

# EXPOSICIÓN AL CONTAMINANTE SILICE LIBRE: ALGUNAS CORRELACIONES

Ing. Amado Yataco Medina <sup>1</sup>

*Los mineros que trabajan a gran altitud requieren mayor ventilación pulmonar de la que requerirían a nivel del mar. De ahí que, en un tiempo dado, penetra en sus pulmones mayor número de partículas de polvo y, por consiguiente, la silicosis puede desarrollarse en ellos en menos tiempo del considerado como normal.*

Tomando como base estudios efectuados de 1956 a 1965 en diferentes centros mineros del país por el Instituto de Salud Ocupacional, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social del Perú, el presente trabajo tiene como objeto señalar ciertas tendencias o correlaciones existentes entre los factores considerados como determinantes principales de la silicosis: concentración de polvo ambiental, contenido de sílice libre, tiempo de exposición y, como factor resultante, índice de prevalencia de la silicosis.

Se escogieron 50 minas, con las que se creyó tener una muestra representativa; en ellas trabaja un total de 26,985 hombres, distribuidos según se indica en el cuadro 1. Asimismo, se tomó un promedio de 87 muestras de polvo por mina, cuya distribución se ofrece en el mismo cuadro.

Puede observarse que existe cierta relación entre la población de las diferentes ocupaciones y la distribución de las muestras por ocupación; puede también observarse que las operaciones de perforador, palero y enmaderador presentan un mayor número de muestras por ser las ocupaciones que presentan más variantes. En cambio, las de triturador y preparador de muestras presentan menor número debido a que la producción de polvo

en estas operaciones no varía fundamentalmente durante el trabajo.

Se puede afirmar que se han considerado no sólo las ocupaciones que requieren mayor personal, sino también las más expuestas a la contaminación por polvo.

El número de minas consideradas por año guarda proporción con el número total de estudios llevados a cabo cada año. Se debe mencionar que el 94% de las minas se hallan a una altitud comprendida entre los 3,500 y 5,000 metros sobre el nivel del mar. En cuanto al aspecto médico, los 50 estudios tomados como base incluyen 20,285 trabajadores examinados.

Para mejor explicar el tema se ha intro-

CUADRO 1—Distribución de la población trabajadora y del total de muestras tomadas en 50 minas del Perú, 1956-1965.

Ocupación	Porcentaje de la población total	Porcentaje del total de muestras tomadas
Perforadores . . . . .	27	21
Paleros . . . . .	15	15
Carreteros . . . . .	10	7
Enmaderadores . . . . .	7	8
Trituradores . . . . .	2	6
Preparadores de muestras . . . . .	1	3
Otras ocupaciones . . . . .	38	40
Total . . . . .	100	100

<sup>1</sup> Ingeniero Asistente del Departamento de Seguridad y Riesgos Físicos, Instituto de Salud Ocupacional, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Lima, Perú.

ducido un término que expresa en uno solo la combinación de los factores *concentración de polvo (C)* y *contenido de sílice libre (% SiO<sub>2</sub>)* y que se denomina *índice de potencialidad silicógena (IPS)* o simplemente *potencialidad*. La fórmula dada por la Conferencia Americana de Higiene Industrial en su 23a Reunión Anual de 1962, para determinar los límites máximos permisibles de polvo con contenido de sílice libre, es:

$$\text{LMP} = \frac{250}{\% \text{ SiO}_2 + 5} \text{ en mpppca}^2$$

Esto significa que el producto  $C \times (\% \text{ SiO}_2 + 5)$  debe ser menos de 250 (límite permisible). Un ejemplo servirá para aclarar los conceptos.

Si una ocupación minera se encuentra expuesta a una concentración de polvo de 10.0 mpppca con un contenido de sílice libre de 25%, se dirá que el IPS, o potencialidad, es:

$$10.0 \times (25 + 5) = 10.0 \times 30 = 300$$

Es decir, la potencialidad está por encima del límite permisible.

De los factores considerados como determinantes de la silicosis, el IPS se ocupa de la concentración de polvo en el ambiente, del contenido de sílice libre e, intrínsecamente, del tamaño de las partículas. Así, contando solamente con el IPS se puede buscar una relación entre la potencialidad silicógena de un polvo y el tiempo para contraer silicosis. Esto es, cualquier relación que se haga entre la concentración de polvo solamente y el tiempo de exposición, para determinar la relación mencionada, sólo podría justificarse tratándose de una sola mina.

Más aún, por medio del IPS se comparan los grados de exposición de diferentes minas, ya que esta comparación no podría hacerse considerando aisladamente la concentración de polvo o el contenido de sílice libre.

### Correlación entre el índice de potencialidad silicógena y el índice de prevalencia de silicosis

Si existe una relación o tendencia entre las evaluaciones de ingeniería y los hallazgos médicos, esta se representa en las figuras 1 y 2. Como puede observarse, a mayor índice de potencialidad silicógena, mayor prevalencia de silicosis; sin embargo, la relación parece no ser lineal sino parabólica. Siguiendo esta tendencia, para obtener una relación en forma empírica, se ubicaron los puntos determinados por las potencialidades promedios de las principales ocupaciones mineras (perforadores, paleros, carreteros, enmaderadores, trituradores y preparadores de muestras) y los índices de prevalencia correspondientes a cada mina, primcramente sobre un papel logarítmico en donde ya se observa la forma parabólica de la tendencia, y luego se trazó la curva gobernante en el papel aritmético. Se puede decir que esta relación tiene la siguiente expresión:

$$Y = 30.8 X^{1.43}$$

Y = índice de potencialidad silicógena (aspecto de ingeniería)

X = índice de prevalencia de silicosis (aspecto médico).

Sin embargo, esta curva es simplemente la expresión de una tendencia, y no una cuestión precisa que indique, por ejemplo, una prevalencia determinada para una potencialidad dada en forma exacta.

### Correlación entre el índice de potencialidad silicógena y el factor tiempo de exposición

Con los datos que se posee sería imposible determinar el tiempo en que un obrero contrae silicosis; sin embargo, haciendo una combinación de tiempos, se ha podido llegar a una tendencia.

Para ello se consideró el factor tiempo tomando el tiempo promedio de trabajo de los obreros que no contrajeron silicosis y el tiempo promedio de trabajo de los obreros con silicosis de primer grado. Es de esperar

<sup>2</sup> Millones de partículas por pie cúbico de aire.

FIGURA 1—Relación lineal entre el IPS promedio y el índice de prevalencia de silicosis, 1956-1965.

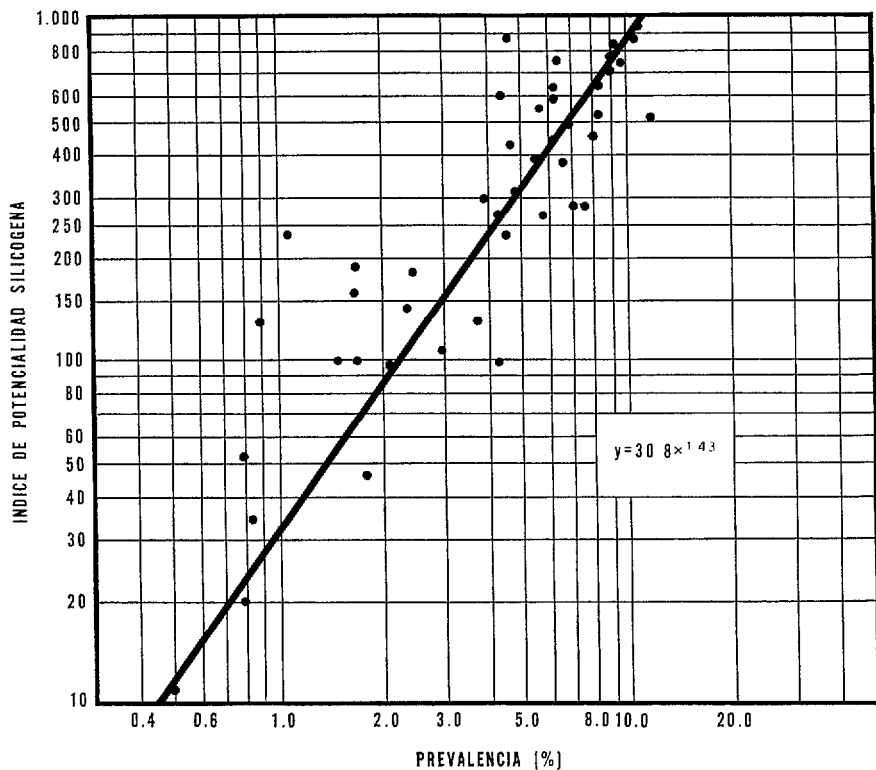
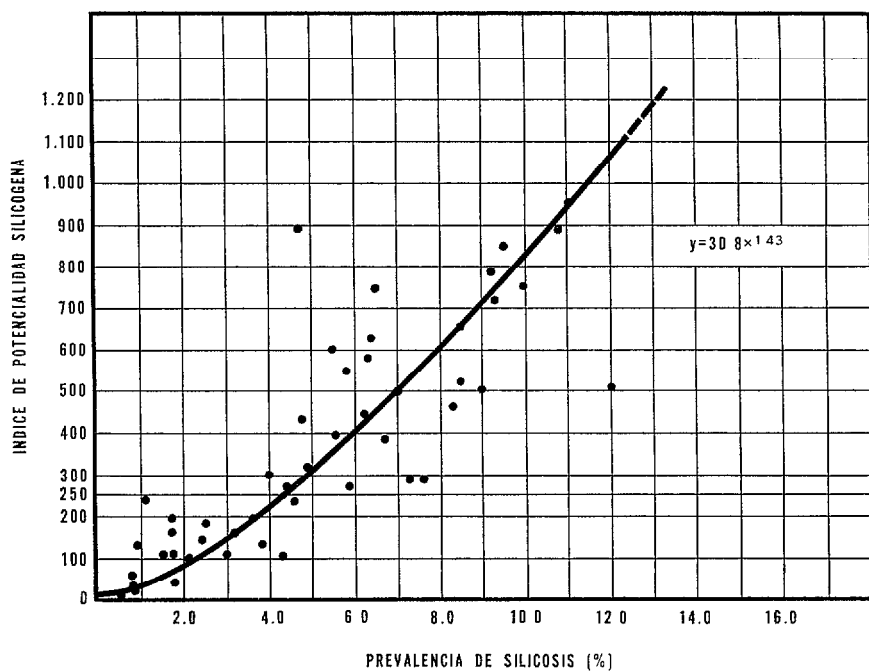


FIGURA 2—Relación parabólica entre el IPS promedio y el índice de prevalencia de silicosis, 1956-1965.



que el tiempo durante el cual el obrero contrae silicosis, se encuentre en un punto intermedio entre estos dos tiempos.

El otro factor, índice de potencialidad silicígena, se calculó entre las ocupaciones de los obreros silicóticos.

En estas condiciones se recurrió a una gráfica logarítmica (figura 3) ya que se esperaba una forma hiperbólica de la tendencia, lo cual quedó confirmado. En cuanto al modo de trazar una curva, se desechó la idea de unir los puntos medios, pues si la tendencia era hiperbólica era probable que la curva gobernante tuviera la forma hiperbólica; en consecuencia, lo razonable era trazar una línea que cortase todas las horizontales o por lo menos el mayor número de ellas. La línea es la que se presenta en la misma figura, y corta a más del 90% de las horizontales.

Hecho esto, los resultados se transfirieron al papel aritmético y se obtuvo la gráfica (figura 4) en la que ya se observa la forma hiperbólica de esta relación. La curva tiene por ecuación:

$$Y X^{3.60} = 387,000$$

Y=índice de potencialidad silicígena

X=tiempo de exposición, en años

Sin embargo, una curva un tanto "más segura", si se quiere, es la que aparece en líneas punteadas y cuya ecuación es:

$$Y X^2 = 10,000$$

Como en el caso anterior, estas ecuaciones no pueden tomarse como una relación exacta sino simplemente como una tendencia.

Es de notar, sin embargo, que aun por debajo del índice de potencialidad silicígena

FIGURA 3—Gráfica logarítmica de la relación entre el IPS promedio y el tiempo de exposición necesario para contraer silicosis, 1956-1965.

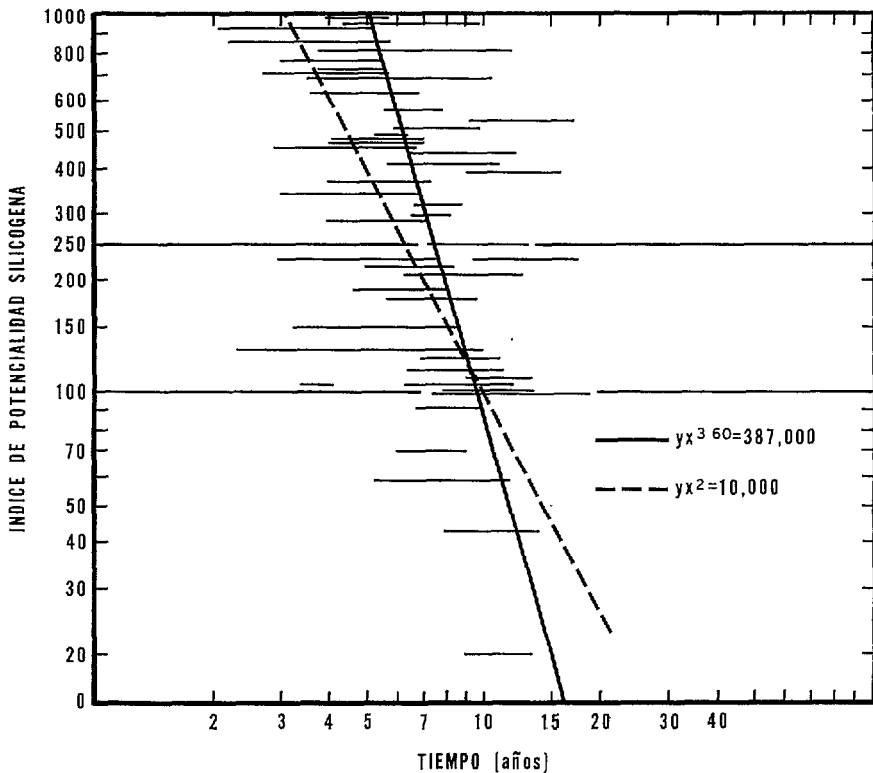
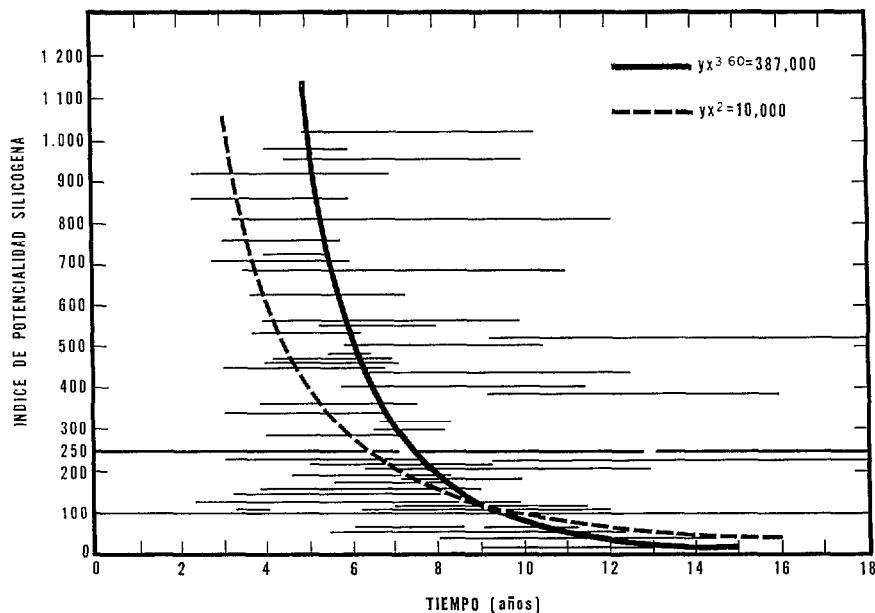


FIGURA 4—Hiperbolas que muestran la relación entre el IPS promedio y el tiempo de exposición necesario para contraer silicosis, 1956-1965.



máximo “sugerido” por la Conferencia Americana de Higiene Industrial, se han producido casos de silicosis. La siguiente distribución de valores del IPS entre los casos de silicosis lo comprueba.

Casos entre 0 y 100 de IPS: 10%

Casos entre 100 y 250 de IPS: 30%

Casos para valores mayores de 250: 60%

Esto significa que el 90% de los casos de silicosis está por encima de un IPS de 100, y parece ser el valor límite, puesto que el 10% restante se puede descartar por tratarse de prevalencias bajas como lo indica la figura 2. Aún más, se trata de minas con población trabajadora muy reducida en donde un solo caso de silicosis afecta fundamentalmente el índice de prevalencia.

**Correlación entre la concentración de polvo ambiental y el contenido de sílice libre para contraer silicosis**

Para establecer esta correlación, se empleó la ecuación señalada por la Conferencia

Americana de Higiene Industrial:

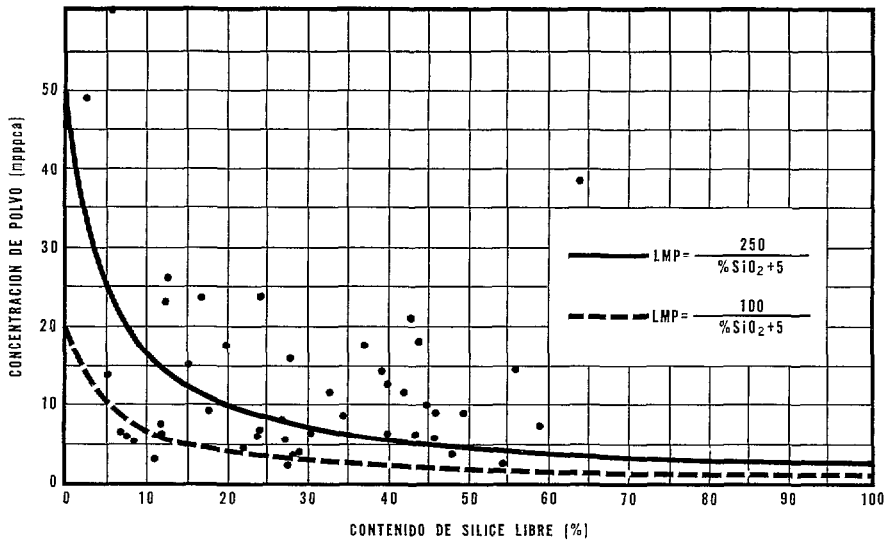
$$LMP = \frac{250}{\% \text{ SiO}_2 + 5}$$

Esta curva ha sido trazada en la figura 5, al igual que los puntos determinados, por las concentraciones promedios de las ocupaciones correspondientes a los trabajadores silicóticos, y los contenidos de sílice libre. Al establecer la comparación entre estos puntos con la curva recomendada, se aprecia que sólo el 60% de ellos cae por encima de dicha curva. Este hecho sugiere que en el caso del Perú, sería necesario emplear una curva “más baja”, que podría ser igual a la que aparece en líneas punteadas, y tiene por ecuación:

$$LMP = \frac{100}{\% \text{ SiO}_2 + 5}$$

Puede observarse que el 90% de los casos caen por encima de esta curva, y el 10% restante, como en el caso anterior, se puede descartar, ya que corresponde a minas con una pequeña población trabajadora.

FIGURA 5—Exposición de los obreros con silicosis al polvo.



Esto significa que existen factores dignos de investigación. De ahí que nuestros mineros y probablemente los de toda la Cordillera de los Andes, aun expuestos a condiciones ambientales “seguras” según la Conferencia Americana de Higiene Industrial, contraen silicosis.

Uno de los factores, tal vez el fundamental, es el relativo a la ventilación pulmonar efectuada en lugares a gran altitud como los Andes; a este respecto, se citan algunos conceptos expresados por el Profesor Alberto Hurtado, del Perú, en uno de sus trabajos sobre neumoconiosis:

“Estadísticas publicadas en Sudáfrica y el Canadá, lugares donde esta enfermedad ha sido ampliamente estudiada, indican que el tiempo de exposición, antes del desarrollo de la enfermedad, fluctúa, en la mayoría de los casos, entre ocho y 15 años. Estas cifras, sin embargo, no pueden aplicarse entre nosotros.

“En una serie de 314 casos, estudiados por nosotros en las zonas mineras del Centro (andinas), el tiempo de trabajo anterior al diagnóstico de la enfermedad fue menor a cinco años en un 16% y fluctuó entre cinco y 10 años en un 56%. Es decir, que aproxi-

madamente dos de cada tres casos desarrollaron la enfermedad en un tiempo menor a aquel señalado como necesario para causarla en otros lugares. La razón de esta peculiaridad, en nuestros casos de grave importancia sanitaria, está relacionada, posiblemente, con factores ambientales. La mayoría de las minas de donde proceden los casos de silicosis en el Perú están situadas a varios miles de metros sobre el nivel del mar; en estas condiciones toda actividad física requiere, como proceso compensatorio, una mayor ventilación pulmonar que al nivel del mar, y por consiguiente, en un tiempo dado, mayor número de partículas de polvo penetran en los pulmones de un individuo en la altura, comparado con otro que al nivel del mar efectúa idéntica actividad y en lugar igualmente contaminado”.

Como puede apreciarse, esta cita representa la parte cualitativa del problema. Por otro lado, para llegar al aspecto cuantitativo, es menester referirse a los hallazgos del Dr. Carlos Valencia sobre experimentos efectuados en 219 mineros andinos que laboraban a una altitud superior a 4,000 metros, lo cual es muy común en el Perú. Luego se comparan sus resultados con los correspondientes a

CUADRO 2—Resultados de una encuesta hecha entre mineros que trabajaban a 4,000 metros de altura y otros que trabajaban al nivel del mar.

Edad	Lugar de origen	Lugar de examen	Frecuencia respiratoria	Ventilación pulmonar (pies <sup>3</sup> /min)	Comparación (%)
16-34	costa	costa	16.0	0.28	100
16-34	altura	altura	17.2	0.63	223
35-49	costa	costa	17.0	0.30	100
35-49	altura	altura	16.8	0.62	205
50-69	costa	costa	18.0	0.32	100
50-69	altura	altura	16.1	0.64	200

sus similares costeños como puede observarse en el cuadro 2.

Esto demuestra que los mineros andinos desarrollan una ventilación pulmonar dos veces mayor que la correspondiente a los costeños.

Calcúlese ahora, a partir de lo expresado por el Profesor Hurtado y los hallazgos del Dr. Valencia, cuál sería la ecuación que determinaría la concentración máxima permisible, aplicable a los trabajadores andinos.

Para los trabajadores costeños la ecuación es:

$$C_c = \frac{250}{\% \text{ SiO}_2 + 5}$$

en la que  $C_c$  es la concentración máxima aplicable a este grupo de trabajadores. Por otro lado, considérese como  $Q_c$  (en pies<sup>3</sup>/min) la cantidad de aire inhalado por ellos; entonces la cantidad máxima de partículas que los mismos deben inhalar sería  $N = C_c \times Q_c$  millones/min. Esta sería la cantidad máxima de partículas, mientras no se demuestren otros valores, que puede inhalar cualquier trabajador sea de la costa o de los Andes. En consecuencia se tendría que  $N = C_a \times Q_a$ , siendo  $C_a$  y  $Q_a$ , respectivamente, la concentración máxima aplicable a los trabajadores andinos y el flujo de aire inhalado por los mismos. Por otro lado, según el Dr. Valencia, en promedio se tiene que  $Q_a = 2.1 Q_c$ ; entonces se tendría:

$$C_c \times Q_c = C_a \times 2.1 Q_c \text{ es decir:}$$

$$C_a = C_c / 2.1;$$

reemplazando en la ecuación general, se tiene finalmente:

$$C_a = \frac{119}{\% \text{ SiO}_2 + 5}$$

valor que es bastante próximo al determinado a partir de las evaluaciones efectuadas por el Instituto de Salud Ocupacional del Perú.

### Conclusiones

De los hechos expuestos en el presente trabajo se sacan las siguientes conclusiones:

- Las 50 minas encuestadas son una muestra representativa de la década 1956-1965.

- El índice de potencialidad silicógena (IPS) o "potencialidad" es un factor que representa con más propiedad la exposición al polvo que contiene sílice libre.

- La ventilación pulmonar correspondiente a los mineros andinos es dos veces mayor que la de sus similares costeños.

- Es evidente que la potencialidad máxima permisible para el caso del Perú, es inferior a la sugerida por la Conferencia Americana de Higiene Industrial. El valor límite tentativo podría ser 100.

- Una ecuación matemática que podría expresar la relación entre los principales factores determinantes de la silicosis en el Perú es  $C \times (\% \text{ SiO}_2 + 5) t^2 = 10,000$  en la que  $C$  es la concentración de polvo ambiental en mppcca,  $\% \text{ SiO}_2$  es el contenido de

sílice libre, y  $t$  el tiempo de exposición para contraer silicosis, en años.

### Resumen

Tomando como base estudios efectuados de 1956 a 1965 por el Instituto de Salud Ocupacional, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social del Perú, en distintos centros mineros, se seleccionaron 50 minas que empleaban un total de 26,985 hombres de distintas ocupaciones para establecer las correlaciones entre: a) el índice de potencialidad silicógena y el índice de prevalencia de silicosis; b) el índice de potencialidad silicógena y el factor tiempo de exposición y c) la concentración de polvo ambiental y el contenido de sílice libre para contraer silicosis.

El índice de potencialidad silicógena o "potencialidad" es un término que repre-

senta con más propiedad la combinación de los factores concentración de polvo y contenido de sílice libre, y la Conferencia Americana de Higiene Industrial sugirió en 1962 una fórmula como medio de determinar el límite máximo permisible en millones de partículas por pie cúbico de aire.

Se observó que existe una tendencia de relación directa entre el índice de potencialidad silicógena y el de prevalencia de silicosis. Aunque con los datos disponibles no se pudo determinar el tiempo de exposición con relación al índice de potencialidad silicógena, se pudo llegar a una tendencia.

Se concluyó que la ventilación pulmonar correspondiente a los mineros andinos es dos veces mayor que la de sus similares costeros, por lo que es evidente que la potencialidad máxima permisible en el caso del Perú es inferior a la sugerida por la mencionada Conferencia. □

### BIBLIOGRAFIA

Alberto Hurtado. "Estimación de la incapacidad causada por la neumoconiosis". *An Fac Med Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. 27(1): pág. 1.  
Carlos Valencia. "Ventilación pulmonar en mineros

de altura". *Rev Salud Ocupacional* 7(2): pág. 23 1962.

Instituto de Salud Ocupacional, Informes de 50 estudios evaluativos efectuados durante 1956-1965.

### Exposure to Free Silicon: Some Ratios (Summary)

On the basis of studies performed during the period 1956-1965 by the Institute of Occupational Health, of the Ministry of Public Health and Social Welfare of Peru, a selection was made, among various mining centers, of 50 mines employing a total of 26,985 men engaged in different tasks, in order to establish the ratio between: a) the silicogenic potential index and the index of prevalence of silicosis; b) the silicogenic potential index and the exposure time factor; and c) the concentration of environmental dust and the free silicon content as a cause of silicosis.

The silicogenic potential index, or, simply, "potential," signifies, more appropriately, the combination of the factors of dust concentration and free silicon. In 1962, the American Industrial Hygiene Conference recommended

a formula for determining the maximum tolerable limit in terms of millions of particles per cubic foot of air.

The existence of a trend toward establishing a direct ratio between the silicogenic potential index and the prevalence of silicosis was noted. Although, on the basis of available data, it was not possible to establish the exposure time in relation to the silicogenic potential index, it was possible to determine a trend.

It was concluded that the pulmonary ventilation of miners in the Andes region is twice that of their coastal counterparts. Consequently, it is evident that, in the case of Peru, the maximum tolerable potential is lower than that recommended by the afore-mentioned Conference.



### Exposição ao Silício Livre: Algumas Correlações (Resumo)

Estudos efetuados de 1956 a 1965 pelo Instituto de Saúde Ocupacional do Ministério de Saúde Pública e Assistência Social do Peru, em distintos centros de mineração, serviram de base à seleção de 50 minas que empregavam um total de 26,985 homens de distintas ocupações, a fim de estabelecer correlações entre a) o índice de potencialidade silicógena e o índice de prevalência de silicose, b) o índice de potencialidade silicógena e o fator tempo de exposição e c) a concentração de pó no ambiente e o teor de silício livre na incidência da silicose.

“Índice de potencialidade silicógena” ou “potencialidade” expressa com mais propriedade a combinação dos fatores “concentração de pó” e “teor de silício livre”. Em 1962, a

Conferência Americana de Higiene Industrial apresentou uma fórmula para determinar, em milhões de partículas por pé cúbico de ar, o limite máximo permissível dessa poluição.

As observações indicaram haver relação direta entre o índice de potencialidade silicógena e o de prevalência da silicose. Os dados disponíveis permitiram determinar apenas certa tendência quanto ao tempo de exposição em relação com o índice de potencialidade silicógena.

Verificou-se que a ventilação pulmonar dos mineiros na região andina é duas vezes maior que na região costeira, donde se conclui que a potencialidade máxima permissível no caso do Peru é inferior à que referida Conferência sugeriu.

### Exposition au silice libre: quelques corrélations (Résumé)

En prenant comme base les études effectuées entre 1956 et 1965 par l'Institut des maladies professionnelles du Ministère de la santé publique et de l'assistance sociale du Pérou dans différents centres miniers, on a choisi 50 mines employant un total de 26,985 hommes d'occupations différentes pour établir les corrélations entre: a) l'indice de potentialité silicogène et l'indice de fréquence de la silicose; b) l'indice de potentialité silicogène et la facteur temps d'exposition; et c) la concentration de la poussière ambiante et la teneur en silice libre qui prédispose à la silicose.

L'indice de potentialité silicogène ou “potentialité” est un terme qui représente plus exactement la combinaison des facteurs de concentration de poussière et la teneur en silice libre, et la Conférence américaine d'hygiène

industrielle a recommandé en 1962 une formule permettant de déterminer la limite maximum tolérable en millions de particules par pied cubique d'air.

On a constaté une certaine relation directe entre l'indice de potentialité silicogène et la fréquence de la silicose. Bien que les données disponibles ne permettent pas de déterminer le temps d'exposition par rapport à l'indice de potentialité silicogène, on a pu noter une certaines tendance.

L'auteur conclut que la ventilation pulmonaire chez les mineurs andins est deux fois plus forte que chez leurs homologues qui vivent sur la côte parce qu'il est évident que la potentialité maximum tolérable dans le cas du Pérou est inférieure à celle qui a été suggérée par la Conférence mentionnée plus haut.