

Simulaciones del comportamiento aerodinámico de una red de ventilación con ayuda del computador

William Castro M.

Departamento de Recursos Minerales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

RESUMEN

Este artículo ilustra la inmensa utilidad del computador en el proceso de planeamiento de la ventilación de una mina a corto, mediano y largo plazo.

Sobre una red, conocida en todos sus elementos desde el punto de vista de su comportamiento aerodinámico, se realiza una serie de simulaciones que tienden a reproducir situaciones concretas, problemas específicos que se le presentan a diario a la persona encargada de controlar la ventilación en una mina subterránea.

El ejemplo se refiere a una mina cuya red de ventilación se puede representar mediante un esquema sencillo, pero los problemas propuestos, las simulaciones realizadas, los procesos de cálculo y la interpretación de los resultados, son válidos para una mina cualquiera aunque tenga el grado de complejidad posible.

1. INTRODUCCION

En la Facultad de Minas se dispone de programas de computador mediante los cuales es posible analizar redes de ventilación con más de 400 ramas y hasta con 20 ventiladores principales en su estructura.

Algunas de las simulaciones posibles sobre una red previamente caracterizada mediante una campaña de mediciones y cuyos datos se encuentren dentro de la memoria del computador en forma de archivo son:

Cambio en los datos del ventilador

- . Modificar la presión de operación del ventilador
- . Reubicar el ventilador
- . Eliminar el ventilador
- . Agregar un nuevo ventilador
- . Modificar las características del ventilador
- . Modificar el rendimiento del ventilador o los costos del KW.h.

Cambio en los datos de las ramas

- . Cambiar algún dato característico a una rama sin modificar integralmente.
- . Agregar ramas
- . Eliminar ramas
- . Cambiar el tipo de rama

Los programas permiten además determinar el tipo y características del o los ventiladores requeridos sobre una red y de la ubicación más apropiada para

ellos y los reguladores necesarios con la magnitud de la pérdida de carga que se debe producir en cada uno de ellos, además de la ubicación donde son indispensables en la red.

Las simulaciones anteriores permiten reproducir los problemas prácticos reales que se presentan en la conducción de una explotación subterránea.

Aún en las minas subterráneas medianamente mecanizadas, se presentan dificultades en la realización de las operaciones de ventilación, estas dificultades se incrementan a medida que la mecanización avanza y en muchas oportunidades se recurre a tanteos costosos, no evidentes y en ocasiones improductivos y riesgos para la seguridad en las explotaciones.

Si se quiere realizar un planeamiento adecuado, es necesario, primero que todo, conocer la mina y las herramientas disponibles para diseñar e implementar una ventilación apropiada.

Se deben reconocer las zonas y frentes críticos de la mina, los requerimientos de aire en los distintos lugares, la resistencia aerodinámica de las ramas, las características de los ventiladores disponibles; todos estos datos surgen de una campaña de mediciones adelantada con rigor para que la información sea real y lo más representativa posible de las condiciones en las cuales se encuentra la mina.

Una vez conocida la mina en todos sus elementos, se puede proceder a simular situaciones nuevas y predecibles en el tiempo; con la ayuda de un buen programa de computador los resultados se obtienen casi inmediatamente y son altamente confiables, sirven para prever la respuesta de la mina ante distintos tipos de solicitudes.

A continuación se describe el proceso analizado anteriormente sobre una pequeña red de ventilación. El programa utilizado se llama VNETPC (versión 2.0) pero los resultados se pueden verificar fácilmente a mano.

2. EJEMPLO PRACTICO

Una mina subterránea se puede representar esquemáticamente con la siguiente figura. Una campaña de mediciones permitió recolectar la información detallada acerca de las características de los distintos elementos que constituyen la red, tabla 1. Se utilizarán las unidades del Sistema Internacional (S.I.) las cuales se están imponiendo cada día más. La presión atmosférica en superficie corresponde a 101,337 kPa.

2.1. Esquema de Partida

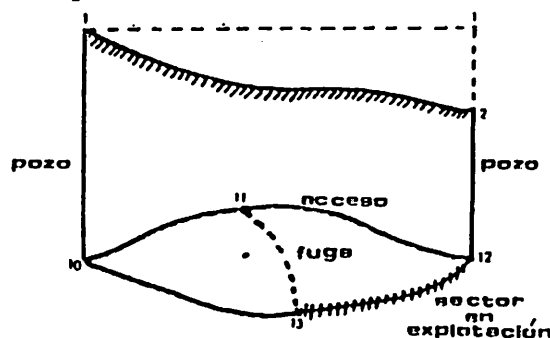


Figura 1. Esquema de partida

Utilizando estos datos en el programa de computador VNETPC, se obtiene la magnitud del tiro natural generado en cada rama y la distribución de caudales de aire inducida por este tiro natural en el conjunto de la mina. Se muestra además la pérdida de carga producida en cada rama por la circulación del caudal correspondiente a cada una de ellas, tabla 2.

TABLA 1. Información obtenida a partir de una campaña de mediciones

Rama	Nudo i	Nudo i+1	temp. °C	Resist. Ns ² /m ⁸	Nudo	Prof. m
Pozo	1	10	18	20	1	0
Pozo	1	2	18	1	2	20
Pozo	2	12	20	10	10	200
Acesso	10	11	22	10	11	200
Acesso	11	12	22	20	12	200
Cruzada	10	13	21	20	13	220
Frente Exp.	12	13	22	100		

TABLA 2. Situación inicial de la red

Rama	Resist. Ns ² /m ⁸	Tem. °C	Dens. kg/m ³	Caudal m ³ /s	Pérd.Carga Pa	F.A.N. Pa
1 - 2	1,0	18	1.214	-18,5	-0,3	-238,2
1 - 10	20,0	18	1.227	18,3	6,8	2407,3
2 - 12	10,0	20	1.220	-18,5	-3,4	-2154,2
10 - 11	10,0	22	1.224	11,9	1,4	0,0
10 - 13	20,0	21	1.230	6,5	0,9	241,3
11 - 12	20,0	22	1.224	11,9	2,9	0,0
13 - 12	100,0	22	1.226	6,5	4,3	-240,5

Esta es una mina donde la única fuente de carga aerodinámica es el tiro natural y donde se produce además una distribución natural de caudales puesto que no se utilizan frenos ni ventiladores.

La columna F.A.N. corresponde a la magnitud del tiro natural generado en cada rama.

El aire circula naturalmente entre los nudos 1-10-12-2 con los caudales listados en la tabla anterior. El balance de caudales se verifica exactamente para los flujos másicos.

2.2. Primera modificación propuesta

Entre los nudos 12 y 13 se establece una fuga difícil de cuantificar y de resistencia desconocida, aunque se conoce que la temperatura del aire en ella es de 21°C. Para integrar fugas indefinidas a la red de ventilación se acostumbra manejarlas como caudales impuestos. Creando la rama 11-13 con resistencia desconocida, temperatura 21°C y caudal impuesto 1,0 m³/s, se corre

de nuevo el programa y se obtienen los siguientes resultados que muestran la influencia que tiene sobre el conjunto de la red la creación de la rama con las características indicadas, tabla 3.

Los resultados muestran que en la rama 11 - 13 (fuga) se requerirá un freno, lo cual no tiene sentido; eliminándolo, pasaría a través de 11 - 13 un caudal de 1,5 m³/s en lugar del impuesto, lo cual es aceptable. La resistencia que correspondería a 11 - 13 como rama pasiva sería 15720,5 unidades S.I. (Ns²/m⁸). Hasta el momento solo se considera el tiro natural como fuente de carga aeromotriz.

2.3 Agregar un Ventilador

Con el fin de mejorar la ventilación de la mina, se estudia la posibilidad de colocar a succión en el nudo 2 el ventilador cuya curva característica se describe a continuación mediante los siguientes puntos, tabla 4.

TABLA 3. Creación de una rama a caudal impuesto

Rama	Resist. Ns ² /m ⁸	Temp. °C	Densid. kg/m ³	Caudal m ³ /s	Pérd. carga Pa	Nota	F.A.N. Pa
1 - 2	1,0	18	1.214	-18,6	-0,3		238,2
1 - 10	20,0	18	1.227	88,4	6,8		2407,3
2 - 12	10,0	20	1.220	-18,5	-3,4		2154,2
10 - 11	10,0	22	1.224	11,2	1,3		0,0
10 - 13	20,0	21	1.230	7,2	1,1		241,3
11 - 12	20,0	22	1.224	12,2	3,0		0,0
11 - 13	0,0	21	1.230	-1,0	0,0	C.I	241,3
13 - 12	100,0	22	1.226	6,3	4,0		-240,5

TABLA 4. Ventilador disponible; V1

CAUDAL (m ³ /s):	0	50	60	70	80	90	100	110	120	125
DEPRES. (Pa):	700	500	480	450	410	350	280	180	60	0

Normalmente para efectos de colocación del ventilador en la mina, hay que considerar una pequeña rama paralela al ventilador y que corresponde a las fugas.

El esquema de ventilación quedaría de la siguiente forma:

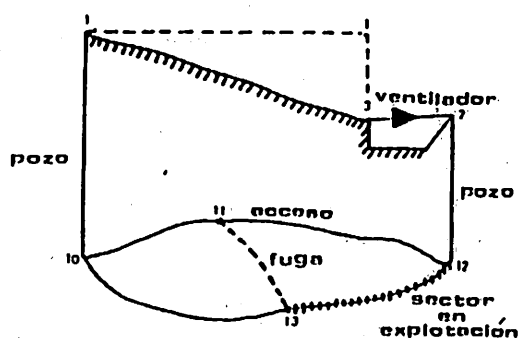


Figura 2. Red modificada

Se suprime la rama 1 - 2, se crean las ramas 2 - 3R (Fuga) con resistencia de 30.000 unidades S.I. y temperatura 18°C y 2 - 3 V (ventilador) que aspira hacia superficie y tiene temperatura de 18°C.

Se cambia el sentido 2 - 12 por 12 - 2 (Pozo de retorno), la rama 1 - 3 reemplaza a 1 - 2. Se agrega el nudo 3 a profundidad de 20 m y se calcula la nueva red, tabla 5.

El ventilador tiene las siguientes características de operación $Q_v = 93 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_v = 333 \text{ Pa}$, lo que permite disponer de 30 m³/s en el sector de explotación, lo cual es muy poco porque la galería de acceso 11 - 12 es muy poco resistente y canaliza el aire destinado al frente.

Es conveniente reemplazar la rama a caudal impuesto 11 - 13 por una rama a resistencia (datos ya calculados). Eliminando este caudal impuesto se calcula de nuevo la red, tabla 6.

TABLA 5. Colocación del ventilador V1

Rama	Resist. Ns ² /m ⁸	Temp. °C	Dens. Kg/m ³	Caudal m ³ /s	Pérd. Carga Pa	F.A.N. Pa
1 - 10	20,0	18	1.226	88,7	159,1	2405,5
2 - 3		18	1.214	92,9		
2 - 3	30000,0	18	1.214	-3,3	-333,3	0,0
10 - 11	10,0	22	1.222	58,5	34,5	0,0
10 - 13	20,0	21	1.228	30,3	18,6	241,0
11 - 12	20,0	22	1.222	59,4	71,0	0,0
11 - 13	0,0	21	1.228	-0,9	0,0	240,9
13 - 12	100,0	22	1.223	29,5	88,0	-240,0
3 - 1	1,0	18	1.214	89,7	8,1	-238,2
12 - 2	10,0	20	1.217	89,2	79,8	-2148,1

TABLA 6. Modificación del tipo de una rama

Rama	Resist. Ns ² /m ⁸	Temp °C	Densid. Kg/m ³	Caudal m ³ /s	Pérd. Carga Pa	F.A.N. Pa
1 - 10	20,0	18	1.226	88,7	159,1	2405,5
2 - 3		18	1.214	92,9		
2 - 3	30000,0	18	1.214	-3,3	-333,3	0,0
10 - 11	10,0	22	1.222	58,4	34,4	0,0
10 - 13	20,0	21	1.228	30,4	18,7	241,0
10 - 12	20,0	22	1.222	59,4	71,1	0,0
11 - 13	15720,5	21	1.228	-1,0	-15,7	240,9
13 - 12	100,0	22	1.223	29,5	87,7	-240,0
3 - 1	1,0	18	1.214	89,7	8,1	-238,2
12 - 2	10,0	20	1.217	89,2	79,8	-2148,1

2.4 Colocación de frenos

La galería 11 - 12 es muy poco resistente y por ella circula un caudal muy grande, lo cual puede implicar que la velocidad de la corriente de aire sobrepase los valores reglamentarios además de que quita caudal a los frentes de explotación.

Se colocará en 11 - 12 una puerta regulable con resistencia preestablecida. Para proceder a lo anterior, primero se fija un caudal apropiado en 11 - 12 de 15 m³/s, se elimina la galería 11 - 12 como rama a resistencia y se pasa a caudal impuesto de 15 m³/s, temperatura 22 C, resistencia 20 unidades S.I. (valor

real). Se realiza un nuevo cálculo con esta modificación en la red, tabla 7.

A pesar de la modificación anterior, el caudal de 52,0 m³/s es muy grande para circular en el frente de explotación, vamos a tratar de disminuirlo, sin frenar la rama, ya que esto implicaría un consumo inútil de potencia. Se pretende cambiar la curva característica del ventilador (modificando el ángulo de calado de las palas) o reemplazarlo si se dispone de otro.

La curva característica del nuevo ventilador se representa mediante los siguientes puntos, tabla 8.

TABLA 7. Colocación de un regulador

Rama	Resist. Ns ² /m ⁸	Temp. °C	Densid. Kg/m ³	Caudal m ³ /s	Pérd. Carga Pa	Nota	F.A.N. Pa
1 - 10	20,0	18	1.226	67,3	91,5		2406,3
2 - 3		18	1.213	71,8		V1	
2 - 3	30000,0	18	1.213	-3,8	-444,2		0,0
10 - 11	10,0	22	1.223	16,9	2,9		0,0
10 - 13	20,0	21	1.229	50,3	51,2		241,1
11 - 12	20,0	22	1.222	15,0	4,6	CI 15,0	0,0
11 - 13	15720,5	21	1.229	1,7	48,3		241,1
13 - 12	100,0	22	1.223	52,2	275,0		-239,9
3 - 1	1,0	18	1.214	68,0	4,6		-238,2
12 - 2	10,0	20	1.215	67,6	45,7		-2145,4

TABLA 8. Nuevo ventilador V2.

Caudal (m ³ /s):	0	50	60	70	80	90	100	110	120	122
Depresión (Pa):	700	400	380	350	320	250	180	50	20	0

Se mantiene la rama fuga 2 - 3.

Se coloca el nuevo ventilador y se efectúa el nuevo cálculo, tabla 9.

TABLA 9. Cambio del Ventilador instalado

Rama	Resist. Ns ² /m ⁸	Caudal m ³ /s	Pérd. Carga Pa	Nota	F.A.N. Pa
1 - 10	20,0	62,1	78,0		2406,5
2 - 3	30000,0	-3,5	-365,0		0,0
2 - 3		66,0		V2	
10 - 11	10,0	16,4	2,7		0,0
10 - 13	20,0	45,5	42,0		241,1
11 - 12	20,0	14,8	4,4	CI 15,0	0,0
11 - 13	15720,5	1,6	39,3		241,1
13 - 12	100,0	47,2	224,6		-240,0
3 - 1	1,0	62,7	3,9		-238,0
12 - 2	10,0	62,3	38,9		-2147,0

Se puede terminar el cálculo comparando las potencias aerodinámicas consumidas por los ventiladores V1 y V2.

Ventilador 1 Potencia 31,9 Kw

Ventilador 2 Potencia 24,1 Kw

Aunque es necesario considerar los rendimientos para calcular el consumo de energía eléctrica, es evidente la economía lograda que se traduce en menores costos de operación de la ventilación.

Con respecto a la red, puede decirse que está bien balanceada y que la distribución de caudales es apropiada.

3. CONCLUSIONES

Los cálculos y simulaciones anteriores son imposibles de realizar manualmente en una red de mediana complejidad.

Cuando en la mina surjan inquietudes como las planteadas, lo más conveniente es disponer de la red en un archivo dentro de la memoria de un computador, con el fin de analizar las múltiples variantes posibles para enfrentar una situación nueva dentro del sistema de explotación; si no se dispone de esta herramienta, hay que recurrir a tanteos y a ensayos costosos, en la búsqueda de una solución que no

siempre se encuentra a nivel óptimo. Si se dispone del computador, se pueden analizar en corto tiempo muchísimas alternativas, aún las que aparentemente se van a descartar desde el principio, se puede ir construyendo una solución paso a paso reteniendo lo favorable de cada situación analizada y descartando aquello que comprometa la seguridad o que sea de difícil ejecución.

Una persona con amplios conocimientos sobre la mina y sobre las técnicas de ventilación y con un entrenamiento mínimo en el manejo de computadores, puede encontrar la solución deseada a un problema complejo en un tiempo sumamente corto, con mínimas inversiones y con los menores riesgos.

4. BIBLIOGRAFIA

Mine Ventilation Services Inc. Ventilation Simulation Program. USER'S MANUAL, 1986.

Hartman, H.L. Mine Ventilation and Air Conditioning. John Wiley and Sons, 1982.

Bossard, F.C. A Manual of Mine Ventilation Design Practices, Floyd C Bossard and Associates 1983.