

## *Evaluación de métodos cualitativos de higiene inversa para control de riesgo químico por exposición*

Damián V. Flores Z.<sup>1</sup> María Eulalia. Peñafiel T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Salud y Seguridad Ocupacional, Universidad de Cuenca, Av 12 de Abril y Ciudadela Universitaria, damian.flores@ucuenca.edu.ec

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Química, Universidad de Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental, Av 12 de Abril y Ciudadela Universitaria, maria.penafiel@ucuenca.edu.ec

Recibido: 28-02-2018. Aceptado después de revisión: 13-06-2018.

---

**Resumen:** Los modelos cualitativos para el control de riesgo químico basadas en el "control banding" COSHH ESSENTIAL y CHEMICAL CONTROL TOOLKIT fueron evaluados en la exposición a cloruro de hidrógeno, ácido nítrico y ácido acético en el laboratorio CESEMIN de la Universidad de Cuenca. Se había ya establecido tecnología de control consistente en campanas de extracción. Las dos metodologías ubican a los tres compuestos dentro del grupo de peligro C con medida de control 2, que consiste en ventilación general y localizada. Las mediciones cuantitativas de la concentración de los químicos en el ambiente de trabajo demostró que están por debajo de los límites permisibles con valores de 1.36, 0.41 y 2.05 ppm para el CH<sub>3</sub>COOH, HNO<sub>3</sub> y HCl respectivamente sin la presencia de la tecnología sugerida para el control del riesgo químico, mientras que, las concentraciones del químico en al ambiente de trabajo en presencia de las tecnologías de control decaen hasta límites indetectables para los HNO<sub>3</sub> y CH<sub>3</sub>COOH y a 0.51 ppm para el HCl. Los resultados demuestran que las medidas de control sugeridas por los métodos cualitativos funcionan razonablemente bien para los productos estudiados, lo cual sugiere que los métodos ayudan significativamente a controlar el riesgo por exposición.

**Palabras claves:** Control de riesgo químico, coshh essentials, toolkit, métodos cualitativos de higiene inversa, control banding.

**Abstract:** Qualitative models: COSHH ESSENTIAL and CHEMICAL CONTROL TOOLKIT for chemical risk control based on control banding were evaluated using three measurements of exposition to chemical compounds hydrogen chloride, nitric acid, and acetic acid at the CESEMIN laboratory of the University of Cuenca. A control technology had already been stablished regarding exhaust hoods. Both applied methodologies place the three components within the C-danger group and protection level 2, for which, engineering control measurements are required consisting on general and localized ventilation to avoid chemical risk. The quantitative measurements of the chemical concentration on the workspace proved to be below the permissible limits with values of 1.36, 0.41 and 2.05 ppm for CH<sub>3</sub>COOH, HNO<sub>3</sub> and HCl respectively, without the suggested technology for chemical risk control; while, the chemical concentrations on the workspace with control techniques (exhaust hood), decay to undetectable limits for HNO<sub>3</sub> and CH<sub>3</sub>COOH, and to 0.51 ppm for HCl. The findings state that the suggested control measurements from qualitative methods work reasonably well for the studied products, proposing that the methods help to significantly control the risk of exposure.

**Key word:** Chemical risk control, coshh essentials, toolkit, qualitative methods of industrial hygiene, control banding.

## 1. INTRODUCCIÓN

El modelo tradicional del Higiene Industrial analiza el riesgo químico en el ambiente de trabajo mediante una metodología cuantitativa que consiste en una serie de pasos en un orden establecido que empieza por la identificación de los agentes contaminantes, seguido de la evaluación del riesgo químico mediante la medición de las concentraciones ambientales y comparación con el valor límite admisible para finalmente aplicar medidas preventivas o correctoras, esta metodología implica un costo grande asociado a las mediciones analíticas de las concentraciones de los químicos en el ambiente de trabajo, costo que muchas veces es demasiado alto para pequeñas empresas y laboratorios de análisis químico. La higiene inversa, como se conoce a los métodos cualitativos, invierte el orden de las acciones, de forma que, en primer lugar, se adopten las medidas preventivas y correctivas en base a inspecciones y observaciones que permitan definir dichas medidas mediante una evaluación cualitativa y solo luego se confirma la evaluación con mediciones de las concentraciones del riesgo residual (si lo hubiere) aplicando métodos cuantitativos, esto hace que los costos del análisis sea menor y prioriza el uso y aplicación de la medidas preventivas.

Los métodos de higiene inversa, que surgieron en el Reino Unido para el control del riesgo químico en la pequeña y mediana industria, están basados en el “control banding” o control por zonas [1] [2] que presume que es posible agrupar los agentes químicos por toxicidad, límites de exposición o mecanismos de acción similares para gestionar los riesgos convenientemente y con recursos limitados [3]. Entre los principales métodos desarrollados están COHSS ESSENTIAL (Control of Substances Hazardous to Health) propuesto por el departamento de Salud y Seguridad del Reino Unido (HSE) en 1998 y el Chemical Control Toolkit (CCTK) propuesta por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) en 1996 que agrupa a las sustancias de acuerdo a las frases de peligro (frases R) (Unión Europea, 2001),

El modelo COSHH ESSENTIAL y otros modelos han sido evaluado por varios investigadores [4], [5], por su parte [6] valoró el modelo en el uso de solvente orgánicos, encontrando que cuando se usan líquidos en pequeñas cantidades (mililitros) los niveles exposición superan los rangos predichos por el modelo,) [7] indican que COSHH ESSENTIAL puede presentar errores de sobre e insuficiente control debidos a la falta de información sobre las bandas de exposición y de rendimiento de la tecnología de control. [3] concluyen la necesidad de un proceso de investigación prospectivo de estos modelos de control por bandas que ayuden a comprender sus fortalezas y debilidades y generen confianza en su utilidad. En este sentido [8], probó el modelo en 12 centros de trabajo en una empresa petrolera en Japón reportando una buena predicción del riesgo sin presentar para ningún caso insuficiencia en el control.

En consecuencia, el objetivo de este estudio es valorar los métodos cualitativos (COHSS ESSENTIAL y el TOOLKIT) para control del riesgo a la exposición a sustancias químicas en un laboratorio de análisis de minerales metálicos y no metálicos a través de 3 compuestos, ácido clorhídrico (HCl), ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), comparando los resultados con datos de exposición real medidos en las zonas de trabajo, las bandas y límites de exposición, con el objeto de evaluar la eficiencia de los controles y tecnología sugeridos que demuestre la eficiencia o no de los métodos de higiene inversa en el control del riesgo químico.

## 2. MÉTODOS

### 2.1 Higiene inversa

Los riesgos químicos en el laboratorio del Centro de Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN) de la Universidad de Cuenca de tres productos (HCl, CH<sub>3</sub>COOH y HNO<sub>3</sub>) en los ensayos de Determinación de la solubilidad de plomo y cadmio en vajilla cerámica, Determinación de metales en minerales por digestión ácida y absorción atómica y Determinación de óxidos en minerales no metálicos por fusión con hidróxidos y absorción atómica, fueron evaluados con las metodologías COHSS ESSENTIAL y el TOOLKIT. Los datos del estado físico, las frases R, punto de ebullición, concentración, temperatura de trabajo, frecuencia, duración y cantidad utilizada de cada producto se muestra en la tabla 1. Las características físico químicas se obtuvieron de las fichas técnicas de cada producto. La cantidad utilizada y el tiempo de duración fueron determinados mediante los procedimientos de las marchas analíticas correspondientes.

*Tabla 1. Características físicas y uso de las sustancias químicas estudiadas*

PROCESO	SQ	ESTADO FÍSICO	FRASES R	PB (oC)	T (oC)	FREQ	DUR. (min)	CANTIDAD UTILIZADA
Determinación de óxido en minerales no metálicos	Cloruro de hidrógeno fumante 37%	Líquido	23 - 35	45 oC	25	2	30	mililitros
Determinación de plomo y cadmio	Ácido Acético	Líquido	10 - 35	119 oC	25	2	30	mililitros
Determinación de metales en minerales	Ácido nítrico	Líquido	8 - 35	121 oC	25	2	30	mililitros

SQ sustancia química PB Punto de ebullición, T temperatura, FREQ Frecuencia de uso, DUR. Duración del uso.

Las frases se obtuvieron del listado del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Gobierno de España (Folleto de frases R simples y frases R combinadas). La toxicidad de los productos se determinó en la base de datos de sustancias peligrosas TOXNET [9]. Se usaron los LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS DE ESPAÑA 2016 y de los datos Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH). Datos como temperatura y volatilidad corresponden a las hojas de seguridad de los productos químicos La escala de uso y la volatilidad se muestran en la tabla 2.

*Tabla 2. Datos obtenidos de las metodologías aplicadas*

PROCESO	SQ	CANTIDAD UTILIZADA	VOLATILIDAD
Determinación de óxido en minerales no metálicos	Cloruro de hidrógeno fumante 37%	pequeña	alta
Determinación de plomo y cadmio	Ácido Acético	pequeña	media
Determinación de metales en minerales	Ácido nítrico	pequeña	media

SQ Sustancia química

## 2.2 Determinación de los químicos en el ambiente de trabajo

Los productos químicos en el ambiente de trabajo fueron monitoreados, este monitoreo se llevó a cabo mediante tubos recolectores colorimétricos GASEC específicos para de gases de ácido nítrico, ácido acético y cloruro de hidrógeno. Se realizaron 20 mediciones por cada tipo de compuesto, en cada uno de los ensayos. Las mediciones fueron realizadas durante 5 semanas, 10 sin la presencia de TCE (tecnología de campanas de extracción) y 10 con la presencia de TCE. Con los datos obtenidos se determinó los límites de exposición tabla 3 y las bandas de peligro mostradas en la tabla 4. Para las medidas de control se tomaron las sugerencias de las hojas de seguridad de los químicos.

*Tabla 3. Estándares de exposición ocupacional*

S.Q.	TWA (ppm)			STEL (ppm)		
	OSHA (PEL)	ACGHI (TLV)	NIOSH	OSHA	ACGHI	NIOSH
A. nítrico	2	2	2	4	4	4
A. acético	10	10	5	-	15	15
Cloruro de hidrógeno	5	2	5	-	-	10

ACGHI Association Advancing Occupational and Environmental Health, TWA Time Weighted Average, STEL Short Term Exposure Limit, PEL permissible exposure limit, TLV Threshold Limit Value.

*Tabla 4. Asociación entre los grupos de peligro y los rangos de exposición basados en la concentración en el aire (Brooke 1998)*

Grupo de peligro	Banda de exposición	
	Vapores (ppm)	Polvo mg/m <sup>3</sup>
A	>50–500	>1–10
B	>5–50	>0.1–1
C	>0.5–5	>0.01–1
D	<0.5	<0.01
E	Necesita opinión de experto	
S	Precaución para mano y piel	

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación del riesgo por los dos métodos fueron los mismos y se muestran en la tabla 5. Los tres productos se ubican en el grupo de peligro C y tienen medidas de control 2 que sugieren un control de ingeniería que consiste en ventilación general en el área de trabajo y extracción mecánica localizada del aire contaminado lejos del trabajador, según las hojas de

control 200. Los ejemplos más comunes de esta tecnología son las cabinas o campanas de extracción.

Tabla 5

Resultados de la aplicación de la metodología inversa

PROCESO	SQ	GP	MC	TC	HC
Determinación de óxido en minerales no metálicos	Cloruro de hidrógeno fumante 37%	C	2	Control de ingeniería	200
Determinación de plomo y cadmio	Ácido Acético	C	2	Control de ingeniería	200
Determinación de metales en minerales	Ácido nítrico	C	2	Control de ingeniería	200

SQ sustancia química, GP grupo de peligro, MC medida de control, TC tecnología de control, HC hojas de control.

Los resultados de las mediciones de los gases en el ambiente de trabajo con y sin tecnología de control del riesgo se muestran en la tabla 6, la tecnología de control, consisten en campanas de extracción, fue instalada en los puestos de trabajos por evaluaciones anteriores. Según los datos de estándares de exposición ocupacional de la tabla 7 las tres sustancias estudiadas están por debajo de los límites de exposición de TWA (Time Weighted Avg) y STEL (Short Term Exposure Limit), sin las medidas de control y con ellas la concentración en el medio baja a niveles indetectables, verificándose así la eficiencia de las medidas de control propuestas.

Tabla 6

Resultados de las mediciones cuantitativas

SQ	PROCESO	SIN TECNOLOGÍA	CON TECNOLOGÍA
		PROPUESTA	PROPUESTA
		Media de Concentración ppm (DE)	Media de Concentración ppm (DE)
Ácido acético	Preparación de soluciones	0.23 (0,07)	0
	Preparación de patrones	0.78 (0,15)	0
	Colocación del ácido en la muestras de cerámica	1.36 (0.67)	0
Ácido nítrico	Colocación del ácido en la muestras de cerámica	0.41 (0.09)	0
Cloruro de hidrógeno	Colocación del ácido en la muestras de cerámica	2.05 (0.29)	0.51 (0.41)

DE desviación estándar.

Comparando los resultados de la higiene inversa con los límites de exposición de los productos químicos estudiados, para el HNO<sub>3</sub> y el HCl se puede observar una concordancia de los grupos de peligro ya en ambos lo ubican en el grupo C, para el CH<sub>3</sub>COOH en cambio los límites de exposición la ubican en el grupo B. Sin embargo, si revisamos los límites de exposición profesional para agentes químicos según el Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el trabajo de España 2016, el valor límite ambiental de exposición diaria (VLA-ED) para el ácido

acético y cloruro de hidrógeno es de 10 y 5 ppm y los valores de límite ambiental de corta duración (VLA-EC) son de 15 y 10 ppm, mientras que para el ácido nítrico el VLA-EC es de 1ppm, lo cual ubicaría al HCl también en el grupo B. Estos resultados indican un sobre control por parte de los métodos cualitativos para 2 de los 3 productos estudiados semejante a lo encontrado por Jones & Nicas, [6] quien reporta un error de sobre control en el 61% de las operaciones estudiadas en los procesos de desengrasado al vapor, sin embargo, en este estudio no se reportó deficiencia de control en ningún caso a diferencia de lo expuesto por [6], quien afirma que los modelos sub-controlan el riesgo cuando se usan pequeñas cantidades de líquidos, la diferencia puede deberse a que Tischer trató con solventes orgánicos mucho más volátiles que los ácidos inorgánicos así como con mezclas de ellos [10]. A pesar del sobre control que sugieren los resultados de los métodos cualitativos y las mediciones ambientales realizadas, la tecnología de control instalada anteriormente por los técnicos de seguridad es la misma que reportan los métodos cualitativos.

Tanto los límites de exposición como las frases R tienen diferentes valores e interpretaciones, cada método tiene su propia clasificación de grupos de peligro de acuerdo a las frases lo que puede dar variaciones en los resultados al aplicar uno u otro método. Por ejemplo, TOOLKIT considera la frase R66 para la categoría A que no considera COSHH ESSENTIALS, mientras que para COSHH la frase R67 está el grupo A y TOOLKIT en el grupo B, la frase R33 solo la considera TOOLKIT en el grupo B., esta observación coincide con lo analizado anteriormente por [11], quien afirma en primer lugar haber tenido problemas en encontrar las frases R y que además una misma frase R se encuentre en dos bandas de peligro lo que dificulta la elección del grupo a elegir [12], [13].

#### 4. CONCLUSIONES

Ambos métodos aplicados posicionan a los tres productos en el grupo de peligro C y sugieren medidas de control 2 que consisten en control de ingeniería, las que según las hojas de control 200 son ventilación general y extracción mecánica localizada. Los datos obtenidos de las mediciones de los químicos en el ambiente de trabajo sin tecnología de control y con TCE, demuestran que la tecnología de control sugerida por los métodos cualitativos es eficiente para el control del riesgo. Estos resultados demuestran que los modelos funcionan bastante bien para predecir el riesgo en el uso de pequeñas cantidades de sustancias químicas, brindando una información positiva para el uso e implementación de los modelos en otros laboratorios o centros de trabajo que manejen químicos en pequeñas cantidades, además la metodología utilizada en ese este trabajo puede a futuro aplicarse a laboratorios o industrias que manejen cantidades un poco mayores de productos químicos.

#### AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a todo el personal del laboratorio del Centro de Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN) de la Universidad de Cuenca.

#### REFERENCIAS

- [1] Jackson, H. (2002). Control banding—Practical tools for controlling exposure to chemicals. *Asian-Pacific Newsletter*, 9, 62-63.
- [2] Oldershaw, P. J. (2003). Control banding workshop, 4–5 November 2002, London.

- [3] Zalk, D. M., & Nelson, D. I. (2008). History and evolution of control banding: a review. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 5(5), 330-346.
- [4] Money, C., Bailey, S., Smith, M., Hay, A., Hudspith, B., Tolley, D., ... & Jackson, H. (2006). Evaluation of the utility and reliability of COSHH Essentials. *Annals of Occupational Hygiene*, 50(6), 642-644.
- [5] Russell, R. M., Maidment, S. C., Brooke, I., & Topping, M. D. (1998). An introduction to a UK scheme to help small firms control health risks from chemicals. *Annals of Occupational Hygiene*, 42(6), 367-376.
- [6] Tischer, Bredendiek-Kämper, S., & Poppek, U. (2003). Evaluation of the HSE COSHH Essentials exposure predictive model on the basis of BAuA field studies and existing substances exposure data. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(7), 557-569.
- [7] Jones, R. M., & Nicas, M. (2005) Evaluation of COSHH Essentials for Vapor Degreasing and Bag Filling Operations. *Oxford Journal* Vol. 50, Issue 2. Pag 137 – 147
- [8] Hashimoto, H., Goto, T., Nakachi, N., Suzuki, H., Takebayashi, T., Kajiki, S., & Mori, K. (2007). Evaluation of the control banding method-comparison with measurement-based comprehensive risk assessment. *Journal of occupational health*, 49(6), 482-492.
- [9] HSDB. (2016). *Toxnet.nlm.nih.gov*. Retrieved 30 July 2017, from <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>
- [10] Jones, R. M., & Nicas, M. (2005). Margins of safety provided by COSHH Essentials and the ILO Chemical Control Toolkit. *Annals of Occupational Hygiene*, 50(2), 149-156.
- [11] Lee, E. G., Harper, M., Bowen, R. B., & Slaven, J. (2009). Evaluation of COSHH essentials: methylene chloride, isopropanol, and acetone exposures in a small printing plant. *Annals of occupational hygiene*, mep023.
- [1] Lee, E. G., Slaven, J., Bowen, R. B., & Harper, M. (2011). Evaluation of the COSHH Essentials model with a mixture of organic chemicals at a medium-sized paint producer. *Annals of Occupational Hygiene*, 55(1), 16-29.
- [13] Tischer, M., Bredendiek-Kämper, S., Poppek, U., & Packroff, R. (2009). How safe is control banding? Integrated evaluation by comparing OELs with measurement data and using monte carlo simulation. *Annals of occupational hygiene*, 53(5), 449-462.