

Evaluación de la exposición a factores de riesgo de desórdenes musculoesqueléticos de tareas de minería subterránea

Assessment of exposure to work related of musculoskeletal disorders risk factors of underground mining tasks

Y. Rodríguez-Ruíz , E. Pérez-Mergarejo , W. A. Barrantes-Pastor 

Abstract— The mining industry, in spite of the technological developments introduced to humanize its processes, is still characterized by the execution of tasks that demand high physical workloads from the workers and that in many cases are not adequate from an ergonomic point of view. This has led to the emergence of occupational diseases, among which musculoskeletal disorders stand out. **Objective:** To show the results of the ergonomic evaluation of five tasks that are executed during the process of development and construction of an underground mine in Peru. **Methodology:** Individual Risk Assessment (ERIN) and Rapid Entire Body Assessment (REBA) methods were selected to assess the underground mining tasks. **Results:** According to ERIN, the front drilling and cleaning tasks presented a high level of risk. Thirteen postures were evaluated with the REBA method taken from the tasks of rock removal, support, front drilling and blasting. Of these, seven postures were classified as high and very high risk level. **Conclusions:** The ergonomic assessment is an important and initial step in the process of prevention of musculoskeletal disorders in the mining industry. The use of the ERIN and REBA methods was useful to evaluate exposure to risk factors and identify opportunities for improvement. However, in order to carry out an effective prevention, an ergonomics systemic approach must be adopted, that considers individual and organizational risk factors, and the cultural and socio-economic environment where the activity takes place.

Index Terms—ergonomics, occupational health, risk analysis.

Resumen— La industria minera, a pesar de los desarrollos tecnológicos introducidos para humanizar sus procesos, aún se caracteriza por la ejecución de tareas que exigen a los trabajadores elevadas de cargas de trabajo físico y que en

muchos casos no son adecuadas desde un punto de vista ergonómico. Esto ha derivado en la aparición de enfermedades ocupacionales, entre las que se destacan los desórdenes musculoesqueléticos. **Objetivo:** Mostrar los resultados de la evaluación ergonómica de cinco tareas que se ejecutan durante el proceso de desarrollo y construcción de una mina subterránea de Perú. **Metodología:** Para la evaluación ergonómica fueron seleccionados los métodos Evaluación del Riesgo Individual (ERIN) y Rapid Entire Body Assessment (REBA). **Resultados:** Las tareas perforación de frente y limpieza de labor presentaron un nivel de riesgo alto según ERIN. Mientras que, en las tareas desatado de rocas, sostenimiento, perforación de frente y voladura, de las 13 posturas evaluadas siete obtuvieron riesgo alto y muy alto, según el método REBA. **Conclusiones:** La evaluación ergonómica es un paso inicial e importante en el proceso de prevención de desórdenes musculoesqueléticos en la industria minera. La utilización de los métodos ERIN y REBA fue de utilidad para evaluar la exposición a los factores de riesgo e identificar oportunidades de mejora. No obstante, en aras de realizar una prevención efectiva, debe adoptarse un enfoque sistémico que considere factores de riesgo individuales y organizacionales, así como el entorno cultural, político y socio-económico donde se desarrolla la actividad.

Palabras claves— análisis de riesgo, ergonomía, salud ocupacional.

I. INTRODUCCIÓN

UNA mina subterránea opera como una fábrica de producción situada en el interior de la tierra. En ella, los trabajadores mineros realizan múltiples tareas que conducen al proceso de extracción de minerales rocosos [1]. En los proyectos de minería subterránea se realizan actividades que requieren una elevada carga física de trabajo y por lo general, se desarrollan bajo condiciones ambientales desfavorables. Por tanto, el estudio de las condiciones ergonómicas y de seguridad en el lugar de trabajo constituyen aspectos claves a considerar, ya que pueden afectar el desarrollo del proyecto.

Una de las consecuencias que puede provocar la no consideración de los principios de ergonomía en el diseño de los puestos y sistemas de trabajo, es la aparición de desórdenes musculoesqueléticos (DMEs) [2]. En varios países se reporta el impacto negativo de los DMEs en los trabajos de minería

Este manuscrito fue enviado el 04 de diciembre de 2018 y fue aceptado el 26 de junio de 2019.

Y. Rodríguez-Ruíz is with the National School of Public Health, Universidad de Antioquia, Cl. 62 #52-59 Medellín, Colombia (e-mail: yordan.rodriguez@udea.edu.co)

E. Pérez-Mergarejo is with the School of Industrial Engineering, Universidad Pontificia Bolivariana, Cq. 1 #70-01 Medellín, Colombia (e-mail: elizabeth.perezme@upb.edu.co)

W. A. Barrantes-Pastor A. is with ABSP Consultoría & Capacitación E.I.R.L. Jr. el Granito Nro. 372, San Juan de Lurigancho, Lima, Perú (e-mail: barrantesbenavente@hotmail.com)

[3]–[5]. En Perú, país donde se ubica la mina subterránea objeto de estudio, las estadísticas relacionadas con el trabajo de minería no incluyen información precisa sobre los DMEs ocupacionales [6]. No obstante, se reconoce la adopción de posturas forzadas por los trabajadores, el elevado esfuerzo biomecánico que requieren algunas actividades, los regímenes inadecuados de trabajo y descanso, así como las condiciones ambientales desfavorables que contribuyen al surgimiento y agravamiento de estas dolencias de origen laboral [7]–[9]. Por lo que los esfuerzos que se realicen en la prevención de los DMEs en el sector de la minería se revertirán en un aumento de la salud y seguridad de los trabajadores, la productividad y la economía.

La evaluación ergonómica de las tareas, constituye una de las etapas de un proceso de intervención ergonómica dirigido a la prevención de DMEs [9], [10].

En la actualidad son muchos y variados los métodos disponibles para evaluar la exposición a factores de riesgo de DMEs [11]–[13]. Uno de los grandes obstáculos que a diario se enfrentan los profesionales encargados de realizar las evaluaciones ergonómicas en las organizaciones, consiste en decidir qué métodos seleccionar para realizar la evaluación ergonómica de un puesto/tarea de trabajo específico. En muchos casos, el encargado de la evaluación selecciona la herramienta/método que sabe usar y no realmente la más apropiada según la tarea. Esto, entre otras implicaciones, puede ocasionar que se sobreestime o subestime el riesgo, así como que se obvien factores de riesgo que inciden negativamente.

Para la selección correcta de los métodos y técnicas para la evaluación ergonómica deben considerarse los aspectos siguientes: correspondencia con la tarea que se desea evaluar, los conocimientos de la persona que la utilizará, el nivel de precisión y profundidad que se quiera alcanzar, el tiempo disponible para la evaluación y la cantidad de puestos y tareas que se pretendan evaluar [11].

En este trabajo se presenta la evaluación ergonómica de cinco tareas, representativas de la etapa de desarrollo y construcción del proyecto minero, ejecutado de forma convencional en una mina subterránea de Perú: desatado de roca, sostenimiento, perforación de frente, voladura y limpieza de labor. Para la evaluación ergonómica se emplearon los métodos Evaluación del Riesgo Individual (ERIN) [14]–[17] y Rapid Entire Body Assessment (REBA) [18].

II. METODOLOGÍA

Este trabajo fue realizado en una mina subterránea de Perú. El proceso de evaluación ergonómica inició con la selección de las tareas a evaluar. Para ello se consideró que las tareas seleccionadas fueran representativas de la etapa de desarrollo y construcción del proyecto minero, ejecutado de forma convencional en las unidades de minería subterránea.

Las tareas seleccionadas fueron: desatado de roca, sostenimiento, perforación de frente, voladura y limpieza de labor.

Las tareas fueron descritas a partir de la documentación técnica disponible en la empresa minera, la observación directa y la información recopilada de entrevistas no estructuradas realizadas a los trabajadores. Adicionalmente, fueron fotografías y filmadas, lo cual debe mencionarse, fue una labor difícil y engorrosa dadas las condiciones inhóspitas (ej. poca iluminación, reducida visibilidad, elevada humedad, altas temperaturas, superficies irregulares, espacios restringidos, etc.) presentes en la mina subterránea objeto de estudio.

De la gran variedad de métodos disponibles en la literatura [11], [12], fueron escogidos los métodos observacionales ERIN [16], [19] y REBA [18], debido a que son de fácil de uso, requieren de poco tiempo para la evaluación, valoran una gran parte de los segmentos corporales comprometidos en la ejecución de las tareas evaluadas, así como otros factores relacionados con la exposición al riesgo de DMEs.

Con el fin de obtener una mejor representación de las tareas evaluadas, fueron elegidas posturas críticas y comunes (las mantenidas la mayor parte del tiempo) durante la ejecución de las tareas.

A. Método para la Evaluación Ergonómica: ERIN

ERIN es un método observacional de fácil uso, desarrollado para que personal no experto y con relativo poco entrenamiento, pueda evaluar individuos expuestos a factores de riesgo asociados a los DMEs [14]–[16], [19]. Con este método se puede evaluar postura del tronco, brazo, muñeca, cuello y su frecuencia de movimiento; el ritmo, dado por la velocidad de trabajo y la duración efectiva de la tarea; la intensidad del esfuerzo, resultado del esfuerzo y su frecuencia, y la autovaloración-percepción del estrés referido por el sujeto sobre la tarea que realiza. En el método se recomiendan cuatro niveles de riesgo y las acciones según el riesgo total:

- Nivel de riesgo Bajo: Riesgo Total entre 6 y 14 puntos. No son necesarios cambios en las condiciones de trabajo.
- Nivel de riesgo Medio: Riesgo Total entre 15 y 24 puntos. Se requiere investigar a fondo, es posible se necesite realizar cambios en las condiciones de trabajo.
- Nivel de riesgo Alto: Riesgo Total entre 25 y 34 puntos. Se requieren realizar cambios en un breve periodo de tiempo en las condiciones de trabajo.
- Nivel de riesgo Muy Alto: Riesgo Total mayor o igual que 35 puntos. Se requiere de cambios inmediatos en las condiciones de trabajo.

El valor del riesgo total es calculado sumando el riesgo de las siete variables evaluadas. El modelo aditivo empleado, permite fácilmente identificar la influencia de cada factor y localizar qué elementos deben ser intervenidos para disminuir el nivel de riesgo.

El proceso de evaluación con ERIN requiere de poco tiempo, permitiendo estudiar gran cantidad de puestos/tareas de trabajo en disímiles sectores de la economía, a un costo mínimo y sin interrumpir el trabajo. ERIN puede ser empleado para evaluar, diseñar y rediseñar tareas estáticas y dinámicas.

Su sistema de puntuación permite establecer criterios para evaluar el impacto de cambios realizados (antes y después), asumiendo que puntuaciones bajas se corresponden con condiciones más favorables [15]. Los resultados de la evaluación ergonómica con ERIN pueden servir de guía a los profesionales de la ergonomía y la seguridad y salud en el trabajo en la disminución de la exposición a factores de riesgo relacionados con los DMEs ocupacionales.

B. Método para la Evaluación Ergonómica: REBA

REBA es un método observacional que puede ser empleado en la evaluación postural del cuerpo entero en actividades del sector de la salud y en otras industrias. Es un método rápido y fácil para analizar posturas estáticas y dinámicas. Las puntuaciones asignadas a las posturas de los segmentos corporales evaluados se incrementan en la medida en que se desvían de la posición neutral [18], [20].

En el grupo A se incluye el tronco, el cuello y las piernas, mientras que en el grupo B se incluyen los brazos, antebrazos y muñecas. Mediante un grupo de tablas disponibles se transforman las 144 combinaciones posibles en una puntuación que representa el nivel de riesgo musculoesquelético. Otros aspectos que son analizados y contemplados en la evaluación son la carga manipulada, acoplamiento de la carga y la actividad física. Las puntuaciones finales REBA se agrupan en los cinco niveles de acción siguientes [18], [20]:

- Nivel de riesgo Inapreciable: Puntuación final 1 punto. No es necesario realizar acciones.
- Nivel de riesgo Bajo: Puntuación final 2 o 3 puntos. Puede ser necesario realizar acciones.
- Nivel de riesgo Medio: Puntuación final entre 4 y 7 puntos. Es necesario realizar acciones.

- Nivel de riesgo Alto: Puntuación final entre 8 y 10 puntos. Es necesario realizar acciones pronto.
- Nivel de riesgo Muy Alto: Puntuación final entre 11 y 15 puntos. Es necesario realizar acciones inmediatamente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron evaluadas cinco tareas que se realizan durante los trabajos de minería subterránea. Las tareas: perforación de frente y limpieza de labor fueron evaluadas con el método ERIN; y las tareas: desatado de rocas, sostenimiento, perforación de frente y voladura fueron evaluadas con el método REBA. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas I y II.

TABLA I
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA CON EL MÉTODO ERIN.

Variables	Tarea perforación de frente	Tarea limpieza de labor
	Puntuación	Puntuación
Postura y frecuencia movimiento del tronco	3	2
Postura y frecuencia movimiento del brazo	8	6
Postura y frecuencia movimiento de las muñecas	4	4
Postura y frecuencia movimiento del cuello	6	6
Ritmo	2	2
Intensidad del Esfuerzo	8	6
Autovaloración	2	2
Riesgo Global	33	28
Nivel de riesgo	Alto	Alto
Acción ergonómica recomendada	Se requiere realizar cambios en un breve periodo de tiempo	

Fuente: elaboración propia.

TABLA II
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA CON EL MÉTODO REBA.

Variables del método REBA	Tarea desatado de rocas			Tarea sostenimiento				Tarea perforación de frente			Tarea voladura		
	P 1: Desate parte superior	P 2: Desate parte intermedia	P 3: Desate parte inferior	P 1: Aserrado de madera	P 2: Traslado de postes	P 3: Preparación del terreno	P 4: Colocación de tirantes	P 1: Traslado de máquina	P 2: Acondicionamiento	P 3: Perforación	P 1: Colocación de carga	P 2: Acomodo de cables	P 3: Inspección de malla
Tronco	2	3	4	4	2	3	2	2	4	2	4	2	2
Cuello	2	2	3	1	1	2	2	2	1	2	2	1	3
Piernas	4	2	2	4	2	3	3	1	1	2	2	2	1
Tabla A	6	5	7	7	3	6	5	3	3	4	6	3	4
Carga/Fuerza	2	2	1	1	2	3	3	2	0	3	0	0	0
Puntuación A	8	7	8	8	5	9	8	5	3	7	6	3	4
Brazo	2	3	2	1	1	1	4	1	2	4	2	2	1
Antebrazo	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1
Muñecas	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tabla B	2	3	2	1	1	1	4	1	1	5	2	1	1
Agarre	1	1	1	0	1	1	3	0	0	2	0	0	0
Puntuación B	3	4	3	1	2	2	7	1	1	7	2	1	1
Puntuación C	8	8	8	8	4	9	10	4	2	9	6	2	4
Actividad muscular	+2	+2	+2	+1	+1	+2	+2	0	+1	+2	+1	0	0
Puntuación	10	10	10	9	5	11	12	4	3	11	7	2	3
Riesgo	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Muy Alto	Muy Alto	Medio	Bajo	Muy Alto	Medio	Bajo	Bajo

En esta tabla P significa postura. Fuente: elaboración propia.

A. Tarea Desatado de Rocas

La tarea desatada de rocas, consiste en detectar y desatar la roca suelta en el techo, frente y laterales de la excavación o

labor minera, a fin de garantizar que los trabajadores de las minas subterráneas trabajen en un ambiente seguro. En la Fig.

1 se muestran dos trabajadores mineros durante la realización de esta tarea. El procedimiento de trabajo es el siguiente:

1. Identificar los problemas del terreno referidos a la presencia de rocas sueltas en la superficie de la excavación o debido al sostenimiento inseguro del terreno.
2. Preparar la cara o superficie de la roca para el desatado, que incluye la ejecución del lavado apropiado de la superficie.
3. Seleccionar la barretilla de la longitud apropiada para el desatado.
4. Golpear y escuchar el sonido de la roca de la superficie de la excavación.
5. Desatar de acuerdo a los estándares y procedimientos de trabajo.



Fig. 1. Tarea desatado de rocas. Fuente: elaboración propia.

El método de evaluación ergonómica utilizado en este caso fue REBA. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.

En la tarea desatado de rocas, las tres posturas seleccionadas presentaron un riesgo alto. Esto se debió fundamentalmente: a los movimientos extremos y frecuentes del brazo al golpear la roca con la barretilla; las posturas extremas del cuello para visualizar las rocas a desatar; así como las posturas extremas del tronco y las piernas, provocadas por la dificultad para alcanzar los puntos donde desatar y al trabajar sobre un terreno irregular cubierto de rocas sueltas.

B. Tarea Sostenimiento con Cuadros de Madera

La tarea sostenimiento, consiste en colocar un soporte estructural que permita recuperar el equilibrio perdido en la roca, producto de la extracción del material minero. De esta forma se protegen a los trabajadores de posibles accidentes y a los equipos de posibles daños. En la Fig. 2 se muestran los trabajadores mineros durante la realización de la tarea sostenimiento con cuadros de madera. El procedimiento de trabajo es el siguiente:

1. Determinar el área a sostener y limpiar el área de trabajo donde se colocarán los cuadros.

2. Seleccionar la madera de acuerdo al tipo de labor a sostener.
3. Preparar los elementos del cuadro (postes, sombrero, tirantes, topes, enrejado y encribado) de acuerdo al tipo de labor y terreno.
4. Colocar, alinear y asegurar los postes y los topes de los cuadros.
5. Trasladar los residuos de madera a un punto de acopio predeterminado para reutilización o disposición final.



Fig. 2. Tarea sostenimiento con cuadros de madera. Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación ergonómica de esta tarea se empleó el método REBA. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.

Durante las labores de sostenimiento, los trabajadores se exponen a diferentes factores de riesgo de DMEs, lo cual se refleja en las altas puntuaciones obtenidas con REBA, en tres de las cuatro posturas evaluadas. Las altas puntuaciones de riesgo en esta tarea se deben principalmente, a que son realizados levantamientos, traslados y posicionamientos de pesados troncos de madera en terrenos irregulares, que afectan el tronco y las piernas.

Debe señalarse que en la actualidad hay una tendencia a que estas labores sean asistidas por equipamiento. Sin embargo, todavía siguen siendo utilizados estos métodos convencionales de trabajo, por lo que es necesario la adopción de medidas ergonómicas enfocadas a minimizar la carga física a la que están expuestos los trabajadores.

C. Tarea Perforación de Frente

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos para alojar el explosivo y sus accesorios iniciadores. El principio de la perforación se basa en el efecto mecánico de percusión y rotación, cuya acción de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca. En la Fig. 3 se muestran los trabajadores mineros durante la

realización de la tarea perforación de frente con máquina Jack-Leg. El procedimiento de trabajo es el siguiente:

1. Marcar la gradiente, el punto de dirección según sea el caso y la malla de perforación de acuerdo al tipo de roca.
2. Trasladar los barrenos, las brocas, los guidores, las mangueras de agua y aire, y la máquina en el frente donde se realiza la labor.
3. Instalar el equipo de perforación.
4. Realizar las perforaciones.
5. Durante la perforación, se realiza el desatado de roca cada 5 taladros dependiendo el tipo de roca.



Fig. 3. Tarea perforación de frente con máquina Jack-Leg. Fuente: elaboración propia.

Para evaluar esta actividad se emplearon los métodos de evaluación ergonómica ERIN y REBA. En la Tabla I se muestran los resultados de la evaluación con ERIN y en la Tabla II los resultados de la evaluación con REBA.

Para realizar la tarea perforación de frente, el trabajador eleva los brazos por encima de los hombros y extiende el cuello, pues debe localizar visualmente el punto de perforación, como se muestra en la Fig. 3. Con el método ERIN, es evaluado el esfuerzo, definido como el esfuerzo muscular requerido para realizar la tarea una vez. En esta tarea, el mayor esfuerzo ocurre cuando el trabajador tiene que sostener la máquina Jack-Leg para taladrar, cuya magnitud se incrementa por las vibraciones de la máquina y por la necesidad de ejercer un control muscular adicional al direccionar con precisión el equipo para taladrar.

Con el método REBA fueron evaluadas tres posturas, las cuales presentaron riesgo muy alto, medio y bajo, cada una. En la Tabla II, se muestra como cuando el trabajador tiene que perforar en las áreas elevadas (postura 3), el riesgo es muy alto según REBA. Siendo este el periodo donde a mayor riesgo se expone el sistema musculoesquelético y por tanto el foco de mayor atención. Aunque el riesgo con las demás posturas es menor, esto no implica que no se deban tomar medidas, por ejemplo, para disminuir la frecuencia y distancias de traslado manual de la máquina Jack-Leg (postura 1).

D. Tarea Voladura

La actividad de voladura consiste en el daño de la roca, es decir, la alteración de sus parámetros geomecánicos y la consiguiente disminución de sus propiedades resistivas. En la Fig. 4 se muestra un trabajador minero preparando la carga explosiva para la voladura. El procedimiento de trabajo es el siguiente:

1. Trasladar el explosivo y accesorios a la labor según el procedimiento y colocarlos en un lugar seguro.
2. Cargar los taladros con emulsión o dinamita y confinar la columna de la carga explosiva.
3. Culminado el carguío total de los taladros, colocar los tacos de material inerte en cada taladro.
4. Apagar el ventilador y ubicar adecuadamente la mangua de ventilación de la labor.
5. Dar inicio a la voladura dentro del horario establecido.



Fig. 4. Minero preparando la carga explosiva para la voladura. Fuente: elaboración propia.

Para evaluar esta actividad se empleó el método de evaluación ergonómica REBA. Los resultados de las evaluaciones realizadas a las tres posturas seleccionadas para esta tarea se muestran en la Tabla II. Para esta tarea, en general el riesgo fue bajo.

La tarea voladura es la que menor carga física impone a los trabajadores, entre las tareas evaluadas con el método REBA. No obstante, esta tarea genera tensión en los trabajadores que se manifiesta a través del estrés, según refirieron. Por lo que las medidas propuestas deben estar encaminadas en esa dirección.

E. Tarea Limpieza de Labor

La tarea limpieza de labor consiste en retirar el mineral para su posterior procesamiento o eliminación. Después de cada voladura se procede al desatado de roca, cuando esta se ha terminado y existe la seguridad de que no se producirán desprendimientos de roca, se procede al retiro del material. En la Fig. 5 se muestra un trabajador que opera la pala neumática en la superficie de la mina para realizar la tarea limpieza de labor. Esta actividad se realiza de la forma siguiente:

1. Recoger el material utilizando la pala neumática, en las galerías y lugares donde se pueda desplazar la máquina.
2. Voltear la tolva de la máquina para arrojar el mineral dentro de carros mineros, que, cuando están llenos son empujados manualmente hacia los echaderos.



Fig. 5. Operador de pala neumática en superficie demostrando cómo se opera el equipo en la tarea limpieza de labor. Fuente: elaboración propia.

Para evaluar esta actividad se empleó el método de evaluación ergonómica ERIN. Los resultados de las evaluaciones realizadas de las posturas críticas para esta labor se muestran en la Tabla I. El riesgo obtenido mediante la evaluación con el método ERIN fue alto. A esto se le debe adicionar que, aunque la tarea fue evaluada en superficie, su ejecución es similar a la realizada dentro de la mina, donde las condiciones ambientales son mucho más desfavorables, lo que supone una mayor carga de trabajo.

La evaluación con el método ERIN para la tarea limpieza de labor, se centró en el uso de la pala neumática, actividad que se realiza durante la mayor parte del tiempo. El trabajador con frecuencia eleva los brazos por encima de los hombros, para manipular la pala neumática. También, mantiene el cuello girado y flexionado más de 20°, esto se debe a que el diseño de equipo, solo permite que sea operado por uno de sus lados y en un espacio muy reducido, como se puede observar en la Fig. 5. La intensidad del esfuerzo en esta tarea, está dado por la acción de manipular la palanca de la pala neumática a una alta frecuencia. Las condiciones descritas, aumentan la exposición al riesgo de DMEs en esta tarea.

Los resultados de la evaluación con el método ERIN para las tareas perforación de frente y limpieza de labor, indican un nivel de riesgo alto, y por tanto la necesidad de realizar cambios en un breve periodo de tiempo en ambas tareas. Las puntuaciones de cada variable se comportaron de forma similar en las dos tareas, obteniéndose valores altos para las variables brazo, cuello e intensidad del esfuerzo.

En total fueron evaluadas con el método REBA 13 posturas críticas y comunes de las tareas: desatado de rocas, sostenimiento, perforación de frente y voladura. De estas, tres presentaron un riesgo muy alto, cuatro un riesgo alto, dos un

riesgo medio y cuatro un riesgo bajo. Las tareas desatado de rocas y sostenimiento presentaron, en general, los niveles de riesgo más altos y la tarea voladura los niveles de riesgo más bajos.

Finalmente, debe mencionarse que las características de estos sistemas de trabajo (mina subterránea), condicionan la forma en que se realizan las actividades. Por ejemplo, las irregularidades físicas del suelo, paredes y techos, así como, las diferentes alturas extremas (muy alto o muy bajo) de muchos de los espacios de trabajo conducen a que los trabajadores adopten posturas forzadas e inestables. Lo que indica que los esfuerzos para mejorar las condiciones de trabajo, deben enfocarse en optimizar la interacción hombre-sistema.

IV. CONCLUSIONES

La realización de evaluaciones ergonómicas de puestos/tareas de trabajo es una acción importante en la prevención de DMEs en el sector de la minería. Aunque avanzar solo hasta esta etapa del proceso de prevención, no es suficiente, es de mencionar que la evaluación ergonómica provee de pautas para adecuar las condiciones del sistema de trabajo a las características, habilidades y limitaciones humanas y establecer prioridades en la asignación de recursos destinados a la mejora de las condiciones laborales.

La utilización de los métodos ERIN y REBA, soportada en la participación de los trabajadores involucrados, es de gran utilidad para evaluar la exposición a los factores de riesgo de DMEs. No obstante, en aras de realizar una prevención efectiva de los DMEs, debe adoptarse el enfoque sistémico que promueve la Ergonomía, al considerar factores de riesgo individuales y organizacionales, así como el entorno cultural, político y socio-económico donde se desarrolla la actividad.

Por último, se debe resaltar la contribución de la Ergonomía como disciplina científica en la prevención y disminución de los DMEs de origen laboral, los cuáles constituyen hoy, uno de los principales problemas que afectan la salud de los trabajadores mineros.

AGRADECIMIENTOS

A la Gerencia de la Empresa Contratista Minera Tuneleros del Perú por permitir realizar las evaluaciones ergonómicas en sus unidades operativas y a los trabajadores mineros que voluntariamente participaron en el estudio.

REFERENCIAS

- [1] J. Armstrong y R. Menon, «Minas y Canteras. Industrias Basadas en Recursos Naturales», Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, vol. III, IV vols. Oficina Internacional del Trabajo (OIT) y Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Madrid, España, pp. 74.2-58, 1998. ISBN: 84-8417-047-0
- [2] NIOSH, B. P. Bernard, y V. Putz-Anderson, «Musculoskeletal disorders and workplace factors. A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back.», U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control

- and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, jul. 1997. DOI: 10.26616/NIOSH/PUB97141
- [3] C. M. Poblete, «Vigilancia Epidemiológica de los Desórdenes Músculo-Esqueléticos (DME) Relacionados con el Trabajo: ¿Una Oportunidad para la Investigación Epidemiológica?», *Cienc. Trab.*, vol. 12, n.o 36, pp. 324-331, 2010. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.consultaremota.upb.edu.co/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=53849391&lang=es&site=ehost-live>
- [4] S. Gallagher y C. A. Hamrick., «Nature and cost of low back pain», en *Improving safety at small underground mines*. Proceedings: Bureau of mines technology transfer seminar, 1994, vol. Special publication 18-94, pp. 37-43. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/sp18-94.pdf>
- [5] F. Cail, M. Aptel, y P. Franchi, *Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur*, Ire ed. Paris, France: Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, 2005. ISBN: 978-2-7389-1481-1
- [6] MINEM, «Estadísticas de enfermedades ocupacionales», Perú: Ministerio de Energía y Minas, 2017-2009. [En línea]. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=10187.
- [7] S. Gallagher, «Reducing Low Back Pain and Disability in Mining», Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pittsburgh, PA, IC 9507, 2008. Disponible en: <https://bit.ly/2Ipt55y>
- [8] S. Gallagher, A. G. Mayton, S. M. Moore, J. P. Pollard, y W. L. Porter, «Demands on the knee during kneeling and squatting activities common to low-seam mining. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Centers for Disease Control and Prevention, Services DoHaH», Pittsburgh, PA, 2011. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/2011-176.pdf>
- [9] R. Burgess-Limerick, L. J. Steiner, y J. Torma-Krajewski, *Ergonomics processes: Implementation guide and tools for the mining industry*. Pittsburgh, PA: In Services DoHaH, editor. US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH), 2009. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/mining/works/cover-sheet597.html>
- [10] J. Torma-Krajewski, L. J. Steiner, R. L. Unger, y W. J. Wiehagen, *Ergonomics and risk factor awareness training for miners*. In Services DoHaH, editor. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pittsburgh Research Laboratory, 2008. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/works/cover-sheet582.html>
- [11] E.-P. Takala et al., «Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work», *Scand. J. Work. Environ. Health*, vol. 36, n.o 1, pp. 3-24, ene. 2010. DOI: 10.5271/sjweh.2876
- [12] G. C. David, «Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders», *Occup. Med.*, vol. 55, n.o 3, pp. 190-199, may 2005. DOI: 10.1093/occmed/kqi082
- [13] G. LI y P. Buckle, «Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods», *Ergonomics*, vol. 42, n.o 5, pp. 674-695, may 1999. DOI: 10.1080/001401399185388
- [14] Y. R. Ruíz, «ERIN: A practical tool for assessing exposure to risks factors for work-related musculoskeletal disorders», *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 820, pp. 369-379, 2019. DOI: 10.1007/978-3-319-96083-8_49
- [15] Y. Rodríguez, «Individual Risk Assessment (ERIN): Method for the Assessment of Workplace Risks for Work-Related Musculoskeletal Disorders», en *Handbook of Research on Ergonomics and Product Design*, IGI Global, 2018, pp. 1-27. ISBN: 978-1-5225-5234-5
- [16] Y. Rodríguez, S. Vina, y R. Montero, «A Method for Non-experts in Assessing Exposure to Risk Factors for Work-related Musculoskeletal Disorders-ERIN», *Ind. Health*, vol. 51, n.o 6, pp. 622-626, nov. 2013. DOI: 10.2486/inhealth.2013-0008
- [17] Y. Rodríguez, S. Viña, y R. Montero, «ERIN: A practical tool for assessing work-related musculoskeletal disorders», *Occup. Ergon.*, vol. 11, n.o 2-3, pp. 59-73, 2013. DOI: 10.3233/OER-130210
- [18] S. Hignett y L. McAtamney, «Rapid Entire Body Assessment (REBA)», *Appl. Ergon.*, vol. 31, n.o 2, pp. 201-205, abr. 2000. DOI: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3
- [19] Y. Rodríguez, «ERIN: método práctico para evaluar la exposición a factores de riesgo de desórdenes músculo-esqueléticos», Doctorado en Ciencias Técnicas, Departamento Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2011. Disponible en forma impresa.
- [20] L. McAtamney y S. Hignett, «Rapid Entire Body Assessment», en *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, N. A. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas, y H. W. Hendrick, Eds. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC, 2006, pp. 8.1-8.11. ISBN: 978-0-415-28700-5



Yordán Rodríguez Ruíz nació en La Habana, Cuba en 1982. Graduado con honores de Ingeniero Industrial especializado en organización de empresas en el año 2006 y de Máster en Gestión de los Recursos Humanos en el año 2010, en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), en La Habana, Cuba. Obtuvo el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas con énfasis en ergonomía en el año 2011 en la CUJAE, La Habana, Cuba.

Desde 2006 hasta 2013 él fue Profesor de la Facultad de Ingeniería Industrial en la CUJAE, en La Habana, Cuba. Desde 2009 hasta 2014 fue Miembro del Comité de Normalización de Seguridad y Salud en el Trabajo y Ergonomía de la República de Cuba. Desde 2014 hasta la fecha, se desempeña como Profesor de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, Medellín (UdeA), Colombia. Es Coordinador del Grupo de Investigación de Seguridad y Salud en el Trabajo de la UdeA; y Coordinador de la Especialización en Ergonomía de la UdeA. Sus principales publicaciones han sido en temas de ergonomía, en revistas como la *Industrial Health*, *Occupational ergonomics*, *Work: A Journal of Prevention Assessment and Rehabilitation*, entre otras.

Prof. Rodríguez ostenta el máximo reconocimiento que se otorga a las investigaciones científicas en Cuba: Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba en el año 2011. Actualmente es Miembro Full de la Sociedad de Ergonomía de los Estados Unidos de América, Miembro del Comité Ejecutivo de la asociación internacional Ergonomía sin Fronteras y Miembro Fundador de la Asociación Colombiana de Investigadores en Ergonomía.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0079-4336>



Elizabeth Pérez Mergarejo nació en La Habana, Cuba en 1985. Graduada de Ingeniera Industrial en el año 2008 y de Máster en Tecnologías de Apoyo a la Toma de Decisiones en el año 2012 en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), en La Habana,

Cuba.

Desde 2008 hasta 2013 ella trabajó como Profesora a tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Industrial y en la Facultad de Ingeniería Informática de la CUJAE, en la La Habana, Cuba. Desde 2011 hasta 2013 fue Profesora Principal de Investigación de Operaciones y Simulación en el Departamento de Ingeniería Industrial de la CUJAE, en La Habana, Cuba. Desde el año 2015 hasta la fecha se desempeña como Profesora a tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín, Colombia. Es Coordinadora del Laboratorio de Ergonomía y Seguridad y Salud en Trabajo de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UPB. Sus investigaciones están enfocadas en la justificación de intervenciones ergonómicas a través de métodos cuantitativos y en el desarrollo de un Modelo de Madurez de Ergonomía.

Prof. Pérez actualmente es Investigador Junior según la clasificación de COLCIENCIAS.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9185-2708>



Walter A. Barrantes Pastor nació en Chiclayo, Perú, en el año 1968. Graduado de Ingeniero de Minas en el año 1992, en la Universidad Nacional de Piura, en Piura, Perú. Diplomado en Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad, Ambiental, Seguridad y Salud Ocupacional en el año 2008 por el Centro de Estudios Superiores y Actualización

Profesional-CESAP en Lima, Perú. Diplomado en Administración Estratégica de la Seguridad Laboral en el año 2010 por el AM Business: Capacitación Corporativa en Lima, Perú. Con especialización en OSHAS 18001 en el año 2012 y en ISO 14001 en el año 2013 en la Universidad Europea Miguel de Cervantes, en Valladolid, España.

Desde 1993 hasta 1996 él fue Coordinador Administrativo y Operativo de la empresa Marmex S.A. en Junin, Perú. Desde 1999 hasta 2003 fue Residente de Obra en la empresa VSV Ingenieros Contratistas S.A. en Junin, Perú. Entre los años 2002 y 2011 trabajó como Asistente de Seguridad y Jefe Corporativo de Seguridad en las empresas Mas Errázuriz del Perú S.A.C, OPERMIN S.A.C, Corporación Tuneleros del Perú S.A. y Compañía Minera Raura S.A. en Perú. Desde 2011 hasta 2012 fue Ingeniero Senior de Seguridad en la empresa Minera Chinalco Perú S.A. Desde 2012 hasta 2013 fue Gerente de Seguridad y Salud Ocupacional en la empresa Corporación Tuneleros S.A. Desde 2014 hasta 2017 fue Gerente de SOMA de la Compañía Minera San Ignacio de Morocha S.A.A. Desde 2017 hasta la fecha se desempeña como Gerente y Auditor Autorizado por Ministerio del Trabajo de la empresa ABSP Consultoría y Capacitación EIRL en Lima, Perú.

Señor Barrantes cuenta con más de 23 años de experiencia laboral, especializándose en la explotación de minas subterráneas y superficial.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0381-6828>