

Investigación de NIOSH para disminuir la exposición de los trabajadores al polvo de sílice respirable en las actividades minerías de metales y no metales

Esfuerzo de cooperación entre ISP Chile y NIOSH

12 de septiembre de 2006





OFICINA DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS MINAS

Prevención de enfermedades, lesiones y muertes relacionadas con el trabajo en las minas, mediante la recolección de información, la realización de investigaciones y demostraciones científicas y la aplicación del conocimiento obtenido en la creación de productos y servicios.

Disminución de la exposición de los trabajadores al polvo de sílice respirable

Esquema de la presentación

- **Antecedentes**
- **Estrategia para el control del polvo en las actividades mineras de metales y no metales**
- **Tecnología de control para reducir el polvo en las actividades mineras de metales y no metales**
- **Conclusiones**

**Departamento de Salud
y Servicios Humanos**

```
graph TD; A[Departamento de Salud y Servicios Humanos] --> B[Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades]; B --> C[Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional]; C --> D[Laboratorio de Investigación de Pittsburgh];
```

**Centros para el Control y la
Prevención de Enfermedades**

**Instituto Nacional para la
Seguridad y Salud Ocupacional**

**Laboratorio de
Investigación de Pittsburgh**

Laboratorio de Investigación de Pittsburgh

```
graph TD; A[Laboratorio de Investigación de Pittsburgh] --> B[Subdivisión para el Control de Riesgos Respiratorios (Respiratory Hazards Control Branch)]; A --> C[Subdivisión para la Prevención de la Pérdida Auditiva (Hearing Loss Prevention Branch)]; A --> D[Subdivisión para la Prevención de Lesiones en las Minas (Mining Injury Prevention Branch)]; A --> E[Subdivisión para la Prevención y Respuesta a Desastres (Disaster Prevention And Response Branch)]; A --> F[Actividades de apoyo a las investigaciones, vigilancia Epidemiológica y estadísticas (Surveillance, Statistics and Research Support Activities)];
```

**Subdivisión
para el
Control de
Riesgos
Respiratorios
(*Respiratory
Hazards
Control Branch*)**

**Subdivisión
para la
Prevención de la
Pérdida Auditiva
(*Hearing
Loss Prevention
Branch*)**

**Subdivisión
para la
Prevención
de Lesiones
en las Minas
(*Mining Injury
Prevention
Branch*)**

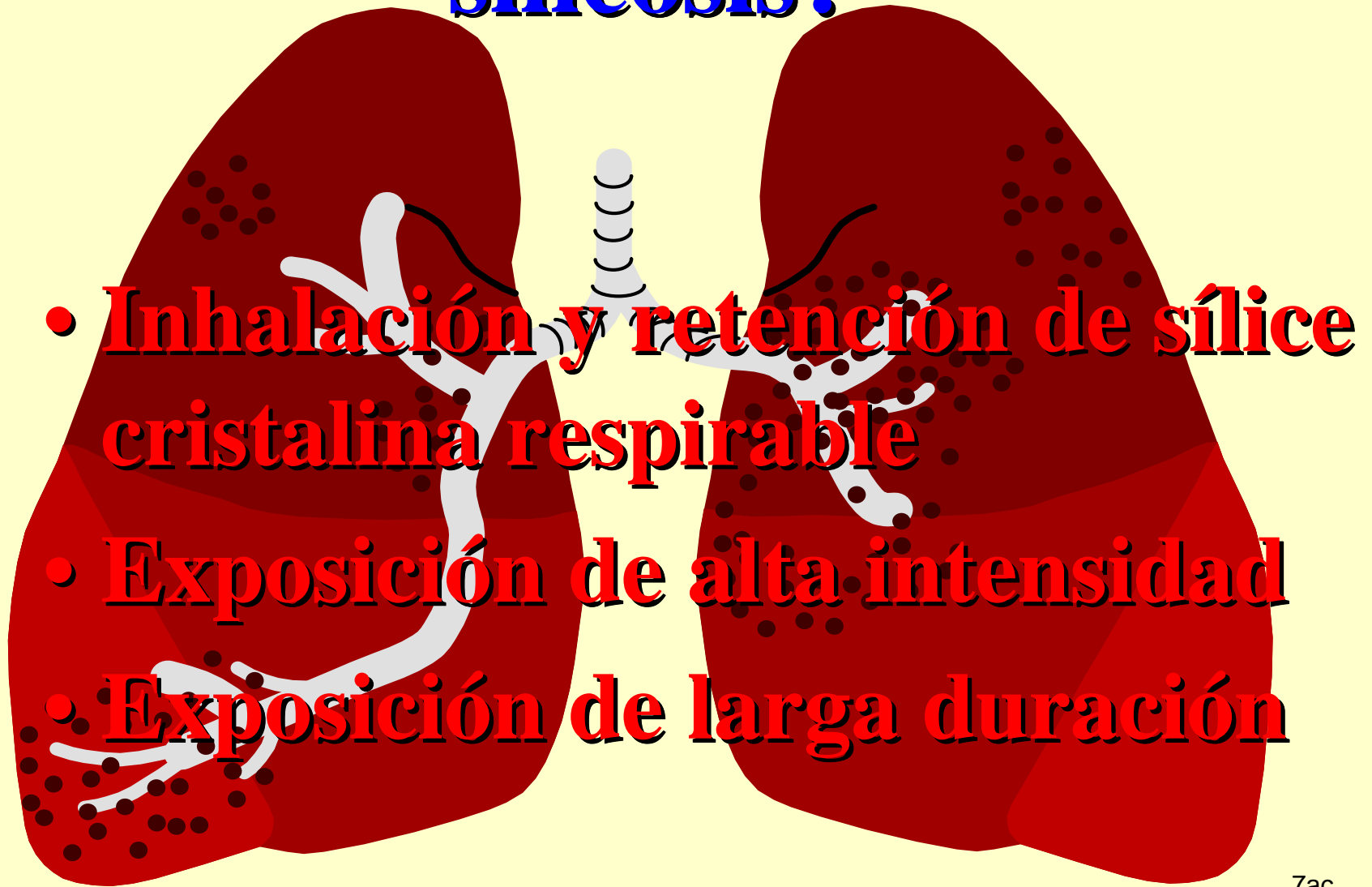
**Subdivisión
para la
Prevención
y Respuesta
a Desastres
(*Disaster
Prevention
And Response
Branch*)**

**Actividades de
apoyo a las
investigaciones,
vigilancia
Epidemiológica
y estadísticas
(*Surveillance,
Statistics and
Research Support
Activities*)**

Laboratorio de Investigación de Pittsburgh



¿Cuál es la causa de la silicosis?



- **Inhalación y retención de sílice cristalina respirable**
- **Exposición de alta intensidad**
- **Exposición de larga duración**

NORMAL:

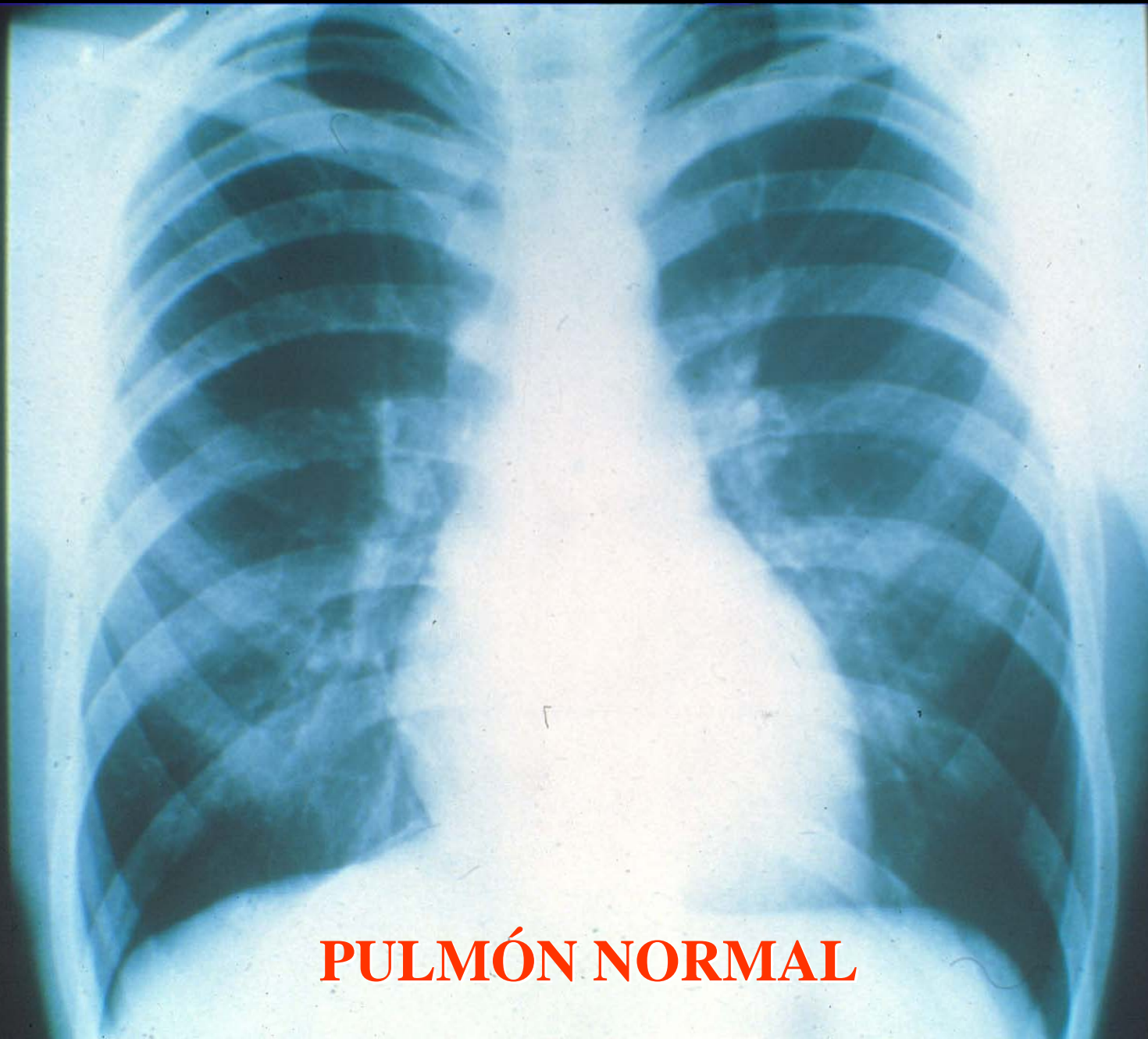
Pulmón de un hombre que nunca ha fumado ni trabajado en un ambiente con polvo.



SILICOSIS:

**Endurecimiento de los pulmones en la forma de
nódulos oscuros.**

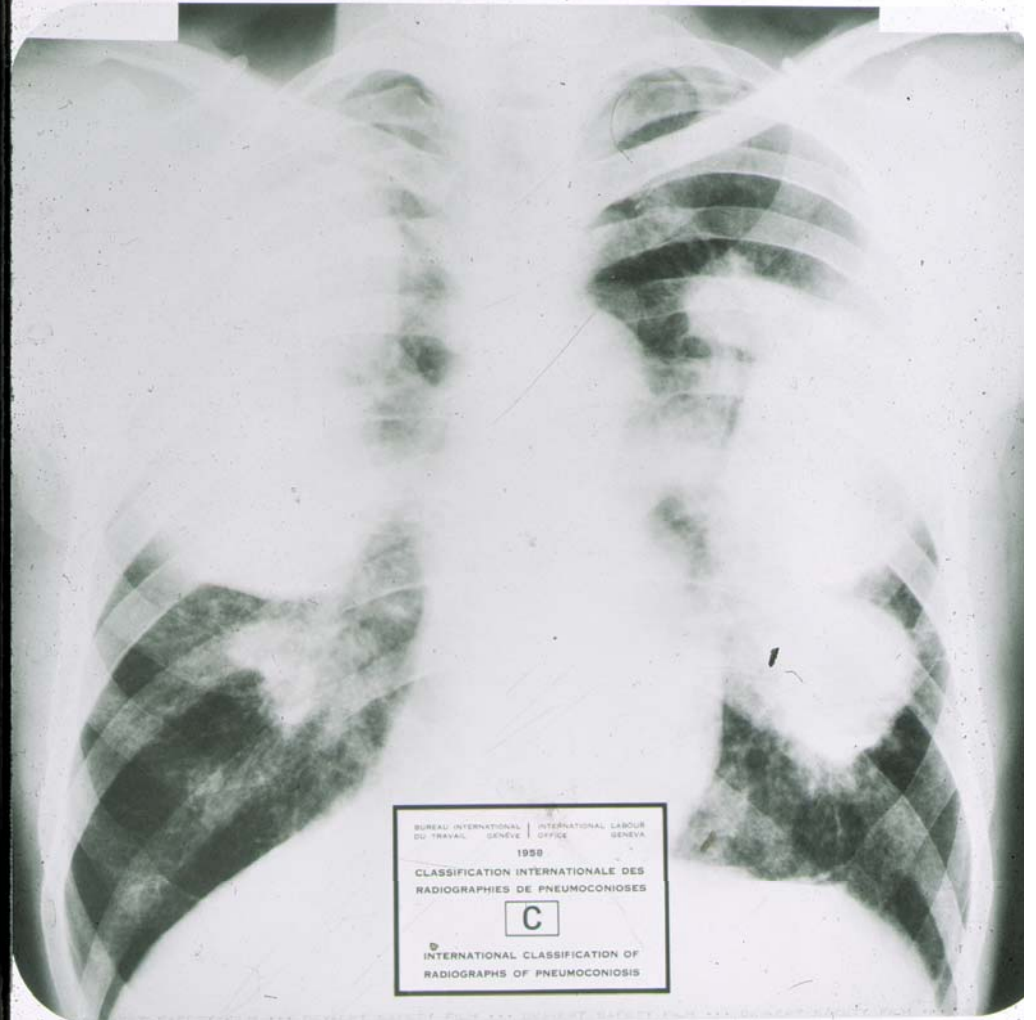




PULMÓN NORMAL

SILICOSIS COMPLICADA

Categoría C: una o más opacidades cuya área combinada excede el área de la zona superior derecha.



Prevención de la silicosis

ELEMENTOS DEL PROGRAMA

Compromiso

- Vigilancia de los niveles del polvo
- Vigilancia médica
- Control de la exposición al polvo
- Participación de los trabajadores
- Dejar de fumar

Control de la exposición al polvo

- **Equipo de protección personal (PPE)**
- **Métodos para el control del polvo**

Métodos para el control del polvo

- Evitar la generación de polvo (controles de ingeniería, aplicación de agua)
- Captación en fuente del polvo ya generado (controles de ingeniería/recolección del polvo/ventilación)
- Técnicas de control secundarias

Mejoramiento de la calidad del aire en las cabinas cerradas de equipos móviles





Explanadoras de cuchilla

Excavadoras



Palas cargadoras

Tractores de carga





Perforadoras



Trabajar con los fabricantes



Lugares para hacer el muestreo del polvo



Fuera de la cabina de la perforadora

Aparato de toma instantánea de muestras de polvo

Unidades de muestreo gravimétrico

Impactador de cascada

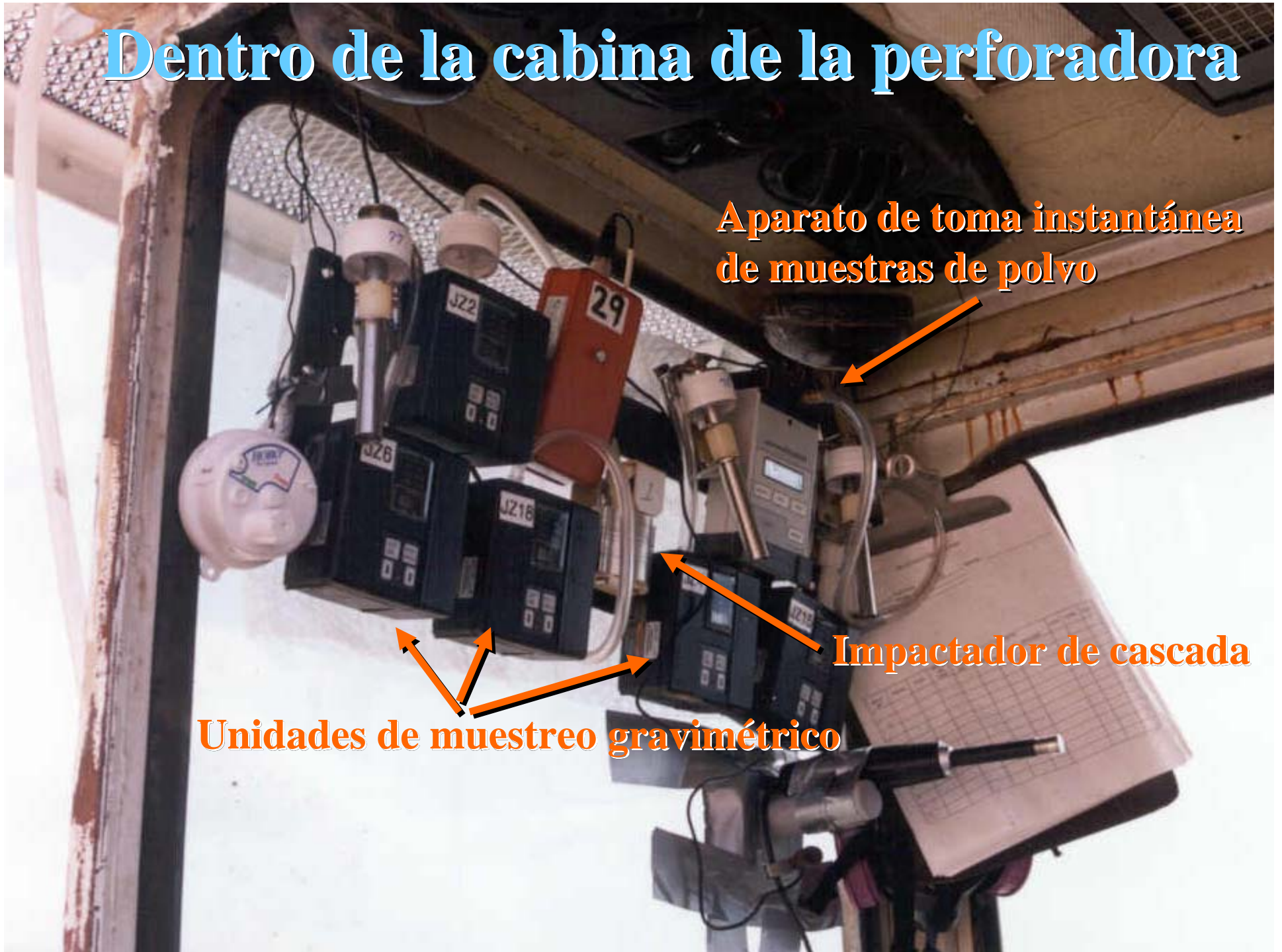


Dentro de la cabina de la perforadora

Aparato de toma instantánea de muestras de polvo

Impactador de cascada

Unidades de muestreo gravimétrico



Trípode

(Móvil)



Unidades de muestreo gravimétrico

Monitorización ambiental



Temperatura y humedad relativa



Velocidad y dirección del viento

Puntos clave para el control eficaz del polvo en las cabinas cerradas

- **Integridad de la cabina**
- **Ventilación filtrada**
 - **recirculación**
 - **aire exterior**

Integridad de la cabina

- **Empaquetaduras nuevas para las puertas**
- **Taponado y sellado de grietas y huecos**



Estudio sobre las perforadoras

INICIAL

- Calentador de piso
- Sin aire acondicionado ni sistema de filtración



MODIFICACIONES

- Montaje de unidad de calefacción y aire acondicionado en la cubierta
- Filtro externo, unidad de ventilación y filtro de recirculación
- Espacio mal sellado en el interior de la cabina no permite lograr presión positiva



Estudio sobre la pala cargadora frontal

INICIAL

- Calentador de piso
- Sin aire acondicionado ni sistema de filtración

MODIFICACIONES

- Montaje de unidad de calefacción y aire acondicionado en la cubierta
- Filtros externos, unidad de ventilación y filtro de recirculación
- Sellado del espacio interior de la cabina y obtención de presión positiva de 0,015” w.g.



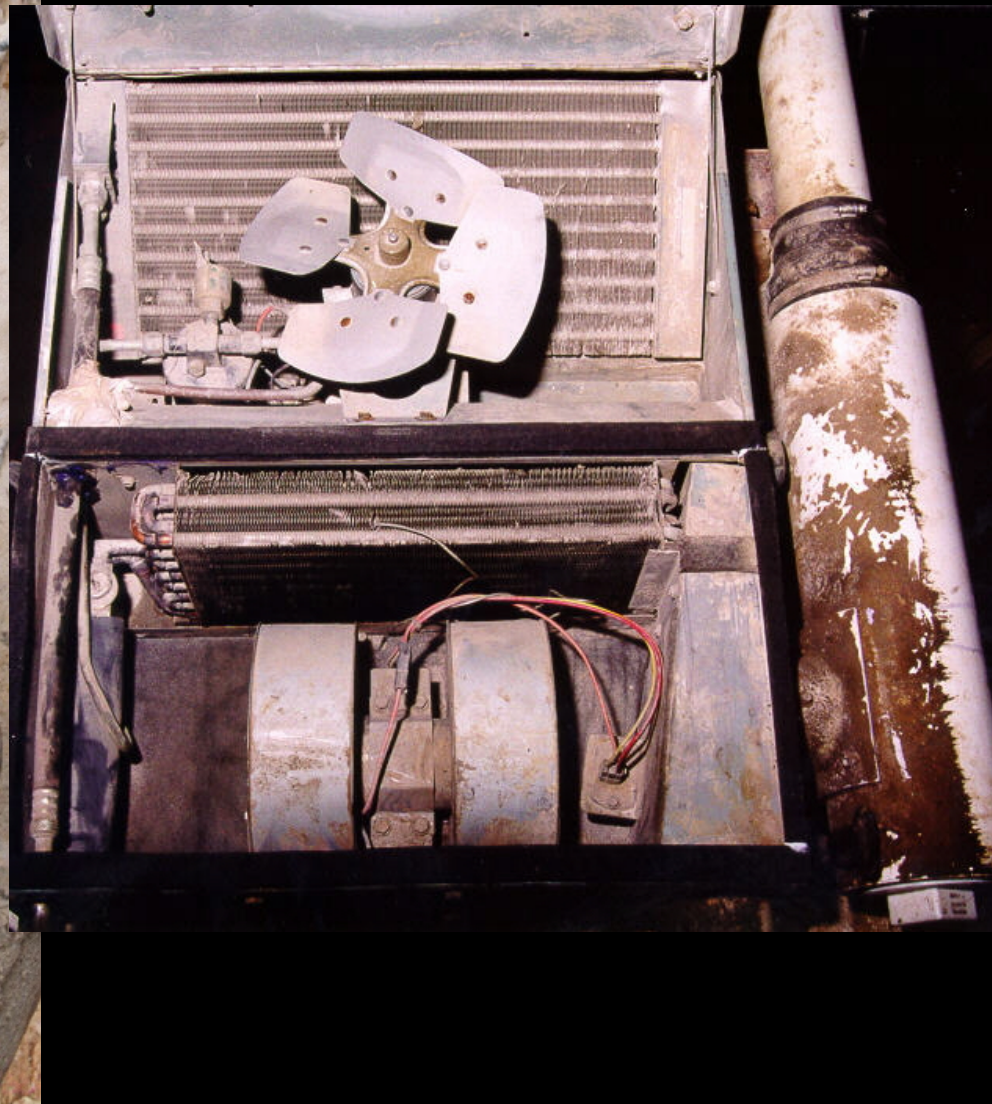
Estudio sobre la perforadora de percusión



Modificaciones previas



Modificación posterior A



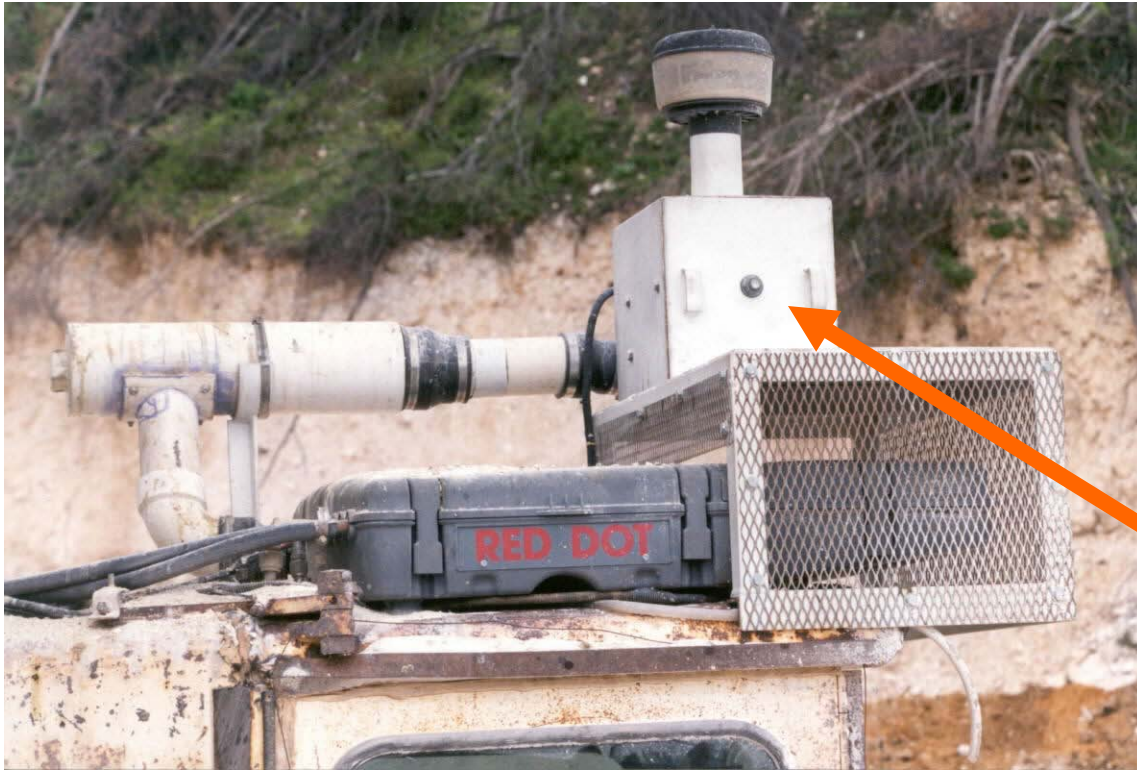
Problema identificado – Calentadores de piso



- Nivel de polvo respirable aumentó de 0,04 a 0,68 mg/m³
- Contador óptico de partículas en el taller - niveles de polvo aumentaron de 0,03 a 0,26 mg/m³

Nuevas unidades de filtración y presurización – calefacción y aire acondicionado





**Filtro
principal
(20 micras)**



Filtro secundario

**Electrostática: 98% a 0,3
micras.**



Perforadora Ingersoll-Rand

INICIAL

Unidad de filtración
vieja - no funciona en
forma adecuada.

MODIFICACIONES

Montaje de unidad de
calefacción y aire
acondicionado en la
cubierta

Filtros externos,
unidad de ventilación
y filtro de
recirculación

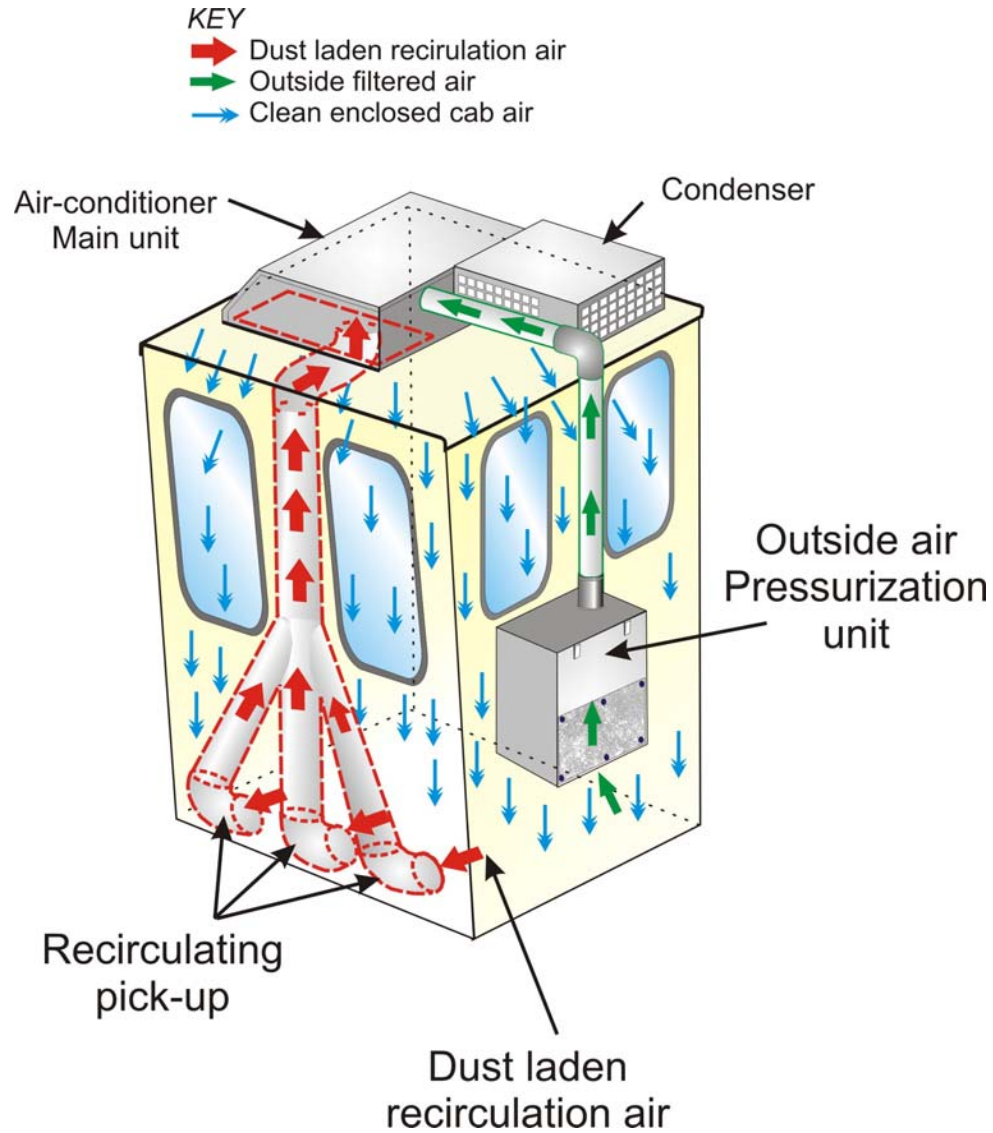
Se logró una presión
de cabina de entre 0,2
y - 0,4 ”





- **Nivel de polvo respirable pasó de 0,64 a 0,05 mg/m³**
- **Factor de protección pasó de 12 a 56**
- **Nivel de sílice disminuyó de 57 microgramos a menos de 4.**

Flujo unidireccional



Cámara de prueba en laboratorio



Proceso de limpieza de ropa

Un método seguro, eficaz y económico para remover el polvo de la ropa de trabajo



Cabina de limpieza



Depósito de aire de 120 galones



Procedimientos de la prueba

Lugares para hacer el muestreo del polvo:

Fuera de la cabina de limpieza

Dentro de la cabina de limpieza

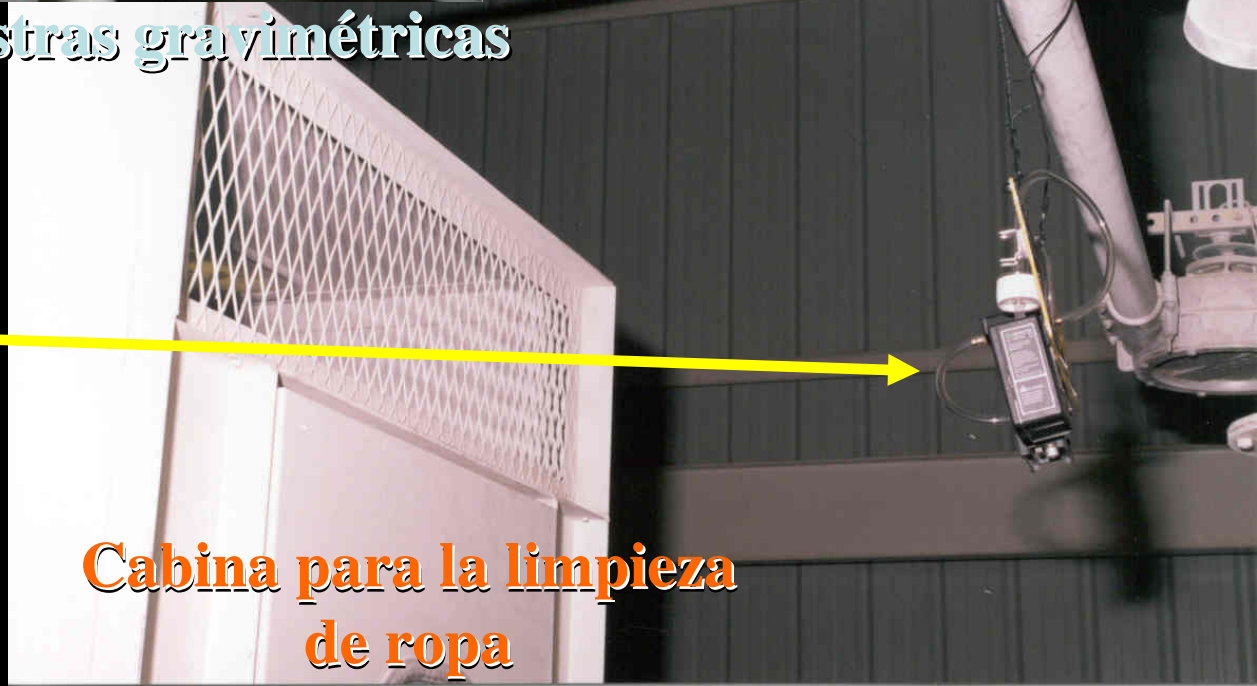
Interior de una máscara respiratoria de media cara



Fuera de la cabina

Aparatos para la toma de muestras gravimétricas

PDR utilizado en modo de muestreo activo



Cabina para la limpieza de ropa

Dentro de la cabina

Dentro del respirador



El tubo conecta el PDR con el respirador

Estructuración de los equipos para el respirador de máscara de media cara

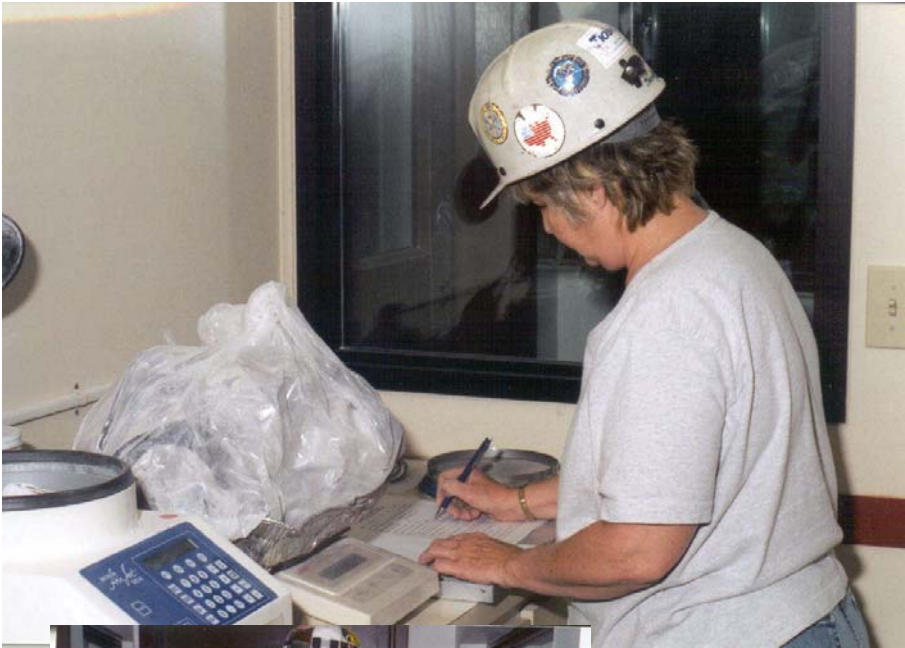


10 mm de ciclón →

Ensuciado de la ropa con polvo de piedra caliza



Procedimientos de pesado





Aspirado

Tiempo de limpieza:

7 minutos, 48 segundos





Pre limpieza

Manguera de aire

Tiempo de limpieza:

3 minutos, 6 segundos



Post limpieza



Colector para el rociado con aire

Tiempo de limpieza:

17 segundos



Resultados

50 por ciento más eficaz y 10 veces más rápido que una manguera de aire sencilla o una aspiración con filtro HEPA

Tiempo de limpieza con el nuevo proceso: 17-18 segundos



Cinta de video y documento didáctico



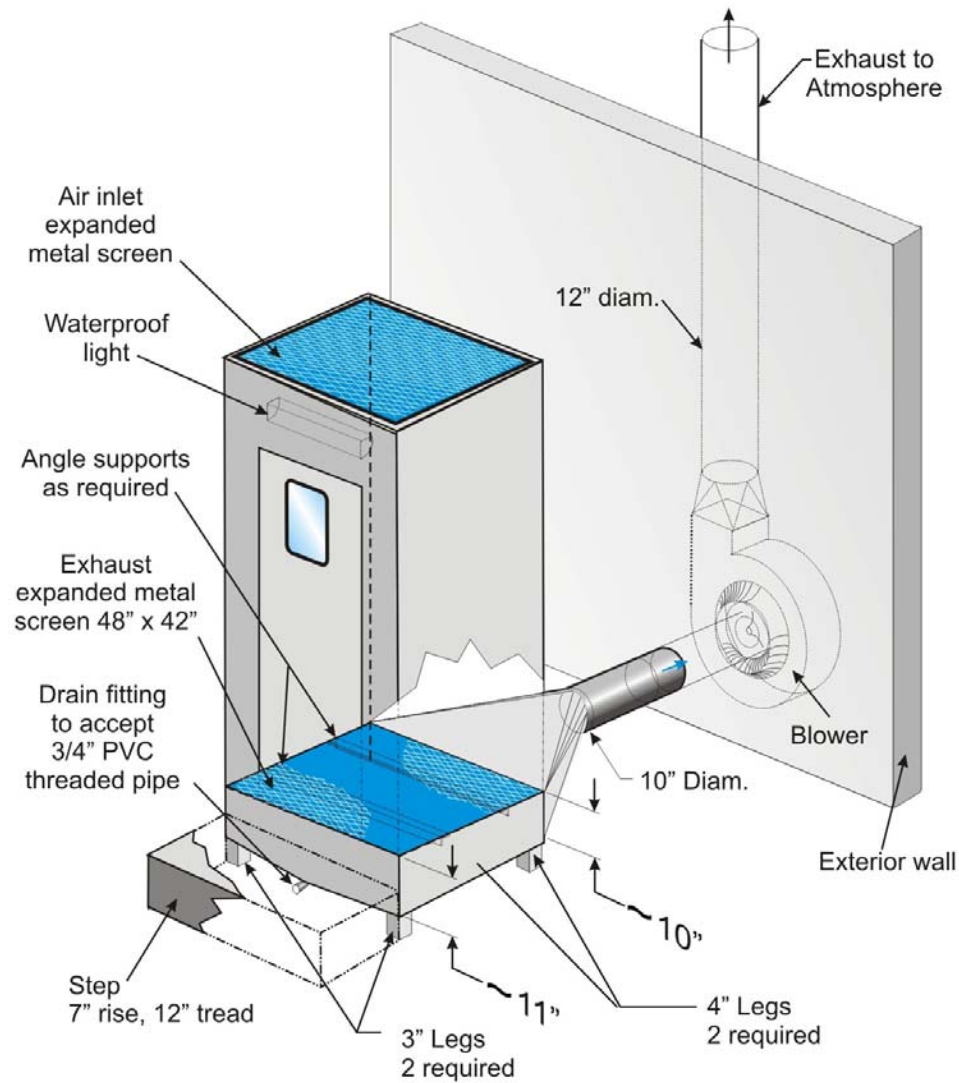
Video sobre la limpieza de la ropa



www.cdc.gov/niosh/mining/products/product22.htm

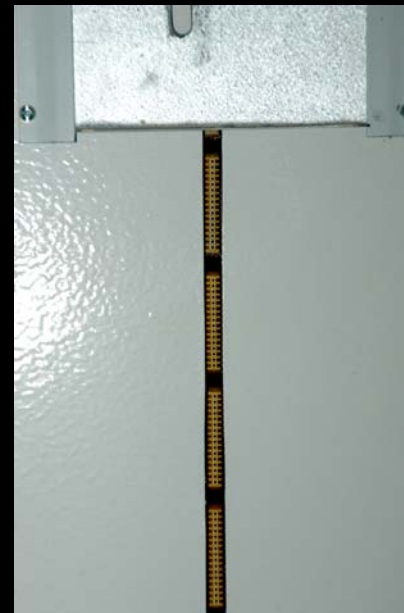
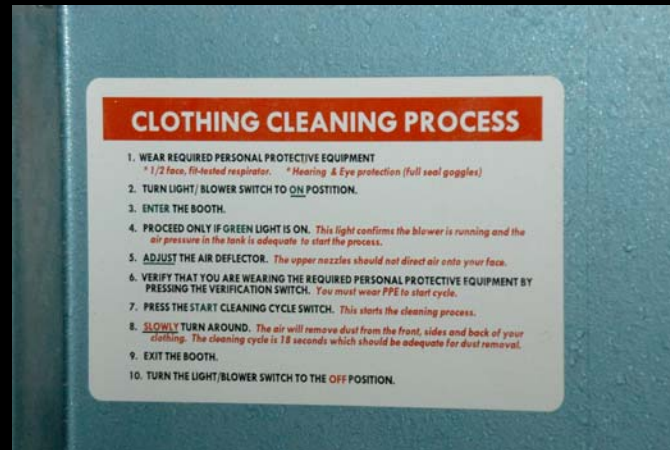


Modificación No 1: Expulsión del aire

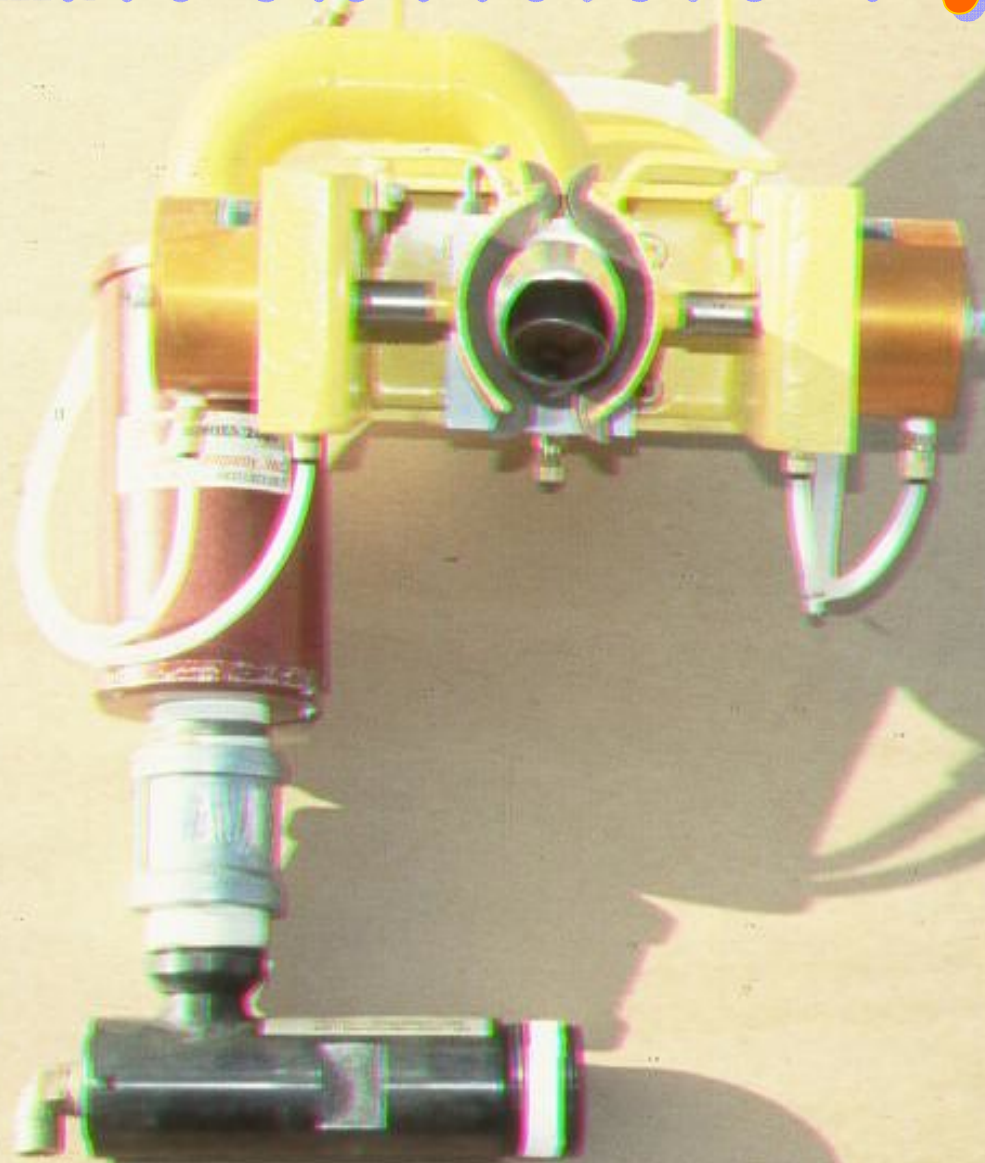


Prueba de campo: Planta Unimin's Elco, Illinois

24 al 27 de abril de 2006



Sistema de tobera de doble manguera



Retorno del aire - antes



**Sin retorno
del aire -
después**



Chorro de polvo - antes



Sin chorro de polvo - después



Sacos sucios - Antes



Sacos sucios - Después



**Operador de
máquinas
para sacos -
antes**



Reducción de 83 por ciento



Instrumento para limpiar bandas y sacos



Antes





**Reducción de polvo:
78 - 93 por ciento**

Sistema para el control del polvo en paletas de carga





Los **dos** áreas problemáticas

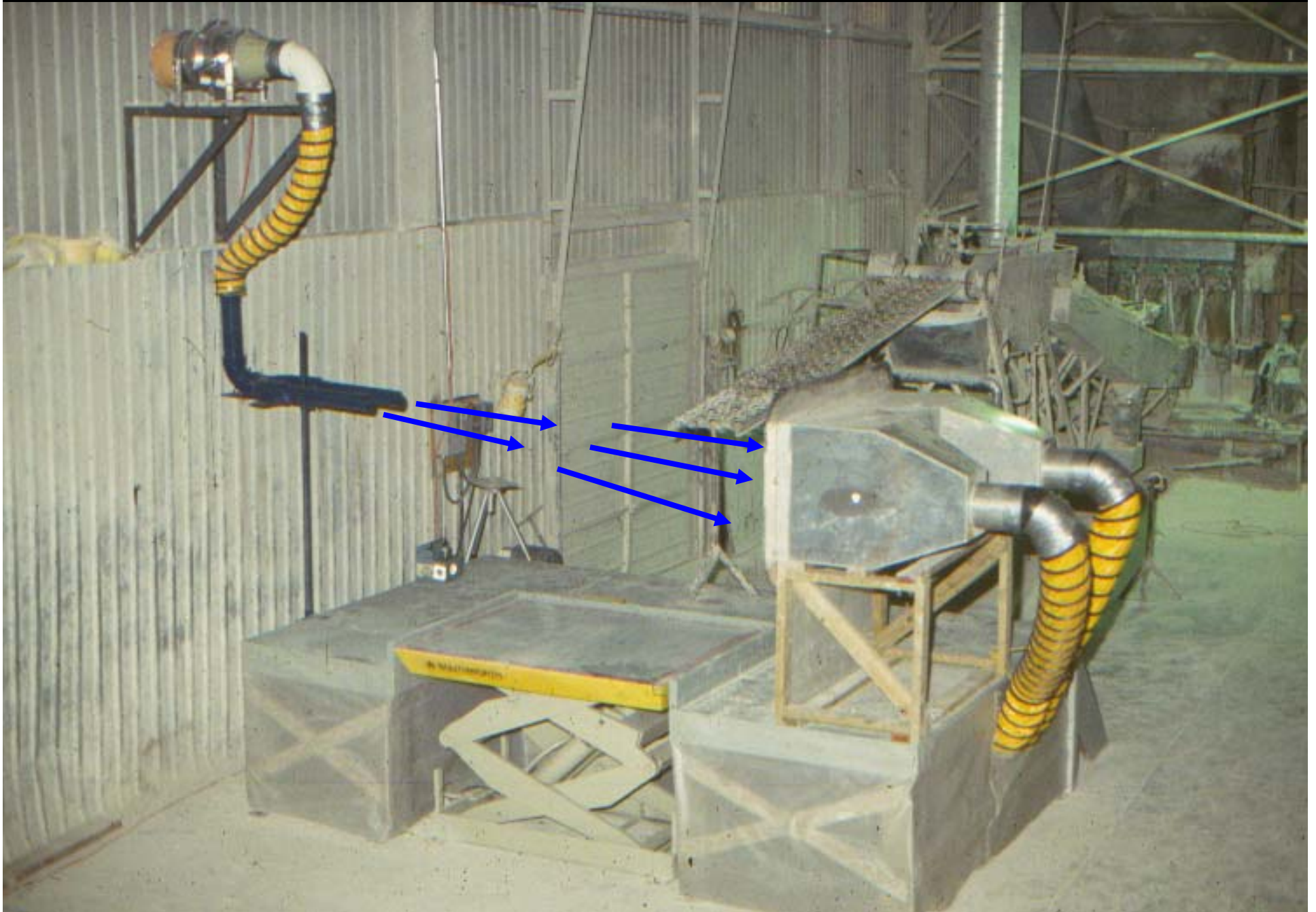
1. **Exposición al polvo**
2. **Ergonomía**



Sistema de ventilación por aspiración



Sistema de ventilación por aspiración



**Disminución promedio del polvo para el apilador de sacos:
33 por ciento**



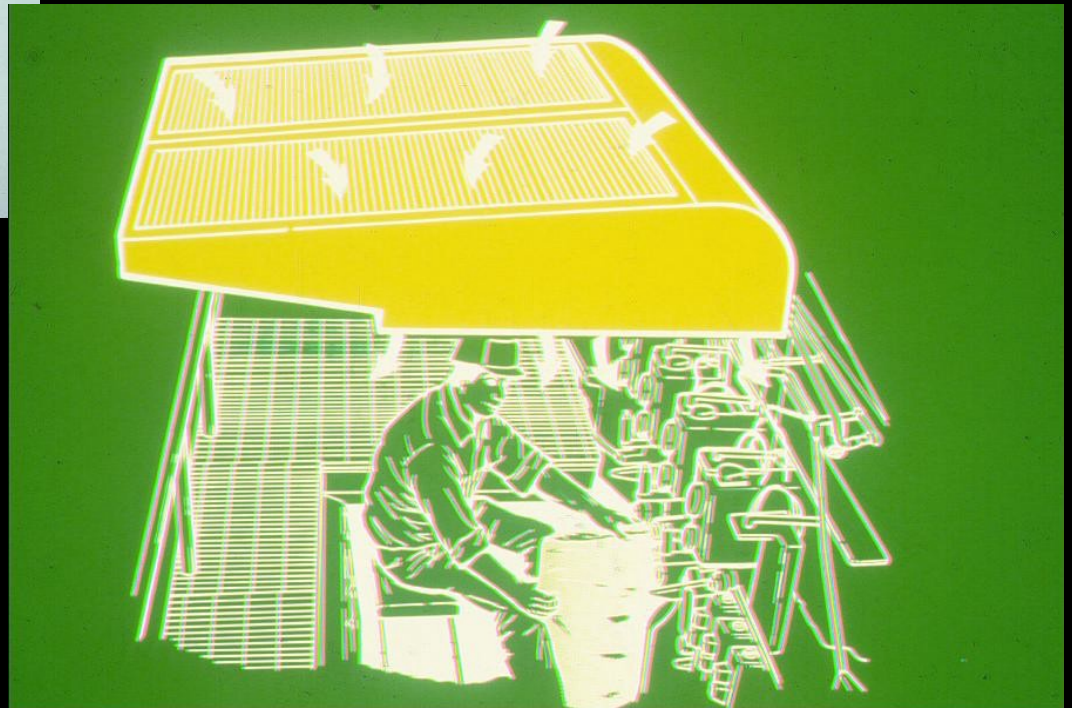


Resultados

- **Disminución de la exposición al polvo respirable**
- **Reducción de la tensión en la espalda**
- **Aumento de la producción – disminución de la inactividad**



Sistema aéreo insular de abastecimiento de aire (*Overhead Air Supply ISland* u **OASIS**)

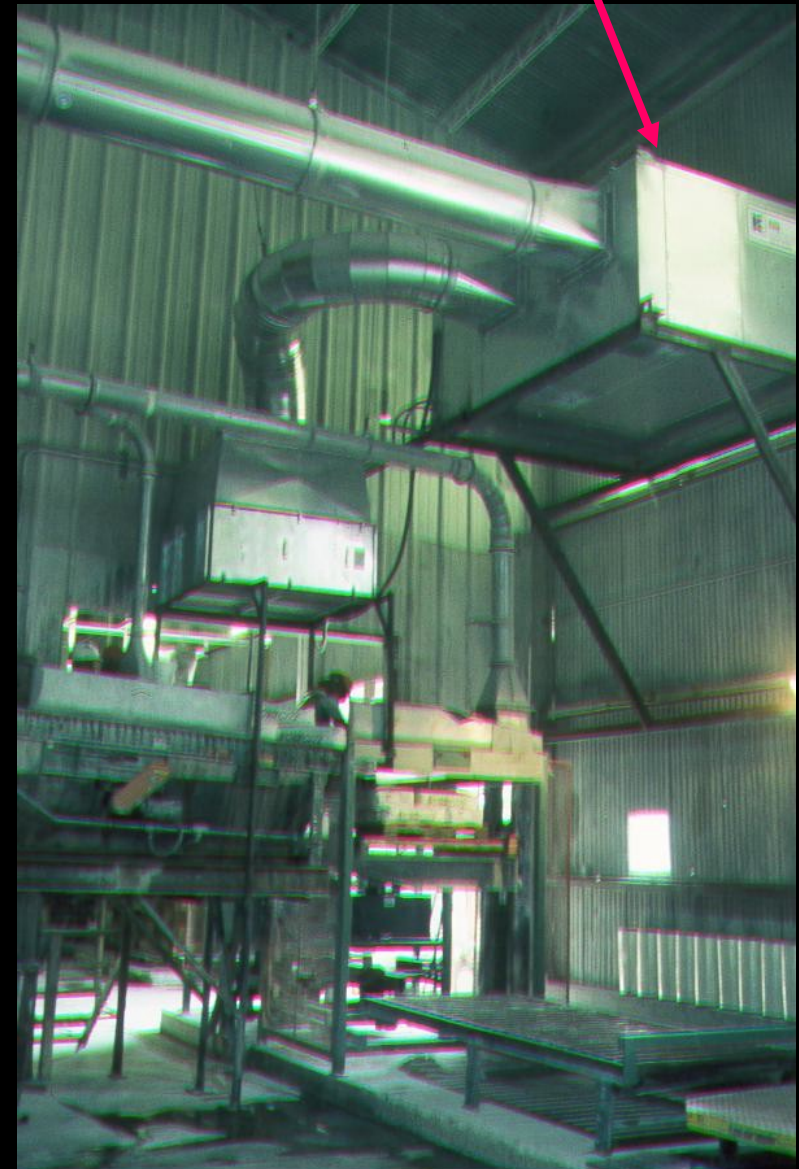


OASIS

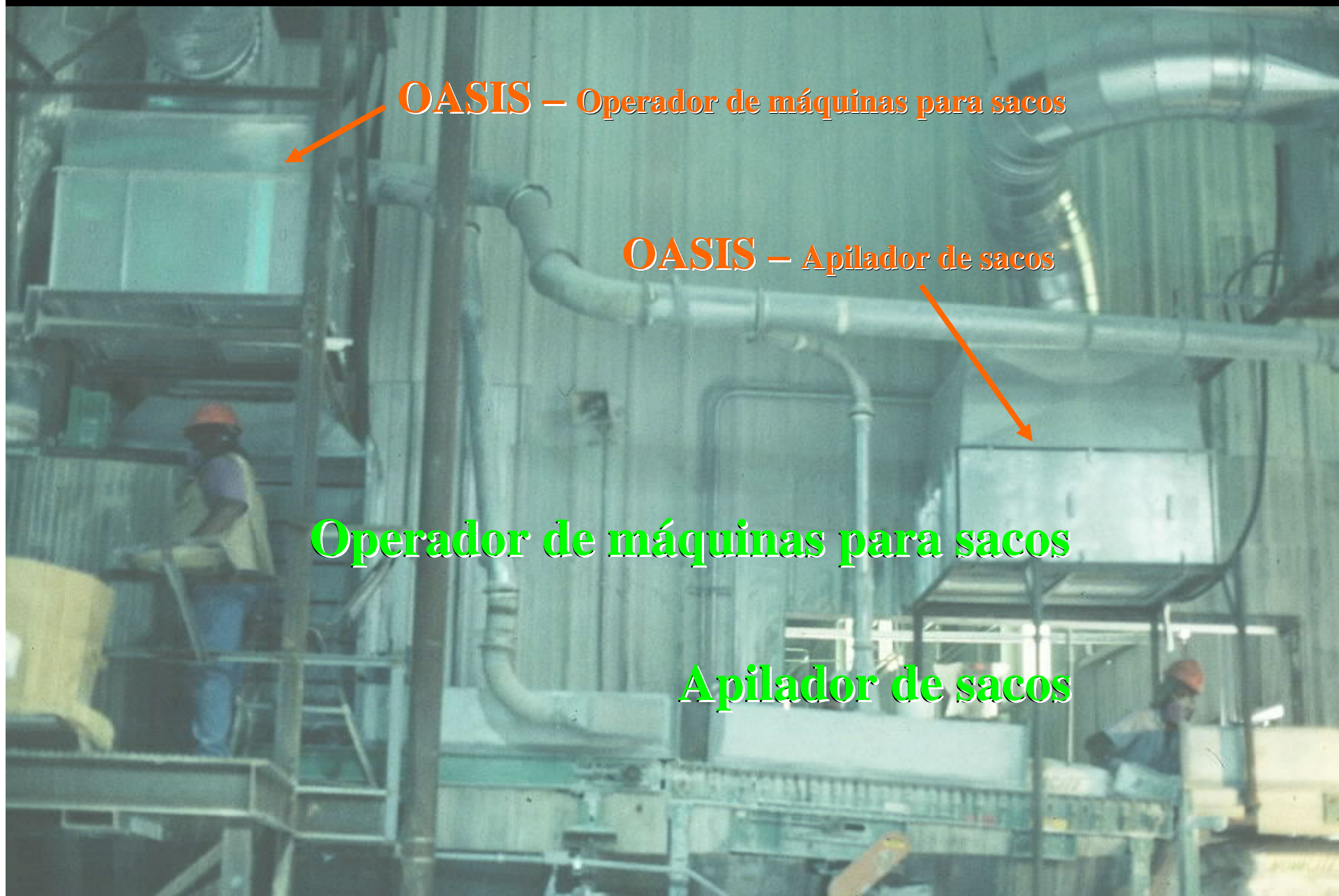


Entrada del aire exterior

Unidad principal de filtrado



Unidades de carga de sacos y área de apilamiento



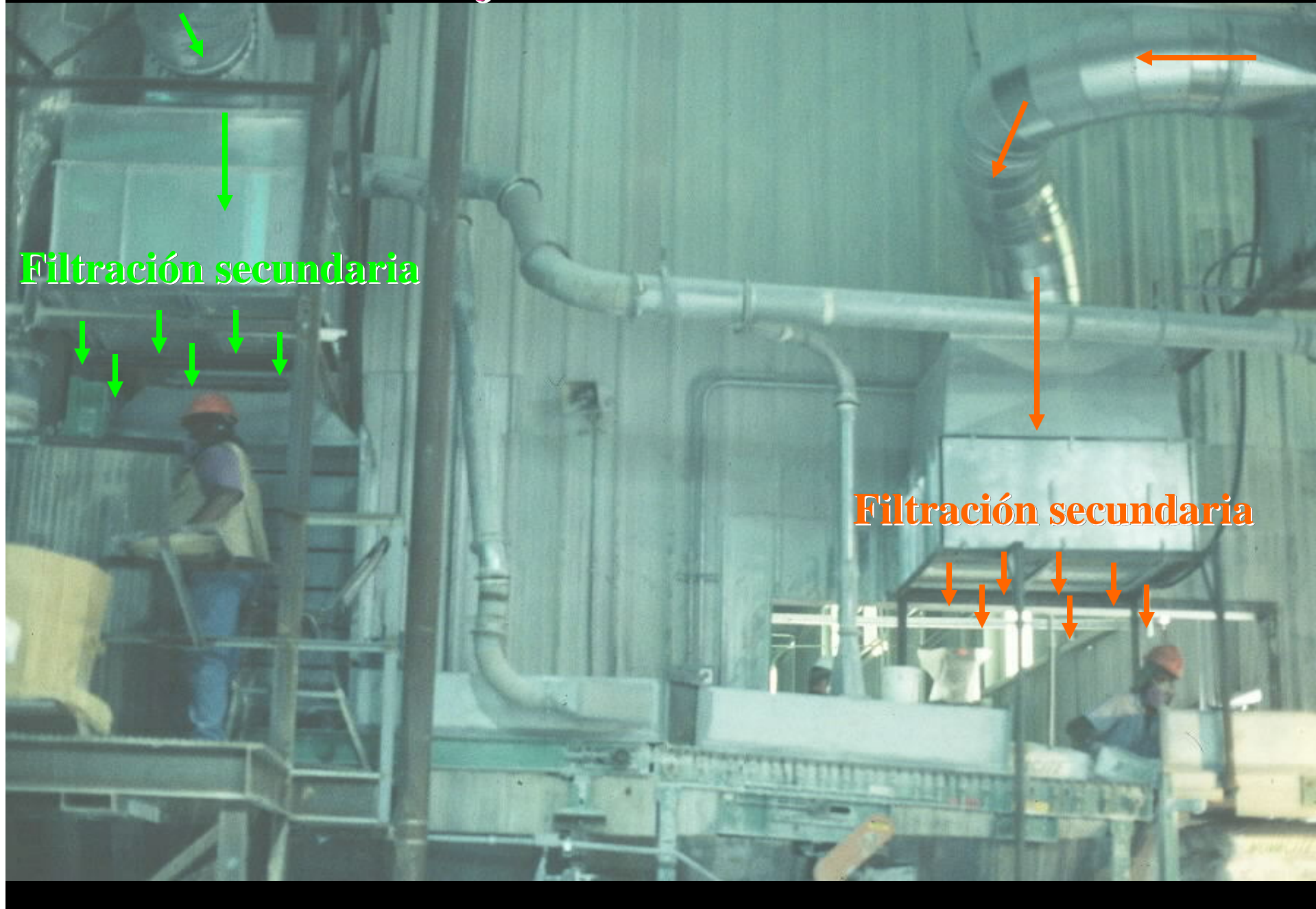
OASIS – Operador de máquinas para sacos

OASIS – Apilador de sacos

Operador de máquinas para sacos

Apilador de sacos

Flujo de aire de OASIS



Control del polvo a baja velocidad



Compañía
UNIMIN

Alta velocidad

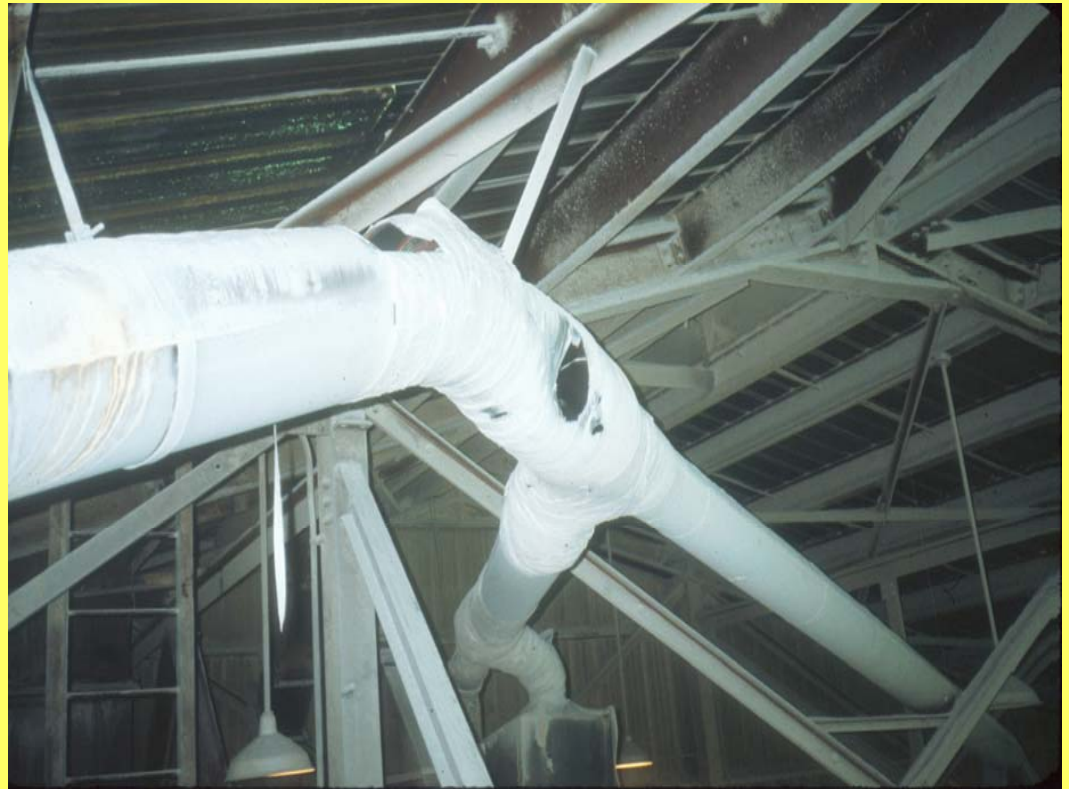
Baja velocidad



78ac

Desventajas de la alta velocidad

- **Altos costos de desgaste y mantenimiento**
 - **Desgaste por abrasión de partículas grandes de polvo a alta velocidad**
 - **Específicamente en los codos de los conductos y en las entradas de los ramales de derivación**



Desventajas de la alta velocidad

- **Alto costo eléctrico**
 - **Caída de presión grande**
 - **Necesidad de un ventilador más grande**
 - **Aumento de la demanda de energía**
 - **Mayor consumo de energía**



Características de la baja velocidad

Baja velocidad NO quiere decir menor flujo de aire!!!!

**La ventilación es la MISMA en cualquier sistema de
transporte.**



Características de la baja velocidad

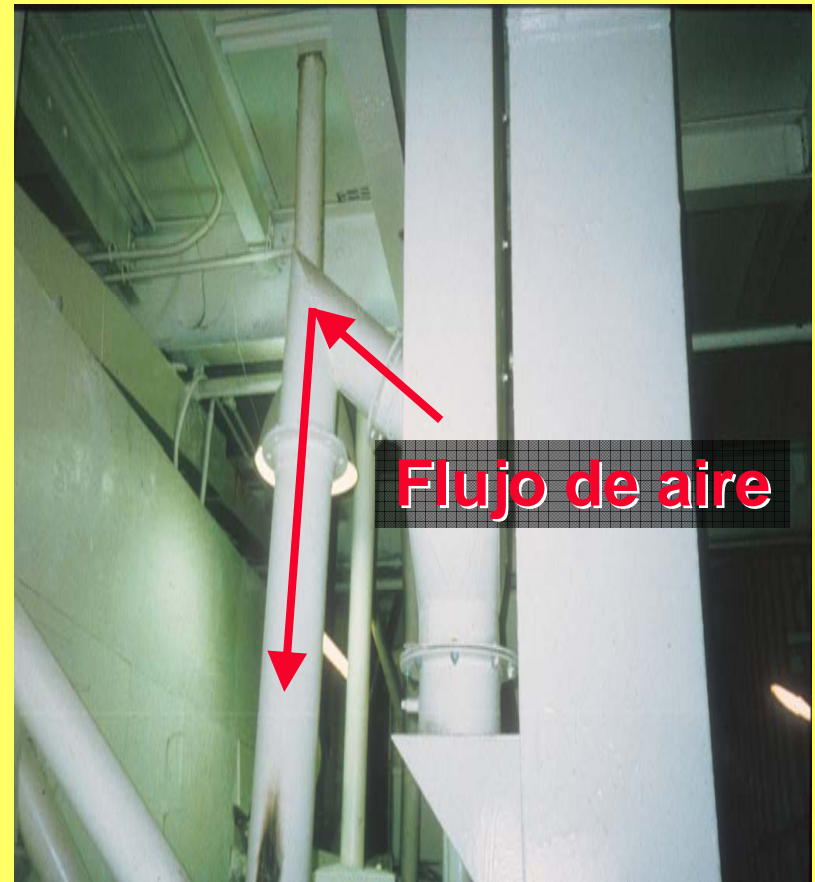
**Diseño de
conductos
en "diente
de sierra"**

**El ángulo
mínimo de flujo
ascendente es
45° y el de flujo
descendente es
30°**

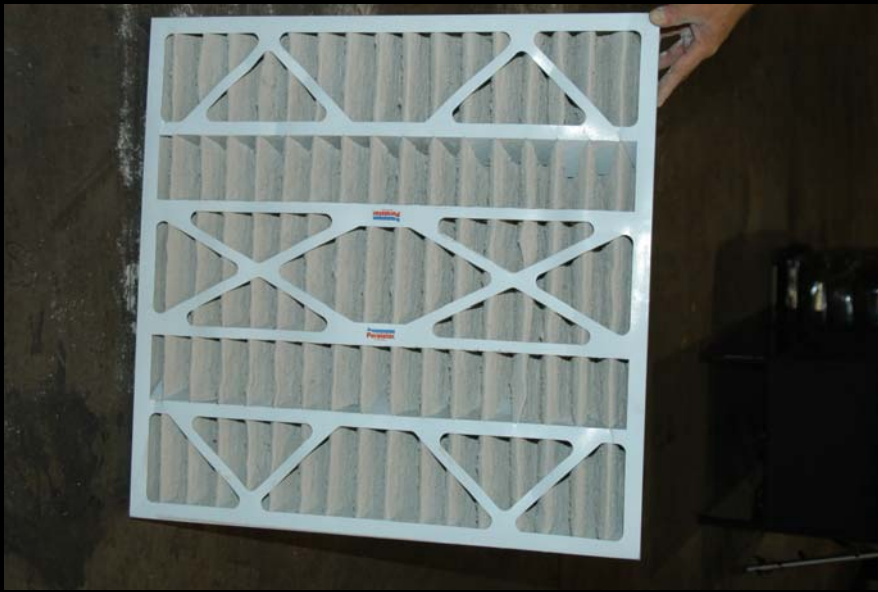


Ventajas de la baja velocidad

- **Bajos costos de desgaste y mantenimiento**
 - **Partículas en suspensión más pequeñas y de baja velocidad corpuscular**
 - **Menor abrasión**
 - **Capacidad de usar codos estrechos y de radio pequeño sin un desgaste evidente**
- **Costos más bajos de energía**
 - **Reducción de pérdidas por fricción**
 - **Reducción de la caída de presión**

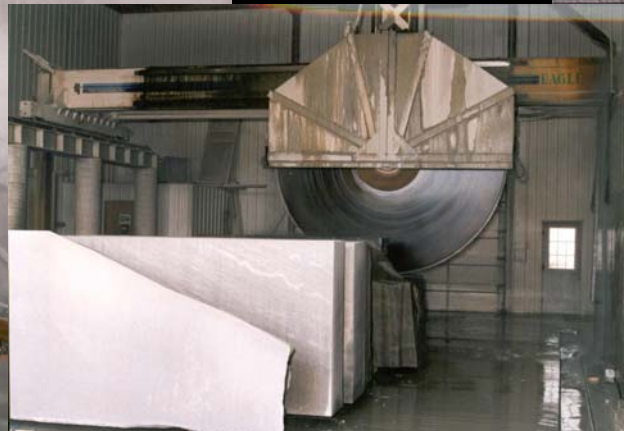


Cómo mejorar la eficacia de los filtros de aire en operaciones de piedra dimensional





Piedra dimensional: (20 por ciento de contenido de sílice) piedra decorativa, problemas en los talleres durante los meses de invierno



La compañía instaló seis filtros de aire



Evaluación del colector de polvo con sistema de ventilación



Prueba de campo



Limpia 2000 cfm de aire

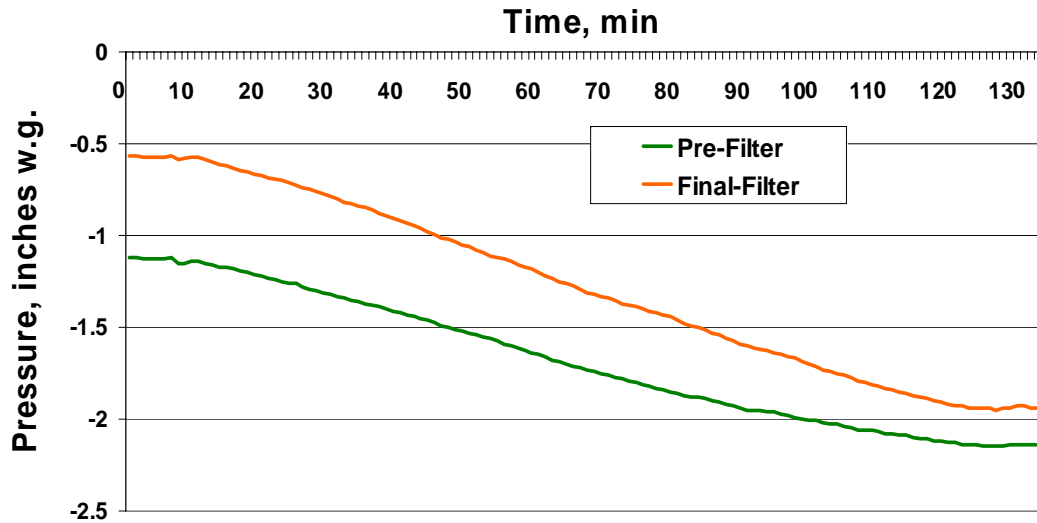


Evaluación del colector de polvo con sistema de ventilación

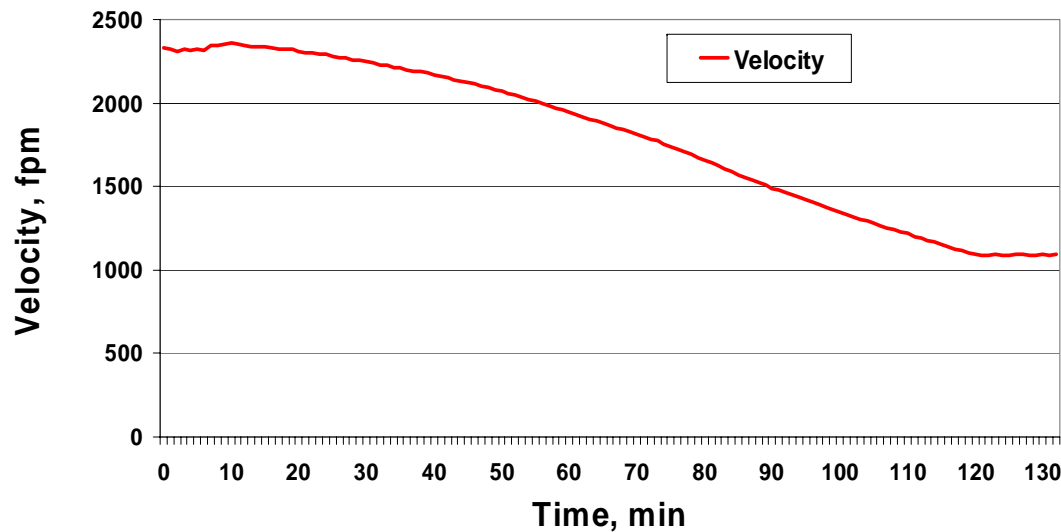
Prueba de laboratorio



Pressure Drop as Filters Load



Velocity Drop



**Pérdida
de presión
y
velocidad
durante la
prueba de
laboratorio**

Aumento de la ventilación por unidad motriz - 3 hp



Sistema de ventilación total para trituradoras



Sitio de evaluación - Estructura para el procesamiento de arcilla

- **Tres extractores de techo de 8.500 cfm**
- **Sistema de 25.500 cfm, 10 ACPH**
- **Tres rejillas en los muros – entrada para el aire de relleno**



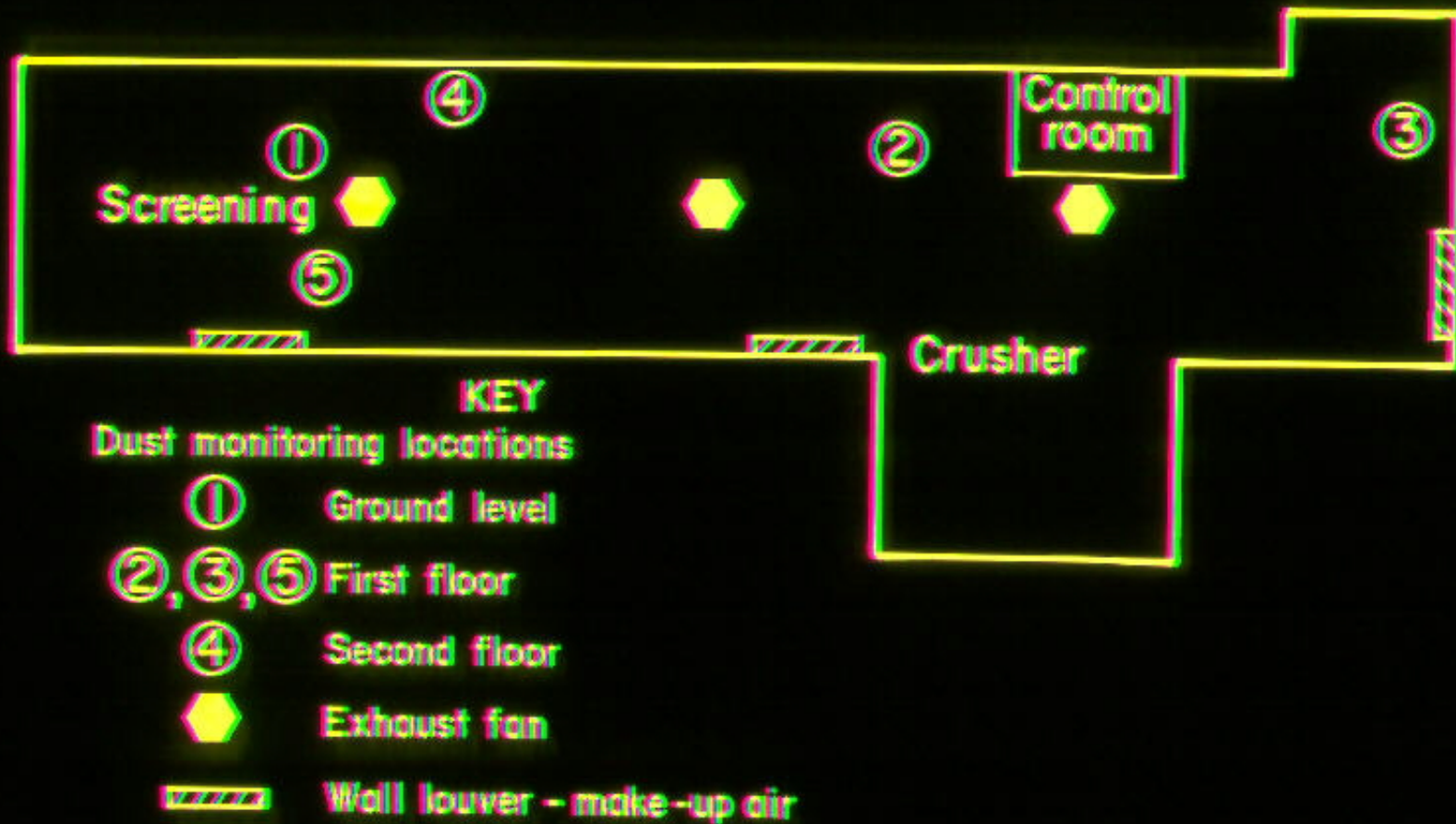
**Rejillas en los muros
para el aire de
entrada.**



Lugares de monitorización del polvo



Lugares de monitorización del polvo



Liberación de bomba de humo



Inmediatamente después de la liberación



2 minutos



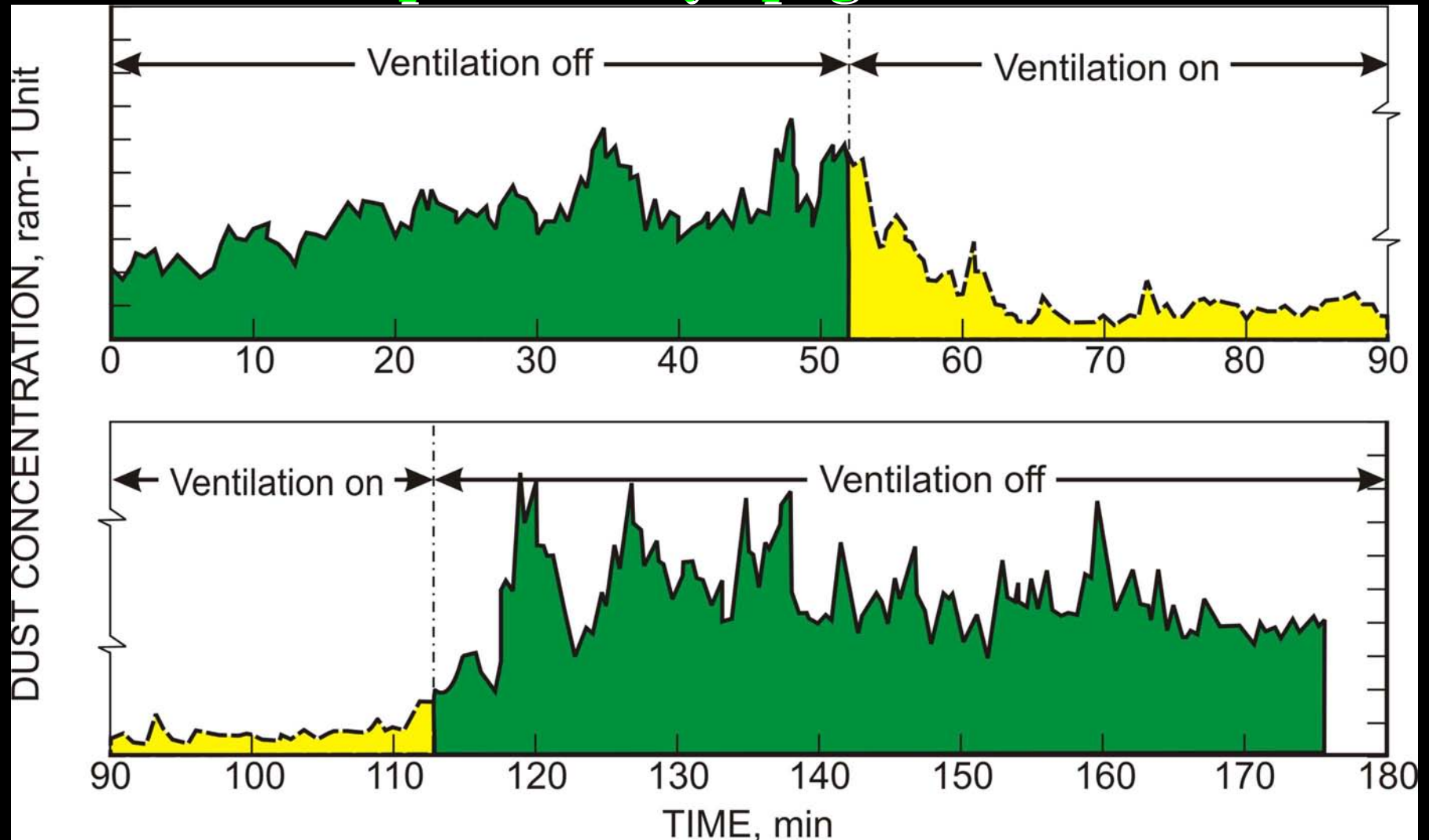
4 minutos



6 minutos – un cambio de aire

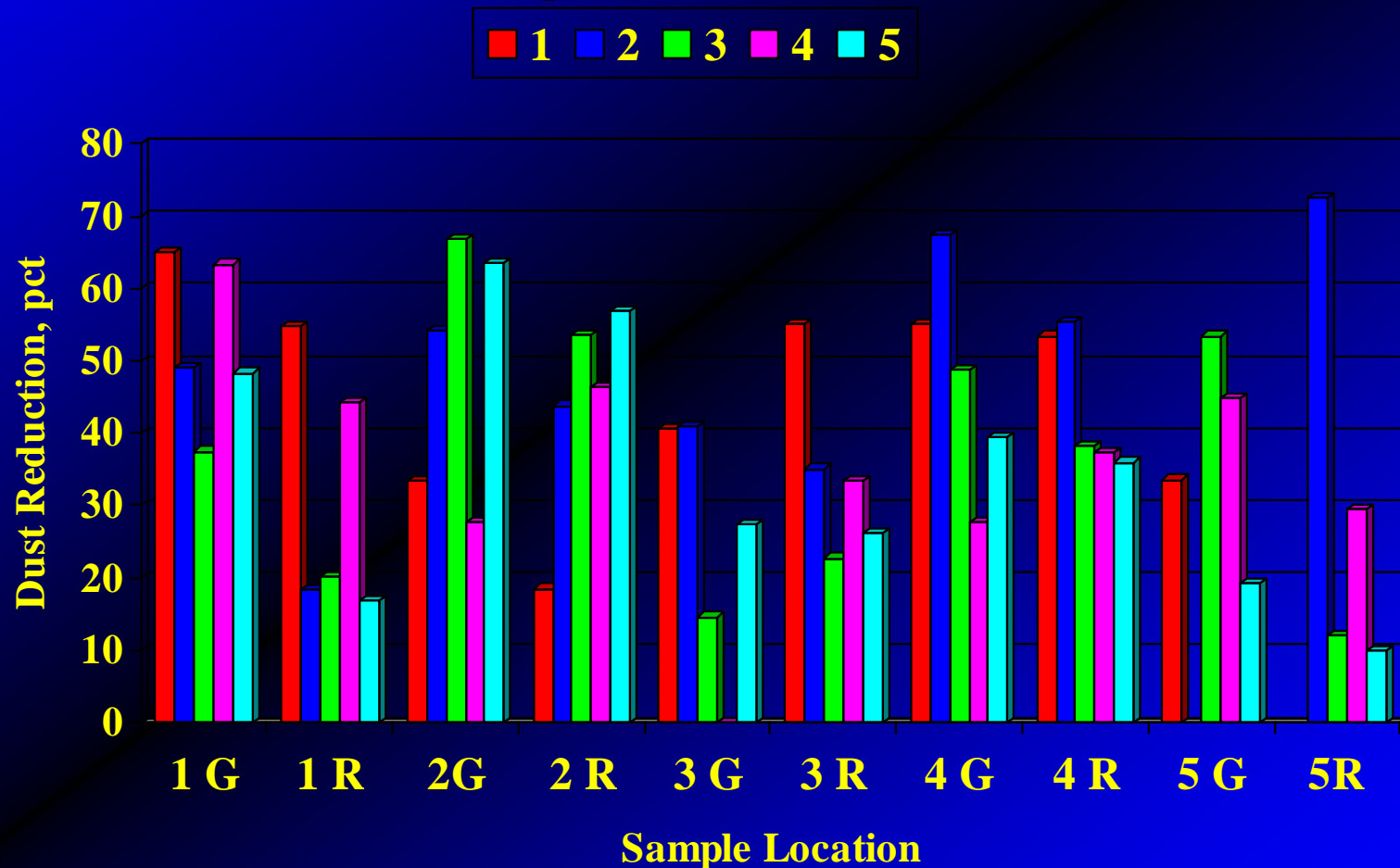


Sistemas de ventilación total para trituradoras, prendidos y apagados



Disminución de polvo de un 40 por ciento – en toda la estructura

Disminución de polvo en los lugares de muestreo durante la evaluación de campo del sitio 1



Sitio 2

**Sistema de 100,000 cfm,
34 ACPH**

**Cuatro extractores de
pared tipo hélice de
25.000 cfm**

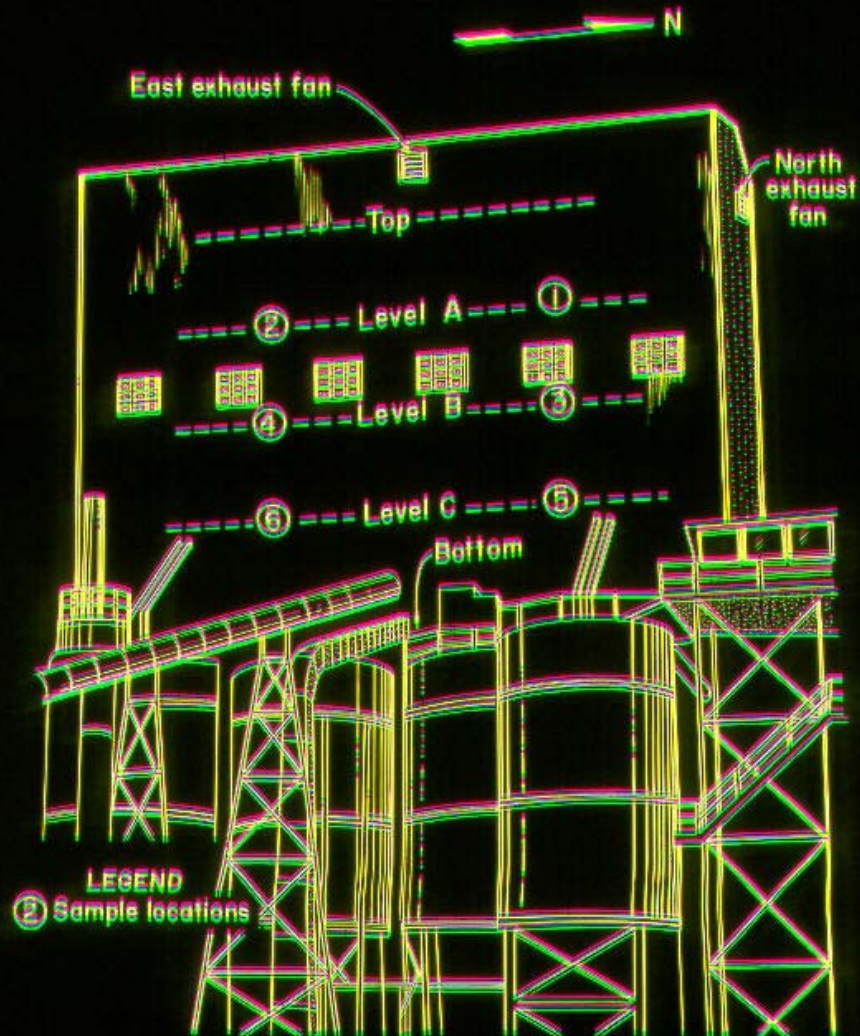
**Puertas de aireación –
entrada para el aire**

Costo: \$6.000 –

**Materiales e instalación
(realizada por personal
de la compañía)**

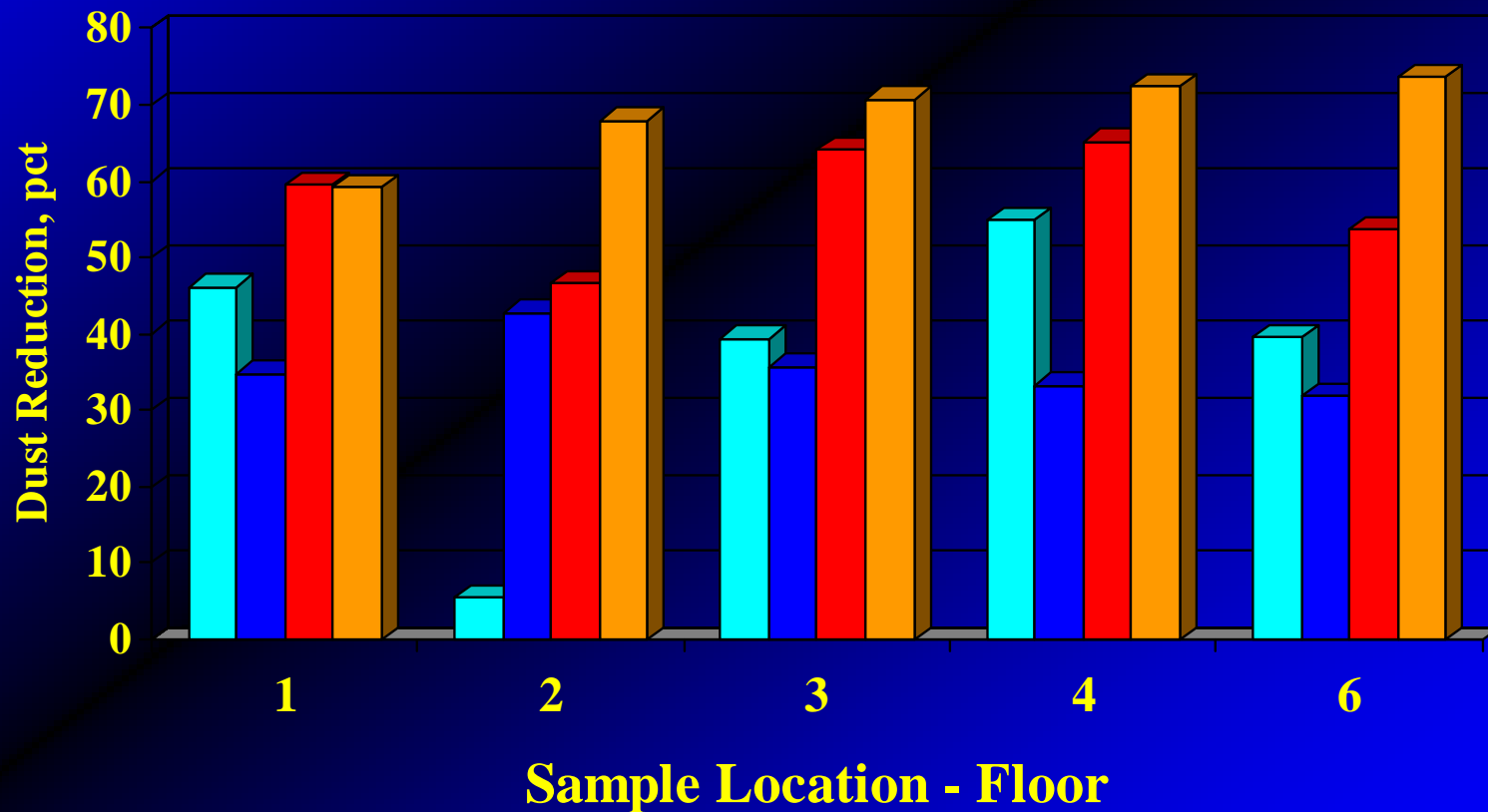


Lugares para hacer el muestreo del polvo



Disminución de polvo en lugares de muestreo durante la evaluación de campo del sitio 2

■ D1 - 2F ■ D2 - 2F ■ D1 - 4F ■ D2 - 4F



Sistema de ventilación total para trituradoras

**La técnica más rentable para el control del polvo en
las plantas de procesamiento de minerales**

**Evaluación del sitio 1: reducción del 40 por ciento - \$10.000
(contratista)**

**Evaluación del sitio 2: reducción del 64 por ciento - \$6.000
(personal de la compañía)**

Instalaciones de una trituradora principal relativamente nueva

0,0 mg/m³

Rejillas en los muros

Ventiladores



Fuentes secundarias de polvo



**Ropa de
trabajo
sucia**



Sacos rotos



Zona de carga masiva en la parte exterior



Aumento de la exposición de los trabajadores a las fuentes secundarias de polvo

CASO	Factor de aumento	Tiempo de exposición al valor límite umbral
Ropa de trabajo contaminada	10,1	1 hora 35 minutos
Soplado de ropa con aire comprimido	2,4	3 horas 33 minutos
Saco roto (estación de llenado)	3,2	4 horas 34 minutos
Saco roto (banda transportadora)	6,9	3 horas 20 minutos
Zona de carga masiva en la parte exterior	2,5	3 horas 48 minutos
Rebosamiento de la tolva de sacos	12,2	2 horas 11 minutos
Barrido en seco del piso	5,7	9 horas 24 minutos

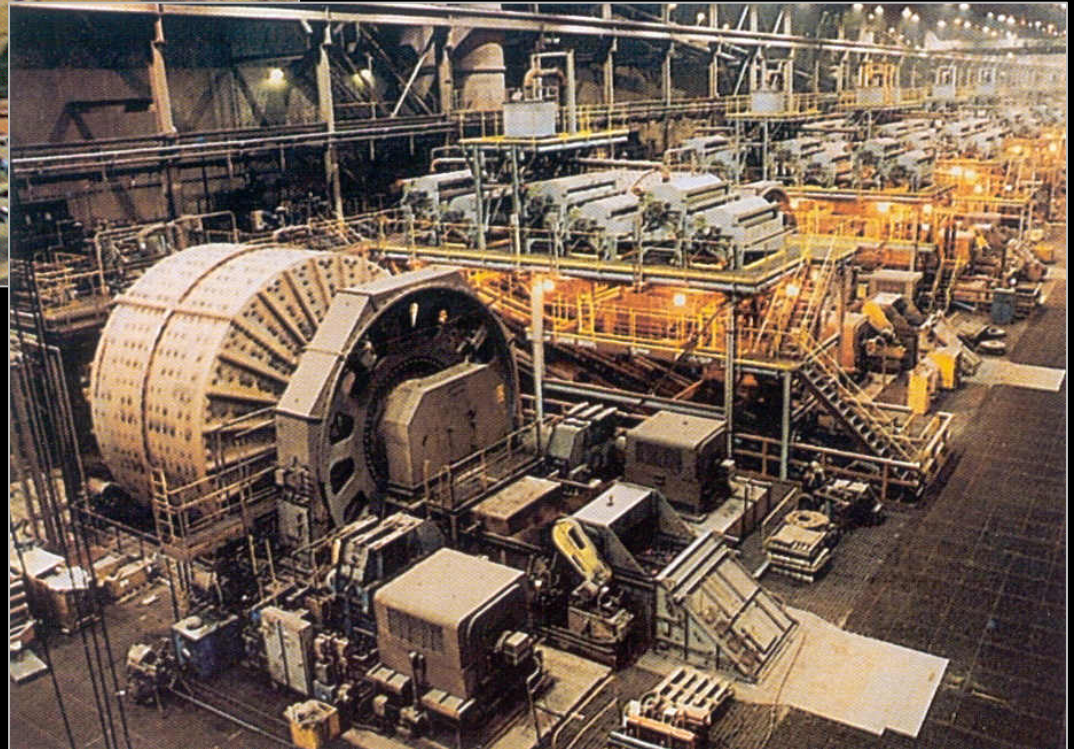
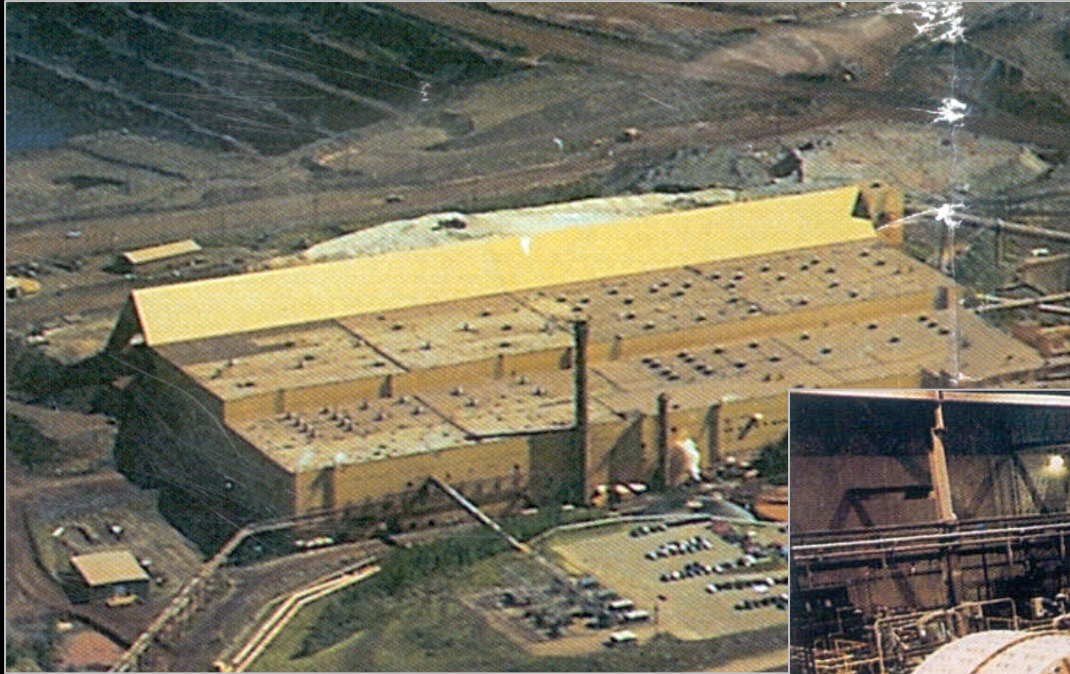
Número de veces en que las fuentes secundarias de polvo causaron sobreexposición en los trabajadores

Fuentes de polvo	Número estimado de casos en los que se excedió el valor umbral límite
Ropa de trabajo contaminada	1
Rotura de sacos durante el llenado	14-18
Rotura de sacos durante el transporte	6-10
Zona de carga masiva en la parte exterior	3-4
Rebosamiento de la tolva de sacos	3-4

Consideraciones sobre las fuentes de polvo

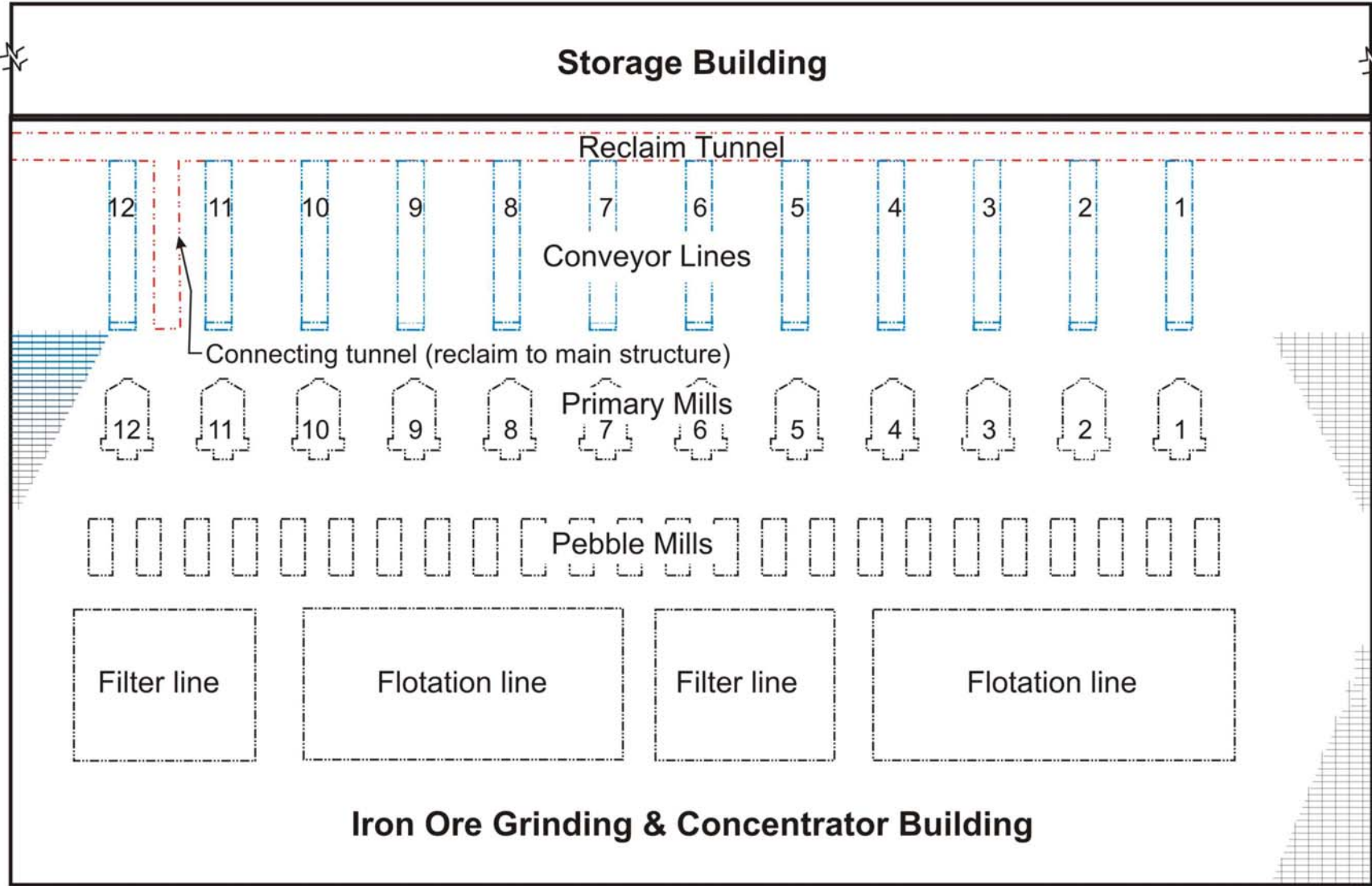
- **Tomar conciencia del problema**
- **Identificar el problema**
- **Controlar el problema**

Disminución de los niveles de polvo en una planta de procesamiento de mineral de hierro

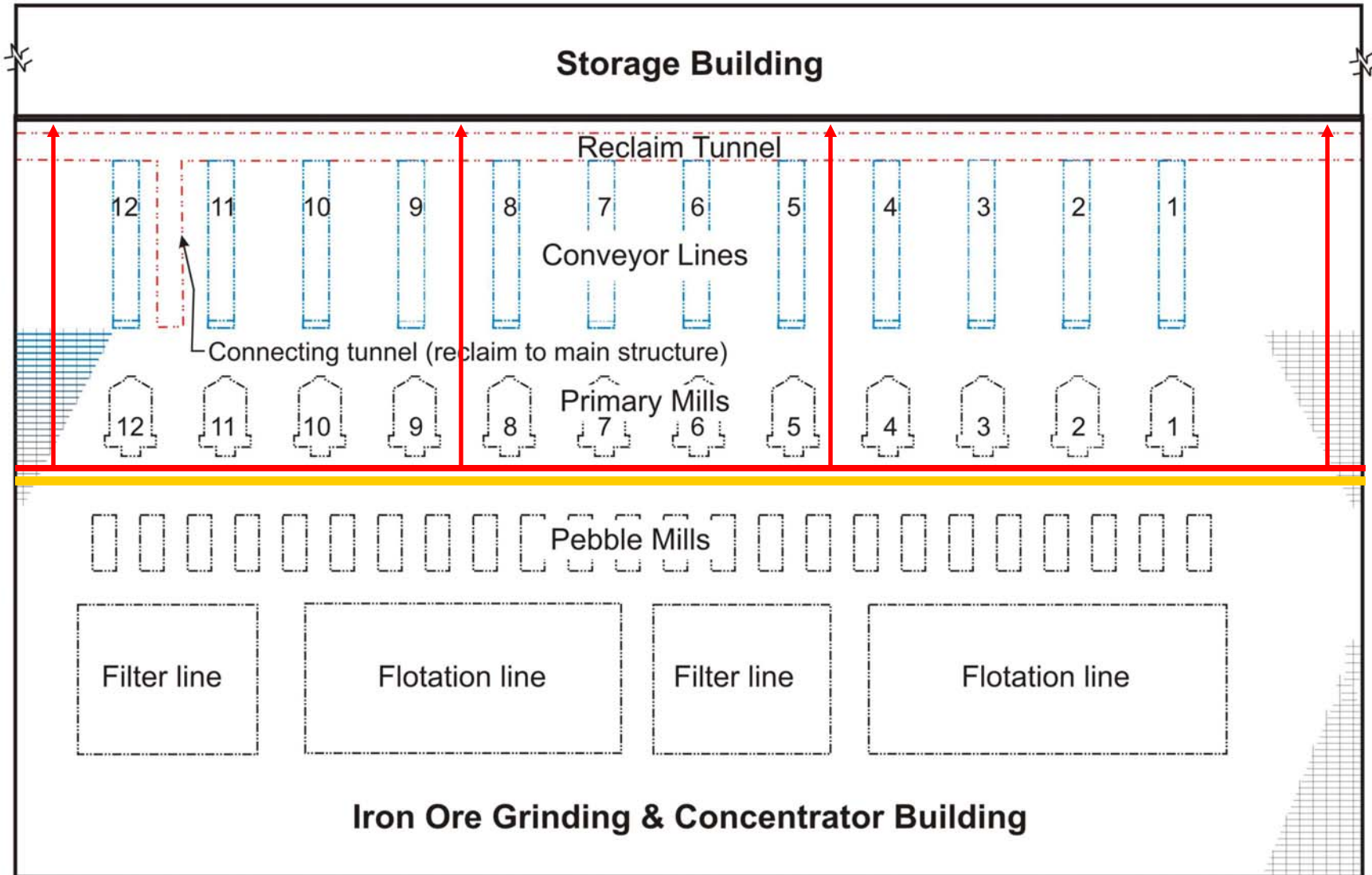


**Planta excepcional:
estructura de 940.000 ft²/volumen interno de aire de 45.000.000 ft³**



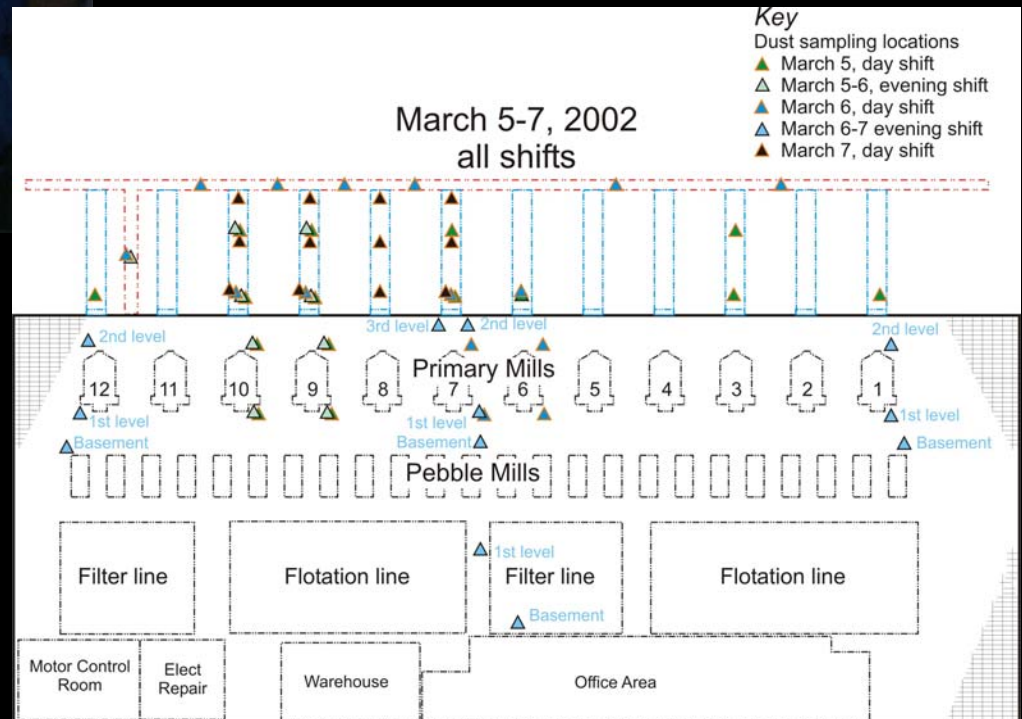


Niveles elevados de polvo respirable – zona en donde deben usarse los respiradores



Instrumentación

La mayor estructura de muestreo utilizada hasta ahora por una subdivisión encargada del control del polvo en 25 años



Mediciones de polvo respirable



PDR

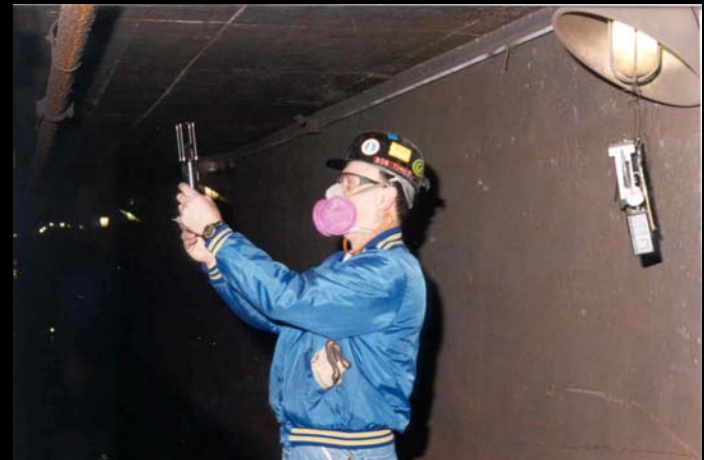
2 aparatos para la toma de muestras gravimétricas



Mediciones del flujo de aire

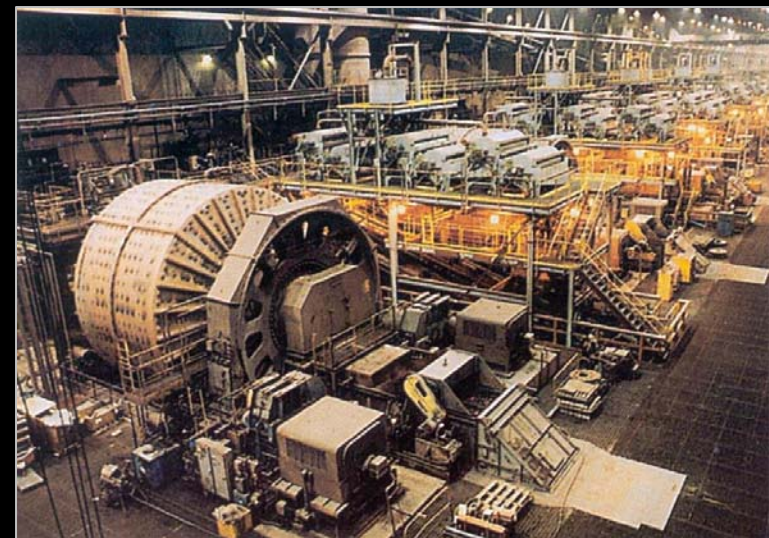
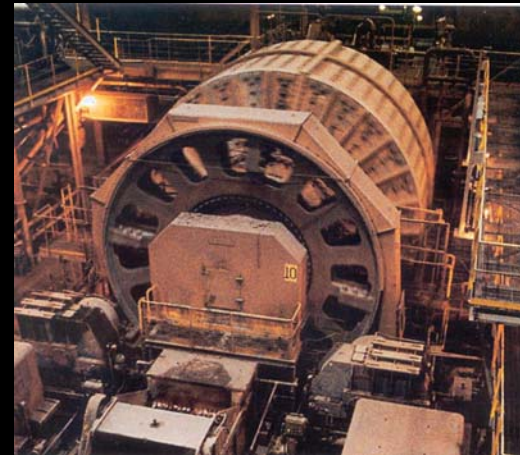
“Solent Volometer” o anemómetro de un eje que funciona con baterías (Gill Instruments Ltd): anemómetro ultrasónico

Anemómetro con veleta (Davis Instruments): de ocho cuchillas



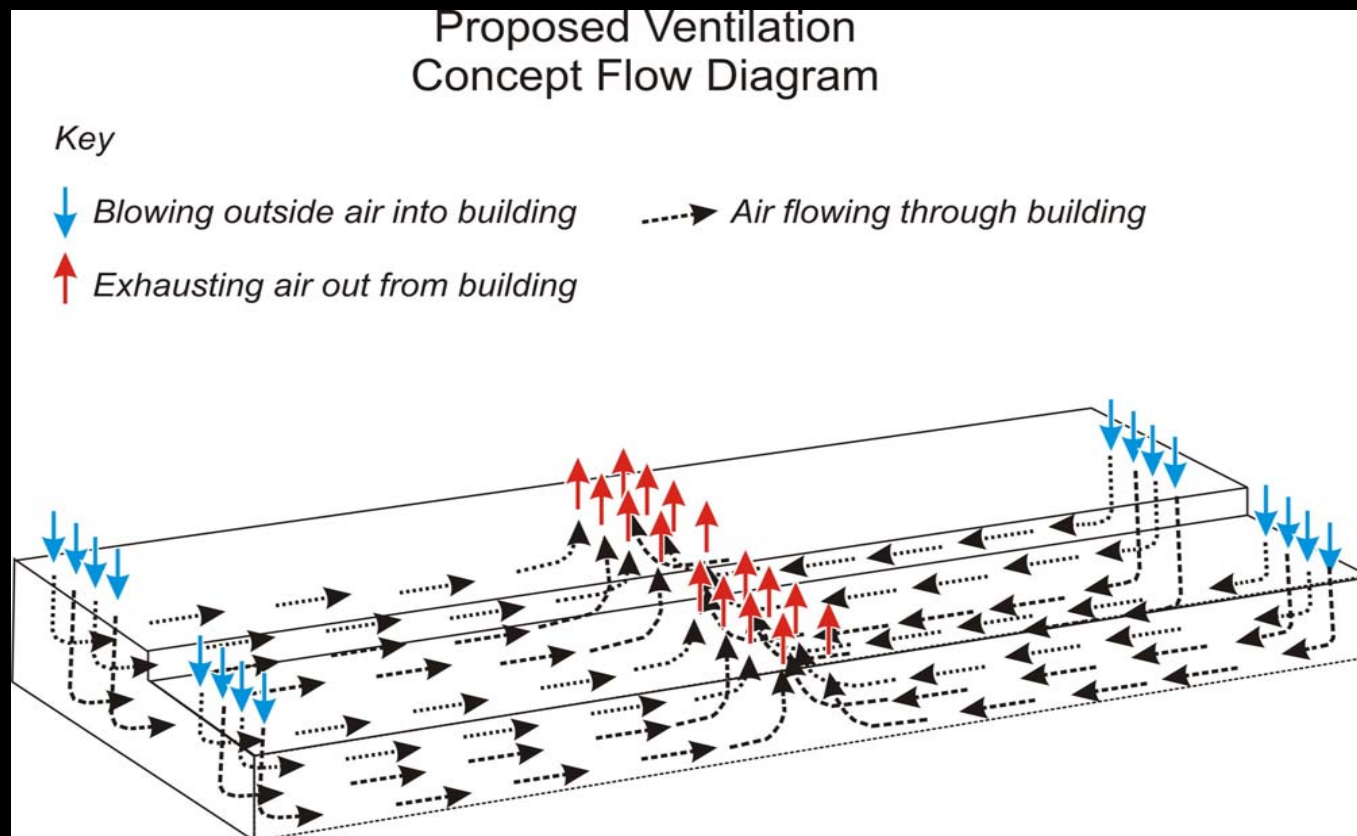
Objetivo principal: optimizar y equilibrar el flujo de aire en toda la estructura

Objetivo secundario: alcanzar niveles más bajos de polvo respirable en las doce trituradoras principales y alrededor de ellas



Recomendaciones para la ventilación

- Se propuso hacer un cambio significativo en la estructura de ventilación del concentrador – equilibrar los volúmenes de entrada y salida de aire, crear un patrón de flujo direccional



Roof Fan Set up At Tilden
Tuesday, March 9

**3,2 veces más aire
expulsado**

**Entrada: 2 ventiladores de entrada para
el sistema de calefacción/3 ventiladores de
de entrada de techo - 600.000 cfm**

**Expulsión: 39 ventiladores aspirantes -
1.930.500 cfm**

Key

↓ Intake Fan

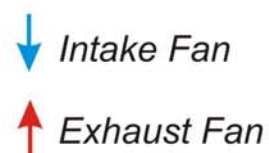
↑ Exhaust Fan

**Ventilador de
entrada del
sistema de
calefacción**



Roof Fan Set up At Tilden
as of 9:30 a.m.
Wednesday, March 10

Key

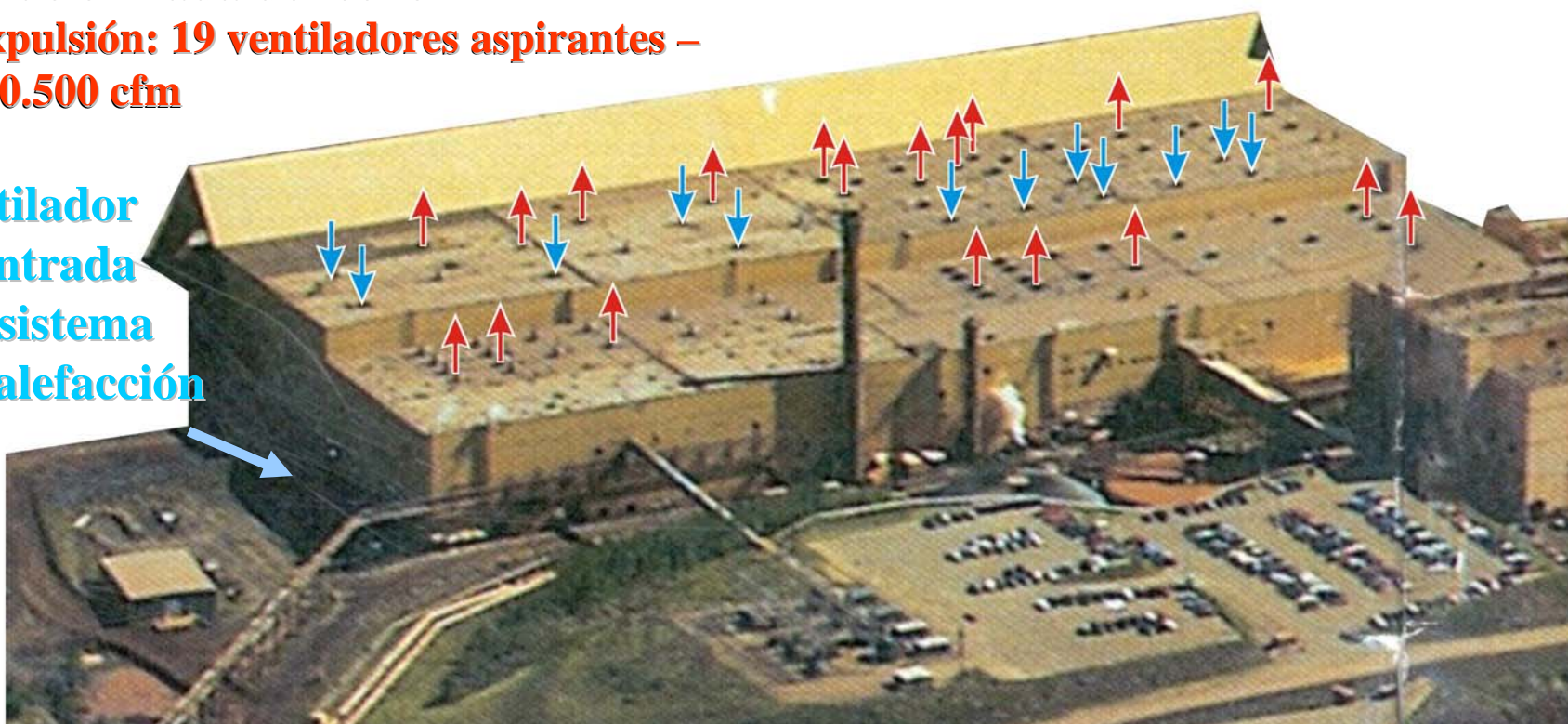


**1,1 veces más
entrada de
aire**

**Entrada: 2 ventiladores de entrada para
el sistema de calefacción/12 ventiladores
de de entrada de techo - - 1.045.000 cfm**

**Expulsión: 19 ventiladores aspirantes -
940.500 cfm**

**Ventilador
de entrada
del sistema
de calefacción**



Roof Fan Set up At Tilden
as of 7:00 a.m.

Thursday, March 11

**1,1 veces más
aire expulsado**

**Entrada: 2 ventiladores de entrada
para el sistema de calefacción/12
ventiladores de de entrada de
techo- 1.045.000 cfm**

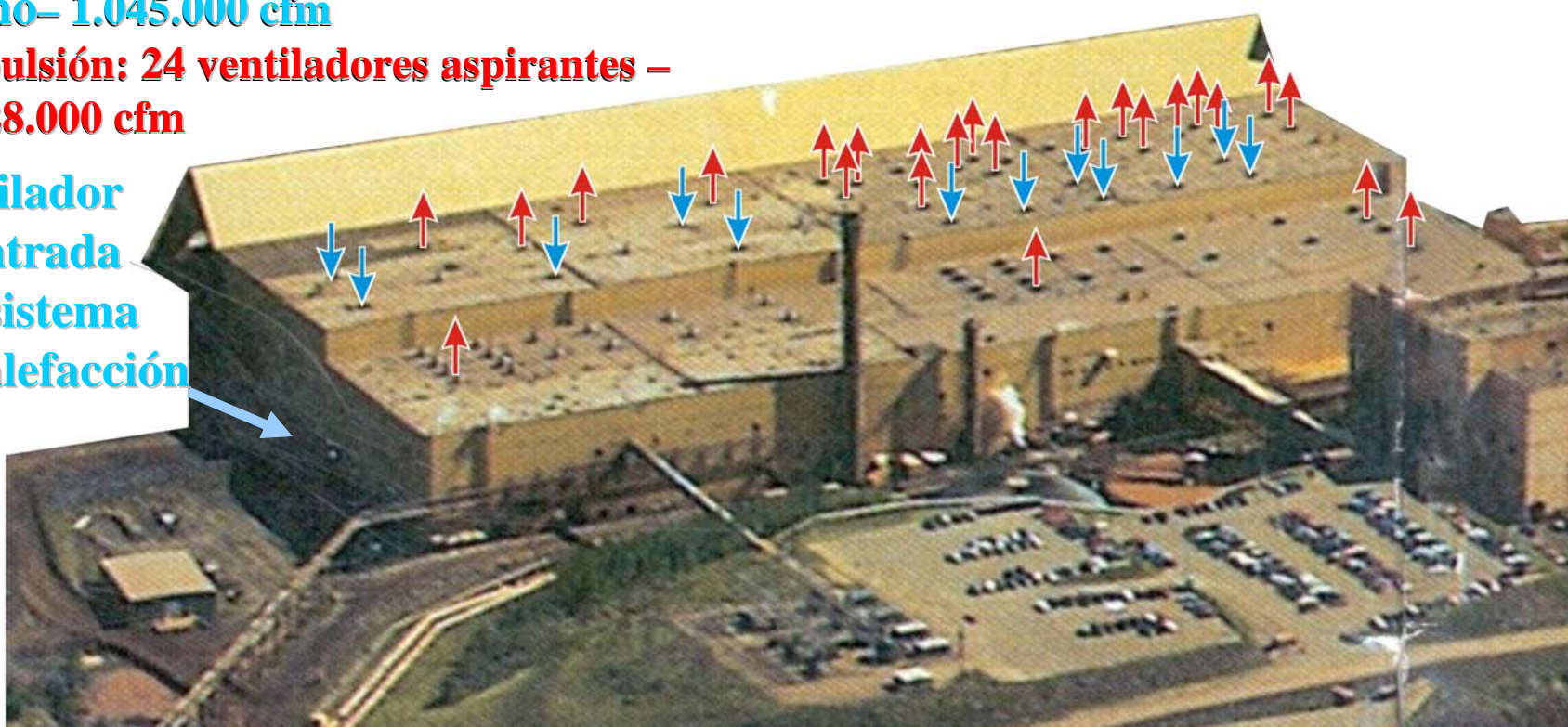
**Expulsión: 24 ventiladores aspirantes -
1.128.000 cfm**

**Ventilador
de entrada
del sistema
de calefacción**

Key

↓ Intake Fan

↑ Exhaust Fan

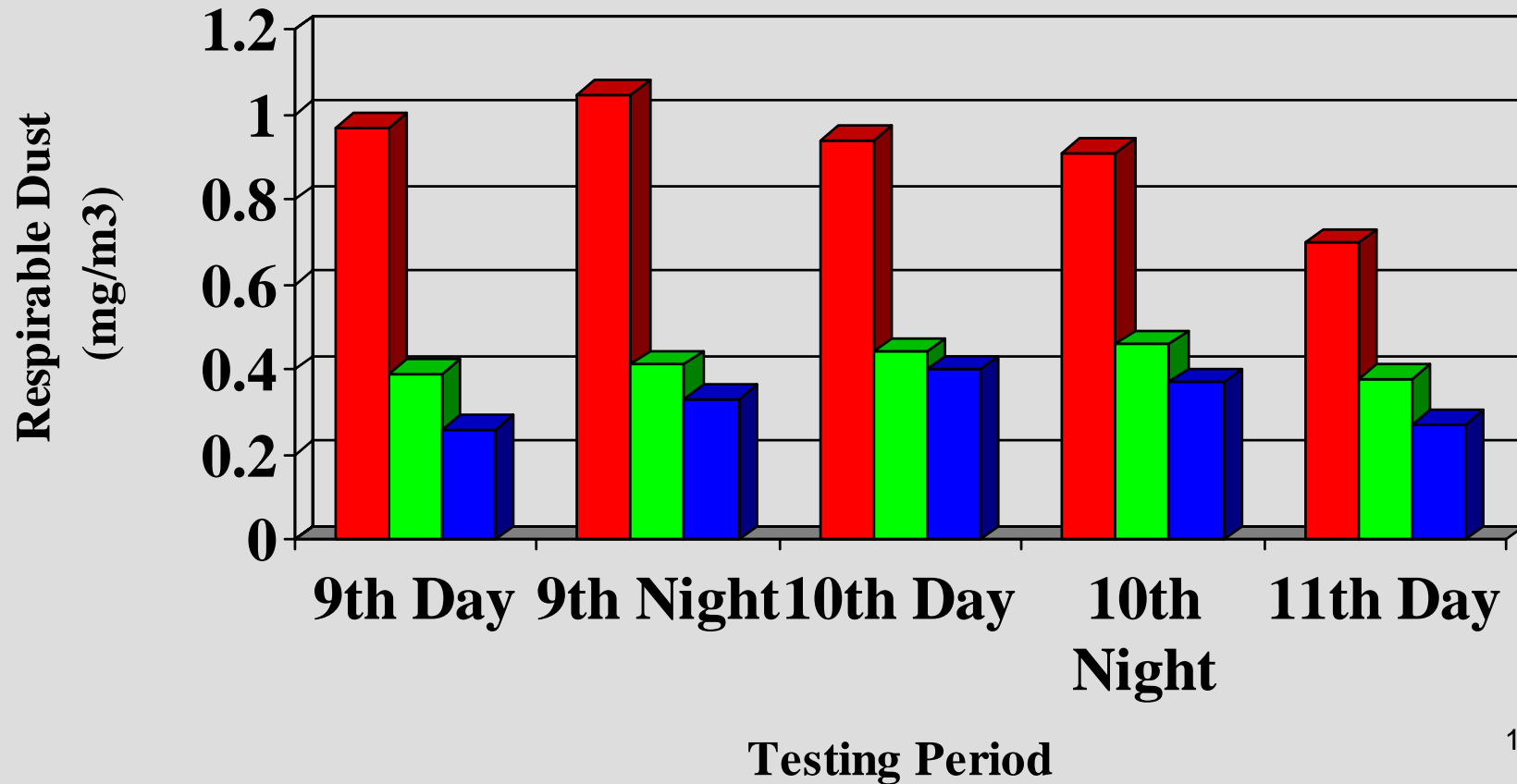


Promedios de polvo respirable

■ Primary

■ Pebble

■ Flotation



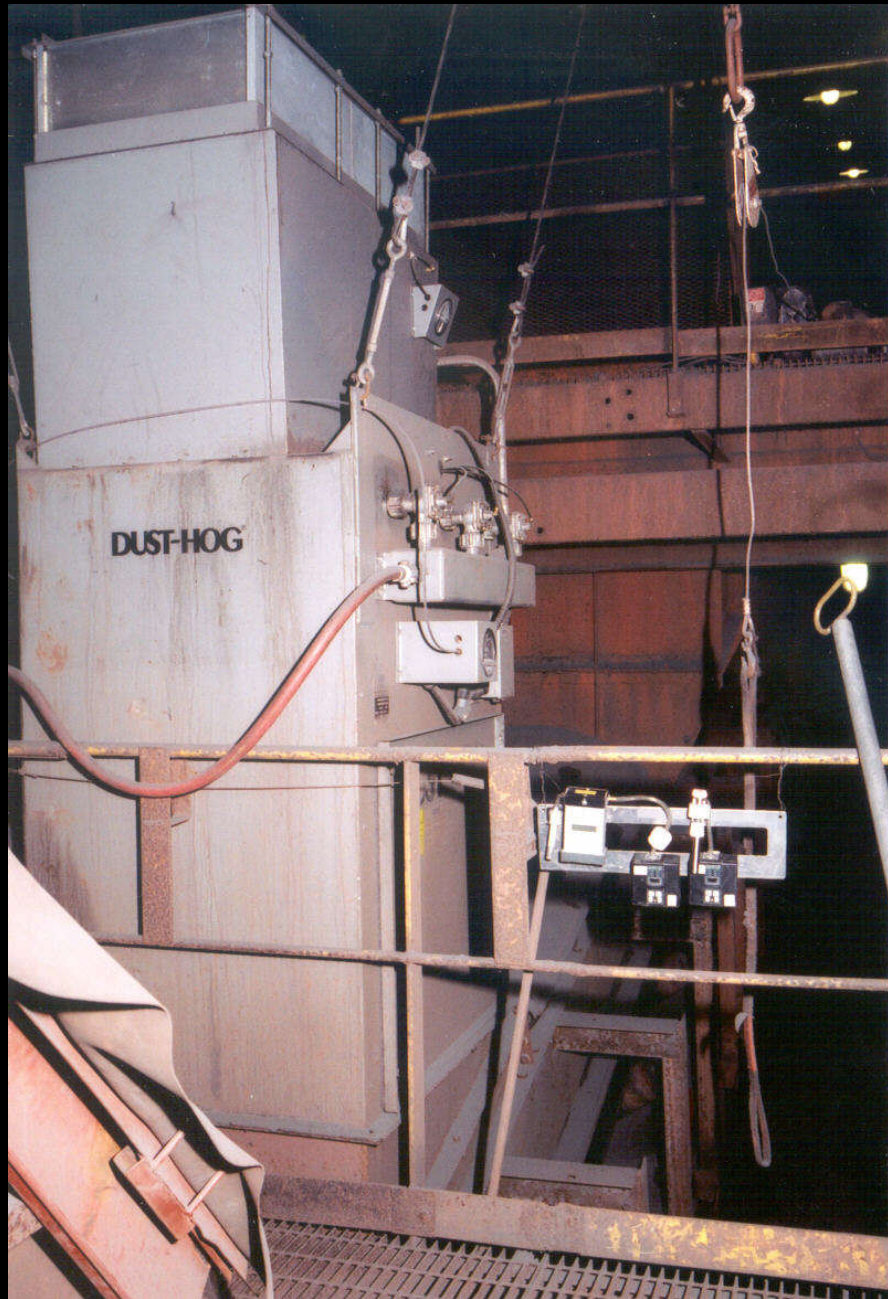
Resultados del cambio en la ventilación para equilibrar y optimizar el flujo de aire

- **Los niveles de polvo respirable se redujeron en un 31% en el área principal de trituración - tercer diseño de ventilación**
- **Los niveles respirables de polvo disminuyeron levemente en la trituradora de piedras y en las áreas de flotación**

Colocación deficiente del contenedor (se usaban sacos de recolección)



Evaluación del colector de polvo comparado con la aplicación por rociado de agua





Aplicación por rociado de agua

reducción del 5 - 29 por ciento



Problemas de limpieza y mantenimiento



Cómo mejorar la ventilación en los criaderos de pavos



Problema: mala calidad del aire causa altos niveles de polvo, amoníaco y humedad.

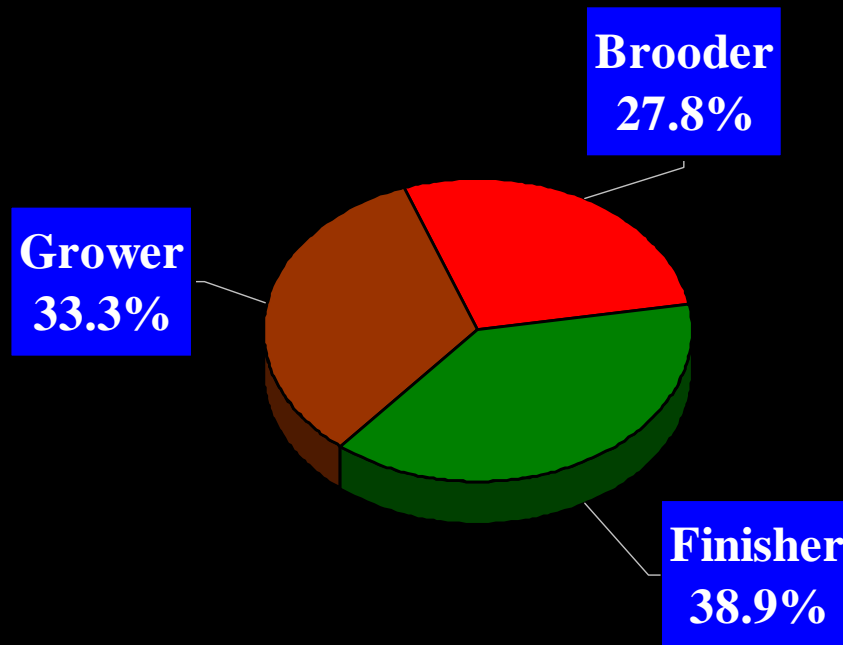


Criaderos de pavos



Crecimiento de los pavos

Desde el nacimiento
hasta las 18 semanas



Aves de corral: galpón de incubación



Aves de corral



Galpón de engorde



Galpón de ceba final



Cálculos de los volúmenes de aire



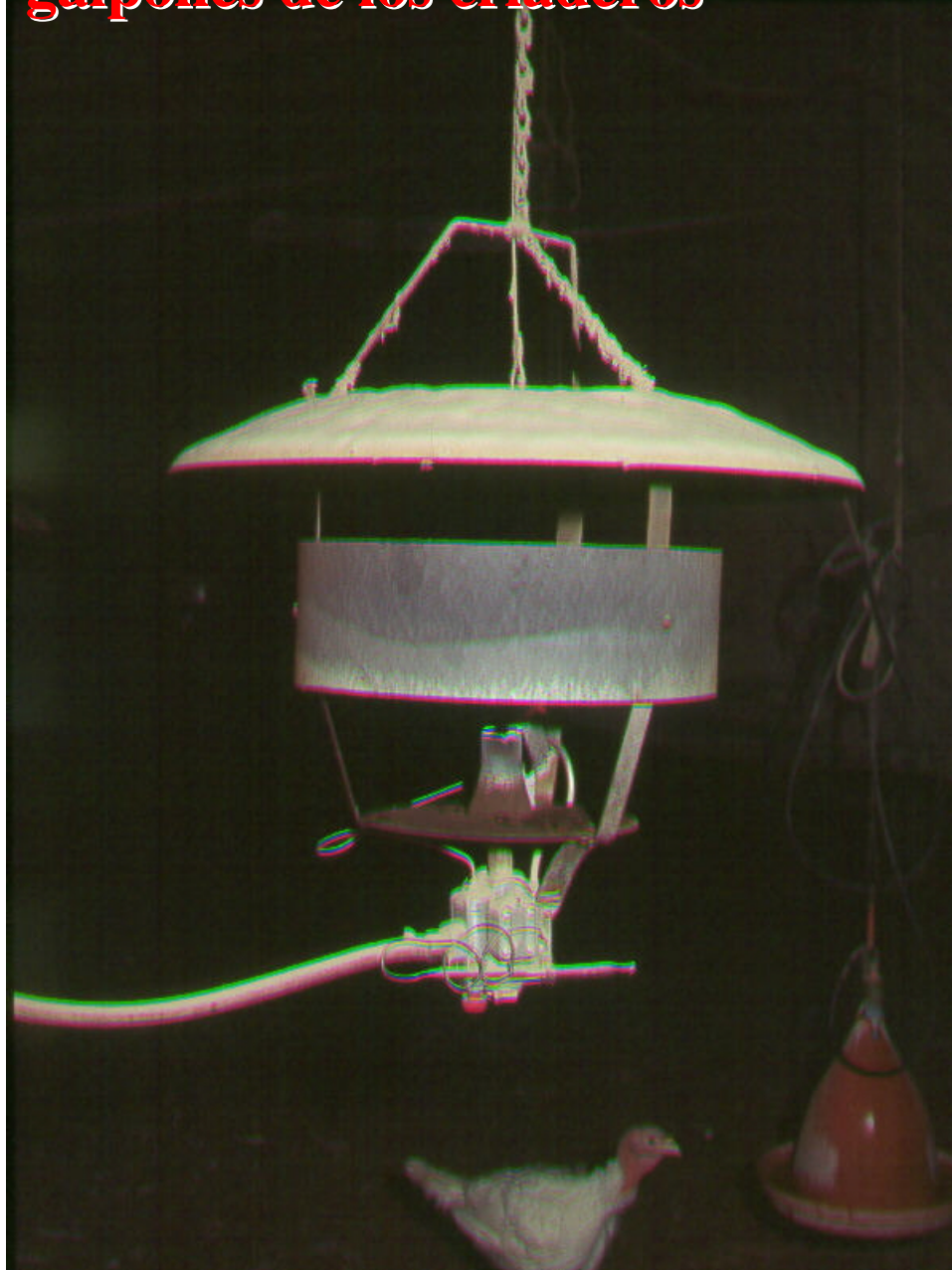
Medicaciones de amoníaco



Pruebas durante los meses de invierno



Sistemas de calefacción para los galpones de los criaderos



Instalación de cortinas para hacer descender el calor



Las cortinas se extienden a todo lo largo del galpón



Comparación

Aves: galpón con calefacción 2,3 – 2,8 libras más pesadas

Galpón normal: 2.000 galones de propano

Galpón con cortina: 1.100 galones de propano.

Ahorro estimado: \$ 1,5 millones en gastos de calefacción, a la vez que se obtienen ganancias adicionales debido a la existencia de aves más pesadas y sanas.



Conclusiones

Andy Cecala

CDC/NIOSH

Subdivisión para el Control de Riesgos

Respiratorios (*Respiratory Hazards Control Branch*)

Correo electrónico:

ACecala@cdc.gov