

# Real-time ergonomic evaluation method using artificial intelligence related to work in the mining sector.

## Método de evaluación ergonómica en tiempo real usando inteligencia artificial relacionada con trabajo en el sector minero

N. Chambi Quiroz, Master<sup>1</sup>, J. Lu Chang-Say, Master<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, [nchambiq@uni.pe](mailto:nchambiq@uni.pe)

<sup>2</sup>. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, [jluc@uni.pe](mailto:jluc@uni.pe)

**Abstract** – *This article presents a real-time ergonomic evaluation method, using artificial intelligence, and also provides ergonomic evaluations in the mining sector. To achieve this, motion sensors are used which will be installed on the worker's extremities (arm, legs, etc.) neck) and will constantly evaluate the duration of the activity and the angles of the extremities. This innovative form of measurement makes it possible to evaluate ergonomic indices (RULA, REBA and OWAS) and provides real-time information on the evaluation of workers in ergonomic postures. The article ends with the comparison between the observational ergonomic evaluation method with the proposed method where it is concluded that the latter is more sensitive and provides proposals to reduce ergonomic risk.*

**Keywords** - *Ergonomic evaluation, Artificial intelligence, Musculoskeletal disorders, Mining operations, Mining*

**Resumen-** *Este artículo presenta un método de evaluación ergonómica en tiempo real, usando inteligencia artificial, así mismo, proporciona evaluaciones ergonómicas en el rubro de minería, para lograrlo, se usan sensores de movimiento, los cuales serán instalados en las extremidades del trabajador (brazo, piernas, cuello) y evaluarán de manera constante el tiempo que dure la actividad y los ángulos de las extremidades. Esta forma innovadora de medición hace posible evaluar índices ergonómicos (RULA, REBA y OWAS) y proporciona información en tiempo real sobre la evaluación de los trabajadores en posturas ergonómicas. El artículo finaliza con la comparación entre el método de evaluación ergonómica observacional con el método propuesto donde se concluye que este último es más sensible y brinda propuestas para reducir el riesgo ergonómico.*

**Keywords:** *Evaluación ergonómica, Inteligencia artificial, Trastornos musculoesqueléticos, Operaciones mineras, Minería*

### 1. Introducción

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son relacionados con las actividades de trabajo y son consideradas causas primarias de malestares y lesiones de los trabajadores que afectan la salud ocupacional [1] y dichos TME pueden generar un impacto negativo en la productividad de los trabajadores [2] y [3]. El 90% de las lesiones y el ausentismo laboral fueron causados por TME [4]. El cual afecta a los trabajadores de muchos países industrializados. Tal es así que en Inglaterra el TME representa el 41 % de las enfermedades relacionadas con el trabajo entre 2015 y 2016, lo que provocó el 34 % de los días laborales perdidos, donde la manipulación manual fue calificada

como la principal causa de TME entre otros factores de riesgo, el cual representaron hasta el 40% de los trastornos de las extremidades superiores relacionados con el trabajo y el 53% de los trastornos lumbares relacionados con el trabajo. A esto le siguen posturas incómodas y tareas repetitivas [5].

En ergonomía, tanto la postura y el movimiento de un trabajador son importantes para determinar el riesgo de lesión musculoesquelética en el lugar de trabajo. Por ello se han desarrollado diferentes métodos de evaluación ergonómica para evaluar la exposición de factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos (TME) el cual están relacionados con la actividad diaria del trabajador. Los métodos de evaluación ergonómica se dividen en 2 grupos, los métodos directos que consisten, en recopilar datos directamente de sensores conectados al cuerpo del trabajador, los métodos observacionales consisten en observar directamente al trabajador y las tareas correspondientes, donde se tiene a RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), OWAS (Ovako Working Posture Analyzing System), como métodos observacionales [6] y [7]. La ergonomía del producto se une al ser humano mediante parámetros de comodidad, mientras que la ergonomía del proceso se centra en los métodos de producción utilizados para producir productos [8].

En el sector minero, las actividades de trabajo requieren agarre con fuerza, posturas incómodas, movimientos repetitivos y estos son relacionados con los TME y son consideradas causas primarias de malestares y lesiones de los trabajadores que afectan la salud ocupacional [1] y [9] y dichos TME pueden generar un impacto negativo en la productividad de los trabajadores [2]. Por otro lado, el operar los equipos pesados, camiones de transporte, de movimiento de tierra durante largas horas, pueden provocar dolor lumbar [10], [11] y [12].

Considerando ello, este artículo propone una evaluación en tiempo real usando inteligencia artificial, relacionada con el trabajo en el sector minero, donde la evaluación ergonómica usará sensores de movimiento, los cuales serán colocados en las extremidades del trabajador minero y los valores serán transmitidos y procesados por el algoritmo de inteligencia artificial el cual calculara el nivel de riesgo ergonómico, para garantizar la precisión de la evaluación ergonómica, se usaran sensores de movimiento para recopilar datos de las extremidades a evaluar, el aporte del trabajo se resume en los siguientes:

- Evaluación de ergonomía en tiempo real
- Se proporciona una nueva solución de evaluación ergonómica

Así mismo el proponer un método de evaluación ergonómica en tiempo real va proporcionar simultáneamente, recomendaciones, comentarios a diseñadores y expertos en ergonomía.

El resto del trabajo de investigación está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se toca temas relacionados a ergonomía, sensores de movimiento, métodos de evaluación en diferentes industrias, así como los métodos de evaluación utilizados en el rubro minero. En la sección 3 se describe la metodología de investigación, la sección 4 resultados, la sección 5 conclusiones y discusiones, finalmente se concluye con la sección 6 sugiriendo oportunidades para futuras investigaciones.

## 2. Revisión de Literatura

En esta sección, se describe los métodos existentes para realizar evaluaciones ergonómicas de las condiciones de trabajo en diferentes rubros (Sección 2.1), evaluaciones ergonómicas en el rubro minero (Sección 2.2) y los diferentes sensores de movimiento que se utilizan para rastrear movimientos de personas

Muchos investigadores han propuestos varios métodos para corregir las posturas ergonómicas, donde se aplica la realidad aumentada para evaluar los riesgos ergonómicos [13]. De manera similar se emplea la realidad virtual para corregir posturas ergonómicas y aumentar la productividad [14]. Las metodologías de manufactura esbelta, Value Stream Mapping (VSM) también dieron aporte para reducir los riesgos ergonómicos [15]. Por otro lado, la filosofía de kaizen aplican mejoras a las estaciones de trabajo para reducir el riesgo ergonómico [16]. Así mismo a los métodos observacionales como REBA y RULA, los combinaron con técnicas de Montecarlo para proyectar en el tiempo la exposición del trabajador a los TME [17].

Sin embargo, estos métodos ayudan a reducir el riesgo ergonómico y mejoran las posturas ergonómicas, pero estas no son evaluaciones en tiempo real y no aseguran la continuidad de la actividad laboral. Para superar esta limitación y mejorar tanto la velocidad de cálculo como la calidad de la corrección, se propone una evaluación ergonómica en tiempo real usando inteligencia artificial. El objetivo de este artículo es diseñar un nuevo método de evaluación ergonómica en tiempo real durante el desarrollo de la actividad laboral del trabajador.

En el sector manufacturero, se utilizan dispositivos portátiles y prototipos de sistemas que progresan Técnicas de entrenamiento mediante intervención de feedback en tiempo real. Algunos de estos sistemas pueden progresar en la evaluación del cuerpo completo y proporcionar retroalimentación a trabajadores durante acciones o movimientos dedicados, como actividades de elevación durante el trabajo diario a través de lo visual [18]. Sin embargo, la mayoría de las actividades desarrolladas por la fuerza laboral en el sector industrial involucran la parte superior del cuerpo de los trabajadores. La retroalimentación en tiempo real a los trabajadores durante las actividades laborales. requiere un sistema que sea capaz de evaluar rápidamente su postura y dar rápidamente retroalimentación para corregir su comportamiento en tiempo real, en última instancia evitando el riesgo de musculoesquelético. Y ello va depender del sector, sin embargo, han surgido diferentes tecnologías para brindar esta retroalimentación, por ejemplo, en el campo de la construcción ha sido intensamente investigado debido a las posiciones

peligrosas asumidas por los trabajadores durante la progresión de la tarea. En este sector, la intervención de retroalimentación ha dado los mejores resultados en términos del entrenamiento y corrección postural para la posición del tronco [9] y [19], especialmente en actividades de levantamiento, pero también para la zona lumbar, piernas, y conjunta

### 2.1 Evaluación ergonómica en rubro industrial

En esta parte se detalla un resumen de los resultados encontrados de la revisión, la cual fue basado en el análisis de los artículos seleccionados, donde estos fueron ordenados en una tabla (Tabla 1) de manera cronológica. Se detalla la prevalencia de TME en el sector minero, para diferentes tipos de mina, se mencionan también la herramienta de medición para determinar el riesgo ergonómico y la extremidad del cuerpo más afectada, tales como espalda, hombros, cuello y otras extremidades del cuerpo [20], [21], [22] y [23]. Se considera también el método de evaluación donde más prevalece los del tipo observacional que los de medición directa.

Tabla 1. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN ERGONÓMICA EN MINERÍAS

Autor	Tipo de mina	Método de evaluación	Extremidad del cuerpo
Sun Lee et al. (2023)	Sector Industrial	RULA - REBA	Espalda y hombros
James et al (2021)	Mina Socavón (Carbón)	RULA- REBA-OWAS	Hombro, cuello, dolor lumbar
Jeripotula et al. (2020)	Mina Cielo Abierto	Cuestionario NORDIC	Espalda
Adeyemi et al. (2020)	Mina Cielo abierto (arena)	Cuestionario NORDIC	Espalda y Hombro
Ijaz et al. (2020)	Mina Socavón (Carbón)	Cuestionario NORDIC / RULA	Miembros superiores e inferiores
Dobson et al. (2018)	Mina Socavón (Carbón)	Cuestionario NORDIC	Miembros inferiores, pies, tobillo y rodilla
Nejad et al. (2017)	Mina Socavón (Carbón)	Cuestionario NORDIC	Cintura y espalda
Xu et al. (2017)	Mina Socavón (Carbón)	Cuestionario NORDIC	Dolor de manos, cabeza
Komljenovic et al. (2017)	Mina Socavón (Carbón)	RULA-OWAS	Espalda, cuello y cabeza
Custodio et al. (2016)	Mina Socavón (Oro)	Cuestionario NORDIC	Espalda, hombros y cuello
Weston et al. (2016)	Mina Socavón	Cuestionario NORDIC	Hombro y espalda
Sharma et al. (2016)	Mina Socavón	OWAS - REBA	Hombro, dolor Lumbar
Varga et al. (2016)	Mina	REBA	Hombros, extremidad inferior.
Norhidayah et al. (2016)	Mina Socavón	REBA	Antebrazo, tronco, pierna y cuello.
Aghilinejad et al. (2016)	Mina Socavón	Cuestionario NORDIC	Dolor de espalda y rodilla
Pari & Dari (2015)	Mina Cielo Abierto	OWAS	Posturas riesgosas, espalda y cintura.
Chaudhary et al. (2019)	Mina cielo abierto (hierro)	REBA-RULA	Espalda y Hombros

### 2.2 Evaluación ergonómica en rubro minero

Por otro lado, se presentan las soluciones ergonómicas que pueden ser aplicadas en diferentes minas sea de cielo abierto

y de socavón, a partir de los trabajos de investigación se describen en Tabla 2, adicionalmente se incluye nuevas formas de evaluación ergonómica que incluyen diferentes autores, plataformas de evaluación ergonómica usando algoritmos de inteligencia artificial.

**TABLA 2.**  
**MÉTODOS DE EVALUACIÓN ERGONOMICA**

Autor	Solución ergonómica	Método de evaluación
Mao et al. (2023)	Rediseños de estación de trabajo	Realidad Aumentada (RULA, OWAS Y NIOSH)
Sardar et al. (2023)	Reducir tiempos de actividades repetitivas	Realidad Virtual (RULA, REBA y OWAS)
Baskar & Rajeswari, (2023)	Modificar posturas de trabajo	Redes Neuronales y Sensor de ángulo
Zaid Radin Umar et al. (2023)	Reduce trabajos repetitivos	Principios Lean 3M
Rey-Becerra et al. (2023)	Mejora la actividad, reduce tiempo de exposición ergonómica	Realidad Virtual
Da Silva et al. (2022)	Mejorar diseño de producto	Realidad Virtual
Battini et al. (2022)	Plataforma ergonómica	Captura de movimiento (RULA, REBA, OWAS y PERA)
Rathore et al. (2022)	Rediseño de proceso, estación de trabajo	Lean Manufacturing VSM (Value Stream Mapping)
Chauhan et al. (2022)	Emprender soluciones ergonómicas, diseño de herramientas.	Algoritmo heurístico, Optimización por enjambre de Partículas.
Nunes et al. (2022)	Reduce tiempo de trabajo, distribuye actividades	Sensores Inerciales
Afonso et al. (2022)	Distribuir carga de trabajo	Principios Lean, VSM y SMED
Dias Barkokebas & Li (2021).	Identifica niveles de riesgo ergonómica antes de inicio de la actividad.	Evaluación ergonómica mediante la Realidad Virtual
Ottogalli et al. (2021)	Automatización del proceso	Realidad Virtual
Arif et al (2021)	Modificar dimensiones del producto	Realidad Virtual
Cho et al. (2021)	Reducir tiempos de trabajo, identificar riesgo ergonómico	Evaluación integrada (RULA, REBA, OWAS)
Zhao et al. (2021)	Prototipo de detección de medición inercial	Sensores inerciales, portátil
Humadi et al. (2021)	Nuevos ángulos de medición a una frecuencia 100Hz	Tecnología óptica y captura de movimiento.
Zelck et al. (2021)	Reduce tiempos por actividad de amarre	Captura de movimiento
Penumudi et al. (2020)	Distribución de carga, control de tiempo	Realidad Virtual
Ghasemi & Mahdavi (2020).	Nuevos valores de medición REBA	Redes Bayesianas y lógica Fuzzi
Sasikumar et al. (2020)	Predicción de riesgo ergonómico	Algoritmo Random Forest, clasificación bayesiana
Brito et al. (2020)	Rediseño de estación de trabajo, nivelar carga laboral	Principios Lean Manufacturing
Bortolini et al. (2020)	Uso de cámara en estación de trabajo.	Análisis de sistema de movimiento y MOCAP
Botti et al. (2017)	Reajustar tiempos de exposición a riesgo ergonómica	Principios Lean, ErgoLean
Caterino, Rinaldi, Fera, (2023)	Mejorar diseño de procesos, evaluar tiempo de exposición	Twin digital, Ergonomía digital

### 3. Metodología de investigación

La Fig. 1 resume la metodología del método de evaluación ergonómica, de donde se recopila dos tipos principales de datos de entrada:

1) Datos en tiempo real proporcionado por los sensores de movimiento que se monitorean a los usuarios.

2) Datos estáticos evaluados fuera de línea e introducido manualmente por los ergonomistas y gerentes de operaciones en una caja de herramientas específica del software.

Donde los datos estáticos representan las características que están relacionadas a la actividad a realizar, la condición física del trabajador, las propiedades físicas antropométricas como edad, sexo, peso y la altura, la cual se ingresan en el sistema de manera manual mediante una matriz. Así mismo, las características de la actividad a realizar deben especificarse en la fase inicial como durante la sesión de evaluación, ya que la segmentación laboral adoptada para la evaluación postural de cada actividad es cambiante.

La red neuronal cuenta con una capa de entrada la cual reciben los datos de ingreso que serán los ángulos de las extremidades del colaborador, la capa oculta contará con 4 neuronas en cada capa oculta, la capa de salida nos proporcionará el valor ergonómico, para el cálculo de los valores óptimos de los pesos se empleara la técnica de retro propagación.

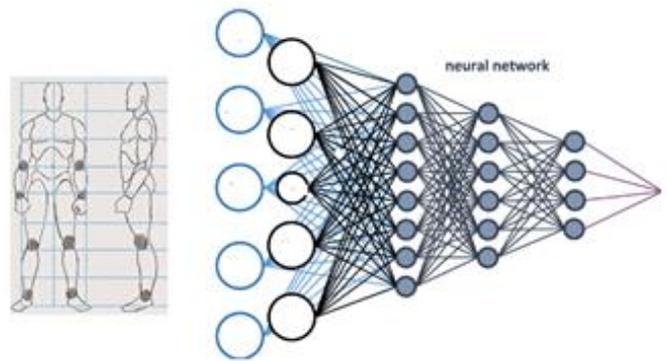


Fig. 1. Secuencia de nuevo método de evaluación. Nota. Red neuronal de 3 capas ocultas y 5 entradas

**TABLA 3.**  
**VALORES DE PUNTAJE METODO REBA**

Puntuación REBA		
Sit. 1	Sit. 2	Sit. 3
11	11	11
5	5	5
9	9	9
10	10	10
6	6	6
9	9	9
9	9	9
9	9	-
9	9	-
11	11	11
11	11	11

De esta manera, el ergonomista puede determinar la duración de cada actividad para la cual se realiza en línea. Se está evaluando la postura, de donde se recopilan datos en tiempo real durante toda la evaluación ergonómica. Los datos en tiempo real se recopilan a través de un rastreador de actividad, mientras que los ángulos y posiciones de las articulaciones se recogen con los sensores de movimiento el cual son transportados mediante

radio frecuencia hacia un panel el cual es administrado por el evaluador ergonomista.

Los datos se integran directamente en el sistema ergonómico el cual genera los valores de índices ergonómicos, una representación de la postura humana, y la postura se puntúa según la metodología REBA/RULA/OWAS. Una vez que comienza el ingreso de datos o mediciones, el algoritmo de Inteligencia Artificial empieza a procesar todos los datos en tiempo real y proporcionar directamente el resultado durante toda la actividad del trabajador. Los índices ergonómicos en tiempo real (RULA, REBA, OWAS) se calculan y reportan continuamente al ergonomista a través de paneles visuales para evaluar la postura de los trabajadores. Se proporcionará tanto valores actuales como gráficos de tendencias temporales para cada uno de los índices, tal como se muestra en la figura 2. Finalmente, el último resultado se define al final de la actividad formativa. Se va a presentar un informe resumido donde se detalla las puntuaciones por cada extremidad, tal como se muestra en la figura 3 y 4, el cual se realizó la evaluación para la actividad de calibrado de sostenimiento con shotcrete.

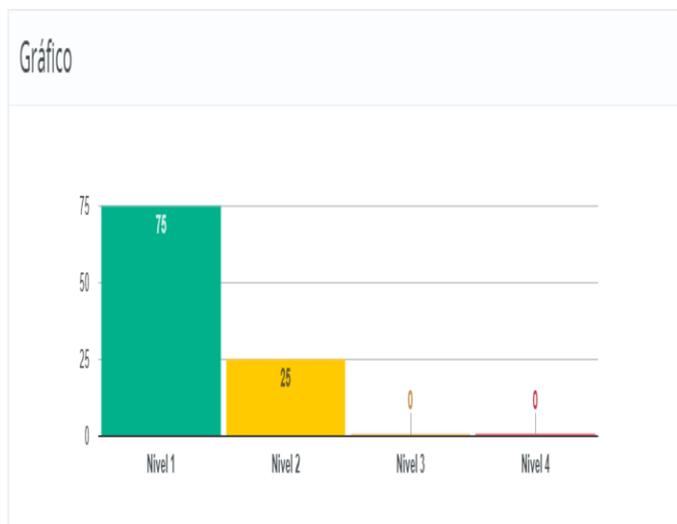


Fig. 2. Resultados de evaluación ergonómica. Nota. Valores de evaluación según nivel de riesgo.

#### 4. Resultados

Para la simulación se realiza la evaluación ergonómica de la actividad calibración del proceso de sostenimiento vía shotcrete húmeda, en una minería subterráneas, de donde se puede apreciar de las diferentes posturas presentan diferentes valores ergonómicos y en algunos casos se presenta como actividad riesgosa.

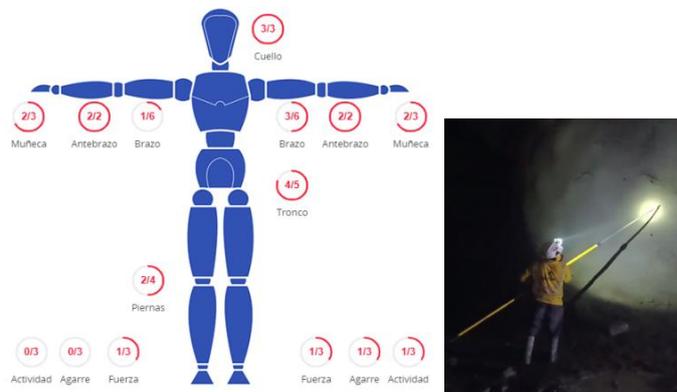


Fig. 3. Distribución de valores ergonómicos, método REBA. Nota. Calibración de sostenimiento

De la figura 3, se observa los puntos más expuestos a la valoración ergonómica, tales como la muñeca, antebrazo, cuello para ambas posiciones, del proceso de calibrado de sostenimiento de shotcrete.

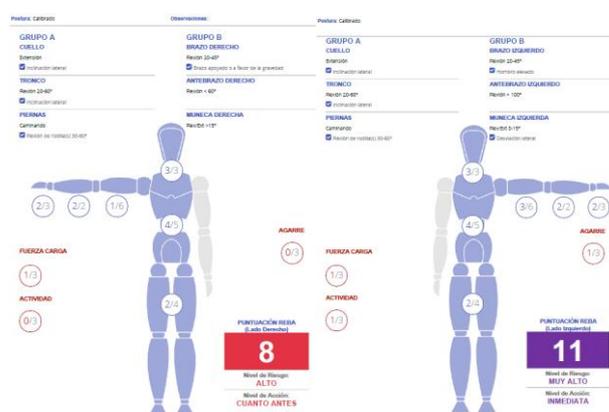


Fig. 4. Método REBA. Nota. Puntuación de extremidades, de la actividad de calibración de sostenimiento

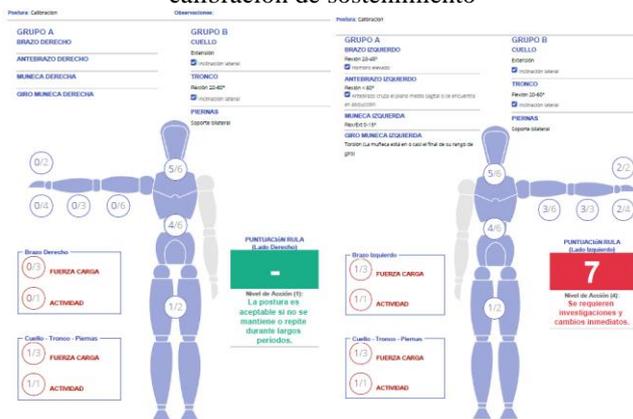


Fig. 5. Método RULA. Nota. Puntuación de extremidades, de la actividad de calibración de sostenimiento

Mencionar que la actividad de calibración se evalúa con los métodos tradicionales, RUBA y REBA, de donde se puede apreciar que los valores ponderados son valores que difieren.

#### 5. Discusión

Se puede apreciar que la evaluación observacional mucho va depender de la pericia del ergonomista evaluador, tal es así que para la misma actividad de calibrado de shotcrete,

donde el método REBA clasifica como una actividad de riesgo alto y el método RULA lo clasifica como riesgo medio, es común obtener diferentes valores dado que la evaluación se da de manera observacional. Tal como se muestra en la Figura 6.

Nivel de Acción	Puntuación REBA	Nivel de riesgo	Acción
0	1	Insignificante	Ninguna
1	2-3	Bajo	Puede ser necesaria
2	4-7	Medio	Necesaria
3	8-10	Alto	Necesaria pronto
4	11-15	Muy Alto	Necesaria de inmediato

Nivel de Acción	Puntuación RULA	Acción
1	1-2	La postura es aceptable si no se mantiene o repite durante largos periodos.
2	3-4	Podrían requerirse investigaciones complementarias y cambios.
3	5-6	Se precisan a corto plazo investigaciones y cambios.
4	7	Se requieren investigaciones y cambios inmediatos.

Fig. 6 Valoración de actividad de calibrado, método RULA y REBA.

## 6. Conclusiones

El realizar una evaluación en tiempo real, ayuda a obtener valores de riesgo ergonómico más preciso, por ende, se puede tomar alguna medida preventiva y/o modificar la actividad que es evaluada.

En este artículo se presenta una nueva forma de evaluación ergonómica, que proporciona un análisis ergonómico en tiempo real a expertos y retroalimentación visual a los trabajadores, permitiendo que todas las partes interesadas puedan tomar acción de manera oportuna a través de la evaluación postural en tiempo real.

Finalmente, la evaluación en tiempo real se puede utilizar fácilmente en el rubro industriales y brindar aporte para reducir los trastornos musculoesqueléticos que se presentan en diferentes rubros de la industria.

## Referencias

[1] Ribeiro, T., F. Serranheira, and H. Loureiro. 2017. Work related Musculoskeletal Disorders in Primary Health Care Nurses. *Applied Nursing Research* 33 (November): 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2016.09.003>.

[2] Beales, D., S. M. Kyaw-Myint, A. Smith, P. O’Sullivan, G. Pransky, S. Linton, L. Straker. (2017). Work Productivity Loss in Young Workers Is Substantial and Is Associated with Spinal Pain and Mental Ill-health Conditions. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 59 (3): 237–245. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000990>.

[3] Adeyemi, H. O., David, A. O., Akinyemi, O. O., Opafola, O. T., & Babalola, A. A. (2020). Sand shovelling and IISE TRANSACTIONS ON OCCUPATIONAL ERGONOMICS AND HUMAN FACTORS 125 related injuries among sand mine workers in Nigeria. *Scientific African*, 8, e00313. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00313>

[4] Jeripotula, S. K., Mangalpaday, A., & Mandela, G. R. (2020). Ergonomic assessment of musculoskeletal disorders among surface mine workers in India. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 13, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00200-1>

[5] OSHA Technical Manual.2020,OSHA Technical Manual

(OTM) SectionVII: Chapter1–Back Disorders and Injuries Occupational Safety and Health Administration [WWWdocument].[https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_vii/otm\\_vii\\_1.html](https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_vii/otm_vii_1.html)(accessed11.17.16).

[6] Plantard, P., Shumc, H., Le Pierres, A., Multon, F. (2017). Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real work place conditions. *Applied Ergonomics* 65 (2017) 562-569. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.015>

[7] Ijaz, M., Ahmad, S. R., Akram, M. M., Thygerson, S. M., Nadeem, F. A., & Khan, W. U. (2020). Cross-sectional survey of musculoskeletal disorders in workers practicing traditional methods of underground coal mining. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2566. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072566>

[8] Sekulová, K., Bures, M., Kurkin, O., Simon, M. (2015). Ergonomic Analysis of a Firearm According to the Anthropometric Dimension, *Procedia Engineering*, Volume 100, 2015, Pages 609-616, ISSN 1877-7058. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.411>.

[9] Yan, X., Li, H., Li, A. R., & Zhang, H. (2017). Wearable IMU-based real-time motion warning system for construction workers’ musculoskeletal disorders prevention. *Automation in Construction*, 74, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.007>

[10] Amari, M., Caruel, E. & Donati, P. (2015). Inter-individual postural variability in seated drivers exposed to whole-body vibration, *Ergonomics*, 58:7, 1162-1174, DOI: 10.1080/00140139.2014.968633

[11] Norhidayah, M. S., Mohamed, N. M. Z. N., Mansor, M. A., & Ismail, A. R. (2016). A study of postural loading in Malaysian mining industry using rapid entire body assessment. In *MATEC Web of Conferences EDP Sciences*, 74, 00014. doi: 10.1051/mateconf/20167400014

[12] Chaudhary, D. K., Bhattacharjee, A., Patra, A. K., Upadhyay, R., & Chau, N. (2019). Associations between whole-body vibration exposure and occupational and personal factors in drill operators in Indian Iron ore mines. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 36(3), 495–511. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-0061-y>

[13] Mao, W., Hu, Y., Yang, X., Ren, W. & Fang, H. (2023): ARE-Platform: An Augmented Reality-Based Ergonomic Evaluation Solution for Smart Manufacturing, *International Journal of Human-Computer Interaction*, DOI: 10.1080/10447318.2023.2173894

[14] Sardar, S., Lim, C., Yoon, S. & Chan Lee, S. (2023): Ergonomic Risk Assessment of Manufacturing Works in Virtual Reality Context, *International Journal of Human-Computer Interaction*, DOI: 10.1080/10447318.2023.2201558

[15] Rathore, B., Pundir, A., Iqbal, R. & Gupta, R. (2022): Development of fuzzy based ergonomic-value stream mapping (E-VSM) tool: a case study in Indian glass artware industry, *Production Planning & Control*, DOI: 10.1080/09537287.2022.2035447

[16] MacLeod D., Anthony Banks, Steve Wish & Scotty Arrington (2022) A Distinctive Approach to Ergonomics Kaizens, *IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 10:4, 173-181, DOI: 10.1080/24725838.2022.2129523

[17] Mumani, A., Stone, R. & Momani A. (2021) An application of Monte-Carlo simulation to RULA and REBA, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 22:6,

- 673-688, DOI: 10.1080/1463922X.2021.1893406
- [18] Otto, T. B., Campos, A., & de Souza, M. A. (2017). Real-time monitoring human motion system for ergonomic posture. In *Advances in automation and robotics research in Latin America* (pp. 223–234). Cham: Springer. Owlia, M., Ng, C., Ledda, K., Kamachi, M., Longfield,
- [19] Yan, X., Li, H., Zhang, H., & Rose, T. M. (2018). Personalized method for self-management of trunk postural ergonomic hazards in construction rebar ironwork. *Advanced Engineering Informatics*, 37, 31–41. Zennaro, I., Finco, S., Battini, D., & Persona, A.
- [20] Sharma, G. D., Dey, S., & Dey, N. C. (2016). Rationalising postural demand of side discharge loading machine operators with respect to musculoskeletal pain and discomfort in underground coal mines in India. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 4(1), 60–72. <https://doi.org/10.1504/IJHFE.2016.076573>
- [21] Dobson, J. A., Riddiford-Harland, D. L., Bell, A. F., & Steele, J. R. (2018). Are underground coal miners satisfied with their work boots? *Applied Ergonomics*, 66, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.08.009>
- [22] Custodio, B. P., Matias, A. C., & Soriano, V. J. (2016). Work-related musculoskeletal symptoms among small scale gold miners and extraction workers in the Philippines. In P. Arezes (Ed.), *Advances in Safety management and human factors* (pp. 495–501). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41929-9\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41929-9_45)
- [23] Komljenovic, D., Loiselle, G., & Kumral, M. (2017). Organization: A new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(4), 617–625. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.006>
- [24] Aghilinejad, M., Mokamelkhah, E. K., Nassiri-Kashani, M., Nouri, M. K., Noorian, N., & Bahrami-Ahmadi, A. (2016). Musculoskeletal disorders among Iranian coal miners at 2014. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, 3(1S), 466–471. <http://www.ijhse.ir/index.php/IJHSE/article/view/146>
- [25] Nejad, N. H., Emkani, M., Moghadam, S. R., Sadeghi, N., & Ali, F. C. (2017). Exposure to vibration and Its relationship with the low-back pain in the drivers of mining heavy vehicles. *International Journal of Occupational Hygiene*, 9(2), 93–98. <http://ijoh.tums.ac.ir/index.php/ijoh/article/view/248>
- [26] Pari, A., Dhara, P. C. (2015). Relation between long term adoption of awkward posture and work-related musculo skeletal disorders in pickaxe and spade users in China clay mine. *Proceedings of the Ergonomics for Rural Development, HWWE-2013*, (pp. 351–364. <http://inet.vidyasagar.ac.in:8080/jspui/handle/123456789/244>
- [27] Varga, J., Nagy, I., Szirtes, L., & Paorszoasz, J. (2016). Physiological strain in the Hungarian mining industry: The impact of physical and psychological factors. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 29(4), 597–611. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00616>
- [28] Weston, E., Nasarwanji, M. F., & Pollard, J. P. (2016). Identification of work-related musculoskeletal disorders in mining. *Journal of Safety, Health and Environmental Research*, 12(1), 274–283. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27294012>
- [29] Xu, X., Yuan, Z., Gong, M., He, L., Wang, R., Wang, J., Yang, Q., & Wang, S. (2017). Occupational hazards survey among coal workers using hand-held vibrating tools in a northern China coal mine. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 62, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.08.002>