

Análisis de la Influencia de la Evolución Tecnológica en los Riesgos Laborales que Afectan las Mediciones Topográficas

RESUMEN / ABSTRACT

Fundamento y Métodos: En esta investigación se presenta el caso de la mejora de los riesgos laborales que experimenta un puesto de trabajo dedicado a mediciones topográficas, con la evolución tecnológica experimentada en este sector en los últimos 20 años. Para ello, se lleva a cabo una identificación y evaluación de los riesgos más importantes de este tipo de trabajos en el exterior (excavaciones y canteras), así como en actividades mineras y obras subterráneas. Esta identificación y evaluación de riesgos se realiza considerando 4 escenarios: 1) mediciones topográficas realizadas con estaciones totales con capacidad para medir distancias siendo necesario el uso de prismas; 2) mediciones topográficas basadas realizadas con estaciones totales con capacidad de medir distancias sin necesidad de prismas; 3) mediciones topográficas realizadas con receptores GPS; y 4) mediciones topográficas realizadas con drones.

Resultados: Una vez realizada la identificación y evaluación de los riesgos principales que tienen lugar en la realización de mediciones topográficas en los 4 escenarios considerados, se analizan las diferencias más destacables de los riesgos que afectan este tipo de trabajos haciendo uso de un equipo u otro. Se constata que el uso de una estación total con capacidad de medir distancias sin uso de prismas permite eliminar o reducir a la mínima expresión riesgos tan importantes como los derivados de acceder al pie o cabeza de un talud, lugares peligrosos de obras y minas subterráneas, etc.

PALABRAS CLAVE / KEYWORDS

PUNTOS DE INTERÉS

Estudio de riesgos laborales de un puesto de trabajo poco conocido
Análisis de la mejora de los RL con la evolución tecnológica
Comparación de los RL de un puesto de trabajo en distintos escenarios.

AUTORES / AUTHORS

Lluís Sanmiquel

Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)

lluis.sanmiquel@upc.edu

Marc Bascompta Massanés

Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)

marc.bascompta@upc.edu

Jordi Vives Costa

Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)

jordi.vives@upc.edu

Modesto Freijo Álvarez

Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)

freijo@ee.upc.edu

INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años la evolución experimentada en las mediciones topográficas ha sido muy grande. De esta manera, se ha pasado de llevar a cabo los levantamientos topográficos no muy extensos mediante teodolito y mira, a realizar dichos levantamientos con drones. Hubo una primera evolución que consistió en la introducción de distanciómetros en los teodolitos, después en la integración de los mismos con un microprocesador dando lugar a las estaciones totales. Seguidamente el siguiente gran paso fue la aparición y difusión de los distanciómetros que podían medir sin necesidad de prisma. Esto fue un paso muy significativo y crucial para la minería a cielo abierto y sobretodo subterránea. Después la evolución de las estaciones totales en estaciones motorizadas y robotizadas.

Paralelamente a la evolución anterior indicada, a medianos de los años 90 se popularizaron los receptores GPS basados en el sistema diferencial con el uso de 2 receptores como mínimo (uno actuando como base y el otro como móvil de cara a la medición de puntos). El sistema ha ido evolucionando y hoy en día con la existencia de estaciones de referencia GPS emisoras de correcciones de fase a través de protocolo NTRIP es posible el posicionamiento en tiempo real con precisión centimétrica y haciendo uso de un solo receptor. Destaca la red CATNET en Catalunya formada por 16 estaciones que almacena continuamente observaciones GPS y es la base de un conjunto de servicios que permite determinar la componente espacial de los errores ionosféricos, troposféricos y geométricos que afectan a la señal GPS y así determinar un conjunto de observables virtuales en cualquier punto del territorio de Catalunya.

La última gran revolución en topografía ha sido el desarrollo de drones dotados de cámaras fotográficas que permiten con una mayor versatilidad y menor coste económico que los aviones, hacer levantamientos topográficos a partir de métodos basados en fotogrametría aérea. Una de las grandes ventajas de los levantamientos topográficos con drones es la rapidez, pudiéndose llegar a cubrir entre 100 y 1000 hectáreas de terreno en un día, según las condiciones del terreno y las prestaciones del dron.

La minería y la construcción son dos de los sectores económicos con una incidencia más elevada del número de accidentes por cada 100000 trabajadores. Así, en el año 2016, la minería y la construcción tenían un índice de incidencia 3.1 y 2.2 veces superior al total de los sectores económicos. El presente estudio se va a centrar fundamentalmente en el subsector de la minería directamente relacionada con el sector de la construcción y excavaciones a cielo abierto. Se trata del subsector de los productos de cantera y piedra ornamental. En el sector de la construcción, el estudio se centra en el subsector de la ingeniería civil que abarca todos los trabajos relacionados con la obra pública y excavaciones. Entonces, la incidencia de accidentes del subsector de la minería de productos de cantera y piedra ornamental, y el subsector de la construcción de la ingeniería civil son 2.1 y 2.3 veces superior, respectivamente, al del total de los sectores económicos.

Diversos estudios han coincidido en señalar a la minería como uno de los sectores económicos con mayor incidencia y gravedad de los accidentes laborales (Mitchell, y otros, 1998), (Hull y otros, 2006), (Gyekye, 2003), debido a que las características particulares de la minería (lugares de trabajo peligrosos, equipos de trabajo muy potentes, condiciones ambientales caracterizadas por gran presencia de polvo, humedad, etc.) influyen en un mayor número de accidentes y de mayor gravedad. Así mismo, en otro estudio de siniestralidad laboral en el sector minero, se determinó que en los accidentes, la mayoría de eventos precursoros primeros son de tipo ambiental, mientras que los segundos o anteriores a los primeros, son predominantemente de comportamiento (Sanmiquel, 2010). También importante destacar que en la minería de superficie la mejor regla de asociación de factores que influyen en la génesis de los accidentes, es la que ocurre mientras el trabajador accidentado realiza una actividad física basada en manipular objetos, con una causa inmediata del accidente basada en el movimiento del cuerpo con esfuerzo físico o sobreesfuerzo, con un contrato permanente a tiempo completo y entre las primeras 2-4 horas de la jornada laboral (Sanmiquel, 2018). Debido a la existencia de muchas similitudes entre los trabajos de obra pública del sector de la construcción y la minería, principalmente la del subsector de productos de cantera y piedra ornamental; las conclusiones de los estudios anteriores pueden ser válidos en gran manera para este subsector de la construcción de la ingeniería civil u obra pública.

El principal objetivo del presente estudio es llevar a cabo una identificación y evaluación de riesgos en 4 tipos de situaciones o escenarios distintos, en levantamientos topográficos, en función de los aparatos de medición utilizados (de menor a mayor modernidad), de cara a poner de manifiesto la disminución de los riesgos laborales que experimenta un puesto de trabajo de este tipo, con la evolución tecnológica experimentada en los instrumentos utilizados en los últimos 20 años.

METODOLOGÍA

Tal como se ha indicado, esta identificación y evaluación de riesgos se realiza considerando 4 escenarios o situaciones en función de la modernidad del aparato topográfico utilizado: 1) mediciones topográficas realizadas con estaciones totales con capacidad para medir distancias siendo necesario el uso de prismas; 2) mediciones topográficas basadas realizadas con estaciones totales con capacidad de medir distancias sin necesidad de prismas; 3) mediciones topográficas realizadas con receptores GPS; y 4) mediciones topográficas realizadas con drones. Así mismo, el estudio se va a focalizar en puestos de trabajo del sector de la minería a cielo abierto y de la minería subterránea. En el caso de la minería a cielo abierto, en actividades mineras de superficie de productos de cantera o roca ornamental debido a la gran similitud, tal como se ha indicado anteriormente, con actividades de obra pública en cuanto a los riesgos laborales que afectan a los equipos topográficos.

En un lugar de trabajo puede existir una serie de riesgos evitables, es decir, que se pueden eliminar, que se pueden solucionar definitivamente con la adopción de unas medidas preventivas determinadas. En cuanto a la consideración de lo que es evitable o no, hay que ser restrictivo y considerar que un riesgo es evitable cuando, una vez se ha aplicado la medida preventiva correspondiente, el riesgo en cuestión ha desaparecido. Sin embargo, la eliminación de los riesgos, no siempre es posible, y es entonces cuando se debe recurrir a la valoración de los riesgos que no se han podido evitar. La finalidad de la valoración es determinar cuál es la magnitud y la gravedad del riesgo para adoptar las medidas preventivas más adecuadas en función de su gravedad. Para valorar la magnitud de estos riesgos, se pueden utilizar varias metodologías según la tipología del riesgo.

Tabla 1: Nivel de riesgo a partir de la severidad y probabilidad

		Severidad(Consecuencias)				
		Muy Baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)	Muy Alta (5)
Probabilidad	Muy Baja (1)	1	2	3	4	5
	Baja (2)	2	4	6	8	10
	Media (3)	3	6	9	12	15
	Alta (4)	4	8	12	16	20
	Muy Alta (5)	5	10	15	20	25

En el presente estudio la valoración se centrará en riesgos vinculados a la seguridad laboral, y la metodología utilizada está basada en el sistema binomial adoptado por la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), en la que la valoración de cada riesgo se basa en la combinación de la probabilidad de que el riesgo se materialice en un accidente y la severidad o consecuencias del mismo, según la tabla 1 (Generalitat de Catalunya, 2006).

Cabe indicar, que uno de los grandes objetivos del presente estudio es analizar la variación del nivel o grado de los riesgos no evitables más importantes, en 4 escenarios o situaciones distintas, relacionadas con las mediciones topográficas, en explotaciones mineras a cielo abierto, y/o actividades de la construcción del subsector de la ingeniería civil u obra pública. Para ello, es imprescindible tener en cuenta un tercer parámetro a parte de la probabilidad y las consecuencias. Este parámetro será la exposición del trabajador a los riesgos que se evalúen. Como la exposición no está contemplada en la metodología de valoración de riesgo indicada, se utilizará el sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente descrito en la Nota Técnica de Prevención (NTP) 330 (Bestratén et al., 1993).

La característica más importante de este método es que la probabilidad se considera función del nivel de deficiencia y de la frecuencia o nivel de exposición a la misma. El nivel de riesgo (NR) viene dado, al igual que el método anterior, en el resultado del producto entre la probabilidad y la severidad, pero la diferencia principal con el método de la Generalitat, es que hay un procedimiento para calcular la probabilidad. La probabilidad de que se materialice un accidente como producto entre el nivel de deficiencia y el nivel de exposición. Por lo tanto, en este método descrito en la NTP 330 es muy importante definir el Nivel de deficiencia ya que es lo que va a permitir calcular la probabilidad. Aquella, se define como la magnitud de la vinculación esperable entre el conjunto de factores de riesgo considerados y su relación causal directa con el posible accidente. Los valores numéricos empleados en esta metodología y el significado de los mismos se indican en tabla 2.

Nivel	Descripción
- Aceptable	No se ha detectado anomalía destacable alguna. El riesgo está controlado y no es necesario valorarlo.
2 Mejorable	Se han detectado factores de riesgo de menor importancia.
6 Deficiente	Se ha detectado algún factor de riesgo significativo que precisa ser corregido.
10 Muy Deficiente	Se han detectado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallos.

La exposición (E) es una medida de la frecuencia con la que se da exposición al riesgo. Para un riesgo concreto, el nivel de exposición se puede estimar en función de los tiempos de permanencia en áreas de trabajo, operaciones con máquina, etc., tal como se indica en la tabla 3.

Exposición	Descripción
1 Esporádica	Irregularmente.
2 Ocasional	Alguna vez en su jornada laboral y con período corto de tiempo.
3 Frecuente	Varias veces en su jornada laboral, aunque sea con tiempos cortos.
4 Continuada	Continuamente. Varias veces en su jornada laboral con tiempo prolongado.

A partir de los valores de las tablas 2 y 3, se puede calcular la probabilidad de que un accidente se materialice (Tabla 4).

		Nivel de Exposición			
		1	2	3	4
Nivel de Deficiencia	2	2	4	6	8
	6	6	12	18	24
	10	10	20	30	40

Los intervalos de valores tienen el siguiente significado:

- 2-4: Leve. Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. No es esperable que se materialice el riesgo. Aunque puede ser concebible.
- 6-8: Media. Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
- 10-20: Alta. Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en el ciclo de vida laboral.
- 24-40: Muy Alta. Situación deficiente con exposición continuada, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.

En cuanto a la severidad o consecuencias de la materialización de un determinado tipo de accidente se consideran los siguientes valores y niveles:

Tabla 5: Determinación del Nivel de Consecuencias

Consecuencias	Daños Personales	Daños Materiales
10 Leve	Pequeñas lesiones que no producen baja	Reparable sin necesidad de paro del proceso
25 Grave	Lesiones con incapacidad laboral transitoria (L.T.)	Se requiere paro de proceso para efectuar la reparación
60 Muy Grave	Lesiones graves que pueden ser irreparables	Destrucción parcial del sistema. Reparación compleja y costosa
100 Mortal o Catastrófico	1 muerto o más	Destrucción total del sistema. Difícil renovarlo.

Finalmente, el nivel de riesgo vendrá dado por el producto entre la severidad o consecuencias con la probabilidad. Los niveles de riesgo vienen dados por la tabla 6.

Tabla 6: Nivel de riesgo a partir de la severidad y probabilidad

		Severidad(Consecuencias)					
		Leve (10)		Grave (25)	Muy Grave (60)		Mortal o Catastrófico (100)
Probabilidad	Leve (2-4)	20	40	50-100	120	240	200-400
	Media (6-8)	60-80		150-200	360-480		600-800
	Alta (10-20)	100	200	250-500	600-1200		1000-2000
	Muy Alta (24-40)	240-400		600-1000	1440-2400		2400-4000

Los intervalos de valores tienen el siguiente significado:

Valor	Descripción
20 Bajo	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique
40-120 Medio	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
150-500 Alto	Corregir y adoptar medidas de control
600-4000 Muy alto	Situación crítica. Situación urgente.

La clasificación de un accidente por la forma se refiere al suceso que ha tenido como resultado directo la lesión, es decir, a la manera en que el objeto o la sustancia causante han entrado en contacto con el accidentado. En este estudio se va a utilizar la clasificación y codificación simplificada de las distintas formas de accidentes que fue utilizada por el Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo español en todos los estudios que realizaba hasta el año 2002 (Tabla 8).

Código	Descripción
01	Caídas de personas a distinto nivel.
02	Caídas de personas al mismo nivel.
03	Caídas de objetos por desplome o derrumbamiento.
04	Caídas de objetos en manipulación.
05	Caídas por objetos desprendidos.
06	Pisadas sobre objetos.
07	Choques contra objetos inmóviles.
08	Choques contra objetos móviles.
09	Golpes por objetos o herramientas.
10	Proyección de fragmentos o partículas.
11	Atrapamiento por o entre objetos.
12	Atrapamiento por vuelco de máquinas, tractores o vehículos.
13	Sobreesfuerzos.
14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.
15	Contactos térmicos.
16	Exposición a contactos eléctricos.
17	Exposición a sustancias nocivas.
18	Contactos con sustancias caústicas y/o corrosivas.
19	Exposición a radiaciones.
20	Explosiones.
21	Incendios.
22	Accidentes causados por seres vivos.
23	Atropellos o golpes con vehículos.
24	Infartos, derrames cerebrales y otras patologías no traumáticas.
27	Enfermedad por Agentes químicos
28	Enfermedad por Agentes físicos
29	Enfermedad por Agentes biológicos
30	Otras circunstancias

RESULTADOS

La identificación de riesgos no evitables, así como su correspondiente valoración, se ha llevado a cabo para cada uno de los 4 escenarios que han sido indicados. Los resultados obtenidos son:

1- Mediciones topográficas realizadas con estaciones totales con capacidad para medir distancias siendo necesario el uso de prismas:

En este caso el equipo topográfico está formado normalmente por 2 puestos de trabajo: por un operador de estación total (instrumentista) y un porta-prismas o portador de un jalón con un prisma reflectante. El primero es el que lleva a cabo las mediciones, y el segundo el que va colocando el jalón con el prisma en todos los puntos del terreno que se quieren levantar topográficamente (cálculo de las coordenadas X, Y, Z). Actualmente las mediciones topográficas mayoritariamente se llevan a cabo con equipos topográficos de este tipo, aunque en la topografía de superficie con grandes extensiones de terreno, cada vez abundan más los equipos con GPS. No obstante, cabe indicar que en los trabajos en zonas subterráneas (minas, túneles, metros,...) es la única opción válida para poder realizar las mediciones.

Cabe indicar que la función del instrumentista, es la de ir realizando estación con el equipo indicado en los puntos del terreno previamente escogidos, con el fin de levantar topográficamente todos los detalles necesarios de la explotación minera, de cara a la confección de un plan de labores, cubicación de reservas o acopios, elaboración de un determinado proyecto minero,... Por razones de comodidad y sentido común, se acostumbra a realizar las mínimas estaciones, así como ubicarlas en zonas del terreno lo más estables y regulares posibles.

En cuanto al porta-prismas, este puesto de trabajo consiste en ir colocando un jalón acoplado a un prisma o reflector, en todos los puntos representativos planimétrica y altimétricamente de los distintos detalles del terreno que se está llevando a cabo el levantamiento topográfico. El jalón dispone de un nivel esférico, para que el trabajador pueda colocarlo en cada punto perfectamente vertical. Así como el instrumentista, en principio puede escoger los puntos donde va a estacionar el aparato topográfico, el porta-prismas no.

Los riesgos más importantes identificados en el instrumentista y porta-prismas, así como la valoración de los mismos, en una explotación minera a cielo abierto son los siguientes:

01 Caídas a distinto nivel

2 Caídas al mismo nivel

3 Caídas de objetos por desplome

14 Exposiciones a temperaturas extremas

22 Atropellos

27 Enfermedades profesionales causadas por agentes químicos

Inicialmente, se va a calcular la probabilidad de cada riesgo de cada lugar de trabajo, a partir de los valores dados por el producto de nivel de deficiencia con el nivel de exposición de la tabla 4.

<i>Puesto de trabajo: Instrumentista</i>	Nivel deficiencia	Nivel Exposición	Probabilidad
01 Caídas a distinto nivel	2	1	2
02 Caídas al mismo nivel	2	2	4
03 Caídas de objetos por desplome	2	1	2
14 Exposiciones a temperaturas extremas	2	3	6
22 Atropellos	2	2	4
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	2	2	4

Tabla 10: Valoración de la probabilidad de los riesgos que afectan al Porta-prismas

Puesto de trabajo: Porta-prismas	Nivel deficiencia	Nivel Exposición	Probabilidad
01 Caídas a distinto nivel	2	3	6
02 Caídas al mismo nivel	2	3	6
03 Caídas de objetos por desplome	6	3	18
14 Exposiciones a temperaturas extremas	2	3	6
22 Atropellos	2	3	6
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	2	3	6

Cabe indicar que se va a considerar el caso de una explotación minera a cielo abierto o una obra pública, en las que hay taludes de bancos de explotación (cantera) o de una excavación de una obra que no está en su situación final, acopios, etc. También es importante tener en cuenta que los bancos de explotación de canteras, así como los taludes de una obra no finalizados, por muy saneados que estén, implica un peligro importante estar situado a menos de una distancia de seguridad del pie de los mismos. Esto es muy importante que los operadores de un equipo topográfico lo tengan en cuenta, evitando acercarse a los mismos. La experiencia indica que esto no se hace en muchos casos, y es lo que se va a considerar en la valoración de este riesgo.

Tabla 11: Valoración de Riesgos del Instrumentista

Puesto de trabajo: Instrumentista	Probabilidad	Severidad	Nivel Riesgo
01 Caídas a distinto nivel	2	60	120
02 Caídas al mismo nivel	4	25	150
03 Caídas de objetos por desplome	2	60	120
14 Exposiciones a temperaturas extremas	6	10	60
22 Atropellos	4	60	240
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	4	25	150

Tabla 12: Valoración de Riesgos del Porta-prismas

Puesto de trabajo: Porta-prismas	Probabilidad	Severidad	Nivel Riesgo
01 Caídas a distinto nivel	6	60	360
02 Caídas al mismo nivel	6	25	150
03 Caídas de objetos por desplome	18	60	1080
14 Exposiciones a temperaturas extremas	6	10	60
22 Atropellos	6	60	360
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	6	25	150

De los riesgos identificados y evaluados puede observarse que los riesgos 22, 02 y 27 son los que tienen un nivel más elevado para el instrumentista, mientras que para el porta-prismas, todos son elevados (a excepción del 14), especialmente el riesgo 03 o caídas de objetos por desplome que es muy alto, y es el que deberá ser más objeto de atención en los trabajos topográficos en este tipo de lugares de trabajo.

2- Mediciones topográficas realizadas con estaciones totales con capacidad para medir distancias si ser necesario el uso de prismas:

En este caso el equipo topográfico está formado también por 2 puestos de trabajo: por un operador de estación total (instrumentista) y un porta-prismas o portador de un jalón con un prisma reflectante. La diferencia con el caso anterior es que, en todos aquellos puntos situados cerca de sitios peligrosos como cabezas o pies de talud, con peligro de caídas a distinto nivel y caídas de objetos por desplome, respectivamente, se podrá hacer en la mayoría de los casos mediciones sin necesidad de que el porta-prismas coloque el prisma en estos puntos. En definitiva, la exposición del trabajador a estos peligros se reduce en gran manera. También el riesgo de caídas al mismo nivel, así como el de atropellos, disminuirá para el porta-prismas, ya que este tendrá que circular mucho menos, al tomar muchos puntos menos.

El uso de distanciómetros con capacidad de medición sin prismas es especialmente indicado para la reducción de riesgos para el porta-prismas, en los casos de medición de acopios y, sobre todo, en minería y obras subterráneas. En estos casos, la medición de techos, paramentos y lugares peligrosos de cámaras, galerías, pozos, chimeneas, etc. sin necesidad de prisma, implica una mejora cualitativa de las mediciones, y lo que es más importante, una reducción muy grande de la exposición de trabajadores a peligros como caídas a distinto y mismo nivel, caídas de objetos por desplome, etc.

Tabla 13: Valoración de la probabilidad de los riesgos que afectan al Porta-prismas

Puesto de trabajo: Porta-prismas	Nivel deficiencia	Nivel Exposición	Probabilidad
01 Caídas a distinto nivel	2	2	4
02 Caídas al mismo nivel	2	2	4
03 Caídas de objetos por desplome	6	1	6
14 Exposiciones a temperaturas extremas	2	3	6
22 Atropellos	2	2	4
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	2	2	4

Tabla 14: Valoración de Riesgos del Porta-prismas

Puesto de trabajo: Porta-prismas	Probabilidad	Severidad	Nivel Riesgo
01 Caídas a distinto nivel	4	60	240
02 Caídas al mismo nivel	4	25	150
03 Caídas de objetos por desplome	6	60	360
14 Exposiciones a temperaturas extremas	6	10	60
22 Atropellos	4	60	240
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	4	25	150

Los riesgos para una obra pública y cantera serán los mismos que los indicados en el escenario 1. También las valoraciones de riesgos para el instrumentista serán los mismos que los de la tabla 11. En cambio, para el porta-prismas habrá una disminución significativa del nivel de los riesgos 01, 03 y 22 (Tabla 14). Especialmente significativa es la reducción del riesgo 03 (caídas de objetos por desplome).

3- Mediciones topográficas realizadas con receptores GPS:

En los años 90 se extendieron y popularizaron las mediciones topográficas mediante receptores GPS. Un equipo GPS para que tenga precisión topográfica debe de funcionar en modalidad diferencial. Para ello, es necesario de cómo mínimo 2 receptores GPS: uno fijo en un punto de coordenadas conocidas y otro móvil en la que un operador lo irá colocando en los distintos puntos a medir. Los 2 receptores están comunicados mediante una señal de radio que el receptor base emite, y el móvil es capaz de captar mediante una antena. A parte de la antena de radio, disponen de otra antena, que es la que permite captar la señal emitida por 24 satélites que orbitan alrededor de la tierra, cada 12 horas, a unos 22000 km de altura. Para la medición de un punto con un sólo receptor, es necesario que capte la señal de cómo mínimo 4 satélites GPS. La precisión que se consigue es como máximo de 4-5 m, en el mejor de los casos. Esta precisión, no es suficiente en topografía, y es por ello que se necesita la utilización de 2 receptores. La comunicación de radio entre los mismos, sólo es necesaria si se quiere disponer en tiempo real de las coordenadas de los puntos levantados.

Cabe indicar que el sistema ha ido evolucionando, y hoy en día con la existencia de estaciones de referencia GPS emisoras de correcciones de fase a través de protocolo NTRIP, es posible el posicionamiento en tiempo real con precisión centimétrica haciendo uso de un solo receptor. Es decir, no es necesario colocar un receptor fijo en un punto de coordenadas conocidas. El operador que va con el receptor móvil a cada punto del terreno para su medición, debe de colocar el jalón portador del receptor, perfectamente vertical (el jalón dispone de un nivel) en cada punto, un tiempo máximo de 3 – 10 segundos (siempre que no haya problemas de captación de la señal de los satélites). Este método de medición descrito se denomina estático diferencial. Un aspecto importante a destacar es que, con estos nuevos aparatos topográficos, una sola persona, puede llevar a cabo el levantamiento topográfico de una explotación minera a cielo abierto, o una parte muy importante de la misma.

Analizando esta nueva metodología de trabajo mediante receptor GPS, desde el punto de vista de la seguridad y salud de los trabajadores, se observa lo siguiente:

ü Por una parte, hay un puesto de trabajo menos, por lo que tan sólo un trabajador estará expuesto a los riesgos. La parte negativa de esto es que un solo trabajador puede estar realizando este tipo de operaciones sólo, con todo el inconveniente que esto supone desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales.

ü Por otra parte, todos los riesgos detectados y analizados para el porta-prismas del escenario 1, afectan por igual al operador de GPS, con el agravante de que el receptor GPS es más pesado y complejo que un jalón con un prisma. Ello complica un poco más la movilidad del operador y, por consiguiente, se produce un cierto aumento del nivel de riesgo de caídas al mismo nivel.

ü Otro aspecto que puede agravar el nivel de riesgo del operador de GPS, es el de qué en determinadas zonas (cerca de pies de talud), la señal que capta la antena del receptor GPS empeora, provocando un alargamiento del tiempo de medida, o incluso la imposibilidad de poderla realizar. Esto puede implicar una mayor exposición a riesgos de caídas de objetos por desplome. Al respecto indicar que la mejor medida preventiva será que el operador, como conocedor de las limitaciones de los GPS en la medición de puntos situados cerca de pies de bancos o taludes, realice las mediciones alejado una distancia suficiente y conocida (haciendo uso de un pequeño láser) de los pies de taludes. En este caso las limitaciones del sistema y la experiencia del operador pueden favorecer la adopción de esta medida preventiva.

4- Mediciones topográficas realizadas con drones:

En las mediciones topográficas realizadas con drones se pueden identificar 2 puestos de trabajo:

- a) Operador con receptor GPS: antes del día de la realización de los vuelos con dron, va a la zona que debe ser topografiada, y sitúa puntos-diana en distintas partes del área indicada.
- b) Piloto del dron: lleva a cabo el control del dron en los distintos vuelos que deban realizarse.

La identificación y valoración de los riesgos de estos 2 puestos de trabajo es el siguiente:

- a) Operador con receptor GPS: Las características del trabajo serán las mismos que el del operador de GPS indicado en el apartado 3, con la ventaja que en este caso el operador tendrá mucha libertad a la hora de escoger los puntos-diana a situar y medir. Ello implica, que el operador podrá evitar situarse cerca de cabezas y pies de taludes u otros lugares peligrosos (lugares situados cerca de maquinaria pesada en movimiento y trabajo, acopios, etc.). esto se traducirá en una disminución de determinados riesgos.

Tabla 15: Valoración de la probabilidad de los riesgos que afectan al Operador de GPS en levantamiento con dron

Puesto de trabajo: Operador GPS en Levantamiento con dron	Nivel deficiencia	Nivel Exposición	Probabilidad
02 Caídas al mismo nivel	2	2	4
14 Exposiciones a temperaturas extremas	2	3	6
22 Atropellos	2	1	2
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	2	1	2

Tabla 16: Valoración de Riesgos del Operador de GPS en levantamiento con dron

Puesto de trabajo: Operador GPS en Levantamiento con dron	Probabilidad	Severidad	Nivel Riesgo
02 Caídas al mismo nivel	4	25	100
14 Exposiciones a temperaturas extremas	6	10	60
22 Atropellos	2	60	120
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	2	25	50

Puede observarse que los riesgos de caídas a distinto nivel y de caídas de objetos por desplome ya no están contemplados porque son totalmente evitables. El nivel del resto de riesgos que afectan este puesto de trabajo son bajos o medios.

b) Piloto de dron:

El piloto de dron debe situarse en uno o varios puntos de la zona objeto de estudio, y el desplazamiento de un punto a otro se hará mediante vehículo. El recorrido a pie será mínimo. Además, la situación siempre será en zonas más o menos regulares y alejadas de taludes. La identificación y valoración de los riesgos más importantes de este puesto de trabajo en una cantera u excavación de obra pública serán los siguientes:

Tabla 17: Valoración de la probabilidad de los riesgos que afectan al piloto de dron

Puesto de trabajo: Operador GPS en Levantamiento con dron	Nivel deficiencia	Nivel Exposición	Probabilidad
02 Caídas al mismo nivel	2	1	2
14 Exposiciones a temperaturas extremas	2	2	4
22 Atropellos	2	1	2
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	2	1	2

Tabla 18: Valoración de Riesgos del piloto de dron

Puesto de trabajo: Operador GPS en Levantamiento con dron	Probabilidad	Severidad	Nivel Riesgo
02 Caídas al mismo nivel	2	25	50
14 Exposiciones a temperaturas extremas	4	10	40
22 Atropellos	2	60	120
27 Enfermedades profesionales: agentes químicos	2	25	50

El nivel de los riesgos de este puesto de trabajo es parecido al del operador de GPS en un levantamiento con dron, pero con niveles significativamente menores como las caídas al mismo nivel y exposición a temperaturas extremas.

CONCLUSIONES

Se han identificado y valorado los riesgos más importantes que afectan a los puestos de trabajo de un equipo topográfico en 4 escenarios distintos, en función de la evolución tecnológica de los aparatos de adquisición de datos topográficos utilizados. En los 4 casos se ha considerado que las mediciones topográficas tienen lugar en una explotación minera a cielo abierto y/o una actividad del sector de la construcción del subsector de ingeniería civil u obra pública, por ser la actividad de la construcción más parecida a una cantera. En el escenario 1 se ha considerado que el equipo topográfico está constituido por un instrumentista de una estación total que no puede medir distancias sin el uso de prismas, así como un porta-prismas. En el escenario 2, se ha contemplado un equipo topográfico igual que el primer caso pero con la diferencia que la estación total puede medir distancias sin el uso de prismas. En el escenario 3, el equipo topográfico está constituido por un operador de receptor GPS, y en el escenario 4, por un piloto de dron y un operador de GPS. Se ha podido observar, como los niveles de riesgos identificados disminuían con la evolución tecnológica de los aparatos utilizados. Principalmente del escenario 1 al 2, y de estos al 4. En el caso del escenario 3, operador de receptor GPS para el levantamiento topográfico del total o parte de una cantera u excavación de obra pública, los niveles de riesgos se mantienen o se incrementan respecto al puesto de trabajo del porta-prismas del escenario primero. Además, hay el agravante de que el operador normalmente trabajará sólo, con todo el riesgo que esto supone en este tipo de trabajos. La ventaja es que sólo una persona estará afectada a los riesgos identificados. En definitiva, se podría concluir que el mejor método desde el punto de vista de una exposición menor a riesgos laborales y de menor grado, se dará en los puestos de trabajo de un levantamiento con dron (escenario 4), y después en el del levantamiento topográfico con una estación total que pueda medir distancias sin necesidad de prisma. Además, este caso es fundamental en minería a cielo abierto y sobre todo subterránea para facilitar en gran manera la medición de techos y paramentos de galerías, pozos, chimeneas, etc. En definitiva, se puede evitar que un trabajador tenga que acceder a determinadas zonas peligrosas. Es evidente que la evolución tecnológica de los equipos de trabajo es un parámetro que debe ser muy tenido en cuenta en la mejora de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores. En el caso de los equipos de medición topográficos se ha podido comprobar de una manera muy clara.

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a la Cátedra empresa ICL en Minería Sostenible por el soporte económico para la realización y difusión de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bestratén, M., Pareja, F. (1993). NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente. Serie 9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Generalitat de Catalunya. (2006). Manual para la Identificación y Evaluación de Riesgos Laborales. Versión 3.1. ISBN 84-393-7311-2.
- Gyekye, S.A. (2003). Causal attributions of Ghanaian industrial workers for accident occurrence: Miners and non-miners perspective, *Journal of Safety Research*, 34(5), 533-538.
- Hull, B.P., Leigh, J., Driscoll, T.R., Mandryk, J. (2006). Factors associated with occupational injury severity in the New South Wales underground coal mining industry, *Safety Science*, 21 (3), 191-204.
- Mitchell, R.J., Driscoll, T.R. & Harrison, J.E. (1998). Traumatic work-related fatalities involving mining in Australia, *Safety Science* 29(2), 107-123.
- Sanmiquel, L., Bascompta, M., Rossell, J.M., Anticoi, H.F., Guash, E. (2018). Analysis of Occupational Accidents in Underground and Surface Mining in Spain Using Data-Mining Techniques, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, núm. 3, (462), 1-11.
- Sanmiquel, L., Freijo, M., Edo, J., Rossell, J.M. (2010). Analysis of work related accidents in the Spanish mining sector from 1982-2006, *Journal of safety research* 41, núm.1, 1-11.