

POLVOS NOCIVOS APARATO RESPIRATORIO

El autor expone la significación respiratoria de los polvos que se encuentran en el medio laboral y los mecanismos por los cuales estos polvos ingresan en el sistema broncopulmonar.

Se consideran los polvos que se observan en el país: los inorgánicos que causan neumoconiosis (sílice, asbesto y carbón) y los orgánicos que causan bisinosis (algodón).

Se analizan los métodos modernos de evaluación, especialmente para el polvo respirable de significación patogénica y la tendencia al procedimiento gravimétrico. Finalmente se citan las concentraciones máximas ambientales permisibles adaptadas en Chile.

POLVOS DE SIGNIFICACION RESPIRATORIA EN SALUD OCUPACIONAL

Ing. EVARISTO PEREZ V.
Jefe Sub-Depto. Higiene Ind. y C.A.

1.— Generalidades

El propósito de este trabajo es dar a conocer la experiencia actual que existe en nuestro país sobre los polvos de significación respiratoria y que actúan produciendo neumoconiosis u otros efectos en el árbol respiratorio.

La acción de los polvos depende de sus propiedades físico-químicas y así pueden actuar sobre el aparato respiratorio superior, medio o en los alvéolos.

Nos interesan los polvos orgánicos e inorgánicos que tienen tamaño adecuado para penetrar el sistema respiratorio y distribuirse en él; su comportamiento aerodinámico en el fluido aire, obedece a su tamaño, forma y densidad, todo lo cual se rige aquí en forma particular por la Ley de Stokes, ya se trate de partículas o fibras.

El polvo se ha definido como material particulado o como aerosol sólido formado principalmente en operaciones de extracción de minerales, molienda, tronaduras, acarreo, tamizado, mezclado, envasado, etc. En el caso de fibras ellas tienen un comportamiento aerodinámico similar.

El higienista encargado de detectar, evaluar y controlar estos agentes se ha visto enfrentado a métodos que han variado con el

tiempo, a medida de que los hallazgos biológicos han dado mayor información sobre los tamaños encontrados en el organismo. Las predicciones, también, de cálculos ingenieriles teóricos y los tamaños encontrados en los ambientes de trabajo han concordado con lo anterior, lo que en resumen se puede plantear así:

Durante muchos años se usó la coníometría, recuento de partículas y fibras con microscopio, esto implica equipos adecuados y específicos para tomar las muestras del flujo de aire. Este método que aún no se ha dejado de usar en Chile ha servido, con sus defectos y tediosidad, para sanear los ambientes de trabajo durante casi medio siglo.

En la actualidad hay consenso en que no todo el polvo o fibras que hay en el ambiente son capaces o tienen la oportunidad de producir daño; aparte de las propiedades comunes, esto dependerá del tamaño expresado como diámetro aerodinámico equivalente a esferas de agua de densidad uno, esto involucra un "comportamiento" y no un valor físico.

Lo primero que se propuso fue eliminar en la evaluación aquellos diámetros que no tenían posibilidades de entrar al sistema respiratorio, mayores de 7 ó 10 micrones, ya sea porque es difícil encontrarlos en el aire, porque la velocidad de captura por la nariz es insuficiente, o bien porque son atra-

pados en la parte superior y luego eliminadas por la nariz (mucus) o llevadas al aparato digestivo por deglución de las mucosidades.

El interés sanitario se centra, entonces, en las partículas menores de 10 micrones o menores de 7 micrones (lo que da origen a criterios diferentes de muestreo, tal como veremos adelante), y que entran y recorren todo el sistema respiratorio.

En general se puede decir que las partículas mayores de 10 micrones no son retenidas en el sistema respiratorio, pero a medida que bajan de este diámetro van quedando en porcentajes que van en aumento, para partículas de 5 micrones algunos indican un 50% de retención y otros sólo un 25%; al considerar las partículas de 2 micrones o menos, los primeros indican un 100% de retención y los segundos un 90% (1,2,3 y 4).

Estos criterios involucran el uso de instrumentos gravimétricos con filtros capaces de separar o fraccionar los tamaños de tal modo de dejar fuera del equipo colector el polvo que no decanta en el sistema respiratorio.

Los equipos se discutirán más adelante.

Con lo planteado hasta aquí se ve que de un polvo total presente en un ambiente, ahora se recolecta menos muestra que antes (a igual velocidad y tiempo de muestreo), esto lleva a buscar sistemas de pesaje más sensibles y condiciones de humedad y temperatura más controladas; igualmente se requieren métodos analíticos más sensibles y precisos; también es notable el hecho de que las CAMP (Concentraciones Ambientales Máximas Permisibles), se han ido rebajando, lo que presenta un desafío para la rama ingenieril, en busca de mejores métodos del control de polvos en ambientes de trabajo.

2.— Aspectos específicos

Es interesante conocer, al menos, algunos ejemplos de problemas concernientes a polvos que han sido de constante preocupación en nuestras actividades.

SILICE LIBRE CRISTALIZADA Y PURA

La "Sílice libre cristalizada y pura" es el compuesto de silicio y oxígeno (dióxido de silicio, anhídrido de silicio, sílice) más conocido por Cuarzo ya que se encuentra en abundancia en la tierra (minerales y vegetales).

Existe una forma de SiO_2 que es el residuo de los silicatos al ser analizados en laboratorios químicos para fines industriales (cemento, loza, etc.), en los cuales el SiO_2 está combinado con metales formando silicatos. En general, se encuentran simultáneamente silicatos y SiO_2 libre junto a metales y sus sales en los minerales.

Atendiendo a la toxicidad se ha dividido la sílice libre en cristalizada (Cuarzo, Tridimita y Cristobalita), en criptocristalizada (Calcedonia, Tripoli, Pederalmal y Opalo) y en amorfa (Sílice coloidal, Tierra de diatomeas y Gel de Sílice), siendo la más dañina la forma cristalizada pura. Actualmente se ha visto que es más importante la forma en que se une el silicio con el oxígeno, si las uniones son tetraédricas son dañinas, acción que no se observa con las uniones octaédricas (Stishovita).

PRESENCIA Y USOS DE LOS COMPUESTOS DE SILICE

a) El cuarzo es abundante en minería, industria de vidrio, cerámica, abrasivos, cementos refractarios, moldes de fundición, material eléctrico y operaciones tales como limpiado abrasivo, pulido, etc.

b) La Tridimita y Cristobalita siendo escasas en la naturaleza aparecen cuando se calienta el Cuarzo por sobre 850°C , así es posible encontrar Trimidita en ausencia de Cuarzo en el cortado de ladrillos refractarios. Hay secciones expuestas a Cuarzo y luego a Tridimita y Cristobalita (88% en el material).

c) En fábrica de ladrillos refractarios con larga exposición y alto contenido de Cuarzo se ha notado inhibición de la acción silicótica, debido a la presencia de Alúmina combinada (14%) de las arcillas y pizarras.

d) La tierra de diatomeas (Kieselguhr), amorfa, no induce la silicosis, en cambio calcinada es dañina por la presencia de cristobalita. Las diatomeas provienen de esqueletos silíceos microscópicos que se usan en pulido, en fabricación de cemento, vidrio voluble, absorbente para nitroglicerina y bromo. Igual uso tiene el Tripoli que proviene de la descomposición de rocas porosas tipo calizas.

Variables que influyen en el desarrollo de una silicosis

Cantidad de SiO_2 libre cristalizada: La cantidad depende del porcentaje de sílice que el

mineral tenga. En la gravimetría, preocupa la sílice libre presente en las partículas. En la conimetría debe determinarse el porcentaje de sílice en el mineral, materia prima o polvo decantado.

Siempre es más exacto determinar la proporción de sílice en las partículas de significación respiratoria, que en el polvo decantado, materia prima o mineral, porque tienen composición de sílice diferente.

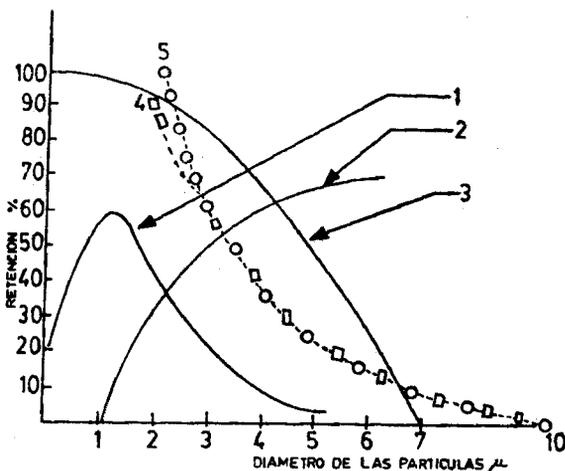
Tamaño de partículas: Además de lo indicado en la primera parte, se tienen antecedentes biológicos que indican que los tamaños encontrados en los pulmones varían de 1 a 3 micrones (promedio 1,3 micrones) según Moir y Watkins. Posteriormente se han encontrado promedios de 1 micrón.

Varios autores indican que la eficiencia de filtración y depuración baja enormemente para partículas pequeñas (1, 2, y 3) y las cantidades de polvos acumuladas a nivel alveolar aumentan desproporcionadamente al disminuir el tamaño, aun cuando hay reexhalación de partículas.

Las partículas encontradas en el aire de ambientes de trabajo estarían en un 71% entre 0,8 a 5 micrones y otro estudio indica que un 50% de las partículas varía entre 0,5 a 0,7 micrones.

GRAFICO Nº1

CURVAS DE RETENCION DE PARTICULAS DE POLVO



- 1: RETENCION ALVEOLAR SEGUN HATH
- 2: RETENCION EN VIAS RESPIRATORIAS SUPERIORES SEGUN BROWN
- 3: POLVO RESPIRABLE DEFINIDO JOHANNESBURGO PARA PARTICULAS DE DENSIDAD UNIDAD.
- 4: POLVO RESPIRABLE DEFINIDO POR ACGIH.D
- 5: POLVO RESPIRABLE DEFINIDO POR CEA (LOS ALAMOS)*

Los estudios hechos con la aplicación de la Ley de Stokes (5) permiten indicar que las partículas menores de 5 micrones no decantan al alcanzar su velocidad terminal, debido a que las corrientes de aire de los talleres varían entre 25 a 50 cm/seg.

En el gráfico Nº 1, se presentan los criterios actuales que relacionan lo indicado en cuanto a tamaños, y en los cuales se basan los instrumentos de mediciones gravimétricas actuales.

La gravimetría (determinación en peso), que reemplaza a la conimetría (recuento de partículas) ha aprovechado estos hallazgos y han surgido 3 criterios para definir al polvo de significación respiratoria, lo cual involucra criterios para equipos de toma de muestras que poseen dos etapas, una de retención de polvo no respirable, y otra donde llega el polvo respirable a un filtro que se pesa posteriormente:

a) El Reino Unido ha adoptado la curva de la Conferencia de Johannesburg (Curva Nº 3 del Gráfico Nº 1), en la que se recomienda que las partículas de 7 micrones o más queden retenidas en la 1ª etapa, no pasando al filtro de recolección; luego los tamaños menores irán pasando hacia el filtro en forma creciente y para tamaños de 5 micrones llegan al filtro el 50% de ellos (el 50% restante queda en la primera etapa de separación). Finalmente llegan al filtro un 100% de partículas iguales a 2 micrones o menos. No se presta atención en particular, qué ocurre con las partículas cercanas a 0,045 micrones, ya que Eimbrodt trabajando con microscopio electrónico, encontró en pulmones de hombres expuestos en minas, un promedio de 0,045 micrones.

b) La Comisión de Energía Atómica de EE.UU. (Los Alamos), nos muestra en la Curva Nº 5 del Gráfico Nº 1, que su criterio es dejar en la primera etapa las partículas iguales a 10 micrones o más, y paulatinamente van pasando a la segunda etapa (filtro) las partículas menores, pero para 5 micrones dejan pasar sólo el 25% y el 75% debe quedar en la primera etapa. Se termina, también, con que deben llegar a la segunda etapa el 100% de las partículas iguales o menores de 2 micrones, sin precisar otras cosas.

c) La Conferencia de Higienistas Gubernamentales de EE.UU. (ACGIH) (Curva 4 del Gráfico Nº 1) sigue el mismo criterio de Los Alamos, pero con las partículas iguales o menores de 2 micrones permite que llegue al filtro sólo un 90%.

En el Gráfico Nº 1, se ven además las curvas Nº 1 y Nº 2 de Hatch y Brown que han servido de base a los criterios anteriores (1 y 2, respectivamente).

Cantidad de polvo en el ambiente: Lo anterior conlleva a variar un poco el criterio de que a mayor cantidad de polvo en el ambiente, mayor será el riesgo. Vemos que el polvo deberá tener tamaños adecuados, su composición debe ser bien estudiada y definir el material extraño presente que pueda aumentar o inhibir la silicosis.

La manera de expresar estas concentraciones en el aire, y que dependen del método empleado para su evaluación, es la siguiente:

a) Coniometría:

Partículas por litro de aire-ppl.
Partículas por pie cúbico de aire-ppp³.
Partículas por metro cúbico de aire-ppm³.

b) Gravimetría:

Milígramos de polvo por metro cúbico de aire, mg/m³.

Tiempo de exposición y Límites permisibles

El tiempo de exposición en ambientes de trabajo con sílice libre cristalizada, depende de la concentración de este compuesto y es por esto que las "Concentraciones Ambientales Máximas Permisibles (CAMP) están dadas en nuestro país para labores de 8 horas al día y 48 horas semanales. En este caso el trabajador puede tener sobreexposición siempre que se compensen con exposiciones menores y se obtenga un promedio ponderado en el tiempo, igual o bajo la CAMP.

Influyen otras variables, tales como los compuestos que acompañan la sílice, jornadas seguidas de más de ocho horas, número de respiraciones según intensidad del trabajo, etc.

Lo anterior lleva a estudiar ocupaciones por separado y así pronosticar una CAMP, para determinados trabajos, con la expectativa de no encontrar silicóticos en un período de 25 a 30 o más años de trabajo.

En Chile se usan los siguientes valores límites para 48 horas semanales y que deben ser corregidos por ubicación de la faena en altura, según lo indica el Decreto 19 del 14 de enero de 1976 (Diario Oficial del 18 de marzo de 1976):

Método Coniometría:

$$\text{CAMP} = \frac{8.500.000}{\% \text{ Cuarzo} + 10} = \text{ppl.}$$

Métodos de determinación gravimétrica:
Polvo respirable:

$$\text{CAMP} = \frac{8}{\% \text{ Cuarzo respirable} + 2} = \text{mg/m}^3$$

Esta fórmula sigue el criterio de la Conferencia Americana de Higienistas Gubernamentales.

Polvo total:

$$\text{CAMP} = \frac{24}{\% \text{ Cuarzo} + 3} = \text{mg/m}^3$$

La fórmula más restrictiva y propuesta por NIOSH es concentración promedio ponderada en el tiempo de 50 microgramos/m³ de sílice libre cristalizada respirable.

En la experiencia nacional se han visto tiempos muy variables para contraer una silicosis y por falta de seguimientos adecuados no podemos indicar un tiempo promedio con su máximo y mínimo, situación que ha sido analizada en otros países.

ASBESTOS

Al hablar de Silicosis vimos que el interés está en determinar partículas. En cambio aquí interesan las fibras, cuando se trata de asbestos.

En este caso deben considerarse las fibras, con recolección total de este aerosol, pero el recuento (coniometría) debe hacerse en microscopio con contraste de fase y entre 400 a 450 aumentos. Las fibras que deben contarse son aquellas mayores de 5 micrones y su razón entre largo y diámetro debe ser 3 : 1; algunos investigadores consideran como fibras a las que tienen una razón 5 : 1.

En cuanto a largo de fibras es ya difícil encontrar más de 100 micrones. El filtro de recolección debe ser AA (éster de celulosa) de 0,8 micrones y el equipo una bomba de succión adecuada.

Los usos del asbesto están representados por cerca de 1.000 aplicaciones diversas, siendo las más importantes los tubos cemento-asbesto, techos, estanques, cortinas no combustibles, adornos de teatros y edificios, ropas protectoras al calor, aislantes térmicos, carga de plástico, frenos de vehículos, etc.

La CAMP para asbestos de cualquier tipo, está dada en nuestro país del siguiente modo:

Se aceptan 5 fibras por milímetro de aire, de largo mayor de 5 micrones, contadas en microscopio de contraste de fase con 400 a 450 aumentos (5 fibras/ml. mayor de 5u).

TIPOS DE ASBESTOS

El considerar a todos los tipos de asbesto iguales no es correcto, debido a que varios de ellos originan sólo la asbestosis (Amianto, Crisotilo, Amosita, Antofilita, etc.); otros pueden provocar afecciones diversas, como cáncer pulmonar, que es el caso de crocidolita.

NEUMOCONIOSIS POR CARBÓN

En el campo de la ingeniería se ha buscado la mejor forma de distinguir entre di-

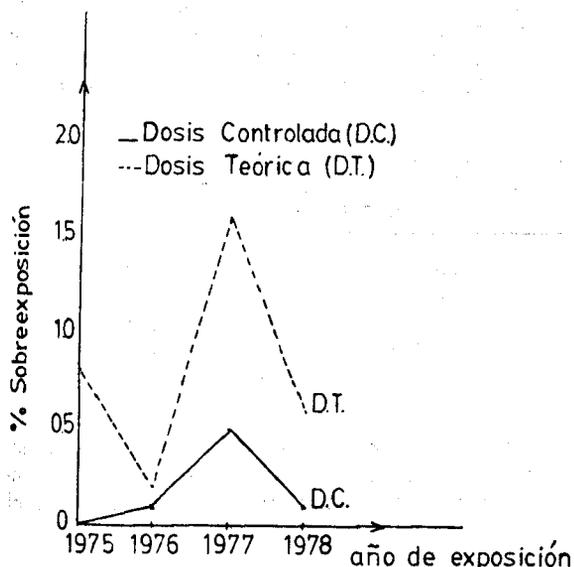


Fig N° 1: porcentaje de sobreexposición a rad. ionizantes según: dosis controlada, dosis teórica y año de exposición. Area metropolitana-Chile, 1975-1978

versos tipos de carbones y la cuantificación ambiental, todo esto sugerido por investigaciones de ambas disciplinas.

El personal dedicado a sanear el ambiente de trabajo, debe tener en cuenta que el interés se centra en el tamaño de partículas de significación respiratoria, en la forma que se indicó para la sílice libre cristalizada.

Los lugares de mayor riesgo están representados por la industria extractiva del carbón, en los que no es extraño encontrar también cuarzo y silicatos. Otro tipo de carbón es el grafito.

Los usos y aplicaciones del carbón están representados en varias industrias tales como la de electricidad, lápices, calderas, etc., que son de menos riesgo que la minería.

Las CAMP recomendadas por el Reino Unido, después de casi 20 años de estudio y seguimientos de trabajadores, es mantener una concentración menor o igual a 8 mg/m³ de carbón respirable y 3 mg/m³ de carbón con presencia de roca madre: el instrumento recomendado es un separador (elutriador) Casella, que funciona durante la jornada completa y muestrea el aire de retorno de las galerías en trabajo.

En Chile se estima una CAMP de 2 mg/m³ de carbón bituminoso con menos de 5% de cuarzo y una de 420.000 ppl. para grafito natural.

Las mejores experiencias en este campo son las presentadas por el Reino Unido y Alemania Federal.

El muestreo ambiental con el equipo Casella desplaza a los equipos de muestreo personal. El primero sirve para comparar con los CAMP, y los segundos dan la dosis recibida por cada individuo, situación que no hemos encarado por la imposibilidad del buen y cuidadoso uso de estos equipos. Algunos países ya indican engaño por parte de los trabajadores, pues ellos contaminan el equipo de muestreo exponiéndolo a polvo.

ALGODÓN

Los criterios sobre Bosisis más relevantes indican que se ha experimentado un cambio definido; se dejan aparte las fibras de algodón (celulósicas) y se captan partículas (proteicas) por el sistema gravimétrico. Se pone atención a las partículas prove-

nientes de brácteas, hojas, tallos, etc., que no se hacen presente en la recolección del algodón, sino en los procesos industriales (abridoras, picadoras, molienda, cardado. Desaparece ya el problema en los procesos siguientes).

Tamaños de partículas: Interesan los tamaños de significación respiratoria que llegan a los alvéolos; sus tamaños aerodinámicos cubren todo el rango hasta 15 micrones máximo. Hay, eso sí, varios criterios en cuanto al corte superior; se recomienda adoptar uno cualquiera y hacer el seguimiento futuro.

Equipos de muestreo: Dentro de los diversos equipos parece ser el más recomendable el diseñado por Lumsden y Lynch, que consiste en una entrada cónica con abertura de 1 1/6" de diámetro y el cono tiene una altura de 10" seguido de un cilindro de 6" de diámetro y altura de 14", terminando en otro cono que lleva el filtro recolector, todo accionado por una bomba de vacío con un rotámetro de control (Fig. 1 y Ref. N° 7).

Es interesante este tipo de separador vertical, ya que en su entrada permite una velocidad de 7,4 lpm venciendo las corrientes externas que tienen un promedio de 1,5 lpm.; esta solución fue causa de controversias. La porción cilíndrica es la que separa el polvo de interés; en su interior ocurre una

velocidad promedio de 0,667 cm/seg. En teoría no deberían pasar al filtro las partículas mayores de 14,8 micrones; en realidad hay una distribución parabólica de velocidades correspondientes a anillos de flujo que dan las siguientes separaciones para diámetros aerodinámicos equivalentes:

Anillo	Porcentaje de flujo	Diámetro máx. de partículas que llegan al filtro
0 — 0,2	7,8	20,9 (poca cantidad en el aire)
0,2 — 0,4	21,4	20,0 (poca cantidad en el aire)
0,4 — 0,6	29,4	18,2 (poca cantidad en el aire)
0,6 — 0,8	28,0	15,0 (éstas están en el aire)
0,8 — 1,0	13,4	9,2 (éstas están en el aire)

Se recomienda tomar al menos 5 muestras en cada punto a investigar.

En el Reino Unido se usan 2 equipos; uno sigue el criterio de Johannesburg y el otro separa fibras o hilachas del polvo fino y medio; por simple resta se tiene el valor del polvo fino y del tamaño medio.

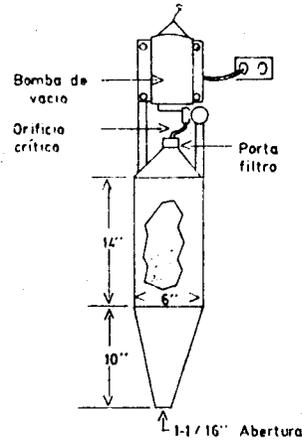
Con el primer tipo de muestreo (elutriador vertical L y L) se han analizado los diámetros proyectados de las partículas en el filtro.

Diámetro proyectado de polvo recolectado en micrones:

% en intervalo según tamaño	0-1	1-2	2-3	3-7	7-15	15
	45,8	23,6	17,2	7,4	3,9	2

FIGURA 1

Muestrador vertical separador de polvo de algodón



Fuente: Lynch, J.R.: Air sampling for cotton dust (Ref N° 7)

CAMP: El Decreto 19 da valores de 0,1 mgr/m³ para polvo respirable, pero es necesario tomar en cuenta que el aire limpio de retorno en las industrias de EE. UU. oscila entre 0,15 y 0,20 mgr/m³ de polvo, no

indicándose en este trabajo si el valor es para polvo total o respirable. Finalmente indicaremos que no se recomienda la conio-metría en estas evaluaciones.

BIBLIOGRAFIA

- 1.— HATCH, THEODORE.— Respiratory Dust Retention and Elimination Proceeding of the Pneumoconiosis Conference. Johannesburg, 1959, pp. 113032. Edited by A. J. Orentsins.
- 2.— J. H. BROWN, K. M. COOK, F. G. NEY and T. HATCH.— Influence of Particle Size upon the Retention of Particulate Matter in the Human Lung; American Journal of Public Health, Vol. 40, April 1950.
- 3.— L. DAUTREBANDE, H. BECKMANN and W. WALKENHORAT.— Studies on Deposition of Submicronic Dust Particles in the Respiratory Tract., A. M. A. Archives of Industrial Health. April 1959, Vol. 19, pp. 383-391.
- 4.— C. NAGELSCHIMDT.— The Study of Lung Dust in Pneumoconiosis, American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 26, Pages 1-7. January-February 1965.
- 5.— INSTITUTO DE HIGIENE DEL TRABAJO Y CONTAMINACION ATMOSFERICA.— Apuntes de Riesgos Químicos. 1974.
- 6.— EINBRODT, H. J.; KLOSTERKOTTER, W. und METZE, H.— "Vergleichende Untersuchungen über die Korngrößen retinierter Stäube in den Lungen von Mensch und Tier" Beitr. Silikoseforsch., S-Bd Grundfragen Silikoseforsch. 6: 491-195, 1965.
- 7.— U. S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION and WELFARE.— Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard, Occupational Exposure to Cotton Dust. U.S.A., 1974, Hew Publication (NIOSH) 75-118.