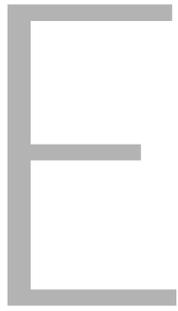




NOTAS



ESTUDIO COMPARATIVO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE UNA MINA SUBTERRÁNEA, UTILIZANDO UN NUEVO PROGRAMA DE CÁLCULO

González, Prudencio L. / Marín, Marcelino / Grasso, Alberto B. / Molina, Walter G.
Instituto de Investigaciones Mineras - Departamento de Ingeniería de Minas
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan.
Av. Libertador 1109 (O) - (5400) San Juan. Tel: (0054264)-4226444/4225406 Int 238
Fax: (0054264) - 4210299 - 4217300 - Correo Electrónico: gonzalezp@iee.unsj.edu.ar

COMPARATIVE STUDY OF AN UNDERGROUND MINE VENTILATION SYSTEM , USING A NEW CALCULATION PROGRAM.

ABSTRACT

VENTILA is an application program for calculating underground mines ventilation systems. It was developed within an investigation project carried out at the Instituto de Investigaciones Mineras (IIM) of the Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). VENTILA can be executed in a personal computer (PC), and it is completely intended for the engineer in charge of the security of the location, avoiding the need of computer experts and operators. Mining Engineering students from the Department of Engineering of Mines of the UNSJ participated in the validation and setting of the program. They executed numerous cases by reproducing studies of different locations of our country. One of those comparative studies is presented in this article. The results obtained when applying VENTILA to a real ventilation problem are contrasted with values achieved by means of the VNETPC Vs. 1.0 for Windows, a program developed by Mine Ventilation Services, Inc. Figures found by traditional methods of calculation are also presented, adapting electric circuits equations. This study was carried out on the configuration that presented Aguilar Mine some years ago, when it was solved in the traditional way and verified later on by measurements.

KEY WORDS: mines, security, ventilation, simulation, program.

RESUMEN

VENTILA es un Programa de Aplicación para el cálculo de la ventilación de minas subterráneas desarrollado en el marco de un proyecto de investigación llevado a cabo en el Instituto de Investigaciones Mineras (IIM) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). El programa puede ser ejecutado en una computadora personal (PC) y está totalmente dirigido al ingeniero a cargo de la seguridad del yacimiento, evitando la necesidad de operadores o expertos en informática. En la validación y puesta a punto del programa participaron alumnos de la carrera Ingeniería de Minas del Departamento de Ingeniería de Minas de la UNSJ, quienes ejecutaron numerosos casos reproduciendo estudios de distintos yacimientos de nuestro país.

Uno de esos estudios comparativos se presenta en este artículo. Se contrastan los resultados obtenidos al aplicar VENTILA a un problema real de ventilación con los valores logrados por medio del VNETPC Vs. 1.0 para Windows, un programa desarrollado por Mine Ventilation Services, Inc. También se presentan los resultados obtenidos por métodos tradicionales de cálculo, adaptando ecuaciones para circuitos eléctricos. Este estudio se realizó sobre la configuración que presentaba hace algunos años Mina Aguilar. Entonces fue resuelto en la forma tradicional y posteriormente verificado con mediciones.

PALABRAS CLAVE: minas, seguridad, ventilación, simulación, programa.

INTRODUCCIÓN

En el Instituto de Investigaciones Mineras de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, se consideró la conveniencia de desarrollar un programa para cálculo de ventilación, que en su versión fuente permita probar distintas propuestas que aparecen en la bibliografía en relación con emisión de metano, monóxido de carbono y evacuación de gases de voladuras.

Las premisas fijadas para este programa fueron:

- ser procesado en computadoras personales (PC);
- evitar la necesidad de operadores o expertos en informática, logrando una herramienta de cálculo dirigida al ingeniero a cargo de la seguridad de la mina;
- ingresar la información a través de paneles, para evitar la consulta continua de formatos de entrada de datos, así como inconsistencias entre los mismos;
- Estructurar la información de entrada para ser almacenada en sistemas de bases de datos. De esta forma se logra una mayor facilidad en la introducción de modificaciones al sistema bajo estudio, para la simulación de esquemas alternativos de ventilación;
- disponer de salidas gráficas que permitan visualizar el esquema de mina utilizado en la modelación, con indicación de caudales de aire y su sentido de circulación en las ramas, diferencias de presiones entre nodos extremos de cada rama y temperaturas en nodos, con verificación de máximos y mínimos exigido por las Normas de seguridad.

MODELO NUMÉRICO

Asumiendo condiciones en estado estático, la red de ventilación puede ser descripta por tres

conjuntos de ecuaciones: ecuaciones de resistencias, ecuaciones de mallas y ecuaciones de nodos. Se plantea un sistema de $2n$ ecuaciones con $2n$ incógnitas (n depresiones P y n caudales Q), la mayoría de las cuales son de segundo grado. Esto obliga a resolverlo por un método iterativo; para ello se utilizó el método de Hardy-Cross, de acuerdo con las propuestas [2, 3, 4, 7, 9].

El detalle de la formulación utilizada para el algoritmo básico, así como el cálculo de la ventilación natural y propagación de gases de voladura, monóxido de carbono y metano, se detallan en [5, 6].

ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA

Desde el "Escritorio" de "Windows"¹ se accede al programa, que presenta un Menú Inicial donde se pueden ejecutar las tareas principales (Figura N° 1). Algunas de estas tareas acceden a submenús como es el caso de entrada de datos.

Entrada o modificación de datos

Se diseñó la entrada de datos almacenando la información en tablas de bases de datos, que son accedidas por medio de paneles con funciones programadas que facilitan la ubicación de registros, así como la visualización y actualización de las bases correspondientes. De esta forma se ha logrado una entrada guiada de la información, que independiza al ingeniero de diseño de los formatos del programa. A la información necesaria para el cálculo de la ventilación se le agregaron datos correspondientes a valores límites de distintos parámetros a efectos de validar la información de entrada.

Las bases de datos son administradas por "Visual Fox Pro"² bajo "Windows" que es de proba-

1. Microsoft® Windows Windows 98 © 1981-1997

2. Microsoft Visual FoxPro 5.0 Copyright © 1996

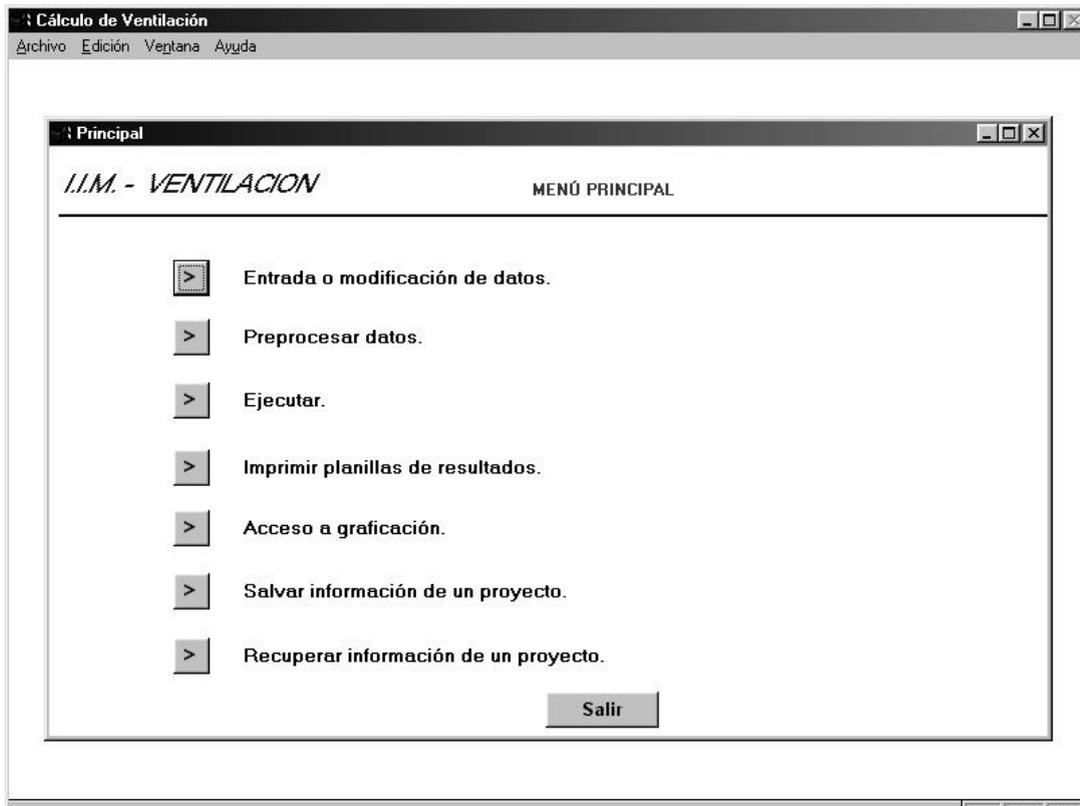


FIGURA 1: Menú principal para la selección de tareas.

da eficiencia. Los paneles fueron programados utilizando el mismo lenguaje.

Descripción de Elementos de la red

Los distintos elementos que componen la red de ventilación, ramas, nodos, etc., son agrupados y almacenados en tablas de base de datos con tantos registros como elementos tenga la red de ventilación.

Por ello, como se observa en la Figura N° 2, al panel correspondiente se lo ha dotado de funciones que permiten direccionar registros (“primero”, “siguiente”, “último”, “anterior”), actualizar (“eliminar” y “agregar”) y la función “encontrar” que a través de una ventana emergente permite visualizar varios registros simultáneamente.

Preprocesar datos

El programa principal, como todo programa desarrollado en lenguaje FORTRAN, admite como archivo de datos solamente archivos de textos (*.txt o ASCII), es decir, sin ningún tipo de marcas; por lo tanto, no se puede acceder a la información contenida en las tablas de datos.

• Se ha desarrollado un programa en “Visual Fox Pro” que transforma toda la información con-

tenida en las tablas de datos, en un archivo de texto con la distribución de acuerdo con los formatos requeridos por el programa principal. Por lo tanto cada vez que se modifica un dato en cualquiera de las tablas de datos, se debe ejecutar esta tarea (Preprocesar) antes de ejecutar el programa principal.

• La formulación utilizada por el modelo ha sido desarrollada utilizando el Sistema Internacional de Unidades (SI), pero dado que en muchas explotaciones se sigue utilizando el Sistema Inglés de Unidades (generalmente como consecuencia del instrumental de medición disponible), se ha previsto el ingreso de información utilizando cualquiera de los sistemas mencionados. Si se opta por el ingreso de información utilizando el Sistema Inglés, es en esta tarea donde se realiza la transformación de unidades.

Ejecutar

Ejecuta el programa principal de cálculo. El programa principal y todas las rutinas que lo integran han sido desarrollados en “Digital Visual Fortran”³. El programa ha sido dimensionado para

3. Digital Visual Fortran Copyright © 1997-98.

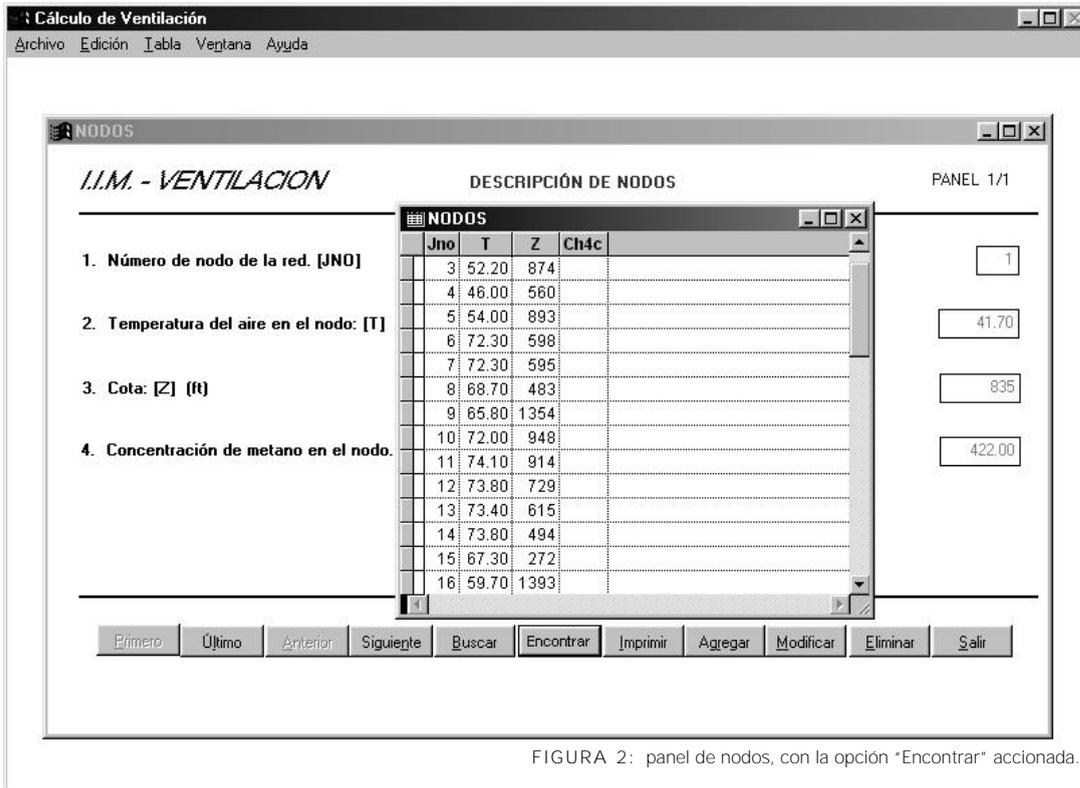


FIGURA 2: panel de nodos, con la opción "Encontrar" accionada.

procesar redes de hasta 300 nodos y hasta 500 ramas y requiere como mínimo una computadora 486 con 16 Mb de RAM. Los resultados son almacenados en un archivo secuencial (*.txt), la típica planilla de resultados, y en archivos auxiliares que son accedidos desde el ambiente de "Autocad"⁴.

Imprimir - Visualizar planillas de resultados

Por medio de esta opción, se pueden visualizar las planillas de resultados con opción de impresión. En ellas figuran los datos de entrada utilizados para el estudio y los resultados obtenidos.

Acceso a graficación

Este es uno de los puntos en que se puso mayor esfuerzo, ya que una de las premisas del proyecto es poder visualizar los resultados sobre un esquema gráfico de la red bajo estudio.

Todas las funciones se programaron en "AutoLisp" de "AutoCAD", y el operador puede acceder a ellas desde el menú de barras desplegable, que aparece con el nombre de "VENTILA", Figura N° 3.

Obtención del esquema de red

En principio puede pensarse que lo ideal es volcar los resultados sobre una representación tridimensional a escala de la explotación, sobre todo porque se tienen las coordenadas tridimensionales de los nodos. Esto en la realidad es poco práctico puesto que las zonas más críticas que se desean analizar, en general los frentes de explotación, son de magnitudes muy reducidas frente a las de los accesos a los mismos (m vs. Km.). La práctica demuestra que lo más conveniente es volcar los resultados sobre un esquema de la red a ventilar fuera de escala, donde se puedan apreciar con facilidad y en detalle las zonas de mayor interés para el estudio en ejecución.

Considerando que estas herramientas han sido desarrolladas utilizando como base "Autocad" de "Autodesk", aparecen tres posibles formas de obtener el esquema.

Dibujar el croquis de la red utilizando AutoCAD.

A partir de un croquis de la red, dibujado en papel, digitalizarlo por medio de un tablero digitalizador.

Partiendo de un croquis de la red, dibujado en papel, capturarlo por medio de un scanner. Este procedimiento presenta problemas de conversión de archivos.

4. AutoCAD Release 14.0 Copyright © 1982-1987

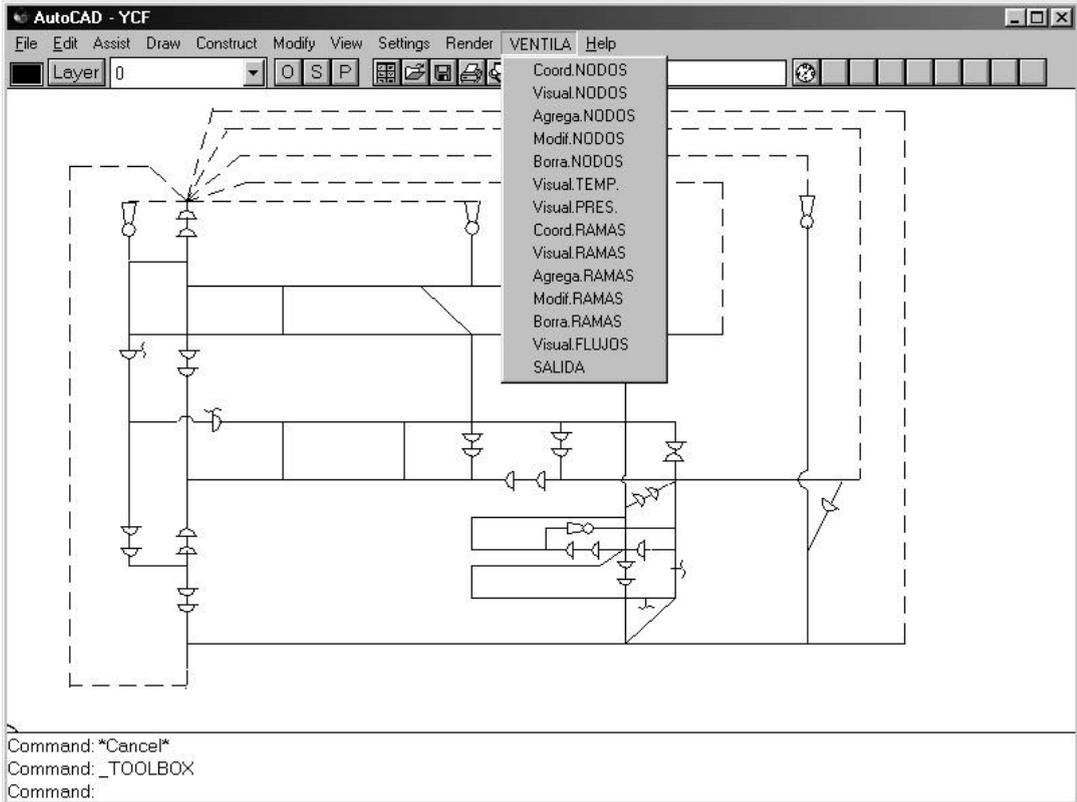


FIGURA 3: red ejemplo con las funciones.

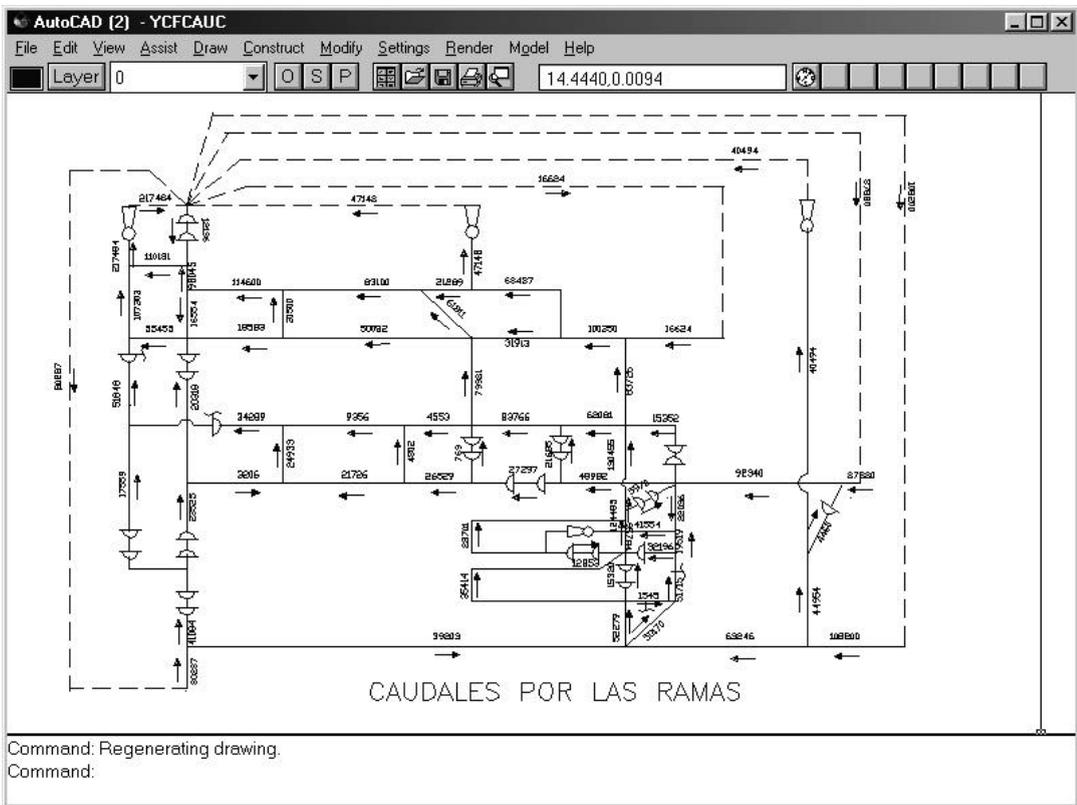


FIGURA 4: ejemplo de salida gráfica mostrando caudales por las ramas.

Funciones programadas en el Menú de Barras "VENTILA"

Como se prevé que esta herramienta será utilizada en la planificación del crecimiento de la red de ventilación, se desarrollaron una serie de funciones que permiten la modificación del esquema original, de una forma transparente para el ingeniero de proyecto. Todas las funciones programadas pueden ser accedidas con un clic del ratón o *mouse* sobre el nombre correspondiente en el menú desplegable, Figura N° 4.

Se han programado funciones para introducir números de nodos y ramas, y las coordenadas correspondientes de nodos y ramas, agregar, modificar, y borrar en ampliaciones/modificaciones de los esquemas originales. Cada una de estas funciones, a su vez, emiten mensajes de opciones y de guía en la línea de comandos cuando se están ejecutando. La utilización de todas estas funciones permite obtener rápidamente esquemas donde se visualizan los resultados obtenidos después de cada ejecución del programa de cálculo.

VALIDACION DEL PROGRAMA-ESTUDIO COMPARATIVO

Con el fin de familiarizarse con el manejo del programa y comprobar su funcionamiento, se lo

utilizó en los Trabajos Prácticos de Ventilación desarrollados por los alumnos de la Asignatura Explotación de Minas I, de la Carrera Ingeniería de Minas, del Departamento de Ingeniería de Minas de la UNSJ. Se procesaron varios ejemplos de cálculos de ventilación, recopilados de Informes de Prácticas de Verano y Trabajos Finales realizados por alumnos de la carrera a lo largo de los años. Los casos en estudio, resueltos en su oportunidad en forma semimanual, fueron procesados con VENTILA, y con VNETPC, Vs 1.0 para Windows, un programa desarrollado por Mines Ventilation Services Inc., cuya copia Demo con fines académicos posee la Cátedra.

De todos los casos analizados se eligió como ejemplo para este estudio comparativo el problema planteado en el trabajo final del Ing. H. Tornese, que consistía en el rediseño del sistema de ventilación de Mina Aguilar, al incorporar a la explotación el Sistema Rampa por debajo de Nivel 18. Este cálculo fue resuelto en su oportunidad (1984) utilizando una PC AT 286 y posteriormente corroborado parcialmente por medio de mediciones.

El esquema de ventilación es el que se ilustra en la Figura N° 5, salida gráfica de VNETPC. La red de ventilación está integrada por 30 nodos y 47 ramas. Los caudales de aire fresco fueron calculados teniendo en cuenta los requerimientos

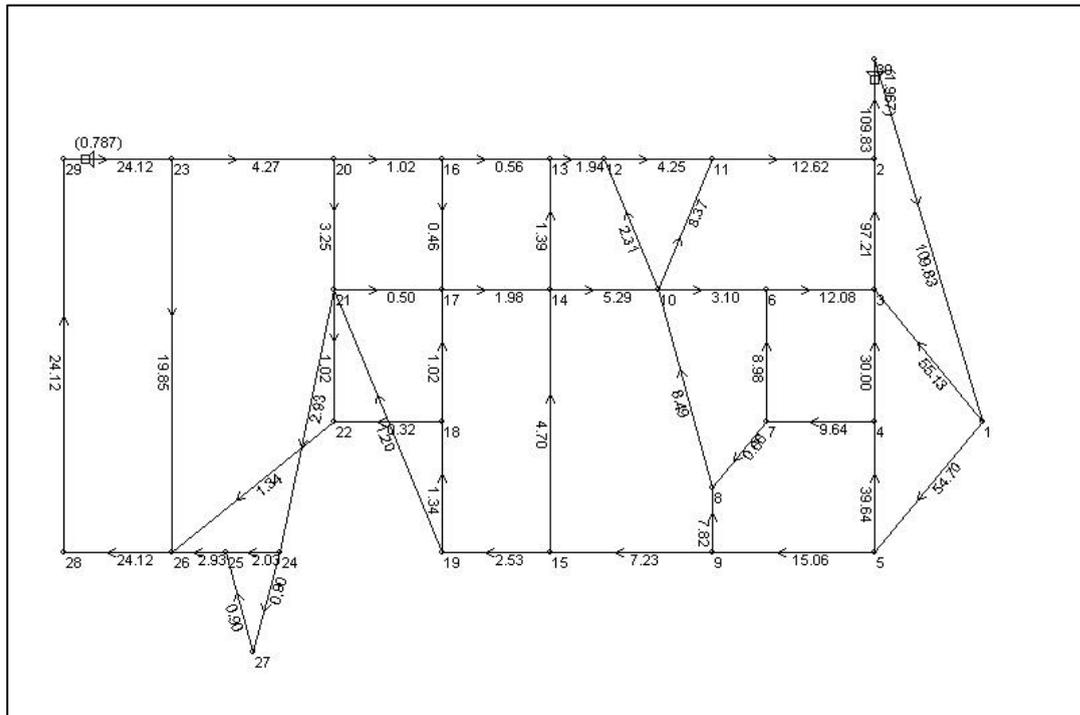


FIGURA 5: esquema de ventilación de Mina Aguilar (sistema rampa), 1984.

Tabla 1: estadísticas descriptivas de las características analizadas

Característica	N	Media	DP	CV	MAX	MIN
PN	1.061	37,9	4,5	12,0	51,5	24,2
PR120	428	134,8	30,4	22,5	226,0	43,4
PR205	934	209,6	36,9	17,6	320,4	98,7
PR365	695	287,1	55,4	19,3	453,4	120,7
PR550	549	390,1	75,4	19,3	616,4	163,7

N= Número de observaciones, DP= Desvío Estándar, CV= Coeficiente de Variación, MIN= Mínimo, MAX= Máximo.

para ventilar los Gases de Voladuras, los Gases producidos por Motores Diesel, la Respiración del Personal, y la Ventilación de Talleres y Depósitos. Una comparación de resultados entre los valores obtenidos con VENTILA, VNETPC y el cálculo original verificado parcialmente por mediciones, se muestra en la Tabla N° 1.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Comparando los resultados obtenidos al aplicar las distintas alternativas se puede concluir:

- En el cálculo de caudales, las diferencias encontradas entre VENTILA y VNETPC son menores al 1% en el 96% de los casos. El 4% restante lo representan un caso con una diferencia del 1,01% y otro con diferencia del 2,51%. Comparando con el cálculo tradicional (y verificado con mediciones) los valores tienen mejor convergencia: 96% con diferencias menores al 1% y el 4% restante lo constituyen un caso con una diferencia del 1,34% y otro con diferencia del 1,03%.

- Cuando se analizan las caídas de presión, se observa que VNETPC y el cálculo original presentan diferencias de hasta el 42% con los valores calculados por VENTILA, para el caso de ramas con pequeñas depresiones. Esto se debe principalmente a que los dos primeros *softwares* redondean los valores a 0,1 m.in.w.g., lo que ocasiona algunos casos de diferencias de hasta el 42%, mientras que VENTILA lo hace a 0,01 m.in.w.g.. El resto de los valores no supera el 5% de diferencia.

- En relación con la velocidad de procesamiento, ambos *softwares* tienen prestaciones similares. Para el caso presentado, alrededor del segundo en una PC Pentium II 350 Mhz. El tiempo de ejecución del programa utilizado en 1984 en una PC AT286 era de 90 minutos.

Analizando las facilidades operativas de los programas VENTILA y VNETPC se concluye que:

- Ambos programas guían el proceso de carga de información, VENTILA dirige esta tarea por medio de paneles preprogramados y VNETPC a través de planillas electrónicas. Este proceso en ambos *softwares* es bastante amigable.

- VENTILA incluye datos de cotas sobre el nivel del mar y temperaturas del aire y de las rocas, que son utilizados en la determinación de valores debidos a la ventilación natural, lo que asegura una mayor precisión en los resultados, sobre

todo en explotaciones mineras de altura o con gran gradiente de temperatura diario.

- Ambos programas cuentan con subprogramas, que permiten construir y guardar las curvas características de distintos ventiladores a partir de datos por puntos.

- Ambos programas calculan la distribución de gases en la red de ventilación, en el caso que se simulen emanaciones. Lamentablemente no se dispone de datos de ejemplos ciertos que permitan comprobar las bondades del cálculo en ambos programas, o comparación de distintas propuestas que existen en la bibliografía.

- VENTILA necesita preprocesar los datos para ejecutar los cálculos, VNETPC calcula directamente. Este aspecto quedará solucionado cuando se disponga de la nueva versión de "Digital Visual Fortran" que permite acceder directamente a tablas de bases de datos.

- VNETPC puede calcular la potencia consumida y el costo operativo de ventilación de cada labor, si se introduce el costo del kwh. Es un aspecto interesante a introducir en VENTILA.

Las salidas gráficas de ambos programas son prácticamente equivalentes, incluyendo el uso de colores para facilitar la identificación de los parámetros. Las de VENTILA se hacen a través de AutoCAD, las de VNETPC tienen su propio graficador, pero pueden exportarse al AutoCAD para su manejo.

CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado una herramienta de cálculo eficaz, que cumple con las premisas fijadas al inicio del proyecto.

- Por disponerse de la versión fuente de VENTILA, es posible probar distintas propuestas que aparecen en la bibliografía en relación con el cálculo de la ventilación natural y dilución de gases. El desarrollo de estas propuestas está siendo llevado a cabo por estudiantes avanzados de la carrera de Ingeniería de Minas por lo que se está cumpliendo con una verdadera iniciación en la investigación y formación de recursos humanos.

- Académicamente el programa está siendo utilizado en las asignaturas correspondientes de la Carrera de Grado y está a disposición de Empresas que lo requieran, previo acuerdo con el Instituto de Investigaciones Mineras. ✍

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Autodesk Inc. *ACADWIN (Versión 12). Manuales*. 1993.
2. Duerr, H. G., *The calculation of ventilation and compressed air networks based on energy principles under consideration of thermal energies with the help of electronic computers*. Bergbau Wissenschaften. 1963.
- 3 Edwards, J. C.; Greuer, R. E. *Real-Time Calculation of Product of Combustion Spread in a Multilevel Mine*. BuMines IC 8901, 1982.
- 4 Edwards, J. C. *Fire Location Model*. BuMine IC 9261 1990.
5. González, P.; Marín, M.; Grasso, A. *Modelación de Sistemas de Ventilación en la Planificación y Explotación de Minas Subterráneas-Informe Final*. IEE-UNSJ. 1998.
6. González, P.; Marín, M.; Grasso, A. *Modelación de Sistemas de Ventilación en la Planificación y Explotación de Minas Subterráneas* (a publicarse). Revista "Información Tecnológica", La Serena, Chile.
7. Greuer, R. E. *Study of Mine Fire and Mine Ventilation. Part I. Computer Simulation of Ventilation Systems Under the Influence of Mine Fire*. BuMines OFR 115(1)-78 October 1977; NTIS PB 288 231/AS.
8. Indiana Code Title 22, Article 10, Chapter 7. *Ventilation and Mine Gases* IC 22-10.
9. Novitzky, Alejandro. *Ventilación de Minas*. Buenos Aires. 1962.
9. SME. *Mining Engineering Handbook*. 2nd. Edition Volume 2 Senior Editor Howard Hartman. 1992.
10. Tajadura Zapirain, J. A.; López Fernández, J. *AUTOLISP V.11*. McGraw-Hill. 1991.