



Artículos técnicos

PARÁMETROS PARA SELECCIONAR EQUIPOS DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA. EL FACTOR DE PROTECCIÓN NOMINAL Y EL FACTOR DE AJUSTE. DIFERENCIAS

Santos Huertas

Director de Área de Innovación e Investigación
Dirección de Prevención de Asepeyo

David Reyes Mesa

Asesor técnico
Dirección de Prevención de Asepeyo

Los “Artículos técnicos” son documentos centrados monográficamente en un asunto o aspecto de la prevención, sobre el cual se versan comentarios, observaciones y apuntes al objeto de ayudar a clarificar su contenido y orientar a la acción.

Muchos trabajadores están expuestos a agentes químicos peligrosos que requieren una protección adicional para eliminar o minimizar dicha exposición. En este documento nos centraremos en los principales parámetros que se utilizan para seleccionar equipos de protección respiratoria (EPR) que proporcionen un grado aceptable de protección para una sustancia química a una concentración determinada. Se hará especial hincapié en sus características y ventajas e inconvenientes. Además se indicarán las diferencias entre el factor de protección nominal y el factor de ajuste.

1. ¿Qué parámetros definen la eficacia de un EPR?

Los parámetros que, entre otros, nos van a indicar su eficacia son:

Nota: para simplificar utilizaremos ejemplos de mascarillas autofiltrantes en la mayoría de los casos.

Fuga total hacia el interior (del EPR) o Total Inward Leakage (TIL)

Se define como la fuga del aire ambiental hacia el interior del adaptador facial/EPR proveniente del ajuste con la cara, por el filtro o, si existe, por la válvula de exhalación, cuando se mide en el laboratorio y en una atmósfera de ensayo específica.

Se calcula dividiendo la concentración de partículas que pasan al interior de la mascarilla (C_{int}) por cualquiera de las fuentes de fuga antes descritas, por la concentración ambiental (C_{ext}). Este valor está entre $0 < TIL < 1$.



También se puede expresar en su forma porcentual, y se conoce como fuga total permitida (PIL) y es el % máximo de contaminante que pasa a la zona de respiración dentro de la mascarilla, según normas, cuando se mide en el laboratorio en atmósferas específicas de ensayo, e indica la eficacia de la mascarilla (capacidad para reducir la concentración de contaminante en el interior de la mascarilla).

Cualquier equipo que debe cumplir con las normas europeas debe estar diseñado para que la fuga esté por debajo de la máxima fuga hacia el interior especificada en la norma para una determinada clase de EPR.

Por ejemplo, para mascarillas autofiltrantes, el % de fuga (PIL) es el siguiente (EN 149): (Tabla 1):

Clase de protección	% Fuga
FFP1	22
FFP2	8
FFP3	2

Factor de protección nominal (FPN)

Es un parámetro útil para la selección de los EPR pero hay que utilizarlo con cuidado, ya que se interpreta de diferentes formas que pueden llevar a confusión y a una selección incorrecta.

El FPN se calcula como la relación existente entre la concentración de contaminante en el aire ambiental y la concentración en el aire inhalado por el usuario en el interior de la mascarilla. Pero en la práctica se calcula a partir de los valores máximos de fuga total permitida hacia el interior establecidos por normas para una determinada clase de EPR. Cuanto mayor sea el valor de FPN mayor será la protección de la mascarilla.

$$FPN = \frac{1}{PIL} \times 100 \quad \text{PIL: Fuga total permitida (\%)}$$

Ejemplo: Cálculo del FPN de una mascarillas FFP3:
Fuga total permitida = 2% (ver tabla 1)

$$FPN = \frac{1}{2} \times 100 = 50$$

Nota: Los valores de FPN pueden ser útiles de forma comparativa para seleccionar EPR pero en muchas ocasiones no se puede extrapolar para evaluar la protección real que se alcanza en los puestos de trabajo, ya que representan el nivel de protección proporcionado por un



EPR en condiciones estándar de laboratorio, con un número limitado de personas, no representativos de la mayoría de los trabajadores, que pueden estar formados y familiarizados con los procedimientos de ensayo y que se contempla en norma la posibilidad de retirar a personas que no pasan el ensayo de selección inicial.

Se puede encontrar más información en nuestra guía: "[Selección de equipos de protección respiratoria. Guía de buenas prácticas](#)".

Factor de protección asignado (FPA)

Por todo lo anteriormente descrito y con el fin de usar factores de protección más realistas en los puestos de trabajo, en algunos países se establecen los FPA. Estos valores indican el nivel de protección que proporciona un EPR concreto en el 95% de los casos, en usuarios adecuadamente formados y supervisados utilizando un EPR en buen estado de funcionamiento y ajustado correctamente. Un APF de 10 significa que el tipo de EPR (usado correctamente) se puede utilizar de manera segura en una atmósfera de hasta 10 veces la concentración del valor límite ambiental (VLA).

Nota: Cuando existan los FPA se utilizarán éstos antes que los FPN, por ser más realistas.

Los valores de las mascarillas autofiltrantes utilizados en UK son los indicados en la tabla 2:

Tipo de equipo de protección respiratoria	Clase	FPN	FPA UK
Mascarillas autofiltrantes (EN 149)	FFP1	4	4
	FFP2	12	10
	FFP3	50	20

Además, los valores FPA utilizados por la OSHA pueden ser consultados [aquí](#).

Factor de protección mínimo necesario (FPMN)

Se calcula dividiendo la concentración de contaminante por su valor límite (VLA). Ese es el valor mínimo que debe estar asociado a un determinado EPR. Después buscamos en tablas un EPR con un valor superior al FPMN con un suficiente margen de seguridad.

Del mismo modo se puede calcular la concentración máxima permitida de contaminante utilizando un determinado EPR para una sustancia determinada.

$$\text{FP mínimo} = \frac{\text{CONCENTRACIÓN}}{\text{VLA}}$$

Un FPN de 50 indica que con un EPR determinado se podría trabajar expuesto a una concentración de una sustancia de hasta 50 veces el VLA.

Ejemplo 1:

Calcula el factor de protección necesario para amoníaco, en un puesto de trabajo con una concentración media de 50 ppm. El VLA-ED del amoníaco es 20 ppm.

R: $\text{FP} = 50/20 = 2,5$. En las tablas de EPR contra gases ([pág 5](#)) veríamos que con una mascarilla autofiltrante tipo FFGasX sería suficiente (FPN=50). *Nota: es superior a 2,5 pero con el FP 4 de una mascarilla GasXP1 no tendríamos suficiente margen de seguridad.*



NORMA	DESCRIPCIÓN	CLASE	FPN
EN 149	Mascarilla autofiltrante para partículas	FFP1	4
		FFP2	12
		FFP3	50
EN 405	Mascarilla autofiltrante con válvulas	FFGasX P1	4
	Medias máscaras filtrantes con válvulas	FFGasX	50
		FFGasX P2	12
		FFGasX P3	33

Ejemplo 2:

Calcula la concentración máxima permitida de contaminante (Cl_2) con la que se puede trabajar con filtro B2 y máscara completa. Datos: FPN máscara completa FFGasX (máscara completa + filtro B2): 2000; VLA-EC (cloro) = 0,5 ppm.

NORMA	DESCRIPCIÓN	CLASE	FPN
EN 149	Mascarilla autofiltrante para partículas	FFP1	4
		FFP2	12
		FFP3	50
EN 405	Mascarilla autofiltrante con válvulas	FFGasX P1	4
	Medias máscaras filtrantes con válvulas	FFGasX	50
		FFGasX P2	12
		FFGasX P3	33
EN 140 (máscara)		P1	4
Filtros		P2	12
EN 141*		P3	48
EN 143		FFGasX	50
EN 371*	Medias máscaras y cuartos de	FFGasX P1	4
EN 372*	máscara con filtros	FFGasX P2	12
EN 14387		FFGasX P3	48
EN 12083			
EN 1827	Mascarilla autofiltrante sin válvulas de inhalación	FM P1	4
		FM P2	12
		FM P3	48
		FM GasX	50
		FM GasX P1	4
		FM GasX P2	12
		FM GasX P3	48
EN 136 (máscara)	Máscaras completas	P1	5
Filtros	(todas las clases)	P2	16
EN 141*		P3	1000
EN 143		FFGasX	2000
EN 371*		FFGasX P1	5
EN 372*		FFGasX P2	16
EN 14387		FFGasX P3	1000
EN 12083			

$$R: 2.000 \cdot 0,5 \text{ ppm} = 1.000 \text{ ppm de } Cl_2$$

Concentración máxima de uso (MUC)

Es el límite superior en el que se espera que el equipo de protección respiratoria funcione correctamente. Siempre que las exposiciones se acerquen a este valor límite, se debe seleccionar la siguiente clase superior de EPR.



De existir este límite en el equipo seleccionado, el fabricante debe de indicarlo. Para mezclas multicomponente se calcula de la siguiente manera:

$$MUC = C_1/MUC_1 + C_2/MUC_2 + \dots + C_n/MUC_n$$

Eficacia de filtración o Filtration Efficiency (FE)

Se describe como el cociente entre la diferencia de concentraciones en el exterior (C_{ext}) y el interior de la mascarilla (C_{int}) y la concentración exterior. El rango de este valor es $0 < FE < 1$. Da una idea de la concentración de partículas que no han pasado al interior de la mascarilla.

$$FE = \frac{C_{ext} - C_{int}}{C_{ext}}$$

Factor de Ajuste o Fit Factor (FF)

Es el valor que se obtiene durante una prueba de ajuste cuantitativa (comprobar que una mascarilla esté bien ajustada a la cara del usuario). Se calcula como el cociente entre la concentración de partículas ambiental (C_{ext}) y la concentración en el interior de la mascarilla (C_{int}).

$$FF = \frac{C_{ext}}{C_{int}}$$

Para superar las pruebas de ajuste, el factor de ajuste mínimo requerido para mascarillas y medias máscaras es 100 y para máscaras completas son 500 (procedimiento OSHA 29 CFR 1910.134). Estos valores se establecieron durante el desarrollo de la normativa como estándares, tomando como referencia [10 veces el valor del FPA](#) (en EEUU). Es como un factor de seguridad.

Relación entre FE, FF y TIL

Los términos FE, FF y TIL están relacionados de la siguiente manera:

$$FE = \frac{C_{ext} - C_{int}}{C_{ext}} = 1 - \frac{C_{int}}{C_{ext}} = 1 - \frac{1}{FF} = 1 - TIL$$

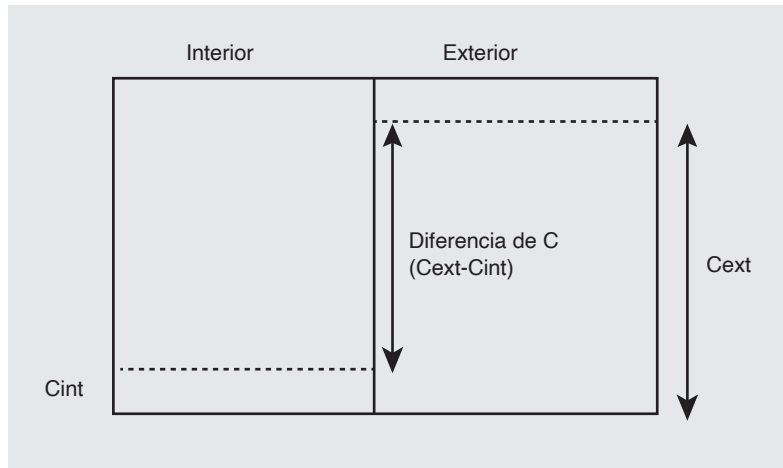
Esto tiene sentido debido a que la suma entre la eficacia de la filtración y la fuga interior ha de ser 1.

$$TIL + FE = 1$$

Debe quedar claro que los tres valores indican de una u otra manera la relación existente entre C_{int} y C_{ext} .

Una vez definidos los 3 términos y cómo están relacionados entre sí, podemos observar que el FF es inversamente proporcional al TIL (fuga total interior). Por lo tanto, contra mayor es la fuga, menor es el factor de ajuste.

La siguiente ilustración indica mejor lo que representa el valor de FE:



Entonces, la Fuga total interior o TIL (C_{int}/C_{ext}) da una idea de la concentración de partículas que han entrado en la mascarilla, mientras que la FE (Eficacia de filtración) dan una idea de la concentración de partículas que no han pasado al interior de la mascarilla..

Nota: si multiplicamos el TIL o el FE · 100 obtenemos el %.

Para acabar de aclarar estos 3 conceptos, se añaden algunos ejemplos de sus cálculos.

En los primeros (Tabla 3) obtenemos los valores de concentración exterior e interior usando el equipo PortaCount. En los segundos (Tabla 4) se realiza una prueba de ajuste cuantitativo (también con el PortaCount).

Tabla 3: Cálculo de FF, FE y TIL a partir de C_{int} y C_{ext}

Obtenemos	Caso nº	
	1	2
C_{ext} (partículas · s / cm ³)	10000	10000
C_{int} (partículas · s / cm ³)	100	1000
Calculamos		
FF (C_{ext}/C_{int})	100	10
FE ($(C_{ext}-C_{int})/C_{ext}$)	0,99	0,9
TIL (C_{int}/C_{ext})	0,01	0,1
Eficacia de filtración (%)	99	90

Tabla 4: Cálculo de TIL y FE a partir del FF

Obtenemos	Caso nº		
	1	2	3
FF	2	8	500
Calculamos			
TIL ($1/FF$)	0,5	0,125	0,002
FE ($1-TIL$)	0,5	0,875	0,998
Fuga total interior (%)	50	12,5	0,2
Eficacia de filtración (%)	50	87,5	99,8



2. ¿Cómo seleccionar el tipo de EPR adecuado para nuestro contaminante?

1. Es necesario conocer los Valores Límite Ambientales (VLA-ED, correspondientes a una jornada de 8 horas o VLA-EC para 15 minutos) de los contaminantes presentes en nuestro lugar de trabajo. Podemos encontrar esta información en [aquí](#).
2. Se deben obtener datos sobre las concentraciones del contaminante en el puesto de trabajo a través de mediciones reales.
3. Con la concentración y el VLA se calcula el Factor de Protección Mínimo Necesario (FPMN). Este valor sirve para seleccionar EPR que otorgue una protección adecuada para cada situación e indica la relación entre la concentración ambiental y la concentración permisible en el interior de la máscara.
4. Seleccionar un equipo de protección respiratoria que ofrezca un FPA o FPN superior al FPMN. Para realizar una correcta selección de este equipo según el trabajo realizado podéis seguir la guía del NIOSH "[NIOSH Respirator Selection Logic](#)".
5. Realizar una prueba de ajuste para comprobar que:
 - a. El equipo seleccionado se adapta correctamente al usuario.
 - b. El usuario sabe ajustarse correctamente el equipo.

Aunque esta metodología es la correcta, analicemos el siguiente ejemplo, donde entenderemos que hay que tener en cuenta más factores, en caso contrario se podría llegar a conclusiones erróneas que puedan poner en riesgo la seguridad de los trabajadores.

Caso de exposición a sílice cristalina respirable

Concentración promedio medida: 0,15 mg/m³.

VLA-ED sílice cristalina respirable: 0,05 mg/m³.

$$FF = \frac{0,15 \text{ mg / m}^3}{0,05 \text{ mg / m}^3} = 3$$

Necesitamos un FPN superior a 3.

Según este ejemplo con una mascarilla autofiltrante FFP1 sería suficiente (FPN 4). Pero recordamos que la mascarilla FFP1 tiene una fuga máxima del 22% (ver tablas). Por lo tanto, el trabajador que utilizase esta mascarilla estaría respirando una concentración de 0,15 mg/m³·0,22= 0,033 mg/m³ de sílice cristalina.

Un trabajador no debe estar expuesto a esos valores de concentración de un agente cancerígeno y que además, causa enfermedades graves como la silicosis. Las medidas preventivas deben ofrecer una protección más elevada, en este caso la FFP1 es insuficiente. Deberíamos seleccionar por lo menos una mascarilla FFP3 (FPN 50 y fuga máxima del 2%). O mejor aún, media máscara o máscara completa con filtro, con FPN mayor que 4 y que ajustan mejor. No hay que descartar equipos motorizados o capuces con línea de aire, según cada caso.

En general se considera que para sustancias cancerígenas, mutágenas, tóxicas para la reproducción y sensibilizantes respiratorias, no es recomendable el uso de mascarillas autofiltrantes a no ser que se garantice su adecuado nivel ajuste con un test de ajuste cuantitativo. Por lo tanto, la mascarilla FFP1 es insuficiente para protegernos, y lo mínimo sería una FFP3 en combinación con un test de ajuste. Y por supuesto, serían recomendables todos aquellos EPR con una mayor protección y ajuste (media máscara, máscara completa, etc.).



3. Conclusiones

Seleccionar de manera adecuada un EPR depende de muchos factores, pero hay dos parámetros principales que no hay que confundirlos.

El FPN es un valor que se utiliza para la comparación de diferentes EPR evaluando la protección que probablemente se ofrece en el lugar de trabajo, pero basados en el cálculo de la fuga en ensayos de laboratorio.

El FPA es un valor más realista de la protección que ofrece un EPR (recordad que para calcular los FPN se realizan ensayos en laboratorios, con individuos probablemente bien formados, y pueden no representar una porción significativa de la población).

El FF es un valor obtenido durante una prueba de ajuste que, aunque se puede asemejar al FPN, es conceptualmente diferente, siendo el FF un indicador de lo bien que se está ajustando el EPR a la cara del usuario. Un buen [ajuste del EPR es primordial](#) en la selección y para asegurar que nos protegerá correctamente. Recordad que para pasar el test de ajuste cuantitativo los FF deben ser superiores o iguales a 100 para mascarillas y medias máscaras y 500 para máscaras completas.

Para el uso correcto de los FPN y asegurar la elección adecuada del EPR, se tendrá en cuenta la formación e información suficiente de los trabajadores, la correcta colocación (tamaño y ajuste adecuados), tener en cuenta la comodidad y las instrucciones del fabricante y realizar el mantenimiento, limpieza y almacenamiento adecuado de los mismos. En definitiva para poder usar los FPN en la selección de los EPR se debe tener en cuenta la variabilidad de factores y que cumplan con los requisitos de las normas nacionales establecidas.

Para más información o dudas contactar con el Consultor en Prevención de Asepeyo más cercano que le asesorará. <https://prevencion.asepeyo.es/red-asistencial>



Bibliografía

- 1 Clase, C. M.; Fu, E. L.; Joseph, M.; Beale, R. C. L.; Dolovich, M. B.; Jardine, M.; Mann, J. F. E.; Pecoits-Filho, R.; Winkelmayr, W. C.; Carrero, J. J. Cloth Masks May Prevent Transmission of COVID-19: An Evidence-Based, Risk-Based Approach. *Ann. Intern. Med.* 2020, 173 (6), 489-491. <https://doi.org/10.7326/M20-2567>.
- 2 OSHA. 1910.134 app A - fit testing procedures (mandatory) <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134AppA> (consultado el 12 de agosto, 2021).
- 3 TSI. FIT FACTORS VS PROTECTION FACTORS [https://tsi.com/getmedia/f07681c1-a465-40d0-9add-85cc5813f0ad/Fit-Factors-vs-Protection-Factors-App-Note-\(ITI-023\)-US?ext=.pdf](https://tsi.com/getmedia/f07681c1-a465-40d0-9add-85cc5813f0ad/Fit-Factors-vs-Protection-Factors-App-Note-(ITI-023)-US?ext=.pdf) (consultado el 12 de agosto, 2021)
- 4 OSHA. 1910.134 - Respiratory Protection <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134> (consultado el 12 de agosto, 2021).
- 5 Sun, C.; Thelen, C.; Sancho Sanz, I.; Wittmann, A. Evaluation of a New Workplace Protection Factor-Measuring Method for Filtering Facepiece Respirator. *Saf. Health Work* 2020, 11 (1), 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2019.11.001>.
- 6 *NIOSH guide to the selection and use of particulate respirators certified under 42 CFR 84*; U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, 1996. <https://doi.org/10.26616/nioshpub96101>.
- 7 Norma *UNE-EN 529:2006* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0035994> (consultado el 12 de agosto, 2021).