

# Algunas experiencias de la aplicación de la ergonomía en el sector minero

Some Experiences on the Ergonomics Application in Mining

Algumas experiências da aplicação da Ergonomia no setor mineiro

Hugo Piedrahíta L., PhD<sup>1</sup>

Recibido: 25 de febrero de 2013 • Aceptado: 04 de diciembre de 2013

Doi: [dx.doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.05](https://doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.05)

Para citar este artículo: Piedrahíta H. Algunas experiencias de la aplicación de la ergonomía en el sector minero. Rev Cienc Salud 2014;12(Especial):69-76. doi: [dx.doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.05](https://doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.05)

## Resumen

*Introducción:* Cerrejón, al igual que la mayoría de las empresas en Colombia, presenta retos complejos en materia de salud y seguridad en el trabajo. En 2012, en Cerrejón, cerca del 75 % de los días perdidos por condiciones de salud fueron enfermedades generales y 9 de cada 10 empleados incapacitados por situaciones de salud lo hicieron por esta misma contingencia. Alrededor del 45 % de los diagnósticos por situaciones de salud en ese mismo año fueron por condiciones asociadas al sistema músculo-esquelético. *Materiales y métodos:* para el control integral de esta problemática, Cerrejón viene implementado un sistema de vigilancia epidemiológica para la prevención de los desórdenes músculo-esqueléticos (DME); este artículo presenta algunas experiencias que desde diferentes dominios de la ergonomía ha implementado Cerrejón en los últimos años. *Discusión:* en relación con la morbilidad laboral, Cerrejón sigue un comportamiento similar al del país, en el que el aumento constante tanto del número de casos como de la tasa de morbilidad es la característica común. Siguiendo la tendencia mundial y nacional, son las patologías músculo-esqueléticas la primera causa de morbilidad laboral en Cerrejón.

*Palabras clave:* ergonomía, prevención, salud ocupacional.

## Abstract

*Introduction:* Cerrejón Ltd., like most companies in Colombia presents complex challenges in the field of health and safety at work. In 2012 at Cerrejón about 75 % of the days lost by health conditions were general diseases and 9 of every 10 employees incapacitated by situations of health did by the same contingency. Around 45 % of diagnosis to health situations in that year went

---

<sup>1</sup> División Centro Conocimiento Salud Ocupacional e Higiene Industrial Cerrejón Ltda. Correo electrónico: [hugo.piedrahita@cerrejoncoal.com](mailto:hugo.piedrahita@cerrejoncoal.com)

for conditions associated with the muscle-skeletal system. *Materials and methods:* For comprehensive control of this problem, Cerrejón Ltd. comes implemented a system of epidemiological surveillance for the prevention of muscle skeletal disorders (MSD) this article presents some experiences which, from different domains of ergonomics, Cerrejón Ltd. has implemented in recent years. *Discussion:* In relation to occupational morbidity, Cerrejón Ltd. follows a behavior similar to the country, where the constant increase both the number of cases and the rate of morbidity is common property. Following global and national trends are the leading cause of occupational morbidity in Cerrejón-skeletal pathologies.

*Key words:* ergonomics, prevention, occupational health.

### *Resumo*

*Introdução:* Cerrejón, ao igual que a maioria das empresas na Colômbia, apresenta retos complexos em matéria de saúde e segurança no trabalho. No ano 2012 em Cerrejón cerca do 75% dos dias perdidos por condições de saúde foram doenças gerais, e 9 de cada 10 empregados incapacitados por situações de saúde se declararam doentes igualmente por esta contingência. Ao redor do 45% dos diagnósticos por situações de saúde nesse mesmo ano, foram por condições associadas ao sistema músculo esquelético. *Materiais e métodos:* para o controle integral desta problemática, Cerrejón vem implementando um sistema de vigilância epidemiológica para a prevenção das desordens músculo esqueléticas (DME). Este artigo apresenta algumas experiências que desde diferentes domínios da ergonomia tem implementado Cerrejón nos últimos anos. *Discussão:* em relação à morbidade laboral, Cerrejón segue um comportamento similar ao do país, no que o aumento constante tanto do número de casos quanto da taxa de morbidade, é a característica comum. Seguindo a tendência mundial e nacional, são as patologias músculo esqueléticas a primeira causa de morbidade laboral em Cerrejón.

*Palavras-chave:* ergonomia, prevenção, saúde ocupacional.

### *Introducción*

La ergonomía como ciencia inter y multidisciplinaria tiene diferentes enfoques que dependen en buena medida del abordaje y de lo que de ella esperamos. La mirada desde la academia es sin duda diferente al abordaje que hacemos desde la empresa. Mientras que en la primera el objeto fundamental es generar nuevos conocimientos, en la segunda esperamos respuestas concretas a problemas específicos. El reto es cómo generar nuevos conocimientos y a la vez resolver los problemas específicos que sufren los trabajadores en la industria.

El sector minero-energético, una de las cinco locomotoras del crecimiento del país, ha sido el que más rápido desarrollo ha tenido en los últimos años y se ha convertido en una importante fuente de empleo y de generación de riqueza para el país. Sin embargo, esta industria afronta retos importantes tanto desde la perspectiva ambiental como de seguridad y salud de los trabajadores que en ella laboran.

Cerrejón es una de las operaciones mineras de exportación de carbón a cielo abierto más grandes del mundo. Está ubicada en el departamento de La Guajira en el extremo norte de

Colombia. Abarca una mina a cielo abierto de carbón térmico que produce 32 millones de toneladas al año, un ferrocarril de 150 km de largo y un puerto marítimo capaz de recibir buques de hasta 180.000 toneladas de capacidad. Emplea a 10.000 personas, de las cuales más del 99 % son nacionales colombianas, es el exportador privado más grande y uno de los más importantes contribuyentes de impuestos en Colombia. A continuación, se exponen algunas experiencias que desde diferentes dominios de la ergonomía ha implementado Cerrejón en los últimos años.

### *Eventos pala-camión*

En el proceso de extracción minera, se presenta una frecuente interacción entre dos equipos mineros: la pala hidráulica o eléctrica y los camiones de acarreo. Debido a esta interacción, se generan cada año más de doce millones de pases en donde una pala alimenta a un camión. Dependiendo de la capacidad de la pala, cada 'pase' puede contener material estéril con un peso promedio de 80 toneladas. A pesar de seguir los mejores estándares de operación minera a nivel mundial, algunos de estos pases pueden producir contacto intempestivo con la tolva u otras partes del camión, o puede aparecer una roca sobre-tamaño no detectada por parte del operador de la pala, ocasionando daños a los equipos y, en algunos casos, lesiones a los ope-

radores. En un reciente estudio interno sobre estos eventos en los últimos seis años (2007-2012), encontramos 93 accidentes que generaron diversas lesiones en nuestros trabajadores.

Con el fin de asegurar las mejores prácticas operacionales en el proceso de cargue del camión y que minimizaran estos eventos, adelantamos, con el acompañamiento del Laboratorio de Ergonomía de la Pontificia Universidad Javeriana, un estudio que permitiera conocer la aceleración de los diferentes momentos de cargue tanto con material normal (arenoso) como con material rocoso y en las diferentes posiciones en la tolva del camión (adelante, en la mitad, atrás) (1). Para el experimento, fue necesario acondicionar un maniquí de 95 kg de paso para asegurar que no se fuese a producir ninguna lesión por parte de un trabajador sujeto de investigación durante el experimento.

Los resultados que se observan en la tabla 1 demostraron que el cargue de material rocoso genera mayores aceleraciones en todos los ejes comparado con material arenoso. Así mismo, corroboramos que el cargue 'adelante' posee mayores aceleraciones que cuando se hace en el medio o atrás, igualmente en todos los ejes. Este estudio confirmó el procedimiento seguido para el cargue del camión, y fue adelantado un proceso de reentrenamiento a supervisores y operadores de camión y de pala.

Tabla 1. Resultados de los niveles de aceleración en el experimento pala-camión usando un maniquí de 95 kg

Material	Máximo valor de a Eje x (m/s <sup>2</sup> )	Máximo valor de a Eje y (m/s <sup>2</sup> )	Máximo valor de a Eje z (m/s <sup>2</sup> )
Arenoso	1,975	2,67	1,65
Rocoso (cargue adelante)	4,04	4,77	3,91
Rocoso (cargue en la mitad)	2,63	3,20	2,15
Rocoso (cargue atrás)	2,36	3,09	2,04

### *Estudio para evaluar los niveles de aceleración diaria entre operadores de equipo minero*

Con el apoyo de la Universidad de Harvard, se ha realizado un estudio retrospectivo basado en información previa de Cerrejón en 2007, 2008 y 2009.

Los registros de la aceleración en todos los equipos mineros en los años estudiados fueron considerados en este estudio y la morbilidad sentida por problemas músculo-esqueléticos por los operadores de esos equipos está siendo considerada en otro estudio en proceso. Fueron analizados datos administrativos de 1.854 operadores de equipos mineros pesados.

Los resultados de los niveles de aceleración por cada equipo son presentados en la tabla 2 y la aceleración media en cada uno de los años estudiados se muestra en la tabla 3.

La conclusión de este estudio fue que la exposición diaria equivalente en esta cohorte histórica estuvo por debajo de los niveles de acción para vibración cuerpo entero. El porcentaje de operadores de estos equipos que alcanzaron el nivel de acción estuvo en niveles muy bajos (0,0; 0,1 y 0,2 %), los cuales están muy por debajo de los niveles de reporte de morbilidad sentida por DME. Este estudio fue presentado en la 5ª Conferencia Internacional de Lesiones por Vibración Cuerpo Entero, que se llevó a cabo el 5, 6 y 7 de junio de 2013, en Amsterdam (Holanda) (2).

Tabla 2. Valores medios (rango) de aceleración por cada eje y por tipo de vehículo (units  $m/s^2$ )

Heavy equipment vehicle	Nº vehicles sampled	1,4X-axis	1,4Y-axis	Z-axis	Vector sum
Cargador	4	0,58 (0,34-0,87)	0,61* (0,40-0,72)	0,34 (0,2-0,46)	0,69
Tractor de orugas	6	0,73 (0,57-0,85)	0,88* (0,71-1,19)	0,40 (0,35-0,45)	0,91
Camión de 190 toneladas	9	0,48 (0,29-0,89)	0,37 (0,31-1,02)	0,50* (0,41-0,72)	0,66
Camión de 240 toneladas	7	0,43 (0,27-0,68)	0,47 (0,29-0,66)	0,49* (0,28-0,59)	0,69
Camión de 320 toneladas	8	0,49* (0,36-0,70)	0,46 (0,37-0,61)	0,49* (0,41-0,66)	0,69
Moto trailla	12	0,76 (0,57-1,03)	1,06* (0,52-1,34)	0,72 (0,65-0,93)	1,23
Moto niveladora	17	0,58 (0,36-1,18)	0,79* (0,44-1,29)	0,67 (0,42-1,13)	1
Pala eléctrica	7	0,30 (0,24-0,37)	0,26 (0,24-0,31)	0,38* (0,29-0,77)	0,48
Taladro	12	0,13 (0,07-0,38)	0,13 (0,06-0,26)	0,43* (0,13-0,86)	0,45
Camión cisterna	6	0,55 (0,49-0,68)	0,52 (0,45-0,70)	0,75* (0,53-0,84)	0,92
Pala hidráulica	9	0,39* (0,31-0,80)	0,27 (0,15-0,53)	0,19 (0,12-0,62)	0,4
Buldócer sobre ruedas	7	0,65 (0,50-0,67)	0,54* (0,44-0,60)	0,54* (0,4-0,59)	0,81

Tabla 3. Valores medios anuales (mediana y rango) en cada uno de los años (2007-2009) y promedio del período A(8)

Periodo	n	Median (mínimo-máximo)
2007	1400	0,38 (0,01-0,46)
2008	1534	0,39 (0,01-0,48)
2009	1658	0,40 (0,00-0,47)
Promedio para los tres años	1653	0,40 (0,00-0,74)

*Mediciones antropométricas en comunidades indígenas*

Basados en el valor del respeto y en la políticas de igualdad de oportunidades, Cerrejón promueve la vinculación a su operación de personas provenientes de grupos minoritarios, como las comu-

nidades wayuu: “ (...) igual respeto debemos a las comunidades en las que vivimos y a aquellas con las que nos relacionamos... estamos particularmente interesados en la vinculación y promoción de poblaciones minoritarias y etnias locales”.

Tabla 4. Resultados de la medición de la altura radial (del codo) V07

Población indígena - resguardos Cerrejón				Comparación con Acopla-95		
Estadísticos		Hombres	Mujeres	Estadísticos		Mujeres
N	Válidos	106	95	Válidos	1.315	785
	Perdidos	0	0	Perdidos	0	0
Promedio		102,76	95,93	Promedio		106,4
Error típico del promedio		0,4	0,32	Error típico del promedio		0,12
Moda		103,3	93,9	Moda		
Desviación típica		4,08	3,08	Desviación típica		4,64
Asimetría		0,19	0,14	Asimetría		-0,049
Curtosis		0,43	-0,44	Curtosis		0,051
Error típico de curtosis		0,47	0,49	Error típico de curtosis		
Rango		25	14,4	Rango		33,2
Mínimo		90,5	88,7	Mínimo		88,8
Máximo		115,5	103,1	Máximo		122,0
Percentiles	5	96,71	90,9	5	98,7	91,4
	10	97,67	92	10	100,6	92,9
	20	99,2	93,32	20	102,6	94,7
	25	99,78	93,9	25	103,4	95,3
	50	102,85	95,5	50	106,5	97,8
	75	105,23	98	75	109,6	101,0
	80	106,3	98,64	80	110,3	101,7
	90	108,2	100,38	90	112,4	103,4
95	109,22	101,46	95	114,3	105,2	



Figura 1. Medición de la estatura en condiciones de laboratorio a una indígena wayuu. Nombre de la variable: estatura (altura) - código: V02

Con el fin de conocer algunos parámetros antropométricos de estas comunidades indígenas, que permitan asegurar su proceso de vinculación de una forma eficiente y segura, adelantamos, con el apoyo de la Universidad de Antioquia, un estudio que permitió medir a 201 indígenas sanos de cuatro resguardos wayuu en el área de influencia de Cerrejón (3). La muestra fue calculada sobre 914 personas  $Z = 0,05$  y  $T = 6,1\%$ . El promedio de edad de los participantes fue de  $26 \pm 7,6$  años, 53 % hombres, 47 % mujeres. Todos los evaluados firmaron un consentimiento informado en wayuunaiki. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia (Acta 016 - 12-04-12). En total, a cada participante, se le realizaron 63 diferentes medidas y fueron estimados, basados en fórmulas, 5 índices.

La tabla 4 muestra, a modo de ilustración, los resultados de la medición de la 'altura radial' y su comparación con el referente nacional del

estudio Acopla-95 de mediciones antropométricas en población laboral colombiana (4). La figura 1 ilustra la realización de una toma en condiciones de laboratorio antes de realizar las mediciones en los resguardos indígenas.

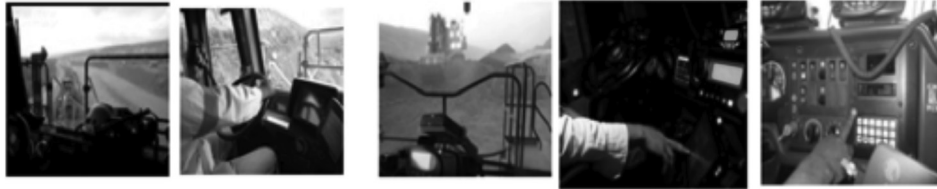
#### *Uso y sistema anticolidión*

Con el fin de identificar algunas condiciones que estuvieren posiblemente afectando el concepto de uso de un sistema recientemente instalado para la detección de colisiones (sistema anticolidión), se adelantó el presente estudio con el acompañamiento del Laboratorio de Ergonomía y Análisis del Movimiento de la Universidad del Rosario (5).

El estudio consistió en la observación directa por parte de expertos durante la tarea de conducción de equipos mineros pesados y la percepción de variables de seguridad por parte de 18 operadores de equipo minero pesado y con una experiencia mayor de cinco años.

Tabla 5. Distribución porcentual de la atención requerida por los operadores de camión sobre los dispositivos de comunicación, según actividad de trabajo que se esté desarrollando

Fuente	Visión en la vía y acciones de conducción	Radio canal abierto	Radio <i>trunking</i>	Sistema anticolidión	CTD	Parámetros de motor y del equipo	Pito de la pala	Acumulado
Inicio ciclo	40%	15%	5%	3%	25%	12%		100%
Tránsito a pala (descenso)	70%	10%	5%	5%	5%	5%		100%
Cargue	80%	3%	2%	5%	5%	2%	3%	100%
Espera en el cargue	40%	15%	5%	2%	25%	10%	3%	100%
Tránsito a descargue (ascenso)	70%	10%	5%	7%	5%	3%		100%
Descargue	80%	5%	2%	3%	5%	5%		100%



La tabla 5 muestra la distribución de la atención requerida según actividad. El objetivo era identificar en los sujetos evaluados qué porcentaje del tiempo de trabajo era dedicado a la atención en tareas específicas y a lo largo de las diferentes etapas del proceso (cargue, tránsito y descargue), y, en particular, su interacción con el sistema anticolidión.

Algunas de las conclusiones de este estudio fueron las siguientes:

- Cuando una señal se presenta como una molestia, pierde esta utilidad y se convierte en una señal que es dejada de lado por el conductor. Un fenómeno que afecta especialmente el proceso de conducción es la producción de falsas alarmas.
- El sistema anticolidión produce constantemente advertencias, reduciendo la confianza

en el sistema, lo que implica tomar informaciones de otras fuentes para garantizar el desarrollo efectivo de las maniobras requeridas.

- La presencia de diversas fuentes sonoras produce un efecto de enmascaramiento de las señales auditivas provenientes del sistema anticolidión y del Centro de Despacho de Camiones (CTD).
- Los trabajadores manifiestan molestia por presencia elevada de ruido, este se presenta por la frecuencia de señales de advertencia y por los continuos intercambios de información complementaria a la operación.
- La señal sonora del sistema anticolidión es muy próxima a la frecuencia de las señales sonoras que envía el CTD. Esto genera confusión y requiere de proceso de discriminación para precisar la fuente.

## *Referencias*

1. Quintana L. Estudio de aceleración por impacto en camiones mineros usando un maniquí. Laboratorio de Ergonomía Universidad Javeriana. Datos no publicados. 2010.
2. Arias O, Johnson P, Piedrahita H y Dennerlein J. Equivalent daily vibration exposure among heavy equipment vehicles operators in an open pit coal mine. In the 5<sup>th</sup> International Conference on Whole Body Vibration Injuries. 2013 jun 5-7; Amsterdam.
3. Estrada J, Camacho J y Rosique J. Estudio antropométrico comunidades indígenas en el área de influencia de Cerrejón. Datos no publicados. 2012.
4. Estrada J, Restrepo M, Parra C y Camacho J. Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana - Acopla-95. Bogotá: Instituto de Seguros Sociales; 2001.
5. Castillo J y Albarracín, J. Estudio de usabilidad en equipo de acarreo minero en Cerrejón. Datos no publicados. 2012.