

Analysis of work accidents and occupational diseases in tunnelling as a support for risk management

Análisis de los accidentes laborales y enfermedades ocupacionales en tunelización como soporte para la gestión de riesgos

J. P. Couto^{1*}, M. Tender *

* Universidade do Minho – Guimarães, PORTUGAL

Fecha de Recepción: 13/03/2020

Fecha de Aceptación: 18/07/2020

PAG 182-191

Abstract

This article is a contribution to close the scientific gap due to the lack of statistical data on accidents at work and occupational diseases in tunnelling. The characterization of the most typical events, understanding the cause of their occurrence, is of great importance for their prevention and for determining the existing hazards. This will allow the events analysis to gain more space as a tool for risk analysis, through the already established added value of learning from past events and mistakes. Thus, it is possible to study in due time potential causes of harmful events that may occur. With these advantages, companies can improve their risk assessments and control their costs. This article analyses statistically, using Eurostat variables, the most typical accidents at work and occupational diseases in tunnelling in Portugal, comparing them with other types of construction, using the same indicators. It starts by presenting an overview of accidents at work and occupational diseases in tunnelling worldwide, describing their impact. Afterwards, it presents statistical data from the Portuguese construction and tunnelling sectors, using the data from 150 accidents at work and 42 cases of occupational diseases in tunnelling to compare with construction, showing why tunnelling is so specific.

Keywords: Accidents; prevention; diseases; tunneling; Portugal

Resumen

Este artículo es una contribución para cerrar la brecha científica debida a la falta de datos estadísticos sobre accidentes laborales y enfermedades ocupacionales en la construcción de túneles. La caracterización de los acontecimientos más típicos tiene gran importancia para determinar los peligros existentes, permitiendo que el análisis de los eventos trascienda como una herramienta para el análisis de los riesgos, a través del valor agregado de aprender de los eventos pasados. Así, es factible estudiar las posibles causas de los eventos perjudiciales que pueden ocurrir. Con estas ventajas, las empresas pueden mejorar sus evaluaciones de riesgo y controlar sus costos. En este artículo se analizan estadísticamente, los accidentes laborales y las enfermedades ocupacionales más comunes en Portugal, utilizando las variables de Eurostat, y comparándolos con los de la construcción en general, utilizando los mismos indicadores. Se presenta una visión general de los accidentes y enfermedades laborales en túneles de todo el mundo; se analizan datos estadísticos (portugueses) de la construcción y tunelización, utilizando los datos de 150 accidentes de trabajo y 42 casos de enfermedades ocupacionales en túneles para compararlos con los de la construcción, mostrando por qué tunelización es tan específico. Así, se hace una relevante contribución técnico-científica para comprender las causas de los accidentes laborales y enfermedades ocupacionales.

Palabras clave: Accidentes; prevención; enfermedades; túneles; Portugal

1. Introducción

1.1 Generalidades

La tunelización (TUNELIZ) forma parte del sector de la construcción, siendo un área específica en la que se han hecho considerables inversiones financieras (Tender y Couto, 2016a) y con un crecimiento en cuanto a volumen (Ritter et al., 2013) e importancia para el desarrollo de las ciudades (Delmastro et al., 2016). La construcción (CONST) tiene un rango de riesgos razonablemente conocidos, tales como: exposición a ruidos fuertes, vibraciones, polvo, sustancias químicas y biológicas peligrosas, riesgo de resbalar y tropezar, caídas a un nivel inferior, ser atropellado o golpeado por vehículos, ser aplastado, ser golpeado por caída de objetos y riesgos asociados con el manejo de cargas pesadas y herramientas manuales. Claramente, todos estos riesgos están presentes en la construcción de túneles. Sin embargo, la TUNELIZ además presentan un conjunto de especificidades que aumentan su complejidad (Tender y Couto, 2016a), principalmente en términos de impredecibilidad geotécnica, interacción con rocas y material blando, y todo un conjunto de características específicas (por ej., gases peligrosos, trabajo en espacios confinados, altas temperaturas, trabajo bajo condiciones presión y humedad). Obviamente, la presencia de estos riesgos aumenta la probabilidad de accidentes laborales (AL) y enfermedades ocupacionales (EO).

¹ Autor de correspondencia:

Universidade do Minho – Guimarães, PORTUGAL

E-mail: jpc@civil.uminho.pt



En este trabajo se consideraron las diferencias entre los dos métodos de construcción de túneles (Tender y Couto, 2016a): Método de Excavación Convencional (CEM, del inglés Conventional Excavation Method) y Método de Excavación con Tuneladora (TBM, Tunnel Boring Machine) al estudiar los riesgos sanitarios y de seguridad.

Durante años, la tunelización ha sido propensa a los accidentes laborales fatales (Tender y Couto, 2017). La (Tabla 1) presenta algunas cifras de los accidentes fatales producidos en la construcción de túneles.

Tabla 1. Accidentes fatales/Kilómetro.

Nombre	Accidentes fatales/km
Seikan	0,4
Channel Tunnel	0,056
Crossrail	0,024

Como se aprecia, en la tasa de accidentes fatales del Channel Tunnel, se ve una tendencia positiva en el número de accidentes fatales, como resultado de los esfuerzos realizados para mejorar las condiciones sanitarias y de seguridad de los trabajadores.

1.2 Importancia de los accidentes laborales y enfermedades ocupacionales

En términos comerciales, los accidentes laborales (AL) y las enfermedades ocupacionales (EO) pueden producir un impacto muy negativo para las compañías involucradas:

- Cumplimiento de plazos: La ocurrencia de un AL serio o fatal generalmente provoca la interrupción de las obras en uno de sus frentes de trabajo y puede, en los casos más graves, producir un impacto en el tiempo total de ejecución. La suspensión de la obra puede ser breve, durando unas pocas horas, o larga, en espera de la recopilación de todos los datos necesarios para la investigación. Si bien los accidentes pueden no haberse considerado una de las principales causas de las demoras, cuando ocurren pueden "ser decisivos para el progreso de las obras, incluso en ciertos casos, comprometiendo el éxito del proyecto" (Couto, 2007).

- Costos relacionados: la interrupción de las obras por las razones ya mencionadas tiene altas implicancias económicas (Hermanus, 2007) con los consecuentes costos directos e indirectos (López-Alonso et al., 2015), tales como: pérdida de productividad y rendimiento, baja moral, compensación por daños y tiempo dedicado en el análisis del AL (junto con los de EO), que se estima en 8,5% del costo del proyecto (Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, 2014a). Ciertamente estos costos afectan, en la reducción de los márgenes de ganancia de la compañía y de su competitividad. Además, será menos probable que la empresa se convierta en un proveedor preferido para los propietarios del proyecto donde la prevención sea una de las principales preocupaciones (Tender, 2018). Debido a su impacto, este aspecto por cierto aumentará el interés de los tomadores de decisiones de la compañía y, en consecuencia, siempre será incluido en el análisis de los temas de seguridad y salud ocupacional (Shannon et al., 1999).

Normalmente, la gestión de riesgos emerge como un procedimiento efectivo que se ha introducido gradualmente en el proceso de toma de decisiones (Mahdevari et al., 2014) y, por lo tanto, constituye la piedra angular de la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo (Carvalho, 2013). Para asegurar un manejo adecuado de los riesgos, el primer paso obvio es una identificación confiable de los peligros (Badri et al., 2013). Esta etapa se debe considerar como la más crítica del todo el proceso, en la medida en que un peligro no identificado es un peligro no evaluado y, en consecuencia, se convierte en uno no controlado (Carvalho, 2013). Si este proceso no es completo y constante, no será posible corregir los errores en las fases posteriores, y la gestión de riesgos tendrá una estructura falsa (Ceyhan, 2012). La caracterización de los casos más típicos, comprendiendo la causa de su ocurrencia o aparición, es de gran importancia para su prevención (Holla y Szóstak, 2014) y para determinar los peligros existentes. Esto permitirá que el análisis de los accidentes "gane más espacio como herramienta de prevención de accidentes" (Reis, 2007), a través del valor agregado, ya establecido, de aprender de los errores



(Azevedo, 2010). Por lo tanto, es posible estudiar, a su debido tiempo, las posibles causas de eventos dañinos. (Pirsaheb et al., 2015). Con estas ventajas, las compañías podrán aprovechar al máximo sus decisiones y controlar sus costos (Hale et al., 2007).

La investigación bibliográfica mostró la falta de datos estadísticos en AL y EO en TUNELIZ (Tender y Couto, 2016b). Ni siquiera la Asociación Internacional de Túneles (ITA), con su Grupo de Trabajo “Seguridad y salud en el trabajo”, ha podido compilar algún tipo de estadística sobre la frecuencia o naturaleza de los AL o EO (Lamont, 2016). Institucionalmente, se encontró que las autoridades regulatorias de cada país han compilado datos estadísticos en el sector CONST, pero rara vez distingue los diferentes tipos de construcción, como TUNELIZ (Lamont, 2011). Las preguntas de investigación que este trabajo intenta responder son:

P1 - ¿Cuál es el tipo típico de AL o EO (el que sucede con más frecuencia o es más probable que aparezca) correspondiente a TUNELIZ? Basándose en esta definición, será posible identificar los temas en que se debe enfocar las prioridades, para que sean examinados con mayor detalle.

P2 – ¿Las características de los AL y la aparición de EO en TUNELIZ son similares a las del sector de la construcción en general?.

Entonces, este estudio tiene una enorme significancia práctica, siempre necesaria en este tipo de investigación (Shannon et al., 1999), con su objetivo de cerrar la importante brecha en el conocimiento de los AL y EO, tanto para la especificidad de los detalles para TUNELIZ y para su comparación con el sector de la construcción en Portugal, ayudando así a que las comunidades científicas, técnicas y de inspección mejoren la caracterización y manejo de los riesgos.

2. Metodología

La metodología usada intenta ser lo más rigurosa posible, de modo de presentar preguntas cruciales, verdaderamente efectivas, que puedan ser útiles para dirigir medidas preventivas cada vez más efectivas (Shannon et al., 1999).

A continuación, se describen las opciones de metodologías de investigación en términos de accidentes laborales y enfermedades ocupacionales.

2.1 Accidentes laborales

Esta investigación se realizó mediante el análisis de diversas variables que permitieron no solo caracterizar a la persona accidentada del AL/EO sino describir las causas y sus dañinas consecuencias.

Existen diferentes metodologías para el análisis de los AL, dependiendo de los objetivos deseados y del grado de profundidad. En este caso, el objetivo era usar un método que permitiera caracterizar, lo más objetivamente posible, las circunstancias y las principales causas de un AL. La metodología escogida para el análisis de los AL analizó las variables descritas en la Estadísticas Europeas sobre Accidentes en el Trabajo (ESAW, European Statistics on Accidents at Work) ya que corresponden a una metodología ampliamente usada y aceptada a nivel europeo. Las variables seleccionadas para este análisis fueron: ocupación, hora, lugar, actividad física específica, desviación, agente material, contacto, tipo de lesión, parte del cuerpo lesionada, número de días perdidos. Esto aseguró que fuera posible caracterizar mínimamente el accidente, tanto en términos de caracterización de la persona accidentada como en términos de caracterización de la situación que condujo hacia el AL.

Como las variables “Ocupación” y “Lugar” en las ESAW no estaban completamente disponibles para este estudio, se crearon opciones de respuesta más adecuadas a los objetivos buscados. Como se introdujeron cambios a las opciones de respuesta a las variables Eurostat (European Statistics), fue necesario validar esta nueva estructura de respuestas. Para ello, se usó el método Delphi, técnica para la toma de decisiones grupales, de modo de asegurar un acuerdo entre los 15 expertos, con más de 5 años de experiencia en el campo, sobre la validez de las nuevas opciones de respuesta (Zio y Pacinelli, 2011). La encuesta se realizó en dos rondas y se consideró cerrada cuando los expertos estuvieron totalmente de acuerdo y aceptaron los contenidos propuestos.

En cuanto al proceso de obtención de datos sobre AL en Portugal, los autores usaron los datos entregados por Oficina Gubernamental de Estrategia y Planificación (GEP, Governmental Office for Strategy and Planning), obtenidos entre enero y marzo de 2016, y extraídos de una serie, de los AL en CONST (general) y de la Clase “024-subterráneo” durante el 2013 (al momento de obtener los datos para este estudio, éstos eran los más actualizados que tenía la GEP). Como la GEP no tenía datos para los años 2014 y 2015, y a fin de evaluar si aquellos años seguían alguna tendencia de los datos presentados por la GEP para el 2013, se realizó una recolección de información de los propietarios y contratistas de los proyectos para este tipo de obras (EMP) sobre AL ocurridos



durante esos años. Las compañías escogidas fueron Las dos más respetadas a nivel nacional (en términos de propietario y contratista de la obra). La información fue recibida por los autores vía e-mail, en forma de mapas que contenían la caracterización de los datos sobre los AL. Se analizó un total de 150 AL entre los años 2012 y 2015.

Cuando no se encontraron datos estadísticos respecto de las posibilidades de respuesta a las variables, los casos no se presentaron (nd, no disponible).

2.2 Enfermedades ocupacionales

Para las EO, también se usó una metodología propuesta por la Eurostat, en este caso, basada en las Estadísticas europeas de enfermedades profesionales (EODS, European Occupational Diseases Statistics). Las variables estudiadas por las EODS fueron: país, edad, sexo, ocupación, actividad económica del empleador, diagnóstico, severidad, exposición-causa, exposición-agente material, año del primer reconocimiento, gravedad de la enfermedad para el primer reconocimiento. Para este estudio, las variables seleccionadas fueron "Ocupación" y "Diagnóstico", porque son las que permiten caracterizar mínimamente el escenario de aparición de la EO.

El Instituto de Seguridad Social (ISS) proporcionó los datos sobre las EO analizadas (a través del departamento responsable de producir y certificar las estadísticas de enfermedades ocupacionales del sector privado) que entregó información detallada sobre 1615 EO certificadas entre los años 2000 y 2015 en el sector CONST y sobre 42 EO certificadas entre el 2001 y el 2015 para TUNELIZ.

3. Resultados

Este capítulo presenta los resultados obtenidos de los datos estadísticos de AL (Tabla 2) y EO (Tabla 3). Para cada variable, se presentan los resultados de la información obtenida de la GEP y de las compañías (para los AL) y del ISS (para las EO).

La compilación de datos presentada en este estudio se realizó en dos partes: una para CONST y otra para TUNELIZ, con el objetivo de lograr la comparación prevista entre las dos actividades.

(Shannon et al., 1999) sostiene que el reconocimiento de las limitaciones de un estudio y su impacto en las conclusiones forma parte del servicio que los autores ofrecen a sus lectores. En consecuencia, los autores desean señalar las limitaciones presentes en este estudio:

- Este estudio analiza solamente los accidentes que producen días perdidos, lo que significa que, como también existen accidentes que no producen días perdidos, algunas situaciones no han sido analizadas.

- Este estudio está restringido a la realidad de Portugal, país de los autores. Esto significa que podría ser replicado en otros países y los respectivos resultados se deberían comparar.

- A pesar de que los autores solicitaron información a varias compañías en Portugal, solo dos respondieron; afortunadamente fueron las dos compañías más grandes del sector.

3.1 Accidentes laborales

A continuación, se presenta la tipificación de los accidentes laborales.



Tabla 2. Tipificación de los accidentes laborales.

	CONSTRUCCIÓN	TUNELIZACIÓN	
		GEP	EMP
Ocupación de la persona accidentada	nd	nd	“Manipuladores/ operadores/ conductores” (27,4%), “Minero” (13,6%) y “Carpintero de encofrado” (13,6%)
Hora	nd	Desde que se cambiaron las opciones de respuesta, no hay datos disponibles de la GEP para este análisis	“De 10am a 12pm” (22,7%) y “De 2pm a 5pm” (22,7%).
Lugar donde ocurrió el AL	nd	nd	“Encofrado y zona de hormigonado” (22,9%), “Entre el frente de excavación y la socavación para las fundaciones de los muros laterales” /12,1%), “Frente de excavación” (10,6%)
Actividad física específica	“Trabajo con herramientas manuales” (31,7%), “Transportado a mano” (24,6%)	“Trabajo con herramientas manuales” (39,3%), “Movimiento” (20,2%), “Manipulación de objetos” (14,3%)	“Manipulación de objetos” (39,4%), “Movimiento” (16,7%) y “Trabajo con herramientas manuales” (16,6%)
Desviación conducente al AL	“Movimiento corporal bajo o con esfuerzo físico (lesión interna)” (26,6%), “Pérdida de control (total o parcial) de una máquina o equipo” (20,8%), “Resbalón o tropiezo con caída de la persona a un nivel inferior”, “Resbalón o tropiezo en el mismo nivel” (20,7%).	“Movimiento corporal sin esfuerzo físico (lesión interna)” / “Movimiento corporal bajo o con esfuerzo físico (lesión externa)” (35,7%) y “Resbalón o tropiezo con caída” (33,3%), ambos juntos representan una proporción significativa de la totalidad (69,0%)	“Movimiento corporal bajo o con esfuerzo físico (lesión interna)” / “Movimiento corporal sin esfuerzo físico (lesión externa)” (31,8%), “Resbalón o tropiezo con caída” (22,7%)
Agente material de contacto – Modo de lesión	“Objetos, componentes de máquina o vehículos, escombros, polvo, partículas incandescentes, hormigón” (38,0%)	“Objetos, componentes de máquina o vehículos, escombros, polvo, partículas incandescentes, hormigón” (14,3%)	“Objetos, componentes de máquina o vehículos, escombros, polvo, partículas incandescentes, hormigón” (31,8%)
Tipo de lesión	“Heridas y lesiones superficiales” (50,6%), “Luxaciones, esguinces y distensiones” (22,5%)	“Heridas y lesiones superficiales” (59,5%), “Luxaciones, esguinces y distensiones” (19,0%)	“Heridas y lesiones superficiales” (40,9%) y “Fractura de huesos” (18,2%)
Parte del cuerpo lesionada	“Extremidades superiores” (31,7%) y “Extremidades inferiores” (23,9%)	“Extremidades superiores” (33,3%) y “Extremidades inferiores” (31,0%)	“Extremidades superiores” (45,5%) y “Extremidades inferiores” (25,8%)
Número de días perdidos	“7 a 13 días” (17,5%) y “30 a 90 días” (16,9%), con un promedio de 26,1 días	n.d.	“30 a 90 días” (42,7%) y “90 a 180 días” (16,7%), con un promedio de 60,8 días



3.2 Enfermedades ocupacionales

A continuación, se presenta la tipificación de las enfermedades ocupacionales

Tabla 3. Tipificación de las enfermedades ocupacionales.

	CONSTRUCCIÓN	TUNELIZACIÓN (ISS)
Ocupación de la víctima	nd	"Mineros" (47,6%), seguidos por "Operador de impermeabilización" (21,4%) y "Carpintero de encofrado" (11,9%)
Diagnóstico	"Trastornos auditivos" (34,1%), "Problemas musculoesqueléticos" (28,0%) y "Trastornos respiratorios / pulmonares" (25,9%).	"Trastornos respiratorios / pulmonares" (45,2%) y "Trastornos auditivos" (26,2%)

4. Discusión de los resultados

4.1.1 Ocupación de la persona accidentada

La principal ocupación afectada es "Manipuladores/ operadores/ conductores", que puede explicarse por la especificidad del proceso constructivo, que hace uso masivo de operadores y conductores para: perforación, remoción de escombros u hormigonado, en el caso del CEM, o para transportar materiales y equipos (utilizando vehículos sobre carriles), en el caso del TBM. La segunda ocupación más afectada es "Minero". Se explica especialmente en el caso del CEM, por la alta exposición al riesgo asociada a personas ubicadas cerca del frente de excavación, tales como la caída de bloques o atropellos desde la excavación. La ocupación "Carpintero de encofrados" es la tercera más afectada por los AL y predominante con el CEM, se puede explicar por el hecho que estos trabajadores usan y están en permanente contacto con estructuras temporales muy pesadas, fijas y móviles, de forma asimétrica y con bordes afilados, esto es, moldajes para el recubrimiento final (para la construcción de zapatas y para la ejecución de una sección transversal completa).

4.1.2 Hora

A pesar de no contar con datos de la GEP, en CONST existe una tendencia de mayor ocurrencia de AL en los periodos "De 10 am a 12pm" y "De 12pm a 2pm" (Reis, 2007).

De lo anterior, se puede concluir que, en TUNELIZ, el periodo en que ocurren más AL es el periodo considerado tradicionalmente como suplementario o nocturno (entre las 5pm y 8pm y entre las 8pm y 8am). Esto se puede justificar con el hecho de que trabajar en turnos o en sobretiempo, que son las formas tradicionales de organizar el trabajo en TUNEIZ (principalmente el primero) puede tener implicancias para la capacidad de respuesta normal del cuerpo humano y, por lo tanto, puede aumentar la probabilidad de que ocurran AL durante ese periodo de tiempo (Ling et al., 2009).

4.1.3 Lugar donde ocurrió el AL

No existen datos para "CONST" y "TUNELIZ" por lo que no es posible hacer comparaciones.

El lugar en que más AL ocurren, "Moldajes y zona de hormigonado" se explica porque en ciertas zonas se reúne una gran cantidad de trabajadores para realizar el revestimiento final del túnel (Tender y Couto, 2016b), tanto en el CEM (uso de maquinaria pesada para impermeabilizar, instalar refuerzos y moldajes para el hormigonado), como en el TBM (instalación de segmentos prefabricados). La presencia simultánea de una gran cantidad de trabajadores y equipos en un mismo lugar contribuye a la ocurrencia de AL (Tender y Couto, 2016a). Los estudios realizados por Estudios Kikkawa (Kikkawa, 2015) concuerdan con estos porcentajes y como el lugar donde más AL ocurren, señalando que la mayoría de los AL ocurren en lugares donde se está instalando el revestimiento final: 46,0% en el caso del CEM y 50,6% en el caso del TBM.

4.1.4 Actividad física específica

Como los datos obtenidos de la GEP y de EMP son diferentes, analizaremos esas tres actividades con más AL.



El porcentaje alto de AL en TUNELIZ por “Trabajo con herramientas manuales” se explica por el uso de herramientas para la instalación de aparatos de estabilización (en el CEM) y piezas prefabricadas (en el TBM), así como por el mantenimiento y reparación de equipos, lo que implica que los trabajadores dedican en general muchas horas trabajando con herramientas manuales. Los AL que ocurren durante el “Manipulación de objetos” se explica por el gran número de objetos que se manipulan, en ambos métodos: aparatos de estabilización, bloques, rollos de sistemas de impermeabilización, rieles para refuerzos y paneles de moldajes, en el caso del CEM, y elementos prefabricados, en el caso del TBM. En ambos casos, también existen objetos que pueden ser partes de los equipos o componentes de la infraestructura eléctrica, aire comprimido, agua o ventilación. Los AL ocurridos en “Movimiento” se puede atribuir a atropellos por equipos móviles (vehículos) o caídas desde mayor altura o en el mismo nivel. Cabe señalar que la importancia de esta actividad como causa de AL, mencionado por la Asociación Internacional de Túneles (International Tunneling Association-Working - Group 5, 2008), también ha sido destacada por la experiencia transalpina, en la que gran parte de los AL ocurren durante el movimiento y el transporte (Vogel y Kunz-Vondracek, 2013). En CONST, la segunda causa es “Transportado a mano”, que tiene un porcentaje bajo de AL en TUNELIZ. Esto se explica porque casi no existen piezas o materiales transportados a mano en TUNELIZ (normalmente, éstos se transportan con cargadores multipropósito u otra maquinaria).

4.1.5 Desviación conducente a AL

Los datos obtenidos vía GEP y EMP son idénticos.

Los datos muestran que “Movimiento corporal bajo o con esfuerzo físico (lesión interna)” es la que más prevale en CONST y TUNELIZ. La cifra de “Movimiento corporal bajo o con esfuerzo físico (lesión interna)” se explica por la necesidad de manipular/estar en contacto con equipos, herramientas u objetos, con el cuerpo sometido a esfuerzo físico durante esas actividades. Los trabajos próximos al frente de excavación son importantes en esta desviación (en el caso del CEM), donde los bloques que caen desde la corona son la principal causa de AL, sumado a la vasta cantidad de maquinaria pesada (Tender et al., 2015) requerida, donde se corre el riesgo de atropellos (Mahdevari et al., 2014). También es importante el transporte de materiales al lugar de trabajo (en el caso del TBM). Además, se debe tener en cuenta el riesgo de caída del hormigón proyectado (Tender et al., 2015). El porcentaje de “Movimiento corporal sin esfuerzo físico (lesión externa)” se explica por las personas que entran en contacto con objetos, equipos, herramientas, terreno, etc., que les provocan lesiones externas, como cortes, laceraciones, enucleaciones, hematomas, quemaduras, etc. “Resbalón o tropiezo con caída”, en el caso de caídas a un nivel inferior, se explica por las personas que se caen mientras usan plataformas temporales para el trabajo durante el revestimiento final (impermeabilización, reforzamientos y hormigonado), en el caso de CEM, y durante el montaje, desmontaje y ubicación de la máquina tuneladora, en el caso de TBM. “Resbalón o tropiezo con caída” en el mismo nivel es una causa común de AL (Tender y Couto, 2016a) y sucede por la irregularidad del terreno, en el caso del CEM, y mientras se camina a lo largo de la tuneladora, en el caso del TBM. Además, la manipulación manual de cargas puede obstruir la visibilidad y empeorar esta situación (Tender y Couto, 2016a).

4.1.6 Agente material de contacto – Modo de lesión

En esta variable, existe una similitud en las respuestas de “CONST” y “TUNELIZ”. “Objetos, componentes de máquinas o vehículos, escombros, polvo, partículas incandescentes, hormigón” abarca una gran variedad de elementos, muchos de ellos presentes especialmente en tunelización, tales como bloques de roca (Tender y Couto, 2016a), escombros provenientes de las operaciones de voladura, de hormigón proyectado, etc. Sin embargo, como es una mezcla de elementos, los análisis individuales son difíciles de realizar. Cabe señalar también que “Equipos – móviles o portátiles” se identificó como una de las principales causas de AL (Waris et al., 2014) por atropello (Tender y Couto, 2016a), puesto que abarca camiones para el transporte de escombros, palas cargadoras y correas transportadoras (Groves et al., 2007), corroborando la experiencia en los túneles transalpinos de que la mayoría de los accidentes en TUNELIZ están relacionados con el tráfico y el transporte (Vogel y Kunz-Vondracek, 2013).

4.1.7 Tipo de lesión

La causa principal, con un alto porcentaje, es “Heridas y lesiones superficiales”. Esta causa se explica por la cantidad de objetos y materiales que deben ser transportados manualmente en este tipo de obra. Como segunda causa, los datos de la GEP y EMP son diferentes, de modo que analizamos ambas causas. Las “Luxaciones, esguinces y distensiones” pueden estar relacionadas con la caída de personas en el mismo nivel, que ha sido identificada como una de las principales desviaciones. “Fractura de huesos” se explica por el contacto con objetos demasiado grandes, como aparatos de estabilización y partes o piezas de los encofrados (en el caso del CEM) o segmentos prefabricados (en el caso del TBM).



4.1.8 Parte del cuerpo lesionada

Aunque los datos obtenidos de la GEP y EMP eran diferentes, se restringían a dos partes del cuerpo, y cabe señalar el alto porcentaje representado por ambas partes del cuerpo en TUNELIZ.

El hecho de que la parte del cuerpo más lesionada sea “Extremidades inferiores”, más propensa a lesionarse durante resbalones o caídas, puede relacionarse con la caída de objetos, por ej., bloques, o a tensiones debido a un terreno irregular, mayormente en el CEM. Para “Extremidades superiores”, estas cifras se explican por la gran cantidad de trabajo realizado con herramientas manuales (normalmente con herramientas pesadas, como barras para escalar y palancas (Groves et al., 2007) o por contacto con material rodante o segmentos prefabricados. Además, la alta cantidad de cargas manejadas, tanto en el CEM (por ej., cuando proviene de aparatos de estabilización), y en el TBM (por ej., manipulación de piezas durante el montaje y desmontaje, o segmentos prefabricados durante su colocación y ensamblaje) significa que existe una fuerte tendencia a tener contacto con manos, brazos, piernas y pies, ya sea por caídas u otro tipo de contacto.

4.1.9 Número de días perdidos

Queda claro que “TUNELIZ” presenta un promedio de días perdidos mucho mayor que CONST. Este hecho puede justificarse por una aparente mayor severidad de las “Heridas y lesiones superficiales” (hematomas, laceraciones o heridas abiertas) que tienen como resultado un número mayor de días perdidos.

4.2 Enfermedades ocupacionales

4.2.1 Ocupación de la persona accidentada

Los Mineros a menudo están cerca del frente de excavación donde existe polvo respirable (Tender y Couto, 2016a) compuesto frecuentemente por roca con altos niveles de sílice. También se ven expuestos a humos provenientes del uso de los explosivos, partículas de polvo del hormigón proyectado, nieblas de aceites (por ej., para proteger la superficie de los robots de pulverización del hormigón) y gases de escapes, que están todos presentes en el espacio confinado del frente de excavación. El “Operador de impermeabilización” es probable que esté expuesto a una mayor cantidad de situaciones de estrés físico, con consecuencias musculoesqueléticas, y a productos químicos, principalmente en forma de vapores, por ej., de productos para calentar el revestimiento impermeabilizante. Los “Carpinteros de encofrados” tienen una alta exposición al cemento y a los agentes desmoldantes.

4.2.2 Diagnóstico

“TUNELIZ” no presenta las mismas características que “CONST”. Mientras en CONST “Desórdenes auditivos” y “Problemas musculoesqueléticos” se encuentran en la parte alta, en TUNELIZ el primer lugar lo tiene “Desórdenes respiratorios y pulmonares”, seguido por “Desórdenes auditivos”. Juntos, los dos diagnósticos principales en TUNELIZ suman un porcentaje significativo del 71,4%.

Dentro de los desórdenes respiratorios y pulmonares, es importante distinguir los desórdenes que afectan las vías respiratorias de las que afectan a los pulmones. En cuanto a la inflamación de las vías respiratorias, se ha demostrado que la exposición a partículas y gases provenientes de productos de combustión del diésel (de la maquinaria pesada, en el CEM, y locomotoras, en el TBM) (Tender y Couto, 2016b) y de la voladura de los explosivos (en el caso del CEM), a saber, los explosivos ANFO, (Tender et al., 2015) se asocian con frecuencia al inicio o empeoramiento del asma y la bronquitis crónica (Oliver y Miracle-McMahill, 2006). Por otra parte, el polvo proveniente del cemento usado en el hormigón proyectado puede contribuir a empeorar las condiciones asmáticas, que se traducen en una reducción de la función pulmonar de los operadores de robots de pulverización del hormigón (Bakke et al., 2001). Los aceites usados para proteger la maquinaria contra las salpicaduras y acumulación de hormigón o para limpiar los moldes de encofrado, por su composición, también pueden provocar problemas en las vías respiratorias (Bakke y Ulvestad, 2015), es decir, asma. En cuanto a las neumoconiosis, causada por la deposición de partículas de polvo en el pulmón, es importante distinguir las causadas por la deposición de sílice proveniente de la masa rocosa, una situación más frecuente en este tipo de trabajo (Tender et al., 2015), de las causadas por la deposición de partículas de asbesto, situación menos probable. Cabe mencionar que la silicosis es la enfermedad ocupacional más antigua y grave conocida. Las ocupaciones más afectadas por el polvo y gases son las de perforadores y operadores de máquinas perforadoras (Bakke et al., 2001), y se deberían destacar los riesgos de exposición a los agentes mencionados que afectan a quienes trabajan en las cercanías y de quienes trabajan en lugares con humos, vapores o partículas.



5. Conclusiones

Los resultados provienen de un cuidadoso análisis de la información extraída de la GEP y de otras compañías. Los datos estadísticos obtenidos ahora conforman una nueva fuente de información disponible para quienes deseen usarla para el mejorar el análisis de riesgos sobre AL y EO. Se logró obtener respuestas objetivas y cuantificadas para las preguntas de investigación.

Los AL típicos ocurren con los operadores de equipos móviles entre las 5pm y 8am, en las áreas de “Encofrado y zona de hormigonado”. Por otra parte, en “Trabajos con herramientas manuales”, que exigen “Movimientos corporales con esfuerzo físico”, causado por los “Componentes de la maquinaria, escombros u hormigonado”, con “Heridas o lesiones superficiales” en brazos, manos, piernas o pies, se totalizan 60,8 días perdidos.

Las EO clásicas ocurren en los mineros que trabajan en el frente de excavación por desórdenes respiratorios y pulmonares.

Además, se puede concluir que existen notorias diferencias, relacionadas con algunas de las variables estudiadas, entre el sector de la CONST y de TUNELIZ.

Este estudio mejora las herramientas del análisis de riesgos en TUNELIZ y debería servir como punto de inicio de otros estudios internacionales más extensos, con un grupo mayor de muestras de AL y EO, permitiendo una identificación más precisa de las tareas que presentan un mayor potencial de riesgo y que requieren con urgencia una intervención.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las compañías que participaron en el Proyecto I+D “SegOS-Seguridad y Salud en Tunelización”: MOTA-ENGIL, ORICA, SIKA, DST y a Alexandra Valle Fernandes por la traducción del texto al inglés.

7. Referencias

- Azevedo, R. (2010).** *Accidents in manual handling of loads in construction sector.* (PhD Thesis). Guimarães, Portugal: School of Engineering of University of Minho.
- Badri, A., Nadeau, S., & Gbodossou, A. (2013).** A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6): 1145-1158. doi:10.1016/j.jlp.2013.04.014
- Bakke, B., Stewart, P., Ulvestad, B., & Eduard, W. (2001).** Dust and gas exposure in tunnel construction work. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 62(4): 457-465.
- Bakke, B., & Ulvestad, B. (2015).** Exposure to aerosols and gases in modern tunnelling operations and lung function decline. In Norwegian Tunnelling Society (Ed.), *Publication 24-Health, Safety and Environment in Norwegian Tunnelling* (pp. 15-20). Oslo, Noruega: Norwegian Tunnelling Society,.
- Carvalho, F. (2013).** Reliability in risk assessment - comparative study of semi-quantitative risk assessment methods in an occupational context. (PhD Thesis). Lisbon, Portugal: University of Lisbon.
- Ceyhan, C. (2012).** *Occupational health and safety hazard identification, risk assessment, determining controls.* (MSc Thesis). Turquía: Middle East Technical University.
- Couto, J. (2007).** *Non-compliance with construction deadlines.* (PhD Thesis). Guimarães, Portugal: School of Engineering of University of Minho.
- Delmastro, C., Lavagno, E., & Schranz, L. (2016). Underground urbanism: Master Plans and Sectorial Plans. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55: 103-111. doi:10.1016/j.tust.2016.01.001
- Groves, W., Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2007).** Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. *Journal of Safety Research*, 38: 461-470. doi:10.1016/j.jsr.2007.03.011
- Hale, A., Ale, B., Goossens, L., Heijer, T., Bellamy, L., Mud, M., Roelen, A., Baksteen, H., Post, J., Papazoglou, I., Bloemhoff, A., Oh, J. (2007).** Modeling accidents for prioritizing prevention. *Reliability Engineering and System Safety*, 92: 1701-1715. doi:10.1016/j.res.2006.09.025
- Hermanus, M. (2007).** Occupational health and safety in mining—status, new developments, and concerns. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107: 531-538.
- Hola, B., & Szóstak, M. (2014).** Analysis of the development of accident situation in the construction industry. *Procedia Engineer*, 91: 429-434. doi:10.1016/j.proeng.2014.12.088
- International Tunnelling Association-Working Group 5. (2008).** ITA Report n° 001- Guidelines for good occupational health and safety practice in tunnel construction. Avignon, França: International Tunneling Association.
- Kikkawa, N. (2015).** Analysis of labour accidents and a few preventions during tunneling construction in Japan. World Tunnel Congress - WG5 meeting presentation. In J. T. Association (Ed.). Dubrovnik, Croacia.
- Lamont, D. (2011).** *Health and safety hazards in underground construction.* In International Conference & Exhibition on Tunnelling And Trenchless Technology, Kuala Lumpur, Malasia: International Tunnelling Association
- Lamont, D. (2016).** Health and safety in tunnelling - personal communication. Inglaterra: D. Lamont.



ENGLISH VERSION.....

- Ling, F., Liu, M., & Woo, Y. (2009).** Construction fatalities in Singapore. *International Journal of Project Management*, 27: 717-726. doi:10.1016/j.ijproman.2008.11.002
- López-Alonso, M., Ibarrodo-Dávila, P., & Rubio-Gámez, M. (2015).** Analysis of prevention costs in construction sites *Informes de la Construcción*, 67(537): 055. doi: 10.3989/ic.13.062.
- Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014).** Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488: 85-99. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.04.076
- Oliver, L., & Miracle-McMahill, H. (2006).** Airway disease in highway and tunnel construction workers exposed to silica. *American Journal of Industrial Medicine*, 49: 983-996. doi:10.1002/ajim.20406
- Pirsaheb, M., Zinatizade, A., Asadi, F., Pourhaghighat, S., Mohamadi, A., & Sharafi, K. (2015).** Assessment and risk, safety, health and environmental management of on shore drilling machines of National Iranian Drilling Company with the method of 'William Fine'. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(3): 127-132.
- Reis, C. (2007).** *Improving the effectiveness of safety plans in reducing construction accidents.* (PhD Thesis). Porto, Portugal: Faculty of Engineering of University of Porto.
- Ritter, S., Einstein, H., & Galler, R. (2013).** Planning the handling of tunnel excavation material - A process of decision making under uncertainty. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 33: 193-201. doi:10.1016/j.tust.2012.08.009
- Shannon, H., Robson, L., & Guastello, S. (1999).** Methodological criteria for evaluating occupational safety intervention research. *Safety Science*, 31: 161-179.
- Tender, M., & Couto, J. (2016a).** Analysis of health and safety risks in underground excavations—identification and evaluation by experts. *International Journal of Control Theory and Applications*, 9(6): 2957-2964.
- Tender, M., & Couto, J. (2016b).** "Safety and Health" as a criterion in the choice of tunnelling method. In Arezes et al (Ed.), *Occupational Safety and Hygiene IV* (pp. 153-157). Londres, Inglaterra: CRC Press/Balkema.
- Tender, M., & Couto, J. (2017).** Study on prevention implementation in tunnels construction: Marão Tunnel's (Portugal) singularities. *Revista de la Construcción*, 16(2): 262-273. doi:10.1590/0370-44672016700151
- Tender, M., Couto, J., & Ferreira, T. (2015).** Prevention in underground construction with Sequential Excavation Method. In Arezes et al (Ed.), *Occupation Safety and Hygiene III* (pp. 421-424). Londres, Inglaterra: Taylor & Francis.
- Tender, M., Couto, J., & Gomes, A. (2015).** Portuguese strengths and fragilities on Safety and Health practices. In D. Kolic (Ed.), *SEE Tunnel - Promoting tunneling in SSE Region* (pp. 194-195). Dubrovnik, Croácia: Hubitg.
- Tender, M. (2018).** *Safety and Health criterion as a factor for the choice of tunnelling method.* (PhD Thesis). Guimarães, Portugal: School of Engineering of University of Minho.
- Vogel, M., & Kunz-Vondracek, I. (31 de Maio de 2013).** *Safety and health in long deep tunneling-lessons learned in Swiss transalpine tunnel projects.* In World Tunnel Congress, Geneva: International Tunnelling Association
- Waris, M., Liew, S., Khamidi, F., & Idrus, A. (2014).** Criteria for the selection of sustainable onsite construction equipment. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3: 96-110. doi:10.1016/j.ijbsbe.2014.06.002
- Zio, S., & Pacinelli, A. (2011).** Opinion convergence in location: a spatial version of the Delphi Method. *Technological Forecasting & Social Change*, 78: 1565-1578. doi:10.1016/j.techfore.2010.09.010.

