

## Gestión de la prevención a través de un Sistema de Información geográfica

### RESUMEN / ABSTRACT

---

**Fundamento y Métodos:** En esta investigación se presenta el caso de estudio de gestión de parámetros de higiene de una actividad minera subterránea, a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los SIG son especialmente aptos cuando se pretende gestionar gran cantidad de información temática relacionándola al mismo tiempo con información gráfica. El SIG se ha llevado a cabo a partir del ArcGis 10.1 y consta de una serie de puntos de control distribuidos a lo largo de una mina de sales potásicas, en los que se dispone en una periodicidad mensual de una serie de parámetros ambientales desde el año 2008. Así mismo, se va a considerar el caso de aplicación a una actividad minera a cielo abierto en la que es necesario llevar a cabo una serie de controles periódicos de datos que pueden afectar la seguridad de los trabajadores.

**Resultados:** Una vez la información gráfica y temática ha sido entrada y estructurada adecuadamente el equipo encargado de la prevención dispone de una buena herramienta para llevar a cabo una mejora en la gestión de los parámetros monitorizados. Se puede obtener información tal como: localización geográfica de los puntos de control en los que en un determinado período de tiempo se ha superado un valor límite ambiental (VLA) de algún gas nocivo, el caudal de ventilación no llega al valor límite mínimo según la legislación minera, etc. Para el caso de la actividad a cielo abierto se podrán controlar aspectos como: localización de las señales que deben ser objeto de limpieza en función de la frecuencia marcada, puntos de los taludes donde se han detectado zonas inestables en un determinado período, etc.

### PALABRAS CLAVE / KEYWORDS

---

Condiciones de trabajo; Control; Estudio de casos; Prevención de riesgos laborales

### PUNTOS DE INTERÉS

---

Herramienta para mejorar la gestión de la prevención  
Monitorización y control de parámetros ambientales de una mina  
Herramienta de gestión y análisis de parámetros de seguridad laboral

### AUTORES / AUTHORS

---

**Lluís Sanmiquel**

Cátedra Iberpotash en minería sostenible

[lluis.sanmiquel@upc.edu](mailto:lluis.sanmiquel@upc.edu)

**Marc Bascompta Massanés**

Cátedra Iberpotash en minería sostenible

[marc.bascompta@upc.edu](mailto:marc.bascompta@upc.edu)

**José Juan de Felipe**

Dpto. de Ingeniería Minera, Industrial y TIC

[jose.juan.de.felipe@upc.edu](mailto:jose.juan.de.felipe@upc.edu)

**Modesto Freijo Álvarez**

Dpto. de Ingeniería eléctrica

[freijo@ee.upc.edu](mailto:freijo@ee.upc.edu)

## INTRODUCCIÓN

---

En el municipio de Sallent (España) existe una mina de potasa desde principios del siglo XX. Esta mina se ha venido explotando mediante el método de cámaras y pilares a una profundidad de unos 500 metros. Esta profundidad implica que las condiciones ambientales en los frentes de explotación se caractericen por una temperatura, humedad y presión elevadas; así como una presencia de gases como CO<sub>2</sub>, CO, NO, etc. Por lo tanto, en las minas y en todas las actividades subterráneas en general, las condiciones ambientales tales como la temperatura equivalente, la concentración de gases o el caudal de aire tienen que estar controlados y mantenidos dentro de un rango aceptable según la legislación aplicable en cada caso para que no supongan un problema para la salud y el bienestar de los trabajadores. Este tipo de actividades se pueden encontrar en minería subterránea, infraestructuras civiles y minas o cuevas turísticas, siendo de gran interés la implementación de un sistema de gestión para tales fines (Düzgün, Künzer & Özgen Karacan, 2011; Alfonso Abella et al., 2013).

En general, las condiciones más adversas aparecen en la minería, por lo que en este sector es donde el control y gestión de los parámetros ambientales de los lugares de trabajo será más necesario e importante. Para ello, es importante la aplicación de una metodología que ayude a la gestión de estos parámetros de la forma más eficaz y sencilla posible. De este modo, de cara a mejorar la seguridad y salud de los trabajadores en una mina, así como la rentabilidad económica, es esencial la existencia de un buen sistema de gestión de la ventilación. Según Reddy (2009), hasta el 60% de los costes de explotación minera son atribuibles a la ventilación de la mina. Existen diversos estudios que relacionan las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores con su rendimiento o eficiencia en el trabajo (García-Herrero, Mariscal, García-Rodríguez & Ritzel, 2012; Allen, Inco & Keen, 2008; Kurnia, Sasmito & Mujumdar, 2014).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Gutiérrez & Gould, 1994). Por lo tanto, en un SIG se almacena información espacial (con lo que es posible conocer la localización exacta de cada elemento en el espacio y con respecto a otros elementos) e información temática (datos sobre las características o atributos de cada elemento geográfico). De este modo, los SIG pueden ser herramientas muy poderosas en un sistema de gestión de datos, siempre que interese la interrelación entre los datos temáticos y los datos espaciales. Por otra parte, el uso de los SIG en la gestión minera es bastante frecuente y variado. Concretamente, se han utilizado SIG para gestión de distintos tipos de impactos ambientales en minería (Düzgün et al., 2011), emisión de contaminantes (Puliafito, Guevara & Puliafito, 2002), ventilación (Bascompta, Sanmiquel & Oliva, 2015) o subsidencias (Sanmiquel, Bascompta & Vintro, 2015; Kim, Lee, Oh, Choi & Won, 2006; Zahiri, Brassington & Baafi, 2006; Marturià, de Diego, Martínez & Roca, 2006) entre otras aplicaciones.

El objetivo de este trabajo es presentar las características de 2 sistemas de gestión aplicados en minería que serán utilizados entre otras cosas como herramienta de mejora en la gestión de la prevención y seguridad laboral. Estos dos sistemas de gestión están basados en un SIG vectorial y uno hace referencia a la gestión de condiciones ambientales en lugares de trabajo en una mina de potasa, y el otro en la gestión de distintos parámetros relacionados directa o indirectamente con la seguridad de los trabajadores de una actividad extractiva a cielo abierto o cantera.

## METODOLOGÍA

---

Es necesario distinguir 2 tipos de datos de partida:

1. Datos de ventilación de red principal y secundaria de la mina de potasa de Sallent. Estos datos están constituidos por datos temáticos y gráficos. Los datos temáticos se estructuran en archivos Excel de periodicidad mensual de la ventilación principal y de la secundaria o auxiliar. Los datos que se recopilan en cada hoja de cálculo de cada mes son los parámetros ambientales que se miden en unos 18 puntos de control fijos en el caso de la ventilación principal; y en el caso de la ventilación secundaria, el punto más cercano a los operadores de los minadores continuos, o máquinas que arrancan la potasa en los tajos o frentes de explotación. Por lo tanto estos puntos de la ventilación auxiliar van variando su posición. Para cada tipo de ventilación hay una capa informativa donde se almacena la información temática y gráfica. Cabe indicar que se dispone de datos de ventilación principal y secundaria mensual del período 2008-2015. Estos datos constituyen la información temática del SIG y consta de los siguientes parámetros:

Ventilación Principal: Nombre punto de control; Coordenadas X, Y, Z; Fecha medición; hora medición; Velocidad del aire (m/s) (parámetro medido con anemómetro); Temperatura seca y

temperatura húmeda (°C) (parámetros medidos con psicrómetro); los gases CO(ppm), CO<sub>2</sub>(ppm), NO(ppm), NO<sub>2</sub>(ppm) y O<sub>2</sub> medidos con detectores específicos; Sección de la galería (m<sup>2</sup>); Caudal de aire (m<sup>3</sup>/s) (dato indirecto obtenido al multiplicar la sección por la velocidad del aire; Temperatura equivalente (°C) (dato indirecto obtenido por la ecuación definida en la ITC 04.07.02 "Te = 0,9Ts + 0,1Th", donde Te= Temperatura equivalente, Ts=Temperatura seca y Th=temperatura húmeda); NO+NO<sub>2</sub> (ppm) (dato indirecto obtenido por la suma de las mediciones en ppm de los 2 tipos de gases nitrosos NO y NO<sub>2</sub>, puesto que la ITC 04-07.02 da el valor TLV-TWA respecto la suma de los 2 gases).

Ventilación secundaria o auxiliar: Nombre del minador continuo; Estado del minador (trabajando o inactivo); Coordenadas X, Y, Z; Fecha medición; Hora medición; Velocidad del aire (m/s); Temperatura seca y temperatura húmeda (°C); los gases CO(ppm), CO<sub>2</sub>(ppm), NO(ppm), NO<sub>2</sub>(ppm) y O<sub>2</sub>; Sección del tubo de ventilación secundaria o auxiliar (m<sup>2</sup>) (dato suministrado por el fabricante); Distancia (m) entre el lugar de trabajo del operador del minador y la entrada de la tubería medida con medidor laser; Tipo de ventilador (soplante, aspirante o ambos); Caudal de aire (m<sup>3</sup>/s); Temperatura equivalente (°C).

1. Datos de distintos parámetros de la una cantera de áridos con planta de tratamiento de la zona del municipio de Sallent (España). Esta explotación minera consta de 4 puestos de trabajo (palista de arranque y carga de camiones, conductor de camión de transporte de material arrancado a planta, operador de planta y palista de carga de camiones en la zona de la planta de tratamiento de productos acabados. Se dispone de información del período 20014-2016. A diferencia del SIG vectorial de la mina de potasa, focalizado en la gestión de condiciones ambientales de determinados puntos de la mina donde la información temática está contenida en tan sólo 2 capas vectoriales de puntos; en este SIG de una cantera de áridos, la información temática está estructurada en varias capas vectoriales de la siguiente manera:

Capa mediciones de polvo: Esta capa está formada por 4 puntos, correspondientes a los 4 puestos de trabajo de la cantera. Los datos que se registran son: Nombre puesto de trabajo; Coordenadas X, Y, Z (en el caso del palista de frente, estas coordenadas irán variando. En los otros casos se considera una posición media del lugar donde se desarrolla el trabajo); Nombre y apellidos trabajador que ocupa el puesto de trabajo, Edad del trabajador; Experiencia del trabajador (en meses); Fecha de medición; Hora inicio medición; Hora final medición; Características captador de polvo; Cantidad de polvo registrado (mg/m<sup>3</sup>) (Dato que se añade cuando llegan los resultados de las mediciones); Porcentaje de sílice de las mediciones (dato que se añade cuando llegan los resultados de las mediciones).

Capa Accidentes e Incidentes: Esta capa está constituida por los accidentes o incidentes que se vayan produciendo en el tiempo. Cada vez que se produzca algún tipo de accidente o incidente se entrará en esta capa vectorial que se estructurará en puntos. Así cada punto representa el lugar de la cantera donde se ha producido un accidente o incidente y constará de la siguiente información: Código; Indicación de accidente o incidente; Coordenadas X, Y, Z; Lugar del suceso; Datos trabajador accidentado (en caso de accidente) (Nombre; Edad; Experiencia en meses); Datos accidente o incidente (Hora de suceso; Forma de suceso; Evento1; Evento2, Evento3; Factor causal1; Factor causal2; Factor causal3; Daños causados al trabajador, equipos, instalaciones o medio ambiente). Cabe indicar que los datos de esta capa pueden permitir al técnico prevencionista o responsable de la prevención en llevar a cabo una investigación de accidentes en base al método de clasificación y codificación de causas en accidentes laborales según el método Feyer and Williamson, utilizado en diversos estudios (Feyer & Williamson, 1991; Feyer & Williamson, 1997; Feyer & Williamson, 1998; Sanmiquel, Freijo, Edo & Rossell, 2010).

Capa de señales y extintores: Esta capa vectorial consta de información sobre señales y extintores situados en distintos lugares de la cantera. Así la información que hay es la siguiente: Código señal o extintor; Coordenadas X, Y, Z; Tipo de señal o extintor; Fecha última revisión o mantenimiento; Descripción últimas actuaciones realizadas.

La metodología utilizada se basa en la creación de un SIG vectorial para cada actividad minera (la mina de potasa y la cantera de áridos). El software que se utiliza para la creación de estos SIG vectoriales es el ArcGis 10.1. La creación de estos 2 SIG es muy parecida. Así para el caso de la mina de potasa, la información temática se entra en el ArcGis a partir de archivos Excel, los cuáles se importarán desde el ArcGis; mientras que en la cantera de áridos una parte se entra a partir de archivos Excel (Capa accidentes e incidentes y Capa de señales y extintores) y el resto se entra directamente al ArcGis (Capa mediciones de polvo). El resultado final será que en cada proyecto SIG habrá una serie de capas vectoriales en formato shape (SHP). En el caso de la mina habrá 2 capas shape con datos temáticos (puntos de control de la ventilación principal y puntos de minadores de la ventilación secundaria). En el caso de la cantera habrá 3 capas shape (Mediciones de polvo, Accidentes e incidentes y Señales y extintores).

Además es necesaria la entrada de información gráfica. En el caso de la mina se trata de mapas de formato DXF donde viene indicada la configuración de la red de ventilación principal y secundaria que va variando en el tiempo con lo que se dispone de varios archivos DXF con las distintas configuraciones que ha habido a lo largo de los años (2008-2015). De este modo cada archivo DXF se importará desde el ArcGis generando una capa shape de líneas. En el caso de la cantera, la información gráfica también se importa desde el ArcGis de archivos DXF que constituyen los planos topográficos de la cantera de cada año. Así, se dispone de un plano topográfico anual ya que la actualización de los mismos se realiza en periodicidad anual.

En la Figura 1 se indica un diagrama del proceso de entrada y estructuración de la información temática y gráfica en los 2 SIG vectoriales (mina y cantera).

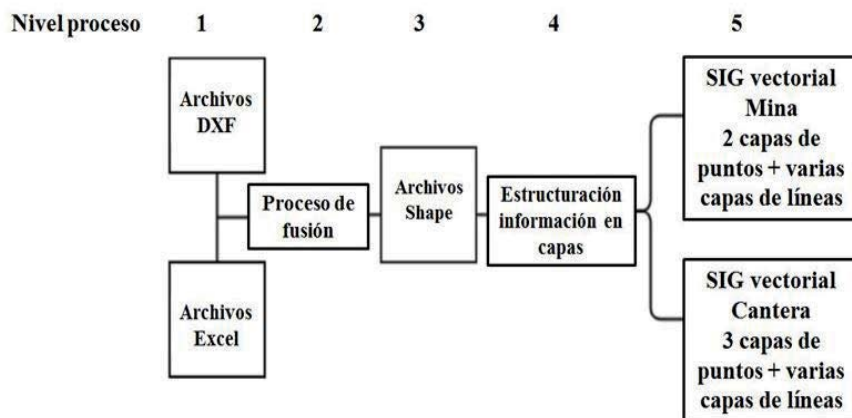


Figura 1. Proceso de entrada y estructuración de la información temática y gráfica en los 2 SIG vectoriales

En la Figura 2 se puede observar la situación de los puntos de la ventilación principal y de la ventilación secundaria (puntos cercanos a minadores continuos) de la mina de potasa de Sallent, con la última configuración de la red de ventilación principal y secundaria.

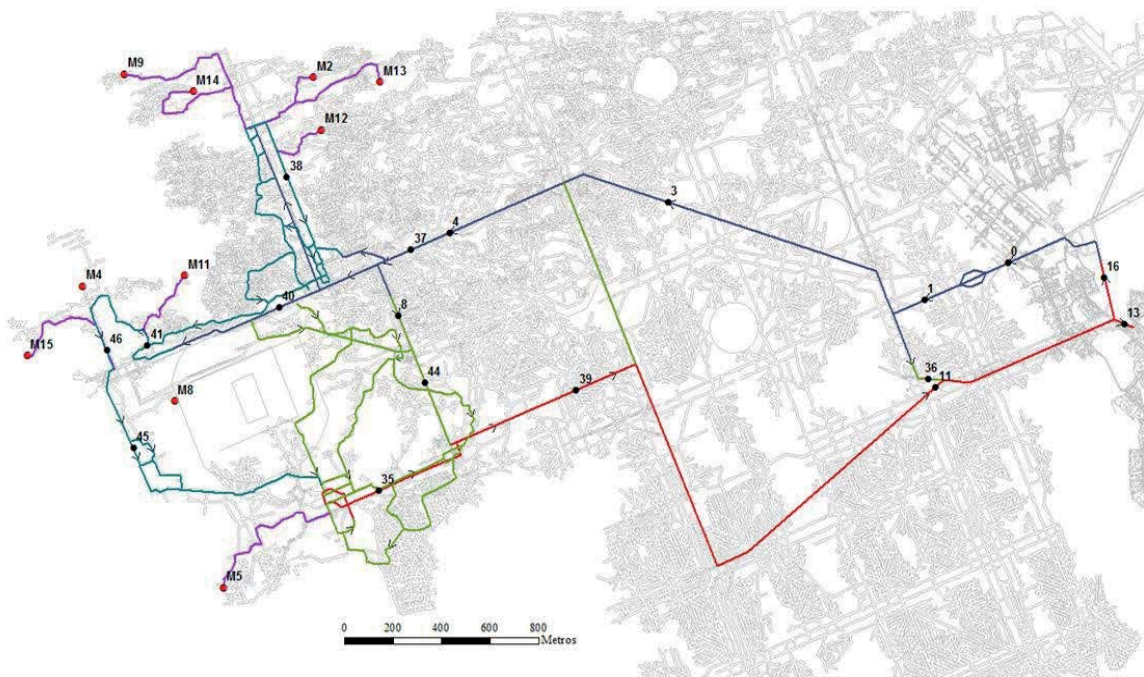


Figura 2. Esquema situación a medianos del año 2014 de los puntos de control de ventilación principal (puntos negros) y de minadores continuos como puntos de medición de la ventilación secundaria o auxiliar de la mina de Sallent (puntos rojos). En gris se encuentran situadas las labores de la mina.

## RESULTADOS

Los siguientes resultados vienen dados por el análisis de los datos temáticos y gráficos a través del SIG creado en cada caso. Seguidamente se indican algunos de los resultados que se pueden obtener haciendo operaciones de gestión a través de un SIG vectorial, y que suponen un soporte directo o indirecto a la gestión de la prevención de riesgos laborales. Se va a diferenciar los resultados entre el SIG de la mina de potasa del SIG de la cantera de áridos.

### SIG en la mina de potasa

El ArcGis dispone de un sistema de selección de información por atributos donde es posible crear condiciones de selección que permiten escoger los datos que cumplen con las mismas. Así, si se quiere seleccionar los registros de mediciones de puntos de control de la red de ventilación principal donde se haya superado el valor máximo de 10 ppm en una jornada de trabajo de los gases nitrosos, se podría realizar poniendo una condición como: "NO+NO<sub>2</sub>>10 ppm". El resultado de seleccionar la información en base a esta condición se puede observar en la Figura 3 y en la tabla 1. En la Figura 3 se pueden observar gráficamente los puntos que cumplen con la condición especificada (concentración de gases nitrosos por encima del valor máximo admisible de 10 ppm para una jornada de trabajo de 8 horas, según la ITC 04.7.02 que desarrolla el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera).

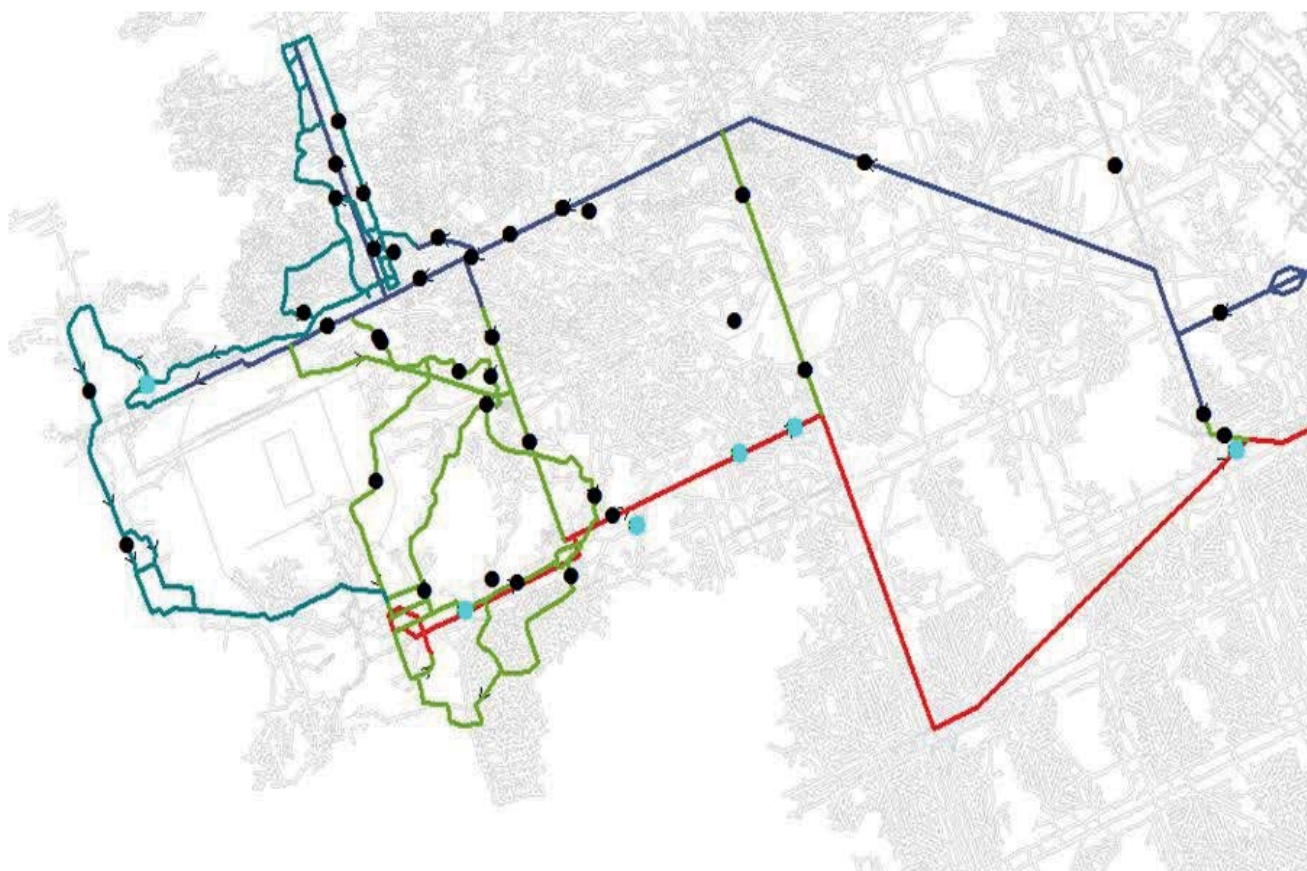


Figura 3. Esquema situación puntos de control de ventilación principal de todas las configuraciones del periodo 2008-2015 donde aparecen señalados los puntos donde alguna vez en estos años el nivel de gases nitrosos ( $\text{NO}+\text{NO}_2$ ) superó el valor máximo admisible de 10 ppm según la ITC 04.7.02.

Así mismo en la Tabla 1 vienen indicados los distintos datos de los puntos de control anteriores donde se superan los 10 ppm de concentración de gases nitrosos para una jornada de trabajo.

**Tabla 1**

*Puntos de Control de la Red de Ventilación Principal donde los Gases Nitrosos (NO+NO<sub>2</sub>) superan los 10ppm<sup>a</sup>*

<u>Punto</u>	<u>Día</u>	<u>Mes</u>	<u>Año</u>	<u>Velocidad</u> <u>(m/s)</u>	<u>Caudal</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>	<u>T<sup>a</sup> Equivalente</u> <u>(°C)</u>	<u>NO</u> <u>(ppm)</u>	<u>NO<sub>2</sub></u> <u>(ppm)</u>	<u>CO</u> <u>(ppm)</u>	<u>CO<sub>2</sub></u> <u>(ppm)</u>	<u>O<sub>2</sub></u> <u>(%)</u>	<u>NO+NO<sub>2</sub></u> <u>(ppm)</u>
9	29	Abril	2009	2,4	86,5	27,3	15,0	0,4	17,0	3500,0	21,0	15,4
10	29	Abril	2009	2,5	113,6	26,2	10,0	0,3	9,0	2500,0	21,0	10,3
9	19	Junio	2009	2,8	100,2	26,0	12,0	0,5	17,0	3900,0	21,0	12,5
11	19	Junio	2009	4,9	134,4	25,0	16,0	0,2	12,0	3400,0	21,1	16,2
35	11	Enero	2011	3,9	107,2	24,6	11,0	0,1	8,0	800,0	0,0	11,1
39	11	Enero	2011	5,5	147,6	24,5	10,0	0,3	8,0	700,0	0,0	10,3
35	20	Marzo	2012	3,7	103,0	26,3	8,5	2,1	7,0	2000,0	0,0	10,6
41	20	Marzo	2012	3,3	98,4	25,9	10,5	2,0	6,0	1900,0	0,0	12,5
35	20	Abril	2012	3,6	100,5	27,4	10,0	1,5	10,0	1600,0	0,0	11,5
35	21	Noviembre	2012	4,4	123,6	28,3	12,0	2,1	0,3	0,0	20,9	14,1
35	11	Marzo	2013	3,7	103,0	26,3	8,5	2,1	7,0	2000,0	0,0	10,6
41	11	Marzo	2013	3,3	98,4	25,9	10,5	2,0	6,0	1900,0	0,0	12,5
35	15	Abril	2013	3,6	100,5	27,4	10,0	1,5	10,0	1600,0	0,0	11,5
35	24	Abril	2014	3,6	100,5	27,4	10,0	1,5	10,0	1600,0	0,0	11,5

<sup>a</sup> Valor límite según la ITC 07.4.02 que desarrolla el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera

De los resultados anteriores destaca como en el año 2014 sólo el punto de control 35 registró una concentración de gases nitrosos por encima de 10 ppm, mientras que en el año 2015 ninguno.

Si se quieren seleccionar aquellos registros de mediciones referentes a la ventilación secundaria en los que en alguna vez la temperatura equivalente haya superado los 33°C (Temperatura equivalente máxima admisible en base la ITC 04.7.02) se debería ejecutar la siguiente operación en la capa shape de la ventilación secundaria: "Tequivalente>33°C". El resultado de la ejecución de esta condición se puede observar en la Figura 4 y la Tabla 2. En la Figura 4 vienen señalados de color azul claro las posiciones de los minadores que cumplen con la condición indicada, así como la fecha de medición en que se produjo. Así mismo, en la Tabla 2 están indicados distintos parámetros de cada minador en el día de la medición.

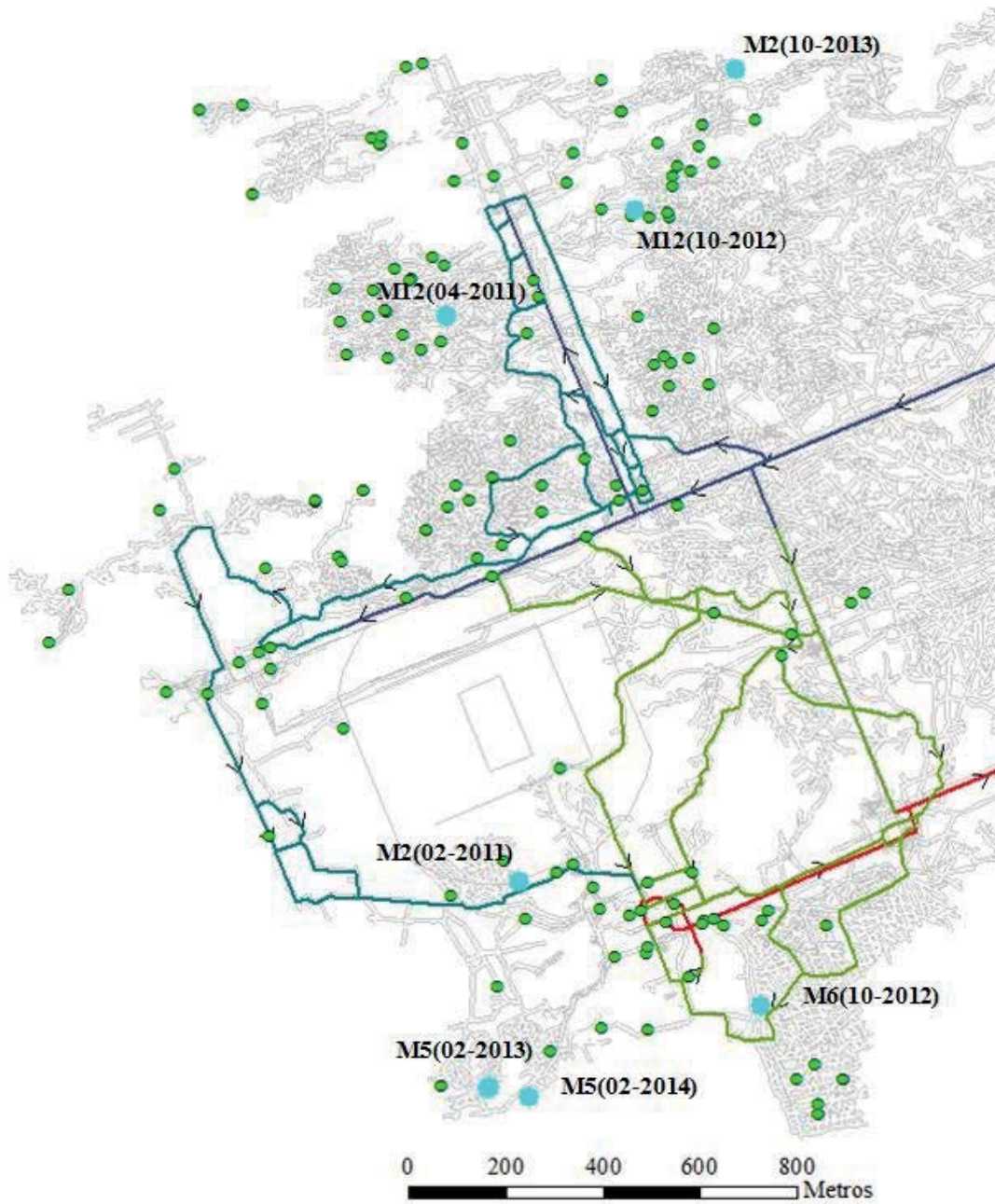


Figura 4. Esquema situación de todas las posiciones de los minadores en el período 2008-2015 donde la temperatura superó los 33°C de temperatura equivalente que es el valor máximo admisible según la ITC 04.7.02.



Tabla 2

*Puntos de Control de la Red de Ventilación secundaria donde la temperatura equivalente supera los 33°C<sup>a</sup>*

Minador	Día	Mes	Año	Caudal entrante (m <sup>3</sup> /s)	Longitud (m)	Distancia ventilador (m)	T <sup>a</sup> seca (°C)	T <sup>a</sup> Húmeda (°C)	T <sup>a</sup> equivalente (°C)
M2	23	Febrero	2011	6,6	255	55,0	38,0	34,0	34,4
M12	28	Abril	2011	7,3	175	70	37,0	33,0	33,4
M6	21	Octubre	2012	7,3	300	60	42,0	32,2	33,2
M12	19	Octubre	2012	7,3	175	70	37,0	33,0	33,4
M5	21	Febrero	2013	7,1	255	55	38,0	34,0	34,4
M2	22	Octubre	2013	7,5	250	40	42,0	32,2	33,2
M5	18	Febrero	2014	7,9	255	25	39,0	34,0	34,5

<sup>a</sup> Valor límite según la ITC 07.4.02 que desarrolla el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera

Puede observarse como las posiciones de los minadores donde se ha habido mediciones de Temperatura equivalente por encima del valor máximo admisible de 33°C, coinciden con los tajos o frentes de la zona norte y la zona sur. Esto permite a los responsables técnicos de la mina en priorizar las zonas de actuación de car a mejorar la temperatura de os frentes de arranque. También destacar como la última medición con un valor de temperatura equivalente por encima de los 33°C fue en febrero del año 2014.

#### SIG en cantera de áridos

Este SIG actualmente está muy poco desarrollado porque sólo contiene datos de 2 años. Sin embargo tal como se puede observar en la Figura 3, los datos actualmente entrados son los referentes a las señales y extintores situados en la planta de tratamiento y distintos lugares de la cantera (rectángulos rojos), así como datos de las pocas mediciones de polvo llevadas a cabo en los 4 puestos de trabajo (círculos rojos) y el accidente grave que se produjo en noviembre de 2014 en la planta de tratamiento. Es evidente que la potencialidad de este SIG irá aumentando conforme vaya habiendo más datos con el paso del tiempo. Así, cuando se disponga de datos de por ejemplo 3-4 años se podrán llevar a cabo operaciones tal como:

- Análisis estadístico de los accidentes leves, graves o mortales que se hayan podido producir. Se podrá conocer de una forma muy sencilla y operativa la forma de accidente más frecuente, el tipo de evento primero, segundo o tercero más importante, el factor causal mayoritario, la franja de edad y experiencia más frecuente, ver el lugar de la cantera gráficamente donde se han producido los accidentes, etc. En definitiva poder gestionar los datos recopilados de los accidentes e incidentes de cara a poder extraer conclusiones que ayuden a tomar medidas preventivasque eviten nuevos accidentes.
- Control del estado de las señales y de los extintores monotorizados en el SIG. Así, uno de los datos fundamentales que figura en esta capa informativa es la fecha de la última inspección de la señal o extintor, tipo de señal o extintor, etc.
- Todo esto puede ayudar a controlar la revisión anual de los extintores y el mantenimiento adecuado de las señales.El operador clicando encima de cualquiera de las señales o extintores que aparecen indicados en la pantalla gráfica del ArcGis podrá saber todos los datos asociados a esa señal o extintor. Así en el caso de clicar encima de la señal "S003" el sistema mostraría una ventana con sólo la información de la señal "S003" (Figura 5). Está información está contenida en la tabla de datos temáticos de la capa de "señales y extintores".

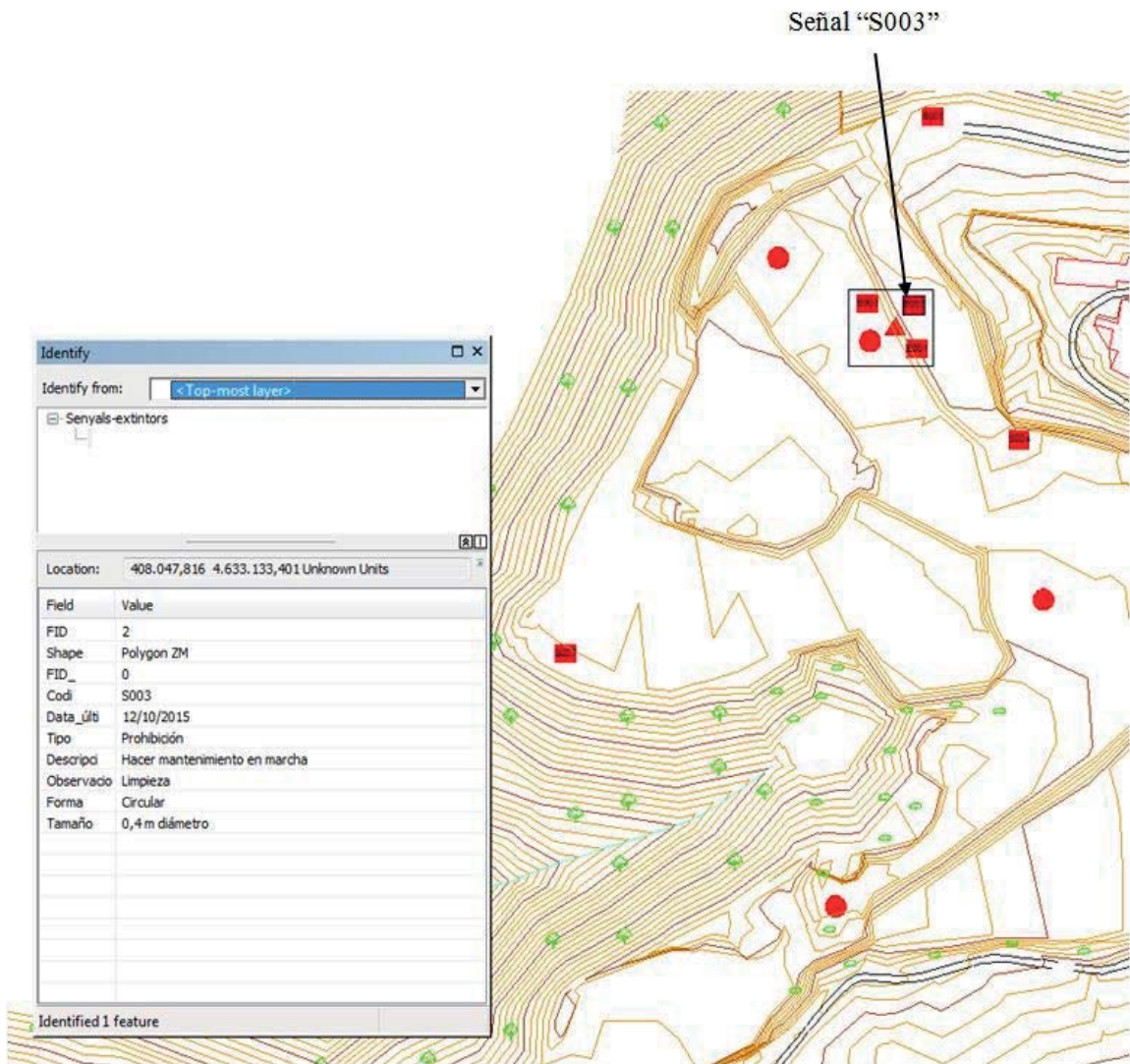


Figura 5. Información temática asociada a la señal "S003".

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que un SIG vectorial puede ser una herramienta muy útil en la gestión de la prevención en una empresa minera. Ello se debe fundamentalmente a que en la minería la interrelación entre la información temática y gráfica normalmente es muy importante. En los 2 casos analizados, una mina de potasa y una cantera de áridos, el SIG vectorial creado y focalizado en tema de prevención y seguridad laboral, permite hacer operaciones de análisis y gestión de datos temáticos y gráficos con lo que se pueden extraer conclusiones que ayudaran al técnico de prevención en la toma de decisiones. Para ello, tal como se ha indicado, es necesario entrar y estructurar la información de una forma determinada que pueda ser procesada por el software utilizado, el ArcGis. Además, para que estos sistemas de gestión sean lo más útiles y adecuados posibles es necesario disponer de la máxima información temática y gráfica de los parámetros a gestionar, así como que los datos tengan una calidad mínima. Si los datos no son fiables, el sistema de gestión basado en un SIG vectorial tampoco lo será.

Actualmente el SIG de la mina de potasa tiene datos mensuales referentes a condiciones ambientales de unos determinados puntos y lugares de la mina del período 2008-2015. El volumen de información del SIG empieza a ser importante y se pueden llevar a cabo interesantes operaciones de análisis y gestión. En el apartado anterior se han indicado 2 operaciones pero las posibilidades que permite el sistema son enormes, tales como: estudio de la evolución temporal del caudal de aire, gases, etc. en determinados lugares de la mina, identificación de las zonas de la mina donde se dan las peores condiciones ambientales, correlación de datos, detección de tendencias, análisis de si una nueva metodología de trabajo, nueva maquinaria, etc. influye positivamente o no en las condiciones ambientales de la mina, etc.

En cuanto a la cantera de áridos, indicar que actualmente el SIG dispone tan sólo de datos del período 2014-2016. Es evidente que su potencialidad irá aumentando conforme se vayan introduciendo nuevos datos con el tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

---

Queremos agradecer a la empresa Iberpotash S.A. las facilidades y apoyo dado para llevar a cabo este estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Alfonso Abella, M.P., Sanmiquel Pera, L.L. Vintro Sanchez, C., Parcerisa Duocastella, D., Oliva Moncunill, J., Freijo Alvarez, M., Mata Perelló, J.M. (2013). Development of an integrated monitoring system for touristic mines and caves. *In: International Conference on Sustainable Tourism and Cultural Heritage*, pp. 303–307.

Allen, C., Inco, V., Keen, B. (2008). Ventilation on demand (VOD) project – Vale Inco Ltd., Coleman Mine. *In: 12th North American Mine Ventilation Symposium 2008*, pp. 45–50.

Düzgün, S., Künzer, C., Özgen Karacan, C. (2011). Applications of remote sensing and GIS for monitoring of coal fires, mine subsidence, environmental impacts of coal-mine closure and reclamation. *Int. J. Coal Geol.* 86 (1), 1–2.

Feyer, A. M., & Williamson, A. M. (1991). A classification system for causes of occupational accidents for use in preventive strategies. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 17, 302–311.

Feyer, A. M., & Williamson, A. M. (1997). The involvement of human behavior in occupational accidents : Errors in context. *Safety Science*, 25(1–3), 55–66.

García-Herrero, S., Mariscal, M.A., García-Rodríguez, J., Ritzel, D.O. (2012). Working conditions psychological physical symptoms and occupational accidents. Bayesian network models. *Saf. Sci.* 50, 1760–1774.

Gutiérrez, J. & Gould, M. (1994). SIG: Sistemas de Información Geográfica. *Editorial Síntesis*. Madrid.

Kim, K.-D., Lee, S., Oh, H.-J., Choi, J.-K., Won, J.-S. (2006). Assessment of ground subsidence hazard near an abandoned underground coal mine using GIS. *Environ. Geol.* 50 (8), 1183–1191.

Kurnia, J.C., Sasmito, A.P., Mujumdar, A.S. (2014). Simulation of a novel intermittent ventilation system for underground mines. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 42, 206–215.

Marturià, J., de Diego, J., Martínez, P., Roca, A. (2006). Implementation of a subsidence risk management system. *5th European Congress on Regional Geoscience Cartography and Informations Systems*, Barcelona, 1, 434-436.

Puliafito, E., Guevara, M., Puliafito, C. (2002). Characterization of urban air quality using GIS as a management system. *Environ. Pollut.* In press 2002.

Reddy, A.C. (2009). Development of a Coal Reserve GIS Model and Estimation of the Recoverability and Extraction Costs. Master of Science Thesis. *Department of Mining Engineering, West Virginia University*.

Sanmiquel, L.; Bascompta, M.; Vintro, C. (2015). Gestión de la subsidencia minera en la cuenca minera potásica de Cataluña. *Acta del congreso, 269-288. Spain MinErgy Congress*. Gijón.

Sanmiquel, Ll., Freijo, M., Edo, J., Rossell, J. M. (2010). Journal of Safety Research. *Journal of Safety Research*, 41, 1–7.

Williamsom, A., & Feyer, A. M. (1998). The Causes of Electrical Fatalities at Work. *Journal of Safety Research*, 29(3), 187–196.

Zahiri, H., Brassington, G., Baafi, E. (2006). The use of the Geographical Information Systems (GIS)-based weights-of-evidence method for assessing mining induced rockfall. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series*, 283-287. 6th International Mining Geology Conference.