoles (por peso) en la salida del exaustor son menores que $4\mu\text{g}$ en diámetro. Por la análisis teórica permitiendo un flujo de 6 segundos o más para permitir que las partículas se coagulen a tamaños medios de $30\mu\text{g}$ resulta en significativa mejora en la eficiencia de colecta.

El formato de los sistemas de colecta fue basado para forzar el flujo gaseoso por aperturas estrechas que forman jatos direccionados a la superficies abajo. Si ese sistema fuera propiamente elaborado, los ímpetus de las partículas harían con que esas se adherieran a las superficies abajo. Un sistema cama de pedregullo fue probado primero, esa configuración fue efectiva en crear espacios estrechos y superficies adheribles, y fue confirmada una gran colecta. El primer prototipo usando una cama de pedregullo mostró que los impactos de los jatos en las superficies tenían una eficiencia del 90% en la colecta de partículas de mercurio.

Una alternativa a la cama de pedregullo fue investigada pues su peso, la dificultad en garantizar la consistencia necesaria de las características en los pedregullos y la dificultad de proyectar una cama de pedregullos con flexibilidad para fijación en varias campanas extractora dificultaban su ejecución.

Un proyecto alternativo consistía en una serie de placas desviadoras en que los espacios creaban jatos que impregnaban en las superficies de las placas. Una análisis teórica determinó los requerimientos para un proyecto perfecto: los espacios deberían ser estrechos lo suficiente para crear jatos que podrían cargar las partículas con adecuación para impregnar y adherir las superficies, que pongan si los espacios fueran muy estrechos, ellos podrían inhibir el flujo necesario. Basado en las tasas de flujo típicas de $0,1\text{m}^3/\text{s}$ por la campana extractora, fue determinada como ideal una anchura entre 1 a 4 cm.

El método preferido de construcción de las placas desviadoras para proveer las dimensiones necesarias es de soldar tiras pre-cortadas a un anillo. (En las aplicaciones descritas en este relato, el uso de una antorcha cortadora para hacer aperturas en un disco recto resultó en espacios desiguales, que no fueron ideales para alcanzar la dinámica de flujo necesaria).

Un refinamiento posterior para alcanzar mayor eficiencia de colecta envolvía cerrar las placas para evitar fugas de flujo. A pesar de esto, ese procedimiento no fue adoptado en las demostraciones de los prototipos, como mostrado en los planes de construcción.

El segundo sistema de prototipo instalado en la tienda Melado Oro en Itaituba, Para, Brasil, obtuvo una eficiencia de cerca de un 80% en el flujo entrada-salida. Esa eficiencia alta es atribuida a la anchura anormal de la campana extractora y de la tubería exhaustora (50 cm de diámetro) que permitió un periodo largo de transito y entonces mayor oportunidad para el aerosol coagular. La eficiencia de la colecta aumenta con el tamaño de la partícula.

Para el sistema instalado en la tienda Ourominas, en Itaituba, el total de la reducción de la concentración de mercurio del exaustor de la campana extractora al sistema de extenuación, que incluía 4 a 5m de tubería conectora, fue aproximadamente un 80%. Resultados indicaron que la disminución en la concentración por la placa desviadora sin la tubería de entrada fue del 40%, demostrando la importancia del tiempo de transito suficiente para permitir que las partículas coagulen y se adhieran a las superficies de las paredes de las tuberías exaustores.

La significancia de la colecta de mercurio en las paredes de las tuberías fue directamente confirmada por las pruebas en un sistema Kaliman basado en agua menor. Siguiendo las pruebas ejecutadas en este modelo, una fregona de carbón activada de aproximadamente 60cm² removió 2mg (2.000 µg) de mercurio.

Una confirmación posterior de la significancia de la configuración de la tubería exhaustora en la colecta de mercurio fue demostrada por las pruebas realizadas en el sistema instalado en la tienda Parmetal. La instalación del colector en la tienda Parmetal fue diferente, en esta el colector fue instalado por encima de la campana extractora sin un beneficio de una tubería conectora que permitiera la coagulación de las partículas para un tamaño mayor y proviera una superficie adicional para que las partículas adhieran. Como resultado, la eficiencia medida del colector en esta configuración fue menor que en las otras configuraciones, siendo de aproximadamente un 40%.

Son ofrecidas tres recomendaciones claves para una aplicación futura del sistema colector de mercurio:

Primero, fue demostrado que este sistema de colecta puede ser efectivo en remover la mayor parte de las partículas de mercurio que son parte dominante del mercurio emitido por las tiendas procesadoras de oro. Para ser más efectivo, este sistema debe ser instalado en una distancia suficiente del punto de evaporación con alta temperatura del mercurio, para que haya por lo menos un tiempo de 6 segundos de transito antes que el mercurio alcance el sistema colector. Esto permite que las partículas de mercurio coagulen para un diámetro de por lo menos 30µm, y estas pueden ser capturadas con mayor eficiencia.

Segundo, la adherencia de las partículas de mercurio las paredes de la tubería exhaustora, entre la campana extractora y el sistema colector, también puede ser un contribuidor para la remoción del mercurio del exaustor. La colecta de puntos de mercurio debería también ocurrir en las tuberías de extenuación para remoción del mercurio recolectado.

Tercero, la construcción de refinamientos relacionados a precisión en las aperturas de las placas deflectoras y la cobertura para prevenir la fuga del flujo envuelta, como discutido arriba, deberían estar incluidos en las futuras aplicaciones.

Solamente por la implementación de estas 3 recomendaciones, se puede esperar una eficiencia de 60 a un 80% , basado en los resultados obtenidos durante este proyecto demostrativo. Si combinados con la remoción del mercurio en los ductos antes de la colecta, la eficiencia combinada del diseño del colector de mercurio se espera exceder un 80%. Una recomendación final va además del diseño del sistema, y es sobre transferencia de conocimiento.

Esta recomendación es para animar el desarrollo de un proceso en marcha para reconocimiento y disseminación de los resultados para futuras aplicaciones del sistema colector de mercurio. De esta forma, la información puede hacerse disponible para guiar un mejoramiento continuo de este sistema.

8 BIBLIOGRAFIA

Arizona Instrument LLC, 2005, *Jerome 431-X Mercury Vapor Analyzer*, Tempe, AZ

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1999, *Toxicological Profile for Mercury*, Atlanta, GA (March); <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.html>.

Filip, S., *ABE Volume Calculator Page*, <http://grapevine.abe.msstate.edu/~fto/tools/vol/index.html>, Agricultural and Biological Engineering, Mississippi State University

Hinds, W.C., 1982, "Aerosol Technology; Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles," John Wiley & Sons, New York, NY.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), 2005, *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*, U.S. Department of Labor, Washington, DC (September); <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0383.html>.

OSHA (U.S. Occupational Safety and Health Administration), 2004, *Safety and Health Topics, Mercury (Vapor) (as Hg)*, U.S. Department of Labor, Washington, DC (weblink accessed January 2008); http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_250510.html. (Also see: NIOSH, 2005, and OSHA, *Occupational Safety and Health Guideline for Mercury Vapor*, U.S. Department of Labor, Washington, DC [weblink accessed January 2008]; <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/mercuryvapor/recognition.html>.)

Telmer, K., 2006, *Mercury and Small Scale Gold Mining – Magnitude and Challenges Worldwide*, presented at the International Conference on Managing the International Supply and Demand of Mercury, European Commission, Brussels, Belgium (October).

APENDICE A:
PLAN DE SALUD Y SEGURIDAD

APENDICE A: PLAN DE SALUD Y SEGURIDAD

Las personas pueden ser expuestas al mercurio por dos maneras principales: (1) inhalación, que es la principal para las tiendas de compraventas de oro; y (2) ingestión, que puede igualmente ser muy significativa pues los peces locales son contaminados con el mercurio (notable a partir de las saliencias generadas por el proceso de la ‘amalgamación’ en la separación del oro). La absorción a través de la piel, contacto cutáneo, es igualmente una exposición en potencia, pero esta exposición es de cierta preocupación relativamente menor

Aproximadamente un 80% del mercurio inhalado puede entrar en la circulación sanguínea del pulmón y ser distribuido por todo el cuerpo. En relación a la alimentación con peces contaminados, esa forma del mercurio es mezclado (orgánico), y más del 95% es absorbido en el aparato gastrointestinal después de la alimentación. Esto contrasta con menos del 0.01% del mercurio metálico que es absorbido con la ingestión, y aproximadamente un 10% para formas inorgánicas (ATSDR 1999).

El mercurio que entra en el cuerpo es distribuido a través de la circulación sanguínea y se acumula en los riñones y puede también acumularse en el hígado. En el cerebro, el mercurio y el ‘methylmercurio’ metálicos pueden ser transformados en una forma inorgánicos puede quedarse preso en el cerebro. El mercurio permanece en el cuerpo por semanas y atiene por meses, pudiendo perjudicar el cerebro (causando efectos neurológicos), el riñón, y el desarrollo del feto

Las concentraciones de vapor de mercurio producidas pueden ser letales se las exposiciones a ese vapor no fueran controladas durante la purificación del amalgama de oro-mercurio con antorchas de alta temperatura dentro de una tienda, como por ejemplo cuando se es hecho dentro de una capa del vapor. A veces puede ser necesario usar un equipamiento de protección personal (PPE) para limitar esas exposiciones. Esto puede incluir la ropa protectora, los guantes, y un respirador, dependiendo de las concentraciones anticipadas.

En Cuanto a la exposición de inhalación del mercurio, ésta debe ser monitorizada usando el equipamiento de la captación del vapor, como por ejemplo, los tubos de Dräger, o equipamientos de tiempo real que miden el vapor tales como analizadores del vapor de mercurio de Jerome o de Lumex. Los niveles del mercurio en la sangre y en la orina deben ser medidos igualmente (es decir, antes del trabajo) para servir de punto de referencia para los niveles medidos después que las actividades sean conducidas. Es importante percibir que si el área que está siendo visitada para un proyecto es contaminada con el mercurio, es probable que esta contaminación se extienda a los peces locales. En determinadas regiones de Brasil, se cree que un porcentaje pequeño de la población es contaminada por qué los peces son altamente contaminados con el mercurio y eso afecta el consumo rutinario. Si el nivel de mercurio en peces locales es desconocido, sería prudente escoger un otro tipo de alimento durante el periodo del proyecto, a fin de limitar exposiciones de inhalación que es grande.

Cuando las actividades sean conducidas en las áreas con contaminación elevada del mercurio, como cuando las actividades de prueba de la colecta del mercurio, en una salud y en la planta de que la seguridad deban ser desarrolladas para guiar medidas de defensa para personas del proyecto como indicado. La planificación apropiada puede minimizar las exposiciones de mercurio. Un esbozo sugerido para la salud y la seguridad fue desarrollado para este proyecto que se sigue.

I. PLAN DE TRABAJO DETALLADO

A. Espacio del trabajo/objetivos

1. Describa la naturaleza de las tareas que serán ejecutadas.
2. Describa los métodos que serán usados para finalizar las tareas.
3. Describa las personas exigidas para terminar a tarea (por ejemplo, nivel de pericia, exigencias de la instrucción).
4. Describa los regulamientos aplicables.
5. Suministra una lista de referencias para las reglas.
6. Describa la duración del trabajo y del tiempo del año donde ocurrirá.

B. Programación del trabajo

1. Relacione las licencias necesarias.
2. Describa el contacto del área y su utilidad.
3. Describa los y cuales los municipios que deban ser notificados.
4. Describa el trabajo que fue subcontratado y los empleados.
5. Describa toda la preparación del lugar necesario.
6. Describa la programación del proyecto del lugar, incluyendo una lista de las tareas principales (como descrito en el espacio del trabajo).
7. Describa la desactivación y la limpieza del lugar.

C. Organización de la gerencia

1. Suministre un cronograma que identifique los responsables por el proyecto, por la salud y la seguridad del mismo.
 - a. Describa la línea de autoridad.
 - b. Describa los deberes y responsabilidades de cada miembro del equipo.
2. Describa las exigencias de entrenamiento.
3. Describa todas las exigencias de inspección médica.

D. Descripción del lugar y su historia

1. Describa la parte física del lugar.
2. Describa el clima, incluyendo la temperatura, la precipitación, etc.
3. Incluya registros a respecto del lugar.
4. Incluya investigaciones precedentes (es decir, resultados de la muestra).

II. ANÁLISIS DE PELIGRO

A. Peligros químicos

1. Relacione los productos químicos y Describa como reconocer síntomas y señales si hay exposición.
2. Una datos de la seguridad de los materiales e informaciones relacionada.

B. Peligros físicos

1. Relacione el equipo que será usado.
2. Relacione los tipos de iluminaciones necesarias.
3. Describa las áreas del espacio (trincheras, pozos, silos, espacios no ventilados).
4. Describa los sistemas eléctricos actuales.
5. Describa las acciones para el control de ruido, si necesario.
6. Describa las acciones para la excavación.
7. Describa los métodos para el control de suciedad.
8. Describa los métodos para combatir el esfuerzo del frío y de calor.
9. Describa problemas que puedan ocurrir con animales e insectos.

III. EQUIPO DE PROTECCIÓN DE PERSONAL (PPE)

A. Niveles de PPE

1. Suministre una descripción de cada una de las tareas niveladas y específicas para cada nivel.
2. Describa el equipo específico para cada nivel.
3. Describa el tipo de respirador identificado para cada una de las tareas pedidas.

B. Suministre limitaciones, procedimiento y justificación del PPE para mejorar o no el PPE.

IV. PLAN DE MONITORACIÓN DE AIRE E INSTRUMENTACIÓN

A. Equipo de monitoración que será utilizado

1. Describa las capacidades del equipo de monitoración.
2. Describa procedimientos de monitoración (personales y área).
 - a. Describa la posición que será monitorada.
 - b. Describa con que frecuencia el procedimiento necesita ser ejecutado.
 - c. Junte una copia del registro de la monitoración.
 - d. Describa como el equipo es supervisando. Describa la manutención hecha regularmente al sistema.
3. Describa los niveles de acción y la respuesta asociada.

B. Equipo de monitoración permanente (estaciones) que serán utilizado.

V. OTRO GERENCIAMIENTO AMBIENTAL

A. Descontaminación de las personas

1. Describa los procedimientos para la descontaminación de las personas.
2. Describa la disposición de donde esas personas serán descontaminados.
3. Describa la posición y suministra una lista y una descripción de las soluciones para la descontaminación.

B. Descontaminación del equipo

1. Describa los procedimientos para la descontaminación del equipo.
2. Describa donde el equipo será descontaminado.
3. Describa la posición y suministre una relación y una descripción de las soluciones de la descontaminación.

C. Control y eliminación de las sobras

1. Describa el proceso para la eliminación de las sobras no contaminadas.
2. Describa el proceso para la eliminación de las sobras contaminadas.

D. Derrame del control

1. Describa los procedimientos usados para asegurar que el derramamiento será controlado.
2. Describa el equipo usado para o procedimiento.
3. Describa el informe y el sistema de la notificación.

E. Transporte

1. Describa las modalidades del transporte
2. Describa los peligros del transporte.
3. Describa el equipo de seguridad y como utilizarlo.

F. Saneamiento

1. Describa el recurso del agua potable y no potable
3. Describa las facilidades de baños disponibles.

5. Describa las facilidades de lavaje/baño disponibles.

VIII. EQUIPO DE EMERGENCIA Y PROCEDIMIENTOS DE CONTINGENCIA

A. Plan de emergencia específico

1. Describa el procedimiento necesario si un trabajador sea herido (las heridas químicas y físicas).
2. Describa los procedimientos usados para los primeros socorros.
3. Describa los procedimientos usados para la notificación y la expulsión.

B. Describa los procedimientos de emergencia si hay fuego.

1. Describa las primeras acciones que deben ser hechas.
2. Describa los procedimientos usados para la notificación y la expulsión.

C. Suministre los mapas del lugar con las posiciones específicas para salida de emergencia con seguridad.

1. Suministre los mapas que esbozan rutas de los hospitales.
2. Suministre un mapa de las rutas usadas durante la expulsión.

D. Suministre información sobre el equipo de emergencia.

1. Suministre una relación de la cantidad de equipos.
2. Suministre una lista de la posición de esos equipos.

E. Describa cualquier condición de tiempo/clima que sea adversa y que necesite de misión de rescate y describa como debe ser hecho completamente.

APENDICE B:
HOJA DE REGISTRO PARA EL MUESTREO

APENDICE B: HOJA DE REGISTRO PARA EL MUESTREO

Fecha: _____ Hora: _____
 Ubicación: _____ Ciudad _____ Nombre de la tienda: _____

Cantidad de mercurio quemado _____
 Mercurio liquido: _____ Esponja de mercurio: _____

Personas conduciendo la muestra y la análisis _____
 Persona completando el formulario _____

Puerta A

Descripción de la muestra (diagrama de la margen de beneficio)

Número de muestra: _____

Posición de la muestra: _____

Tiempo de la muestra _____

Tiempo después que la evaporación de mercurio empezó: _____

Hora de extraer la muestra: _____

Tamaño de muestra extraído _____ ml.

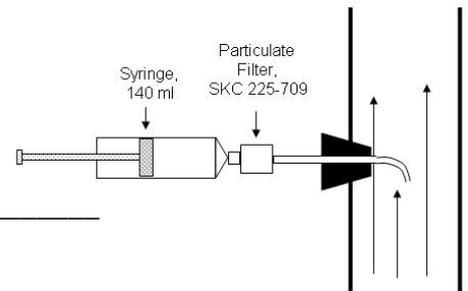
Tamaño de muestra en volume de la bolsa de la diluición (A) _____ ml.

Muestra de la jeringa en la diluición (B) _____ ml.

Diluición $C = (A + B)/B$: _____

Concentración de la diluición (D) (a partir del número de Dräger para cambiar el color)
 _____ mg/m^3 .

Concentración actual: $E = C \times D$ _____ mg/m^3



Puerta B

Descripción de la muestra (diagrama de la margen de beneficio)

Número de muestra: _____

Posición de la muestra: _____

Tiempo de la muestra _____

Tiempo de la muestra _____

Tiempo después que la evaporación de mercurio empezó: _____

Hora de extraer la muestra: _____

Tamaño de muestra extraído _____ ml.

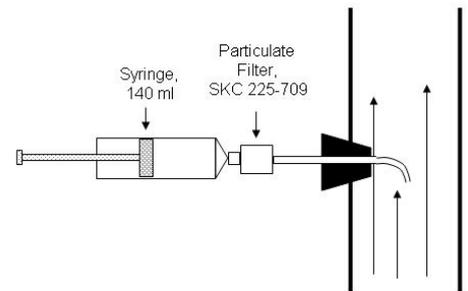
Tamaño de muestra en volume de la bolsa de la diluición (A) _____ ml.

Muestra de la jeringa en la diluición (B) _____ ml.

Diluición $C = (A + B)/B$: _____

Concentración de la diluición (D) (a partir del número de Dräger para cambiar el color)
 _____ mg/m^3 .

Concentración actual: $E = C \times D$ _____ mg/m^3

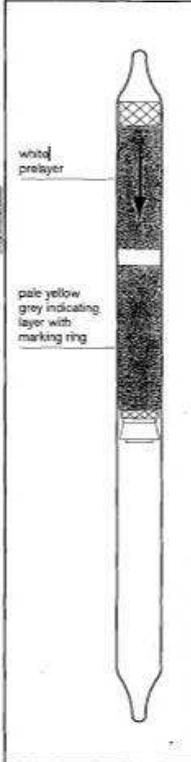


APENDICE C:
INSTRUCCIONES PARA EL USO DE LOS TUBOS DRÄGER

APENDICE C: INSTRUCCIONES PARA EL USO DE LOS TUBOS DRÄGER

Estas instrucciones fueron retiradas de un método padrón para medir el vapor de mercurio en el aire:

Mercury Vapour 0.1/b



Dräger-Tube
CH 23101

Standard Measuring Range : 0.05 to 2 mg/m³
Number of Strokes (n) : 40 to 1
Time for Measurement : max. 10 min
Standard Deviation : ± 30 %
Colour Change : pale yellow grey → pale orange

Ambient Operating Conditions
Temperature : 0 to 40 °C
Absolute Humidity : < 20 mg H₂O / L

Reaction Principle
 $\text{Hg} + \text{CuI} \rightarrow \text{Cu-Hg-complex}$

Cross Sensitivity
 Free halogens cause substantial minus errors. It is impossible to measure mercury vapor in the presence of halogens.
 Arsine, phosphine, hydrogen sulphide, ammonia, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and hydrazine in the TLV range do not interfere.

Measurement and Evaluation

- 1 Break off both tips of the tube in the tube opener.
- 2 Insert the tube tightly in the pump. Arrow points towards the pump.
- 3 Suck air or gas sample through the tube with an appropriate number of strokes, until the pale orange discoloration reaches the marking line of the indicating layer printed on the tube (max. 40 strokes). Measuring period: for 1 stroke approx. 15 seconds.
- 4 Evaluate as follows once the pale orange discoloration has reached the marking line of the indicating layer:

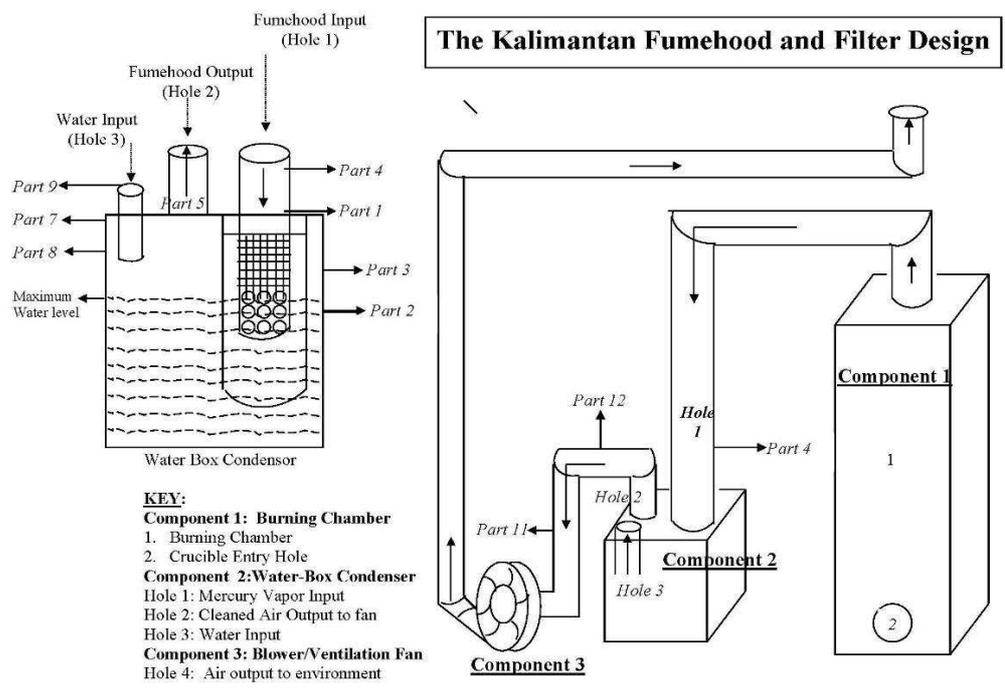
Strokes:	1	2	3	4	6	8	10
Concentr.:	2	1	0.7	0.5	0.33	0.25	0.2
Strokes:	12	14	16	18	20	40	
Concentr.:	0.17	0.14	0.12	0.11	0.1	0.05	

- Multiply the value by factor F for correction of the atmospheric pressure.
Enter the result in the measurement record.
Relative standard deviation: ±30 %.
- Observe possible cross sensitivities.
- Flush the pump with air after operation.

1 stroke = 100 ml

APENDICE D:

**DISEÑO DE CAMPANA EXTRACTORA EN KALIMANTAN Y
EL PROYECTO DEL FILTRO BASADO EM AGUA**



The Kalimantan Fumehood and Filter Design

COMPONENT 1: Burning Chamber

COMPONENT 2: Water Box Condensor

- Hole 1: Cleaned Air Output to fan
- Part 1. Connecting Pipes (bolt pipes) inserted to Water box condensor
- Part 2. Perforations Pipe(nut pipes)
- Part 3. Stainless Steel Mesh Roll
- Part 4. Fumehood input pipes to water condensor

Hole 2: Cleaned Air Output to fan

- Part 5. Connecting Pipes (bolt pipes)
- Part 6. Nut pipes

Hole 3: Water Input

- Part 7. Connecting Pipes (bolt pipes)
- Part 8. Perforations Pipe(nut pipes)
- Part 9. Lid pipes

COMPONENT 3. Blower/Ventilation Fan

- Part 10. Pipes to blower/ventilation fan
- Part 11. Elbow connecting pipes
- Part 12. Double connecting elbow pipes
- Part 13. Output pipes to environment

The Kalimantan Fumehood and Filter Design

The Kalimantan Fumehood and Filter Design consist of 3 main components. Each component is connecting by removable pipes:

1. Burning Chamber : A place to burning/purify amalgam
2. Water box condensor: Made from a plastic box with a lid that can be cut to place the pipes. It consist of 3 main hole.
 - Hole 1 : To connect burning chamber with water condensor. Its consist 4 Part elemens (part 1, 2, 3 and 4)
 - Hole 2 : To connect Water Condensor with Blower/Ventilation Fan. It consist of 2 element (part 5 and 6)
 - Hole 3 : Water input, to fill water box condensor with water, It consist of 3 elements (part 7, 8, 9). Maximum water level should be above perforations
3. Blower /Ventilation Fan : to draw the air and realease the "clean" air vapor