

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE VENTILACION UTILIZANDO  
PROGRAMA VNET PC2003, MINA SAN CRISTOBAL**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR**

**FELIX RUBEN MENDEZ HUAYTA**

**ASESOR**

**ING. ADOLFO CHAVEZ VALDIVIA**

**LIMA - PERU**

**2012**

### **DEDICATORIA:**

Dedico el presente a la persona que más admiro, mi Sra. madre: María Julia Huayta Ramírez; A una amiga cuyas palabras me confortan y animan, mi Sra. esposa Romelia; A mis dos amigos que con su alegría me dan fortaleza y felicidad para superarme día a día, mis hijos Fausto y Nirvana y a la memoria de mi padre Ángel Méndez Herencia (Q.E.P.D)

## AGRADECIMIENTO

Mis más sincero agradecimiento al ingeniero: **José Corimanya Mauricio** catedrático de la Facultad de Minas, por su valioso aporte en la realización de la presente tesis como asesor, por su tiempo y dedicación al mejoramiento de temas relacionados con diseño de infraestructura minera, también merece un especial agradecimiento el ingeniero **Pablo Jiménez Ascanio** Ex Catedrático de la Facultad de Minas, por sus invaluables enseñanzas de Ventilación de Minas dentro y fuera de las aulas de nuestra prestigiosa Universidad.

Al ingeniero **Daniel Torres** Gerente de Operaciones de la Unidad de Yauli CIA. Minera Volcan por darme todo el apoyo para la realización de la presente tesis y a todo el equipo del área de ventilación de Mina San Cristóbal por sus valiosas sugerencias recibidas para el mejoramiento del sistema primario de ventilación de nuestra Mina.

## RESUMEN

La aplicación del Software de simulación en ventilación VNET 2003 en la Mina San Cristóbal ha sido de gran beneficio ya que gracias a esta herramienta se ha podido planificar y mejorar los circuitos actuales de ventilación y se ha tenido una aproximación bastante aceptable con los circuitos futuros llegando alrededor del 80 por ciento cuando llegaron a ejecutarse las labores programadas.

Debido a la gran dimensión de la mina San Cristóbal y al constante avance de las labores de desarrollo esta herramienta es de gran ayuda para ir generando circuitos futuros de ventilación en donde se puede incluir ventiladores y resistencias como puertas de ventilación y de esta forma se puede ir prediciendo como va cambiar los circuitos futuros, esto ayuda mucho en la planificación de Minas, incluso muchas veces se han dejado de ejecutar labores porque su ejecución estaría perjudicando la ventilación en algunas labores, esto hace que el programa en mención sea de gran beneficio económico ya que cualquier labor minera es bastante costosa hablamos del orden de \$50,000 a más, al realizarlas y

no utilizarlas estaríamos generando gastos innecesarios elevando nuestros costos de operación.

VNETPC se usa en la Mina San Cristóbal para generar los circuitos principales de sus labores actuales y futuras para esto se tiene levantamientos de caudales y resistencias de todas sus labores subterráneas, estos datos son comparados con los datos que genera el VNET luego de la simulación.

El VNETPC necesita ser alimentado de datos geométricos de la red de ventilación, resistencias, dimensiones de labor y ubicación de ventiladores y características de sus respectivas curvas de operación, el programa luego de la simulación proporciona listas y graficas visuales de muchos parámetros incluyendo resultados de predicción de flujos de aire, perdidas de presión por fricción, perdidas de potencia del aire, concentraciones de contaminantes y puntos de operación de los ventiladores.

## **INDICE GENERAL**

### **CAPITULO I**

#### **GENERALIDADES**

##### **1.1.- UBICACIÓN**

##### **1.2.- ACCESIBILIDAD**

##### **1.3.- GEOLOGIA**

###### **1.3.1- GEOLOGIA REGIONAL**

###### **1.3.1.1.-ESTRATIGRAFIA**

###### **1.3.1.2.-INTRUSIVOS**

###### **1.3.1.3.-PLEGAMIENTO**

###### **1.3.1.4.-FRACTURAMIENTO**

###### **1.3.2.- GEOLOGIA ECONOMICA**

###### **1.3.2.1.-VETAS**

###### **1.3.2.2.-MANTOS**

###### **1.3.2.3.-CUERPOS.**

###### **1.3.2.4.-RESERVAS**

##### **1.4.- PROGRAMA DESARROLLO Y EXPLOTACION**

###### **1.4.1.-PROGRAMA DE PRODUCCION**

###### **1.4.2.-PROGRAMA DE PREPARACION Y AVANCES**

### **CAPITULO II**

#### **METODOLOGIA**

##### **2.1.- DETERMINACION DE PARAMETROS**

- 2.1.1.-SECCION DE ABERTURA
- 2.1.2.-VELOCIDAD DE FLUJO
- 2.1.3.-CAIDA DE PRESION
- 2.1.4.-SENTIDO DE FLUJO
- 2.1.5.-CANTIDAD DE EQUIPOS MOVILES
- 2.2.- TOMA DE DATOS EN MINA
  
- 2.3.- EQUIPO EMPLEADO
  - 2.3.1.-ANEMOMETRO
  - 2.3.2.-TUBO DE HUMO
  - 2.3.3.-PSICROMETRO
  - 2.3.4.-MANOMETRO INCLINADO
  - 2.3.5.-FLEXOMETRO

### CAPITULO III

#### DIAGNOSTICO DE LA VENTILACION

- 3.1.- METODO DE EXPLOTACION SUBTERRANEA
  - 3.1.1.-DESCRIPCION
  - 3.1.2.-APLICACIÓN DEL METODO
  - 3.1.3.-DESARROLLO Y PREPARACION
  
- 3.2.- MAPEO DE VENTILACION
  
- 3.3.- FLUJO DE AIRE EN RAISE BORER, CHIMENEAS, FRENTE Y TAJOS
  - 3.3.1.-RAISE BORER Y CHIMENEAS
  - 3.3.2.-FRENTE Y TAJOS
  
- 3.4.- CAUDAL REQUERIDO EN MINA
  
- 3.5.- BALANCE GENERAL DE MINA
  
- 3.6.- LEYES DE KIRCHOFF
  
- 3.7.- INVENTARIO DE VENTILADORES Y CONDICION ACTUAL
  - 3.7.1.-VENTILADOR PRINCIPAL
  - 3.7.2.-VENTILADOR AUXILIAR Y SECUNDARIO
  
- 3.8.- MANGAS DE VENTILACION Y CONDICION ACTUAL
  
- 3.9.- COMPUERTAS, REGULADORES, TAPONES DE VENTILACION
  
- 3.10.-DIAMETRO ECONOMICO DE CHIMENEA PRINCIPAL

## CAPITULO IV

### DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION

#### 4.1.- ANTECEDENTES

4.1.1.-DISEÑO DE ABERTURA MINERA

4.1.2.-DISEÑO Y SELECCIÓN DE VENTILADORES

4.1.3.-DISEÑO DE CIRCUITO DE VENTILACION

#### 4.2.- APLICACION DEL VNET PC 2003

4.2.1.-VNETPC APLICACIONES Y USOS

4.2.2.-TEORIA EN LA QUE SE BASA VNETPC

4.2.3.-CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA.

4.2.4.-PREPARACION Y ALIMENTACION DE DATOS

#### 4.3.-DATA DE MINA PARA TRABAJO DE PROGRAMA

#### 4.4.-TOMA DATOS

4.4.1.-TIPO HOJA EXCEL

4.4.2.-VISTA ESQUEMA

4.4.3.-RESULTADO EN RED DE VENTILACION

4.4.4.-COMPARATIVO SIMULADO CON REALIZADO

#### 4.5.-INFLUENCIA DE VENTILACION NATURAL

## CAPITULO V

### INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

#### 5.1.-EVALUACION RESPECTO DIRECCION Y CANTIDAD FLUJO

#### 5.1.-EVALUACION RESPECTO A DIAMETRO CHIMENEA

#### 5.3.-EVALUACION RESPECTO A SELECCIÓN VENTILADORES

## CAPITULO VI

### COSTOS DEL SISTEMA DE VENTILACION

#### 6.1.- ENERGIA CONSUMIDA

#### 6.2.- COSTO DE INVERSION

#### 6.3.- COSTO DE OPERACIÓN

#### 6.4.- COSTO TOTALES



CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

CITAS

GLOSARIO

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

## INTRODUCCION

La realización del presente trabajo tiene por objetivo comprobar la aplicación de la informática en el diseño , control y optimización de la ventilación primaria de una Mina mecanizada, en nuestro caso trataremos el Software de ventilación **VNET 2003**, el cual está basado en un método iterativo desarrollado por el profesor Hardy Cross para resolver ecuaciones lineales y no lineales de los circuitos de ventilación para obtener resultados de caudal, dirección de flujo, resistencias, caída de presión en galerías , chimeneas y toda labor minera que este dentro del circuito de ventilación, programa permite trabajar con curvas de ventiladores y realizar simulación, lo mencionado es muy necesario para el diseño del circuito primario.

En la actualidad la velocidad de las operaciones en Mina requiere se planifique la ventilación por anticipado para evitar problemas de orden legal y de productividad, ya que la velocidad de avance en las

operaciones mineras son más rápidas con el uso de equipos Diesel y estos requieren cantidades mayores de aire para su buen funcionamiento.

Normalmente en casi la gran mayoría de las minas anteriormente se desarrollaba el diseño del circuito principal de ventilación en base al criterio del ing. de ventilación quien por lógica e intuición realizaba ó generaba circuitos de ventilación para ventilar su Mina, pero no los podía cuantificar ni mucho menos corregir antes, esto ocasionaba en muchos casos gastos que no se podían predecir y aumentaban los costos de inversión como la ejecución de chimeneas principales compra de ventiladores sin la capacidad requerida, dando poco tiempo de uso a la infraestructura y equipo mencionado, al realizar cambios en el diseño de Mina estos ya no eran necesarios; Con el avance de la informática se han creado programas que ayudan a simular diseños y cálculos en forma más rápida con lo cual el ingeniero puede predecir y a la vez modificar su diseño de circuito logrando mejorar la eficiencia tanto en las operaciones mineras como en la ventilación de minas y uno de estos programas es el VNET, programa de ventilación que en base a datos físicos de mina(Sección, longitud, aspereza de labor, caudal circulante etc.) calcula caída de presión, resistencias, dirección y cantidad de flujo de ventilación, los cuales son de mucha importancia para el diseño del circuito primario de ventilación.

El resolver mallas de circuitos de ventilación por métodos manuales nos tomaría muchos días y podríamos equivocarnos, también atrasaría los trabajos de operación de Mina y no estaríamos al ritmo de las

operaciones lo cual nos mantendría atrasados en lo referente a ventilación.

Cuando se planifica ejecutar nuevas labores ya sea en horizontal ó profundización de la Mina se tiene que planificar también sus servicios y entre los principales está la ventilación por lo cual es necesario contar con una herramienta que simule lo que va a pasar cuando se ejecute dichas labores y el VNET es la herramienta que simula circuitos de ventilación con solo darle datos gráficos y físicos de los proyectos, los cuales pueden ser tomados mediante el AutoCAD de los planos que se estén generando.

Los resultados obtenidos mediante el uso del VNET son comparados con los resultados obtenidos en campo, realizando ajustes en la data que se ingresa al programa hasta obtener resultados que difieran poco de lo real que se tiene en mina sobre todo para el caso caudales y dirección de flujos, esto nos sirve para simular con mayor exactitud circuitos de ventilación posteriores cuando se amplié la mina en horizontal ó vertical, en el caso de caudales la aproximación es de 80% y en dirección de flujo está por los 98%.

El margen de error mostrado se debe mayormente a que el coeficiente de fricción tomado para los cálculos que realiza el VNET es de tablas y es considerado para labores uniformes en una determinada longitud(ramal) lo cual en la realidad no es cierto ya que en muchos ramales la sección y rugosidad del mismo no es uniforme en toda su longitud, en muchas labores de mina se puede encontrar cuadros de sostenimiento ventiladores y otros equipos de mina los cuales están

generando algún tipo de resistencia y no son tomados en cuenta distorsionando los resultados los cuales pueden variar con los obtenidos en mina.

# **CAPITULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 UBICACION**

La mina de San Cristóbal, políticamente está ubicada en el distrito de Yauli, provincia del mismo nombre, departamento de Junín. Geográficamente se encuentra en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes centrales del Perú; a 110 Kms. en línea recta, de la ciudad de Lima. Sus coordenadas geográficas son 76° 05' de longitud Oeste, 11° 43' de latitud Sur.

La altitud media del distrito es de 4,700 mts sobre el nivel del mar.

### **1.2 ACCESIBILIDAD**

La mina San Cristóbal es fácilmente accesible, utilizando la carretera central, de la cual cerca de la localidad de Pachachaca, parte un ramal de 20 kilómetros que conduce a San Cristóbal;

además, el ferrocarril central tiene una estación en Yauli a 12 kilómetros del área.

Los primeros trabajos de exploración fueron realizados por la Cerro de Pasco Corporation durante los años comprendidos entre 1928 y 1930, estos trabajos exploratorios fueron realizados en concesiones arrendadas; los resultados un tanto desalentadores acompañados por los bajos precios del plomo y zinc en el mercado internacional, determinaron la postergación de la Exploración y Desarrollo hasta el año 1936; a partir de este año, hasta 1938, en base a las reservas anteriormente cubicadas, se construyó la Planta Concentradora de Mahr Túnel, se instaló el cable carril de 12 kilómetros que une Mahr Túnel y San Cristóbal, y por último se inició la producción sistemática a fines de 1938. Una posterior fluctuación de los precios de los metales que producía este distrito causó una nueva paralización en 1949, que se prolongó hasta 1952, año desde el cual ininterrumpidamente se explota minerales de cobre, plomo, zinc y plata.

En agosto de 1967, la Planta Concentradora de Tungsteno; inició el tratamiento de dicho mineral, hasta agosto de 1984, fecha en la que se paraliza este tratamiento. A partir de octubre de 1997 Volcan Cia Minera S.A.A Adquiere la propiedad de la mina y se empieza a enviar mineral a la planta Victoria.

## **1.3 GEOLOGIA**

### **1.3.1 Geología Regional**

El distrito minero de San Cristóbal está localizado en la parte suroeste de una amplia estructura regional de naturaleza domática que abarca íntegramente los distritos de San Cristóbal y Morococha, conocida como el Complejo Domal de Yauli, que representa una ventana de formaciones Paleozoicas dentro de la faja intracordillerana de formaciones Mesozoicas.

El Paleozoico tiene dos pisos, el inferior formado por el grupo Excélsior y el superior por el grupo Mitú; el Excélsior está aflorando a lo largo del anticlinal de Chumpé en la parte oeste del domo y en el anticlinal de Ultimátum hacia el Este ; el Mitú aflora en la mayor parte del domo. El margen está constituido por las formaciones mesozoicas: grupo Pucará, grupo Goyllarisquizga, grupo Machay y formación Jumasha.

Cuerpos intrusivos y capas extrusivas testifican la actividad ígnea en la zona.

#### **1.3.1.1 Estratigrafía**

En el área de San Cristóbal, la estratigrafía se extiende desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior.



## **1. Grupo Excelsior**

Las rocas más antiguas que afloran en el área son las del grupo Excelsior y conforman el núcleo del Anticlinal Chumpe. La potencia total de este grupo es desconocida, sin embargo, J.V. Harrison (1943) determinó una potencia de 1800 metros para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma. Este grupo está constituido predominantemente por filitas (lutitas metamorfoseadas) con intercalaciones de cuarcitas, vulcanitas verdes y bancos calcáreos marmolizados con fósiles (crinoideos); todo el conjunto está intensamente plegado, con la formación de una esquistosidad subparalela a los planos axiales de los pliegues.

Mineralización en este grupo es reconocida, principalmente en filones, además de la descrita por H.W. Kobe, que reconoce dos tipos; una tipo manto en la mina Ultimátum de Fe, Zn, Pb, Ag; y la otra estrictamente estrato-ligada ubicada en el anticlinal Ultimátum, de Ni, Co, As (Sb), Fe, S.

## **2. Grupo Mitu (Pérmico)**

Discordantemente sobre las rocas del grupo Excelsior yacen una serie de volcánicos, constituidos por derrames andesíticos, y dacíticos, brechas, aglomerados y tufos, formando una serie variada que localmente es conocida como volcánicos Catalina; hacia el techo de esta serie volcánica, particularmente hacia el NE

aparece una serie vulcano-sedimentaria con conglomerados y areniscas.

Mineralización en este grupo es ampliamente reconocida a lo largo de todo el Domo de Yauli, siendo principalmente en la forma de filones y diseminada.

Debido a su naturaleza irregular la potencia total del grupo Mitu es muy variable, al oeste de la mina San Cristóbal la potencia de los volcánicos Catalina es aproximadamente 800 metros. La edad del grupo Mitu fue considerado como del Carbonífero superior (Mc Laughlin 1940) y posteriormente asignada al Pérmico.

### **3. Grupo Pucara (Triásico superior - Liásico)**

Un conjunto de facies calcáreas denominado Grupo Pucará reposa en marcada discordancia sobre el grupo Mitu; este conjunto está dividido en tres formaciones: Chambará, Aramachay, y Condorsinga (en el área sólo existiría la parte superior del Aramachay, y Condorsinga), estando íntimamente relacionado a la mineralización económica del área. A continuación se realiza una caracterización estratigráfica de ese grupo que fué descrita por varios geólogos, entre los cuales citamos a Harrison(1949), Szekely y Grosse(1972), F.Mégard(1978).

- **Formación Chambará (Triásico superior)**, en su base figura una serie terrígena seguida por otra calcárea constituida por calizas, calizas dolomíticas, dolomitas, separadas por capas calcáreo-

arcillosas y tufos de algunos centímetros; las rocas calcáreas tienen un color gris claro variando a negro, que parece ligado a un porcentaje creciente de materia orgánica. Brechas intraformacionales monogénicas están presentes aunque raras veces.

- **Formación Aramachay (Liásico: hetangiano-Sinemuriano)** está representada por pizarras limosas que predominan, seguidas de areniscas de grano fino, calizas y de chert en capas; las calizas se presentan en bancos de 20 a 50 centímetros, frecuentemente lenticulares, o en nódulos discoidales de hasta un metro de diámetro; se nota también capas vulcano-detríticas. El conjunto tiene un tinte negro y una pátina bruno-liliácea muy característica.
- **Formación Condorsinga (Liásico Toarciano)** es casi exclusivamente calcárea, las calizas que la componen en su mayor parte son oolíticas o bioclásticas, ellas contienen chert abundante en la mitad inferior de la formación; intercalaciones tufáceas de color gris claro, de grano fino a medio, son comunes. Las calizas varían de color gris claro a gris oscuro, son de grano fino, hay zonas donde están fuertemente brechadas.

La mineralización en este grupo es ampliamente conocida en la región central del Perú; en la zona, mantos que se emplazan al techo de la Aramachay y base de la Condorsinga tienen potencias variables desde unos cuantos centímetros hasta varios metros; la mineralogía está constituida principalmente por esfalerita,

hematita, minerales de plata, carbonatos como siderita, rodocrosita etc.

#### **4. Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)**

Sobre el grupo Pucará yace en discordancia paralela el grupo Goyllarisquizga, el cual se depositó en dos fases sucesivas. La primera compuesta por depósitos de granulometría fina a muy fina, de facies llanura aluvial con pelitas rojas y escasas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, depositadas en un ámbito climático semiárido mostrado en la fuerte oxidación de las pelitas. Durante la segunda fase hay un cambio brusco respecto a la primera, depositándose areniscas medianas hasta muy gruesas y niveles conglomeráticos con troncos de árboles actualmente silicificados, en un ambiente húmedo e importante actividad ígnea evidenciada por sills de basalto. En San Cristóbal, su potencia alcanza 100 metros. El grupo Goyllarisquizga ha sido atribuido al Cretácico inferior-Valanginiano-Aptiano.

#### **5. Grupo Machay (Cretácico Medio)**

- **Formación Chúlec**, originalmente descrita por McLaughlin (1924) como el miembro inferior del grupo Machay, fue elevada al nivel de formación por Benavides (1956). Esta formación totalmente carbonatada, litológicamente está conformada por una alternancia de calizas y margas de facies de plataforma externa; es muy fosilífera y constituye la primera formación cretácica de los Andes

Centrales correctamente datada. Toda la serie en su conjunto está intensamente bioturbada. En potencia varía desde 250 m justo al SO de Morococha a 350 m en Carahuacra. La base de la formación Chúlec está considerada como la base del primer horizonte calcáreo arriba de las areniscas cuarzosas del grupo Goyllarisquiza y data del Albiano medio.

- **Formación Pariatambo**, definida por McLaughlin (1924) como el miembro superior del grupo Machay, ahora se considera una Formación separada. Esta formación fácil de localizar en el paisaje por su coloración negra característica, escasa resistencia a la erosión y litología monótona está constituida por una alternancia margo-caliza de pequeños bancos claros y oscuros generalmente muy bituminosos, señalados por un olor fétido muy pronunciado. Los niveles claros son mudstones con "packstones" calcáreo-dolomíticos algunas veces ligeramente silitosos. Los bancos oscuros son margas calcáreo-dolomíticas muy bituminosas. Toda esta formación depositada en una plataforma relativamente profunda y aislada contiene numerosos amonites poco fragmentados y restos de peces. El tope, está marcado por la aparición de sílex que se halla a veces en tal cantidad que llega a formar bancos decimétricos con dolomitas intercaladas. Las variaciones de espesor son pequeñas, entre 50 y 75 m; encontrándose los extremos en Morococha con 15 m y en San Cristóbal con 130 m, además en este último también se presenta

una decena de metros de areniscas finas intercaladas en la parte media de la formación. La fauna de esta formación es Albiana superior e incluye *Inoceramus* y *Exogyra* (Wilson, 1963)

- **Formación Jumasha**, concordantemente sobre la formación Pariatambo se encuentra la formación Jumasha. Litológicamente, es la más homogénea de las formaciones cretácicas expuestas en el Domo de Yauli. Consiste casi enteramente de una serie carbonatada dolomítica, masiva y poco fosilífera con escasos lentes de areniscas y sílex, depositada en una plataforma ligeramente confinada y de poca profundidad. Los amonites encontrados pertenecen al Albiano superior-Turoniano.

#### **1.3.1.2 Intrusivos**

En el área de San Cristóbal, ocurren dos tipos de intrusivos: ácidos y básicos.

##### **1. Intrusivos Ácidos**

Las rocas intrusivas ácidas están representadas en el área por stocks de monzonita cuarcífera, diorita cuarcífera y diques de alaskita ubicados a lo largo o cerca de la zona axial del anticlinal de Chumpe.

Los stocks más importantes en el área son: el intrusivo Carahuacra y el intrusivo Chumpe; el primero es un stock de 1.5 kilómetros de largo por 1,0 kilómetro de ancho, que aflora en la parte NO del área de San Cristóbal, en contacto con las filitas del grupo Excelsior y los volcánicos Catalina; el intrusivo Chumpe forma el pico más alto

en el área de San Cristóbal y se emplaza a lo largo de la zona axial del anticlinal que lleva su nombre.

Una serie de diques irregulares, paralelos, con buzamientos verticales, conocidos localmente como diques de alaskita, se encuentran intruyendo filitas del grupo Excelsior a lo largo de la zona axial del anticlinal de Chumpe; estos diques están asociados en profundidad con el intrusivo de Chumpe; petrográficamente los diques son granitos porfiríticos.

## **2. Intrusivos Básicos**

Intrusivos de carácter básico han sido encontrados en la región de Andaychagua así como cerca del intrusivo Carahuacra; Los del área de Carahuacra son diques de diabasa, que se ubican casi perpendicularmente al eje del anticlinal; en Andaychagua, en los volcánicos Catalina, ocurre una intrusión de gabro tipo "pipe" de forma elipsoidal, su tamaño es de 70 x 250 metros.

Además se debe mencionar los cuellos y diques de basalto que atraviesan las formaciones, posiblemente se trata de extrusiones/intrusiones de edad variable, que podría ser la fuente de los siles en Pucará, Goyllar y Machay.

### **1.3.1.3 Plegamiento**

La estructura regional dominante es el Domo de Yauli, que se extiende longitudinalmente en aproximadamente 35 kilómetros, desde San Cristóbal hasta Morococha, y transversalmente 10 kilómetros; el rumbo promedio de esta estructura es N 40° O; es

asimétrico, su flanco Este buza entre 30° y 40° mientras su flanco Oeste buza entre 60° y 80°; está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (Ultimátum); sus ejes tienen un rumbo que varía entre N 35° y 40° O. El anticlinal Chumpe está en el extremo Oeste, su flanco occidental tiene un buzamiento de 55° al SO, mientras que el oriental buza 30° al NE; el núcleo de este anticlinal está formado por rocas del grupo Excélsior; el flanco occidental está compuesto por calizas Pucará y areniscas Goyllarisquizga; en el flanco oriental se extienden las rocas del grupo Mitu por varios kilómetros y sobre éstas las del grupo Pucará. Es considerado como el extremo suroeste del Domo de Yauli, donde la mayor acción del plegamiento ha tenido lugar.

Dos periodos principales de tectónica son reconocidos en la región; el primero del Pérmico inferior, denominado Tectónica Tardihercinica, que dio lugar a un intenso plegamiento de las filitas Excélsior; el segundo período denominado Tectónica Andina, que plegó principalmente las rocas mesozoicas, comenzó a fines del Cretácico y continuó durante el principio y mediados del Terciario, reconociéndose tres etapas de plegamiento en la Cordillera de los Andes; el "Peruano" a fines del Cretácico, y antes de la deposición de las capas rojas; el "Incaico" a principios del Terciario, fue el más intenso y a él siguió un período de actividad ígnea; y finalmente el "Quechua" a mediados del Terciario.



#### 1.3.1.4 Fracturamiento

El fracturamiento en el área de San Cristóbal, parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del Domo de Yauli.

Probablemente a fines del Cretácico, plegamiento "Peruano" fuerzas de compresión de dirección NE - SO comenzaron a formar el anticlinal Chumpe, a medida que las fuerzas de compresión aumentaban de intensidad durante el plegamiento "Incaico", los estratos inferiores de caliza resbalaron sobre los volcánicos subyacentes, dando lugar a la formación de repetidas fallas inversas acompañadas de pliegues de arrastre; Los sobre escurrimientos y fallas inversas encontrados al Oeste de San Cristóbal, en las calizas del grupo Pucará, pueden pertenecer a este sistema (Szekely, 1967). Fuerzas tensionales al cesar momentáneamente las compresivas dieron lugar a la formación de fracturas longitudinales paralelas al eje del anticlinal Chumpe, las cuales fueron posteriormente rellenadas por los diques de alaskita que ocurren en el núcleo de dicho anticlinal.

Al seguir actuando las fuerzas de compresión dio lugar a la formación de fracturas de cizalla de rumbo E - O; la veta principal San Cristóbal y la veta Virginia al pasar a las filitas, veta Prosperidad.

Durante el Plegamiento "Quechua", el anticlinal Chumpe continuo siendo afectado por fuerzas de compresión, además de la intrusión

de los stocks de monzonita cuarcífera, produjeron un levantamiento y arqueamiento del anticlinal, lo cual produjo fracturas de tensión; Virginia, Ferramina, San Cristóbal, Catalina, Polonia, en la zona de los volcánicos.

### **1.3.2 Geología Económica**

La complejidad geológica del distrito ha dado lugar a la formación de una variedad de depósitos minerales que se extienden ampliamente en las rocas calizas y filitas.

Después de la última etapa del plegamiento "Quechua" y la formación de las fracturas de tensión, vino el período de mineralización; soluciones residuales mineralizantes originadas probablemente de los stocks de monzonita cuarcífera, invadieron el área dando lugar a la formación de vetas, mantos y cuerpos; sin embargo es necesario aclarar que en los últimos años se trata de explicar el origen de los mantos como exhalativo-sedimentario (mineralización Jurásica), que se emplazaría en forma conjunta a la deposición de las calizas, mediante el aporte de mineral a partir de grifones; y el de los cuerpos como un sistema mixto entre ambos (mineralización Jurásica-Terciaria).

### **1.3.2.1 Vetas**

Las vetas o filones fueron formados principalmente por relleno de fracturas, siendo mejor mineralizadas aquellas que se formaron a lo largo de fracturas de tensión; las fallas de cizalla por contener mucho panizo no fueron bien mineralizadas o pobremente mineralizadas. Se encuentran localizadas en todo el distrito minero, con su mayor desarrollo en los volcánicos del grupo Mitu.

### **1.3.2.2 Mantos**

Los Mantos se encuentran localizados en el flanco oeste del anticlinal, en las calizas Pucará; a partir del contacto con los volcánicos Mitu, se ubican concordantemente con la estratificación.

### **1.3.2.3 Cuerpos**

Al igual que los mantos se encuentran localizados en el flanco oeste del anticlinal, en las calizas Pucará, y se forman por la unión de varios mantos o en la intersección de una veta con algún manto. Los minerales económicos que se explotan en la Mina San Cristóbal son: Galena, Esfalerita, Tetraedrita y calcopirita en menor cantidad y como ganga están representados el Cuarzo, pirita, y Calcita

Los minerales económicos los encontramos en las vetas, mantos y cuerpos.

Mina San Cristóbal viene realizando trabajos de exploración con equipos de perforación diamantina esto para determinar la continuidad de las vetas 722, Split y 658 hacia el flanco este, las perforaciones mencionadas se realizan desde la superficie de Chumpe y en los niveles inferiores la exploración se realiza con galerías teniéndose resultados positivos es decir se viene encontrando más reservas económicas en el flanco este las cuales profundizan incluso hasta el nivel inferior de explotación actual.

Las reservas minerales, incluyen al mineral clasificado como Probado-Probable luego de efectuar reestimaciones fundamentadas en las definiciones internacionales e incluir nuevas zonas mineralizadas de las estructuras principales y de deducir el mineral extraído durante el año 2009.

#### **1.3.2.4 Reservas**

Las reservas estimadas para la mina San Cristóbal se mantuvieron en el mismo orden que el año anterior debido a la persistencia de la mineralización en las estructuras principales: Veta 722, 658, Split 658 y para este año se incluye la Veta ramal 722, Veta Ferramina y Siberia.

En los siguientes cuadros se puede observar las reservas probadas y probables para los precios de metal mostrados.

**CUADRO 1: RESERVAS****Escenario I**

Cobre	\$/tmf	3,000
Plomo	\$/tmf	1,800
Zinc	\$/tmf	1,800
Plata	\$/onza	12

<b>RESERVAS</b>	<b>TMS-RES</b>	<b>%Cu</b>	<b>%Pb</b>	<b>%Zn</b>	<b>Gr-Ag/t</b>	<b>Oz-Ag/t</b>	<b>US-\$</b>
PROBADO	4,155,600	0.18	1.25	7.77	125.89	4.05	105
PROBABLE	6,192,600	0.17	1.23	6.93	136.73	4.40	99
Total general	10,348,200	0.17	1.24	7.27	132.38	4.26	102

Fuente: Jefatura de Geología mina San Cristóbal

**Escenario II**

Cobre	\$/tmf	3,000
Plomo	\$/tmf	2,200
Zinc	\$/tmf	2,1000
Plata	\$/onza	22

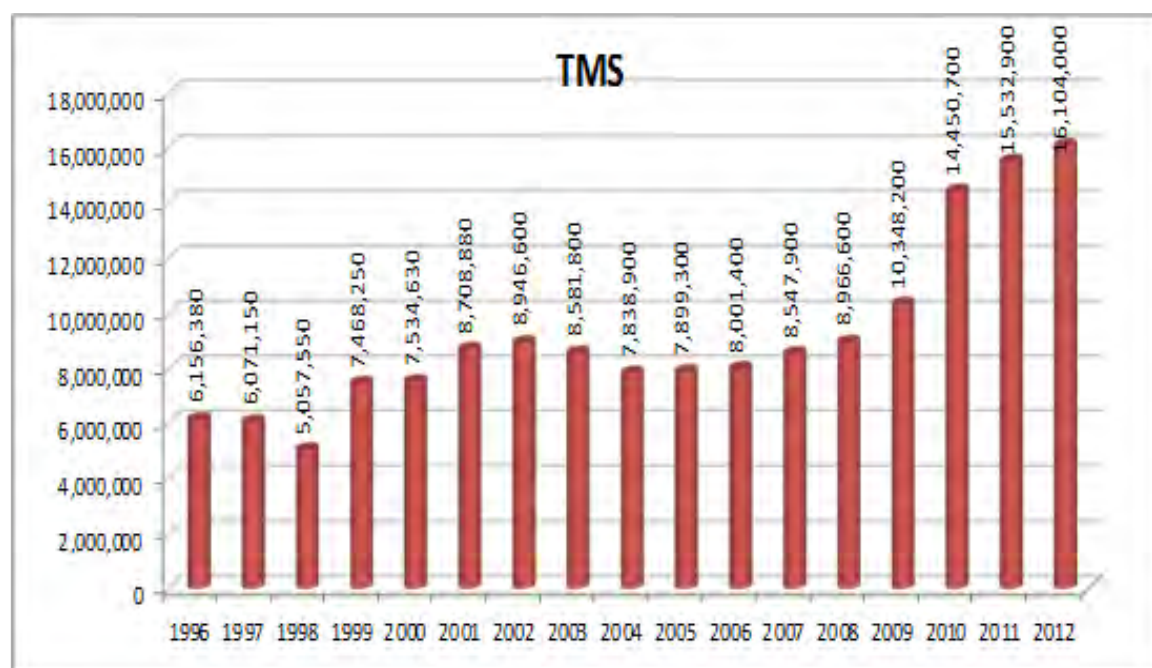
<b>RESERVAS</b>	<b>TMS-RES</b>	<b>%Cu</b>	<b>%Pb</b>	<b>%Zn</b>	<b>Oz-Ag/t</b>	<b>US-\$</b>
PROBADO	6,080,000	0.16	0.94	7.01	4.09	124.45
PROBABLE	10,024,000	0.18	1.04	6.07	4.00	115.38
Total general	16,104,000	0.17	1.00	6.43	4.04	118.80

Fuente: Jefatura de Geología mina San Cristóbal

**CUADRO 2: SUMARIO VARIACIÓN DE RESERVAS**

<b>Categorías</b>	<b>TMS</b>
Reservas de mineral al 31-12-10	15,532,900
Reservas estimadas por exploración y desarrollo en 2,011	899,810
Mineral roto de reservas durante el año 2,011	-1,561,567
Reservas reestimadas y reclasificadas	1,232,857
<b>RESERVAS DE MINERAL AL 31-12-11</b>	<b>16,104,000</b>

Fuente: Jefatura de Geología Mina San Cristóbal

**CUADRO VARIACIÓN RESERVAS**

Fuente: Jefatura de Geología Mina San Cristóbal

## 1.4 PROGRAMA DE DESARROLLO Y EXPLOTACION

### 1.4.1 Programa De Producción

Para el año 2012 se tiene el siguiente programa de producción mensual promedio de 4,300 toneladas en los primeros meses y luego se ira aumento progresivamente la producción según como se muestra en cuadro adjunto, haciendo un total de 1, 603,250 toneladas:

**CUADRO 3: PROGRAMA PRODUCCION**

Datos	Ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	Total-2012
ProdT	135,000	128,500	135,000	132,500	135,000	132,500	135,000	135,000	132,500	135,000	132,500	135,000	1,603,250
Cu %	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Pb%	0.65	0.99	1.00	1.03	0.98	0.99	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01
Zn %	5.65	6.32	6.33	6.39	6.42	6.42	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.42
Ag. Oz.	122.5	120.2	121.7	119.9	116.7	117	116	116	116	116	116	116	117.77

Fuente: Jefatura planeamiento Mina San Cristóbal.

## 1.4.2 Programa De Preparación y Avances 2012

### CUADRO 4: PREPARACION AVANCES

Mina San cristobal													
Desarrollos	Ene-12	Feb-12	Mar-12	Abr-12	May-12	Jun-12	Jul-12	Ago-12	Set-12	Oct-12	Nov-12	Dic-12	Total 2012
Horizontal	488	567	497	447	572	505	522	555	507	642	440	310	6052
inclinado	490	350	440	360	230	290	210	320	350	260	250	130	3680
Total desarrollo	978	917	937	807	802	795	732	875	857	902	690	440	9732

Preparacion													
Laboreo horizontal	1204	1239	1239	1334	1094	1093	1139	1245	1058	1080	1159	1296	14180

Exploracion													
Laboreo horizontal	370	445	440	425	375	375	315	370	420	430	350	365	4680

Chimeneas ventilación													
Laboreo vertical	215	194	160	150	160	120	150	120	120	100	60	120	1669

Fuente: Área de planeamiento Mina San Cristóbal



## **CAPITULO II METODOLOGIA**

### **2.1 DETERMINACION DE PARAMETRO**

En toda Mina subterránea debido a las constantes aberturas internas que se ejecutan para labores de desarrollo, preparación y explotación, los flujos, presiones, estática y sentido del flujo van cambiando; En minería Trackles estos cambios algunas veces no pasan de los tres meses y en las Minas convencionales duran hasta ocho meses ó más según como sea el avance de los desarrollos y preparaciones que se ejecutan, en el caso referido a la Mina San Cristóbal estos parámetros son determinados cada tres meses.

Cualquiera fuera el método de emplear para la actualización de los circuitos de ventilación es necesario realizar un trabajo de campo para la toma de datos, los que posteriormente en gabinete deben ser analizados al detalle verificando que estén dentro de los parámetros normales, información que servirá para desarrollar ó

actualizar el modelo de ventilación el cual tiene que ser muy similar al circuito existente, en gabinete se ajustan los parámetros tomados en campo, debido a la gran cantidad de datos tomados los parámetros que más influyen en el cálculo del circuito de ventilación son:

- Sección de abertura
- Velocidad de flujo
- Caída de presión
- Sentido de flujo
- Cantidad de equipos móviles en Mina
- Temperatura

**2.1.1 Sección de abertura:** Para la determinación de la sección se utiliza varios métodos los cuales son aproximados, en el caso nuestro empleamos el método del trapecio, tomando el ancho de labor como base y una altura en la parte más alta y dos alturas en los hastiales laterales donde empieza el arco de la sección, todo esto se realiza utilizando un flexo metro de cinco metros, cada estación debe ser identificada con un código en el cual se indica las medidas de sección, velocidad de flujo, caudal; La sección en los puntos de monitoreo debe ser la más uniforme posible incluso se deberá encofrar estos puntos formando secciones conocidas, esto para tener más exactitud en los datos tomados.

**2.1.2 Velocidad de flujo:** Para la determinación de la velocidad de flujo se utiliza el anemómetro digital y en los casos en que la velocidad

es bastante baja se utiliza el tubo de humo, esto último normalmente en tajos ó labores auxiliares donde la velocidad está entre 0.3 a 1 mt/seg ya que algunos equipos de medición no detectan en ese rango la velocidad y toman valores un poco distorsionados los cuales no concuerdan con lo real, dependiendo de la amplitud de la sección se tomara la cantidad de datos.

**2.1.3 Caída de presión:** para la determinación de este parámetro se utiliza el manómetro inclinado por el método de la manguera de arrastre, el cual ha sido poco trabajado, tomando en este caso el valor del coeficiente de fricción de manuales para el cálculo de la caída de presión, se está adquiriendo un manómetro de presión sensible para continuar con el levantamiento de caída de presión de toda la mina, con los valores tomados de tabla se ha logrado buena aproximación en los cálculos efectuados los cuales no difieren mucho de lo real.

**2.1.4 Sentido de flujo:** Este parámetro es determinado con el tubo de humo, sirve para verificar la dirección de los flujos de aire en mina ó detectar algunas fugas por labores antiguas los cuales pueden distorsionar el circuito principal, cuando se determina el sentido del flujo la cuadrilla que ejecuta mencionado trabajo debe ir con un juego de planos de las labores ó niveles que se realizara el levantamiento en los cuales se ira dibujando el sentido del flujo.

**2.1.5 Cantidad de equipos móviles:** Se realiza levantamiento de las unidades móviles que utilizan petróleo é ingresan a mina, para lo

cual se tiene que tener la información de la potencia de cada equipo y cantidad total de los mismos, basándose en el nuevo reglamento solo se está permitiendo el ingreso de equipos diesel que voten menos de 500 ppm de CO, la medida está ayudando a que se contamine menos la Mina permitiendo que muchas de las ECM que trabajan para volcán renueven sus equipos que consumen petróleo.

## **2.2 TOMA DE DATOS EN MINA**

Para la toma de datos en mina lo primero que se debe realizar es una inspección de los niveles principales, galerías, chimeneas principales en cuanto a orden y limpieza, también se debe verificar el funcionamiento de los ventiladores principales, puertas y reguladores móviles de ventilación los cuales deben de estar en buenas condiciones.

Todo lo antes mencionado que este en malas condiciones debe ser retirado ó mejorado para evitar que se altere el flujo y estática durante la medición.

Mucho antes de la toma de datos se deberá establecer estaciones las cuales serán identificadas con un código indicando su perímetro, sección y algún otro dato que nos pueda servir durante el mapeo.

Se deberá contar con cuadrillas de mapeadores, la cantidad de cuadrillas dependerá de la dimensión de la mina normalmente se

realiza con dos cuadrillas, este personal debe tener quinto de secundaria a más y deberá tener conocimiento de manejo de computador.

Se les debe explicar y hacer comprender las leyes de los flujos de aire del mismo modo también se les deberá explicar el circuito principal de ventilación todo esto es necesario para poder realizar un levantamiento eficiente y rápido

### **2.3 EQUIPO EMPLEADO**

Los equipos empleados para el mapeo de la ventilación son los siguientes:

#### **2.3.1 Anemómetro**

Equipo empleado para medir velocidades del aire desde 0.5 mts/seg, a 25 mts/seg, actualmente se cuenta con equipos digitales como el que se muestra en la foto

**FIGURA 1: ANEMÓMETRO**

Fuente: Área de ventilación

### 2.3.2 Tubo De Humo

Equipo empleado para verificar la dirección del flujo de aire y en algunos casos para medir la velocidad del aire sobre todo cuando los valores son bajos.

### 2.3.3 Psicrómetro

Este equipo se emplea para medir la temperatura, consta de dos termómetros, con el bulbo seco se toma la temperatura del lugar y con el bulbo húmedo se mide la temperatura del grado de confortabilidad del lugar con estos datos se calcula la humedad relativa usando tablas, actualmente este equipo casi no se usa y los datos de temperatura y humedad relativa son hallados con el mismo equipo anemómetro el cual nos da temperatura y humedad relativa.

### 2.3.4 Manómetro Inclinado

Sirve para medir bajas presiones y se utiliza con la manguera de arrastre sobre todo cuando se realiza levantamientos de presión, existe un programa de computadora que se acerca muy aproximadamente a los datos tomados en campo el cual pide algunos parámetros de campo como sección, tipo de terreno etc. viene siendo utilizado debido a que con este programa se tiene resultados rápidamente para el cálculo de coeficiente de fricción.

### 2.3.5 Flexómetro

Sirve para medir longitudes y se tiene en medidas de 3, 5 y 8 metros, normalmente son usados para medir sección y perímetro.

**FIGURA 2: FLEXOMETRO**



Fuente: Área de ventilación

## **CAPITULO III**

### **DIAGNOSTICO DE LA VENTILACIÓN**

#### **3.1 METODO DE EXPLOTACION SUBTERRANEA**

La Mina San Cristóbal produce en promedio 4,350 tcs/día con leyes estimadas de 6.42 % de Zn, 1.01% de Pb, 4 Onza de Ag y 0.15 % de Cu. El mineral de cobre es enviado a la concentradora de la mina Andaychagua para su concentración el resto de los minerales es procesado en la planta concentradora de Victoria y Marhr Túnel.

La Mina San Cristóbal emplea dos métodos de explotación, el método de hundimiento de subniveles cortos y el de corte y relleno ascendente sea la estructura Veta, Manto ó cuerpo, para rellenar las aberturas dejadas por la extracción del mineral se utiliza el relave proveniente de planta concentradora previa clasificación en



los ciclones, también se utiliza el desmonte proveniente de sus desarrollos y exploraciones.

Para la aplicación de estos métodos se emplea equipos mecanizados, la perforación se realiza con jumbo electro hidráulico, acarreo con Scooptram y el transporte se realiza con Dumper y camiones volvos, el sostenimiento se realiza en un 80% en forma mecanizada empleando equipos robotizados (Hurón, Manba).

Se viene realizando una variante en el método de explotación en casi todos los niveles se viene optando por el método de hundimiento de subniveles con bancos de ocho metros, el cual se encuentra en la etapa de preparación de sub-Niveles, en este método se tiene que ejecutar dos rampas las cuales están distanciadas en trescientos metros y de ellas salen brazos ó accesos para desarrollar los sub-niveles de explotación los cuales son ejecutados en mineral.

Según cálculos del área de planeamiento con este método se está logrando reducir los costos de perforación, voladura y sostenimiento, sobre todo es un método más seguro ya que el personal no se expone luego de los disparos de los bancos, estos son desatados con equipo mecanizado.

### **3.1.1 Descripción:**

El minado se realiza en forma ascendente desde un nivel inferior a un superior para lo cual primero se tiene que ejecutar una rampa de nivel a nivel de la cual luego se saca brazos ó accesos de 40

metros de longitud en forma negativa con gradiente de (13 a 14) % hasta interceptar la estructura mineralizada luego de lo cual es desarrollada en toda su longitud.

Los accesos son rebatidos hasta tener una gradiente positiva de 14% luego de lo cual se intercepta nuevamente al Tajo con otro acceso negativo desde un subnivel superior al anterior, esto se ejecuta hasta llegar al nivel superior.

Determinado toda la longitud de la estructura mineralizada la cual queda sostenida con pernos ó shocrete, se procede con el proceso de explotación para lo cual se sigue el siguiente ciclo de minado.

- **Perforación:** el cual consiste en realizar perforación de taladros verticales en ancho de veta en toda la longitud del tajo, lo cual se realiza con Jumbo ó Jackleg dependiendo de la potencia, calidad de la estructura mineralizada y comportamiento de la roca encajonante.
- **Relleno:** Proceso en el cual se rellena el tajo con material detrítico ó relave dejando una luz de 2 metros esto para realizar el proceso de carguío de los taladros a disparar.
- **Carguío y disparo:** operación en la cual se carga con explosivo los taladros a disparar
- **Desate:** en este proceso se desata todas las rocas sueltas que quedan luego del disparo, se realiza en forma manual con barretillas de aluminio de 4, 5 y 8 pies.

- **Limpieza y sostenimiento:** en este proceso se realiza limpieza del material disparado para lo cual se emplea Scooptram de 2.5, 3.5, 4 y 6 yardas dependiendo del ancho de veta, conforme se avanza con la limpieza del mineral se va realizando el proceso de desate mecánico y sostenimiento según recomendación de geomecánica.

### 3.1.2 Aplicación del método:

- Es aplicado en cuerpos mineralizados y vetas aún si estos cuerpos son irregulares.
- Es aplicado en roca caja de RMR desde 25 a 50 y en estructuras mineralizadas de RMR menor ó igual a 25 en las cuales el sostenimiento es de mayor calidad y por ende el mineral tiene que ser más rico para pagar los costos y dejar margen de ganancia.

### 3.1.3 Desarrollo y Preparación:

- **Galerías de transporte y servicio.-** Estas galerías son los niveles propiamente dichos y se preparan para que se utilicen tanto como servicio ó transporte y son de sección de 4 X 4 mts.
- **Rampas.-** Estas labores intercomunican el nivel superior con el inferior, tienen gradiente promedio de 12% con sección de 4 X 4 mts, están normalmente diseñadas en roca dura (volcánica de RMR 45 – 55) fuera del cuerpo mineralizado, de estas salen accesos a los horizontes de trabajo, Estas rampas nos sirven para el paso de los equipos y los volquetes que van a transportar el

mineral desde interior mina a la cancha de mineral situado en superficie.

### **3.2 MAPEO DE VENTILACION**

Para el mapeo de ventilación se tiene que contar como mínimo con dos grupos de trabajadores los cuales tienen que tener conocimiento de uso de equipos de medición de parámetros físicos químicos (Passport, Anemómetro, Draguer etc.) saber leer planos topográficos y conocer el circuito principal de ventilación.

La ejecución del levantamiento de mapeo debe consistir en lo siguiente

- Conocer ingresos y salidas principales de aire en mina
- Tener todas las estaciones de monitoreo codificadas en la cual se indique sección, nivel al que pertenece.
- La toma de datos físicos químicos se debe realizar en cada estación de monitoreo determinando primeramente el sentido del flujo de aire con la bombilla de humo para lo cual uno de los monitores debe estar delante del resto, estos datos deben ser apuntados en una libreta y en los planos se debe ir anotando el sentido del flujo
- Se debe anotar el estado de las puertas, cortinas de ventilación estado de ventiladores auxiliares, secundarios, mangas y puntos de recirculación de aire.

- Potencia y cantidad de equipos, número de personas que laboran por turno.
- Labores horizontales y verticales por donde puede estar recirculando aire.
- Concluido el levantamiento de parámetros físicos y químicos de toda la mina se debe determinar el balance de ingreso y salida de aire la diferencia de los mismos no debe exceder en más de 10%.
- Luego de realizado el levantamiento del mapeo de ventilación se debe coordinar con las áreas de planeamiento y Geología la tendencia de las nuevas labores de preparación y exploración para plantear la necesidad de nuevas chimeneas cruceros, ventiladores etc. los cuales ayuden a mantener una buena ventilación en las labores futuras.

### **3.3 FLUJO DE AIRE EN RAISE BORER, CHIMENEAS, FRENTES Y TAJOS**

#### **3.3.1 Raise Borer Y Chimeneas**

El flujo de aire en las chimeneas es medido normalmente en el pie de las mismas, tomando como base la galería de llegada, se debe tomar los datos de velocidad a una distancia mayor de veinte metros del pie de la chimenea fuera de la zona de turbulencia; La medida de la sección en el punto de medición de la velocidad debe ser la más exacta posible, con lo cual calcularemos un caudal de ingreso ó salida más real; Realizar la medición de la velocidad en la

misma chimenea puede ocasionar medidas no exactas debido a la incomodidad, peligro y turbulencia del aire que existe en los puntos cercanos al pie ó cabeza de chimenea.

Como se puede observar la manera más segura para medir el caudal que pasa por una chimenea es realizándolo en una labor continua a la chimenea, luego como se conoce la sección de la chimenea puede calcularse la velocidad en la chimenea. La velocidad de aire en casi todas las chimeneas que se tiene en la Mina San Cristóbal están dentro de los rangos de velocidad permitidos los cuales hacen económico el gasto en energía, normalmente son de ingreso de aire fresco y algunos de salida de aire viciado como se muestra en cuadro adjunto

Para los casos de caída de presión se realiza con el método de diferencia de densidades.

**CUADRO 5: VELOCIDAD EN CHIMENEAS**

Chimenea	Diámetro(m)	Sección(m <sup>2</sup> )	Caudal(m <sup>3</sup> /s)	Velocidad(m/s)
RB-778	3.6	10.2	188.85	18.55
RB- 887	3	7	132.75	18.7
RB-999	3	7	122.75	17.36
RB-642	2.4	4.52	42.5	9.4

Fuente: área de ventilación

### 3.3.2 Frentes Y Tajos

En estas labores la medición del caudal de aire es más fácil debido a que la medición de la velocidad y sección se puede realizar sin ningún peligro, en los frentes ó labores ciegos la velocidad del aire se debe medir en el retorno del mismo y en los tajos esta medición debe ser realizado entre accesos ó antes del pie de chimeneas de ventilación , la velocidad del aire dentro de los tajos esta sobre los 20 m/s lo cual está permitiendo que se agilice y se tenga buenos avances en labores de desarrollo y preparación, en las labores de explotación como están comunicadas entre accesos la ventilación también está sobre los veinte metros por minuto ,cumpliéndose con el artículo 236 del reglamento de minería 055.

### 3.4 CAUDAL REQUERIDO EN MINA

Para el cálculo del caudal de mina se debe tener las siguientes consideraciones:

- Cantidad de aire para todo el personal del turno de trabajo, según el reglamento de minería se debe considerar que la persona necesita  $3M^3$  de 0 a 3000 mts de altura y de  $6M^3$  de 4000 a más metros de altura.
- Cantidad de aire para equipos Diesel que trabajan en el turno, para lo cual se debe conocer la potencia (HP) de cada equipo y el número de los mismos, considerar que por cada HP los equipos Diesel necesitan  $3M^3$  de aire.

- Cantidad de aire para dilución de gases de disparo, esto último no se está considerando debido a que cuando se realiza el disparo todo el personal de mina sale por motivo de cambio de guardia, pero se debe tomar en cuenta para calcular el tiempo de dilución de los gases de disparo para lo cual se utiliza la siguiente formula. Para el cálculo del tiempo de ventilación usamos la siguiente formula:

$$.t = \frac{100 x a x c}{0.008 x Q}$$

**Donde:**

*t* = Tiempo de ventilación, min

*a* = Constante de formación de gases, (0.040 m<sup>3</sup>/kg)

*c* = Cantidad de explosivos utilizados por guardia (1,600 Kg)

*Q* = Caudal de aire, m<sup>3</sup>/min

$$.t = \frac{100 x 0.04 x 1600}{0.008 x 32,821.4 m^3 / \text{min}} = 25 \text{ min utos}$$

Por lo mencionado podemos concluir que el aire fresco que ingresa es suficiente para ventilar la mina en forma eficiente cubriendo todas las necesidades y en un tiempo que lo permite la ley.



### 3.5 BALANCE GENERAL DE LA MINA

Para el cálculo integral de requerimiento de aire en mina se debe tener en cuenta la cantidad de personas que trabajan por turno, altura de trabajo, en nuestro caso se trabaja a una altura de 4600 mts, cantidad y potencia de equipos; Para este cálculo considerar el turno donde se tiene más personal y equipos, es decir siempre trabajar con el turno que tiene más necesidad de aire.

En las horas de disparo se realiza el cambio de guardia, el personal y equipo son retirados de mina por lo cual la cantidad de aire que se necesita para evacuar los gases de disparo no es considerado en la suma para el total de la necesidad requerida en el balance pero si se debe conocer esta cantidad de aire para evacuar gases la cual está en función al número de niveles principales, sección y velocidad del flujo, por seguridad y operación el tiempo de evacuación de gases no debe ser más de 1.5 horas.

En el siguiente cuadro de balance podemos observar la cantidad de aire requerido por mina, ingreso y salida del mismo la cual nos muestra una cobertura de 101.25%.

Se viene desarrollando chimeneas de 10 y 12 pies de diámetro para los circuitos principales, los cuales están llegando hasta los niveles inferiores de Mina, integrando a estos niveles al circuito de ventilación principal, de igual forma se viene instalando variadores de frecuencia a los ventiladores principales de 400,000 cfm con el objeto de trabajar con los dos ventiladores de 400,000 cfm, ya que

actualmente solo trabaja uno de ellos, según lo planificado para el 2012 la producción debe aumentar en un 10% y así sucesivamente para los siguientes años, este aumento de producción conlleva a utilizar más equipo Diesel por lo cual la necesidad de aire fresco en Mina también aumentara, para mantener la cobertura total sobre el cien por ciento se tendrá que trabajar con los dos ventiladores de 400,000 cfm los cuales se encuentran instalados en paralelo.

**BALANCE GENERAL DE AIRE**  
**MINA SAN CRISTOBAL**

**FECHA: NOVIEMBRE-2011**

<b>1.- INGRESO DE AIRE</b>	<b>M3 / min</b>	<b>CFM</b>
Bocamina RP 300	5.424.12	191.363.0552
Bocamina RP 995	7.327.49	258.513.7766
Cabeza RB 919, Nv.630	1.791.38	63.199.9005
Cabeza RB 847, Superficie	229.57	8.099.3848
Cabeza RB 249, Superficie	484.18	17.081.7293
Cabeza RB 023, Superficie	96.20	3.393.9924
Cabeza CH 04, Superficie	526.67	18.580.9317
Cabeza CH 755, Superficie	83.38	2.941.5053
Cabeza RB 400, Superficie	176.20	6.216.2796
Pie-RB 742B (Nv. 580)	9.057.05	319.532.6534
BP-206, Nv.390	4.807.75	169.617.2535
Cabeza RB 978, Superficie	362.90	12.803.2193
Cabeza RB 040, Superficie	1.164.35	41.078.1128
Bocamina Nv.500	312.07	11.009.9171
Bocamina BP 578, Superficie,Nv.500	592.82	20.914.8646
PQ-Povenir(Superficie)	1.298.90	45.825.2993
RB-Relleno(Superficie)	1.505.24	53.104.8586
Tunel Victoria, Nv.820	1.265.94	44.662.3801
Cabeza RB-373, Superficie	779.86	27.513.3197
ACC 830,NV-730, PQUE Hppa	1.200.54	42.355.1840

<b>TOTAL INGRESO</b>	<b>38.486.61</b>	<b>1.357.807.62</b>
----------------------	------------------	---------------------

<b>2.- SALIDAS DE AIRE</b>	<b>M3 / min</b>	<b>CFM</b>
BP 920, CX(13-14), NV.920	2.520.88	88936.71696
VE7, BP632, NV.920	2.856.52	100778.0538
BP 920, Cabeza RB-310,NV.920	1.369.92	48330.9099
CX-811, Nv.1020	3.064.74	108124.0907
VE RB 742, RP 010,NV.730	3.083.91	108800.3363
VE RB 828, NV.730	2.987.71	105406.4794
BP-340, Pie RB206, NV.340	2.117.04	74689.13574
VE RB206,NV.340 x RP206	2.074.35	73183.05742
BP 635, NV.500	763.23	26926.65385
CX-09, BP630, NV.630	2.201.57	77671.31904
VEI-RB999, RP154, NV.630	2.088.51	73682.47933
VEII-RB999, RP154, NV.630	2.756.52	97250.0256
XC-035, NV.820	591.26	20859.68808
Pie RB 9085, CX.810, Nv 820	2.327.45	82112.3231
CX-11, Nv.920, Pie RB 616	3.125.54	110268.9806
VE3, RB 660,NV. 920	2.603.76	91860.6528
Pie RB 256, NV.730	3.265.42	115203.8765

<b>TOTAL SALIDA</b>	<b>39.798.32</b>	<b>1.404.084.78</b>
---------------------	------------------	---------------------

**3.- NECESIDADES DE AIRE****3,1 Para personal**

Compañía : 100 hombres x guardia  
 Contratas : 180 hombres x guardia  
 Total : 280 hombres x guardia

**6 m3 / min / hombre**

M3 / min	CFM
1680.00	59.270

**3,2 Para equipo diesel**

**3 m3 / min / HP**

8 Scoop de 4 yd3 (EE)  
 4 Scoop de 3.5 yd3 (EE)  
 2 Scoop de 6 yd3 (EE)  
 4 Scoop de 6 yd3 (CIA)  
 5 Scoop de 2.5 yd3 (CIA)  
 2 Scoop de 2.5 yd3 (EE)  
 2 Desatadores  
 1 Motoniveladora  
 1 Bockat  
 5 Camiones Servicio (CIA)  
 5 Camiones Servicio (EE)  
 17 Volquetes Volvo  
 4 Jumbo Electrohidraulico (CIA)  
 6 Jumbo Electrohidraulico (EE)  
 3 Dumper 20TN(CIA)  
 1 Dumper 12TN(EE)  
 10 Equipo schocrete (Huronos)  
 6 Equipo schocrete (Manba)  
 8 Camionetas (CIA)  
 7 Camionetas (EE)

HP c/u	HP Total	M3 / min	CFM	SIMULT
185	1480	3552.00	125.315	0.80
160	640	1536.00	54.190	0.80
270	540	1296.00	45.723	0.80
270	1080	2592.00	91.446	0.80
140	700	1470.00	51.862	0.70
120	240	504.00	17.781	0.70
120	240	432.00	15.241	0.60
130	130	273.00	9.631	0.70
90	90	162.00	5.715	0.60
180	900	1620.00	57.154	0.60
140	700	1260.00	44.453	0.60
400	6800	15300.00	539.784	0.75
80	320	288.00	10.161	0.30
80	480	432.00	15.241	0.30
240	720	1512.00	53.343	0.70
180	180	378.00	13.336	0.70
120	1200	1800.00	63.504	0.50
80	480	576.00	20.321	0.40
75	600	720.00	25.402	0.40
75	525	630.00	22.226	0.40

**SUB - TOTAL**

<b>18045</b>	<b>36.333.00</b>	<b>1.281.828</b>
--------------	------------------	------------------

<b>TOTAL NECESIDAD AIRE MINA</b>	<b>38.013</b>	<b>1.341.098.64</b>
----------------------------------	---------------	---------------------

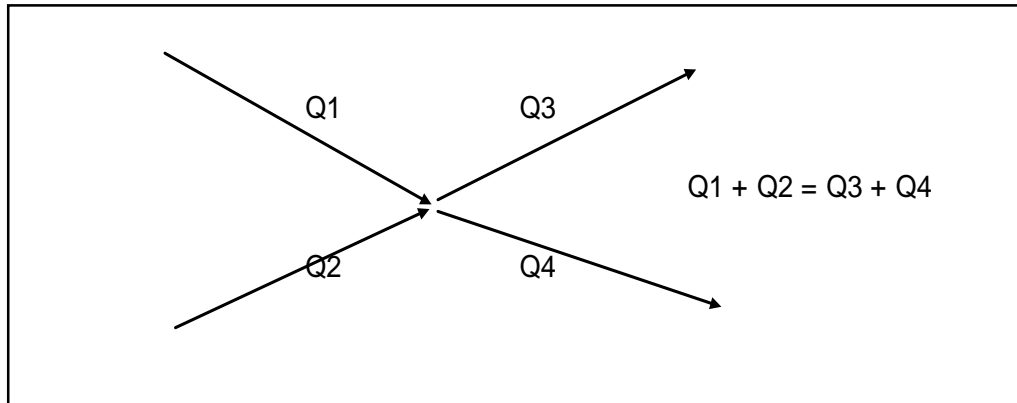
**4.- COBERTURA NECESIDADES DE AIRE:**

<b>INGRESO</b>	<b>1.357.807.62</b>
<b>SALIDA</b>	<b>1.404.084.78</b>
<b>TOTAL NECESIDAD DE AIRE</b>	<b>1.341.098.64</b>
<b>COBERTURA</b>	<b>101.25%</b>

### 3.6 LEYES DE KIRCHOFF

**1era Ley:** La suma algebraica de los caudales que convergen hacia un nudo y los que divergen de este, debe ser igual a cero (condición de continuidad).

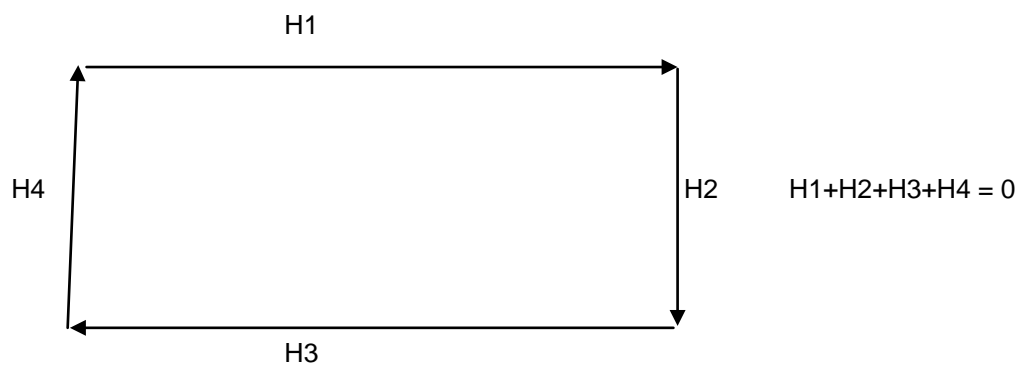
**CUADRO 6: LEYES DE KIRCHOF**



Fuente: Curso de ventilación Dr. Calizaya

**2da Ley:** La suma algebraica de las pérdidas de presión medidas a lo largo de un circuito cerrado ó malla es igual a cero (condición de circulación)

$$\sum H = \sum (RQ^2)$$



Los programas de ventilación han sido diseñados en base a estas dos leyes, el VNET adicional a estas dos leyes emplea para la solución de sus ecuaciones cuadráticas el método iterativo desarrollado por el profesor Hardy Cross.

### **3.7 INVENTARIO DE VENTILADORES Y CONDICION ACTUAL**

Se cuenta con ventiladores principales, secundarios y auxiliares, para satisfacer la demanda de aire tanto en ventilación principal, secundaria y auxiliar, como se puede observar en el siguiente cuadro los ventiladores que tiene la mina San Cristóbal son de diferentes capacidades y potencias, usados de acuerdo al requerimiento de cada labor , debido a la mecanización y ampliación de labores se viene estandarizando el uso de ventiladores de 30,000 cfm para las labores de preparación y desarrollo.

#### **3.7.1 Ventilador principal**

Estos ventiladores son los que generan el circuito principal de ventilación y se encuentran ubicados en cámaras anti combustibles reforzadas con sostenimiento (Schocrete, pernos helicoidales y las más amplias con Arcos noruegos).

Los ventiladores de 400,000 cfm tienen circuito de alimentación de energía independiente al de operación mina para evitar que estos se apaguen en caso ocurra corto circuito en la línea de operación.

### Ventiladores principales

CODIGO	EMPRESA	MARCA	CAUDAL(CFM)	UBICACIÓN	FUNCION	Total
0015-YA	VOLCAN	AIRTEC	110000	CHUMPE, RB 999, SUPERFICIE	Principal	250
0036-YA	VOLCAN	AIRTEC	100000	RB-290-Boca Mina-340 Superficie	Principal	200
0037-YA	VOLCAN	AIRTEC	100000	RB-290-Boca Mina-340 Superficie	Principal	200
0052-YA	VOLCAN	JOY	100000	BP 826	Principal	250
0067-YA	VOLCAN	HOWDEN	110000	RB 256, TRES MARIAS Superficie	Principal	250
0069-YA	VOLCAN	HOWDEN	110000	CHUMPE, RB 999, SUPERFICIE	Principal	250
0103-YA	VOLCAN	ALPHAIR	300000	CAMARA DE VENTILACION NV	Principal	500
0104-YA	VOLCAN	ALPHAIR	300000	CAMARA DE VENTILACION NV	Principal	500
0123-YA	VOLCAN	ALPHAIR	400000	CAMARA DE VENTILACION NV	Principal	700
0124-YA	VOLCAN	ALPHAIR	400000	CAMARA DE VENTILACION NV	Principal	700
0127-YA	VOLCAN	HOWDEN	30000	BP 365, RP 218	Principal	75
0035-YA	VOLCAN	JOY	100000	RP 572, RB 613, LIDIA	Principal	200
0014-YA	VOLCAN	AIRTEC	60000	CABEZA RB-742(SUPERFICIE)	Principal	150
0033-YA	VOLCAN	AIRTEC	100000	Polvorin, RB 616 Superficie	Principal	250
Total general						4475

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal

### 3.7.2.-Ventiladores auxiliares y secundarios

Normalmente estos ventiladores trabajan en labores de preparación y desarrollo, los auxiliares en labores ciegas y los secundarios como extractores ó Booster en labores alejadas del circuito principal

#### Selección

La selección de mencionados ventiladores se realiza considerando los siguientes parámetros

- Ancho de labor a ventilar
- Necesidad total de aire(cfm) en labor a ventilar
- Longitud a ventilar

#### Características:

Ventilador axial (auxiliar)

- Modelo : VAV – 32 -14 – 3500 – I, (Alabes variables)
- Etapa : simple.
- Capacidad : 20Kcfm y 30Kcfm

Ventilador axial (Secundario)

- Modelo : VAV – 45 – 3450 – II, (Alabes variables)
- Etapa : Doble Etapa.
- Capacidad : de 60Kcfm y 50 Kcfm

Suma de POTENCIA (HP)						
CODIGO	EMPRESA	MARCA	CAUDAL(CF)	UBICACIÓN	FUNCION	Total
0001-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 590,BP 4	Auxiliar	75
0004-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 9680,GL 875	Auxiliar	60
0007-YA	VOLCAN	JOY	30,000	CANCHA 500	Auxiliar	75
0008-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 843,ACC 6	Auxiliar	60
0010-YA	VOLCAN	BUFALO	60,000	TALLER ELECTRICO S/C	Secundario	100
0011-YA	VOLCAN	AIRTEC	60,000	GL-610-NV630	Secundario	100
0013-YA	VOLCAN	AIRTEC	60,000	CANCHA 500	Secundario	100
0023-YA	VOLCAN	AIRTEC	60,000	BP 1020,FRENTE A XC 12	Auxiliar	90
0038-YA	VOLCAN	AIRTEC	20,000	CANCHA 500	Auxiliar	25
0040-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	TALLER ELECTRICO S/C	Auxiliar	75
0041-YA	VOLCAN	AIRTEC	60,000	BP 920,XC 10,RB 642	Secundario	100
0062-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	CANCHA 500	Auxiliar	40
0071-YA	VOLCAN	HOWDEN	30,000	RP-400	Auxiliar	40
0076-YA	VOLCAN	HOWDEN	50,000	RP 843,FRENTE A ACC 6	Secundario	100
0077-YA	VOLCAN	HOWDEN	50,000	Extractor taller NV820	Secundario	90
0082-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP 630,XC-3	Auxiliar	40
0083-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP 846,RP 730	Auxiliar	40
0084-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP 630,XC-3	Auxiliar	40
0086-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 843,GL 254 Y 254	Auxiliar	40
0087-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP635	Auxiliar	40
0090-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP 690.LUCHO ROJAS	Auxiliar	40
0091-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP635,	Auxiliar	40
0092-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	ACC 569	Auxiliar	40
0093-YA	VOLCAN	AIRTEC	60,000	GL-610-NV630	Secundario	175
0094-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 843,Nv 390	Auxiliar	40
0095-YA	VOLCAN	AIRTEC	100,000	BP 9615,RB 630	Secundario	150
0096-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP 630,XC-7	Auxiliar	40
0097-YA	VOLCAN	HOWDEN	30,000	CUERPO,RP 742	Auxiliar	36
0102-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	BP 615	Auxiliar	40
0105-YA	VOLCAN	AIRTEC	60,000	TALLER ELECTRICO S/C	Auxiliar	90
0109-YA	VOLCAN	GIOTTO	40,000	RP 590,BP 2	Secundario	45
0110-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 589,ACC 667	Auxiliar	40
0127-YA	VOLCAN	HOWDEN	30,000	BP 365,RP 218	Auxiliar	75
0128-YA	VOLCAN	AIRTEC	15,000	RP 218,ACC 4	Auxiliar	25
0063-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 223,LIDIA	Auxiliar	75
0078-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	WINCE,CA 431,,LIDIA	Secundario	40
0066-YA	VOLCAN	AIRTEC	20,000	RP 459,LIDIA	Auxiliar	35
0100-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	CANCHA 500	Auxiliar	40
0072-YA	VOLCAN	HOWDEN	30,000	RP590	Auxiliar	36
0085-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 218 , NV 340	Auxiliar	40
0061-YA	VOLCAN	HOWDEN	30,000	TALLER ELECTRICO S/C	Auxiliar	75
SN-04	TUNELEROS	AIRTEC	10,000	RP 590,NEGATIVO	Auxiliar	20
SN-05	TUNELEROS	AIRTEC	15,000	BP 4, RP590	Auxiliar	25
0108-YA	VOLCAN	HOWDEN	30,000	SN 457,LIDIA	Auxiliar	75
0003-YA	VOLCAN	AIRTEC	30,000	GL 430,LIDIA	Auxiliar	75
0058-YA	VOLCAN	AIRTEC	10,000	ACC 638,RP 010,LIDIA	Auxiliar	25
0075-YA	VOLCAN	AIRTEC	10,000	SN 278,LIDIA	Auxiliar	30
0065-YA	VOLCAN	JOY	30,000	RP 010,DIANA,LIDIA	Auxiliar	60
SN-09	VOLCAN	AIRTEC	10,000	GL 580,(LIDIA)	Auxiliar	25
0102-YAS	VOLCAN	AIRTEC	30,000	RP 830,ACC 820,LIDIA	Auxiliar	40
Total general						2922

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal



### 3.8 MANGAS DE VENTILACIÓN Y CONDICION ACTUAL

En mina San Cristóbal se utiliza mangas de rafia de 300 grs. /m<sup>2</sup> de las siguientes dimensiones

- **18 pulgadas diámetro** Trabajan con ventiladores de 10,000 cfm y son utilizadas en labores que tienen secciones de 2.4 X 2.4, esta dimensión de manga es poco usado, solamente se viene utilizando en labores donde se realiza trabajos de sondaje diamantina y en preparaciones para vetas angostas.
- **24 pulgadas diámetro** las cuales trabajan con ventiladores de 20,000 cfm en labores de sección de 3 X 3 a más dependiendo de la longitud total de labor a ejecutar.
- **30 y 36 pulgadas diámetro** estas mangas son utilizadas en labores de preparación y desarrollo que tienen secciones de 4 X 4 a más metros y en longitudes superiores a 300 mts, trabajan con ventiladores de 30,000 cfm, son las mangas más usadas y vienen en longitudes de 15 metros.
- **Mangas elípticas** son utilizadas algunas veces en proyectos especiales los cuales tienen longitudes sobre los 1000 mts, el diámetro menor y superior de estas mangas es de 36 y 108 cm respectivamente y su sección es equivalente a mangas circulares de 52 pulgadas de diámetro, trabajan con ventiladores de 60,000 cfm.

Las mangas deterioradas por el uso son reemplazadas por el personal del área de ventilación de empresa y de empresas

especializadas; el área de logística realiza compras mensuales de acuerdo al consumo mensual para mantener el Stop de las mismas, manteniéndose un consumo mensual de:

1. 100 mts manga de 18 pulgadas
2. 250 mts de 24 pulgadas
3. 300 mts de 30 pulgadas
4. 300 mts de 36 pulgadas

### **3.9 COMPUERTAS, REGULADORES, TAPONES DE VENTILACIÓN**

Dependiendo de la cantidad de aire que se necesite en una labor ó nivel se utiliza compuertas y reguladores para direccionar el flujo de aire hacia las labores de trabajo, el uso de tapones solo cuando se necesita hermetizar labores antiguas (tajos, chimeneas, etc.) Estos controles sirven para evitar pérdidas de aire fresco ó evitar ingreso de aire caliente con vapores en el circuito principal, lo cual contaminaría todo el circuito principal.

Las compuertas son construidas de fierro según como se muestra en el gráfico y los tapones son hechos con bloquetas de cemento, esto para mantener en forma hermética las labores y evitar pérdidas de aire sea fresco ó en los casos donde se tenga que evitar el ingreso de aire contaminado al circuito principal de ingreso de aire fresco; Cabe mencionar que en todo circuito primario los tapones que se construyen deben ser lo más hermético posible

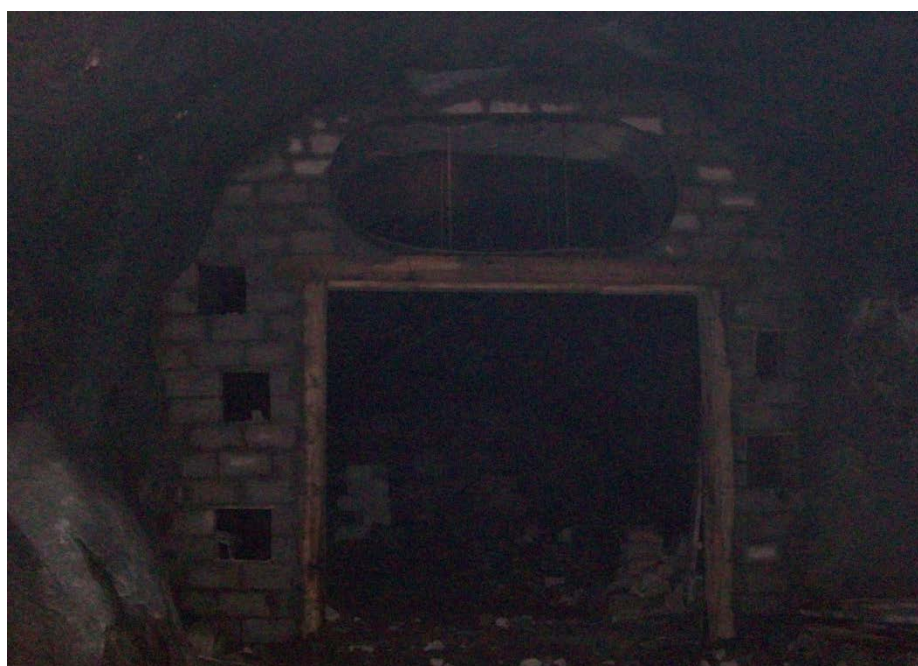
para evitar fugas, las fugas por más pequeñas que sean al sumarlas hacen un valor considerable de perdidas lo cual puede influir mucho en el circuito primario.

**FIGURA 3: COMPUERTA**



Fuente: Circuito ventilación mina San Cristóbal

**FIGURA 4: REGULADOR**



Fuente: Circuito ventilación Mina San Cristóbal

### 3.10 DIAMETRO ECONOMICO DE CHIMENEA PRINCIPAL

En la teoría, el diámetro económico es calculado minimizando una función de costos, en la práctica el diámetro económico depende de los siguientes parámetros:

- Reservas de mineral
- Equipos Diesel con los que se cuentan en operación
- Capacidad, característica y consumo de energía de ventiladores a utilizar.

El costo de operación depende mucho de la energía consumida por los ventiladores.

Los costos de capital se pueden obtener del contratista los de operación se deben estimar generalmente debido a que estos pueden variar con el tiempo, Para el caso de la mina San Cristóbal los ventiladores principales son de 400,000 cfm y las chimeneas se ejecutan en roca volcánica de RMR 50 en promedio.

Para el caso de mina San Cristóbal tenemos lo siguiente

- 1) Reserva para 10 años
- 2) Ventilador principal de 400,000 cfm
- 3) Altura de trabajo 4,700 msnm

En los gráficos siguientes tenemos los cálculos de inversión y operación para chimeneas con diámetro distintos que trabajan con ventilador de 400,000 cfm.

Por Atkinson sabemos que:

$$H_f = ((K * P * L) * V^2) / A$$

$$BHP = (H_f * Q) / (6356 * \text{eff})$$

HF = Caída de presión estática

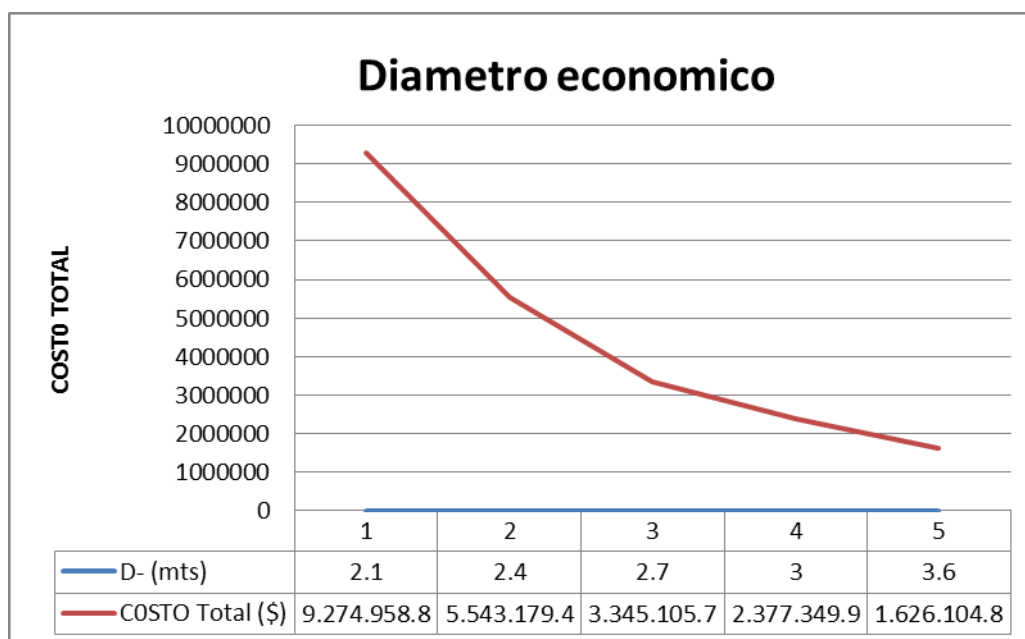
BHP = Consumo de energía total

### CUADRO 7: DIAMETRO ECONOMICO

VELOCIDADES PARA DIFERENTES VOLUMENES						ESTÁTICA Y CONSUMO DE FUERZA			COSTO				
DIAM (Pies)	Q (cfm)	Q (m³/Seg)	A (m²)	V (m/seg)	V²	Hf en pascal	Hf en c.a	BHP que consume solo RB	Conversión hras mes y costo Kw/hr Y= 0.746*600*0.06	Costo mensual	Costo anual	Costo 10 años	Observación
2.1	400.000	188.80	3.46	54.51	2.971.41	13597.8	54.587716	2.748.28	26.85	73.791.32	885.495.89	8.854.958.85	Muy costoso
2.4	400.000	188.80	4.52	41.73	1.741.79	7775.09	31.212726	1.571.44	26.85	42.193.16	506.317.95	5.063.179.49	Muy costoso
2.7	400.000	188.80	5.73	32.98	1.087.39	4307.56	17.292493	870.61	26.85	23.375.88	280.510.57	2.805.105.72	Muy costoso
3	400.000	188.80	7.07	26.71	713.44	2545.05	10.216981	514.39	26.85	13.811.25	165.734.99	1.657.349.94	Regular
3.6	400.000	188.80	10.18	18.55	344.06	1022.88	4.1063027	206.74	26.85	5.550.87	66.610.48	666.104.83	Bien

D- (mts)	C.I	C.0	COSTO Total (\$)
2.1	420.000.00	8.854.958.85	9.274.958.85
2.4	480.000.00	5.063.179.49	5.543.179.49
2.7	540.000.00	2.805.105.72	3.345.105.72
3	720.000.00	1.657.349.94	2.377.349.94
3.6	960.000.00	666.104.83	1.626.104.83

Fuente. Evaluación área ventilación Mina San Cristóbal



Según el gráfico mostrado podemos observar que la chimenea más eficiente y económica para el trabajo de un ventilador de 400,000 cfm es la que tiene diámetro de 3.6 metros; el costo operativo influye más en el costo total ya que es un gasto continuo, este gasto normalmente se mantiene con el tiempo dependiendo de las reservas que se puedan encontrar en la profundización del entorno donde se ejecutan las chimeneas con RB, en muchas minas estas chimeneas vienen trabajando más de 20 años ya que las minas continúan explorando y encontrando reservas constantemente, en caso se ubiquen nuevos depósitos minerales fuera de la zona de influencia de las chimeneas ejecutadas estas sirven para servicios ó ingreso de aire fresco, es decir no se pierde la inversión inicial que se gastó para ejecutar estas chimeneas, por lo cual nunca se debe perder una chimenea principal y debe ser considerado como un activo fijo de la empresa.

El diámetro económico encontrado en forma matemática nos debe servir como referencia, lo primordial para seleccionar la dimensión de una chimenea es la reserva de mineral, potencia y dimensión de equipos diesel con los que se trabajara en la explotación de la Mina, ya que la mayor necesidad de aire en toda Mina lo requieren los equipos Diesel, por lo tanto la dimensión de las chimeneas principales depende básicamente de lo que requerirán los equipos diesel a utilizarse.

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION**

#### **4.1 ANTECEDENTES**

##### **4.1.1 Diseño de abertura minera para ventilación**

Antes del uso de programas de ventilación las aberturas mineras para infraestructura de ventilación en la mayoría de las Minas incluyendo Mina San Cristóbal se determinaban en base a los siguientes parámetros

##### **A.-Calidad de macizo rocoso**

Las chimeneas son ejecutadas en rocas volcánicas, intrusivas y en muchos casos en filita silisificada, la dureza de estas rocas está entre RMR 40 a 60, y es verificado por el área de Geomecánica quienes tienen zonificado toda la mina, en algunos casos especiales donde no se tiene mucha información respecto de la

calidad de la roca se realiza perforación diamantina y los testigos son analizados para determinar la calidad del macizo rocoso.

para la ejecución de las chimeneas se utiliza el equipo de perforación de chimeneas (Raise Borer), con el cual se ejecuta chimeneas de hasta 12 pies de diámetro para los circuitos primarios; el ángulo de inclinación de las chimeneas esta sobre los 65°, esto último para evitar que las chimeneas estén paralelas a la estratificación de las filitas las cuales están entre 50 y 60 grados de inclinación, para el caso de las chimeneas principales de 10 y 12 pies de diámetro estas son ejecutadas en ángulo superior a los 80° de inclinación, para evitar futuros desprendimientos ó deformaciones que puedan formarse debido al paralelismo con los estratos del macizo rocoso.

### **B.-Maquinaria minera**

La ventilación en la gran mayoría de las Minas era de regular a mala, para los trabajos de acarreo de mineral y desmonte no se utilizaba mucho equipo Diesel y los que se utilizaba eran pequeños por lo cual la infraestructura se acondicionaba a la dimensión de los mismos, con la mecanización de la mayoría de Minas se viene utilizando equipos Diesel de mayor capacidad los mismos que requieren mayor cantidad de aire para su eficiente trabajo, por lo cual para desarrollar la infraestructura de ventilación no solamente se tiene que tomar en cuenta los parámetros mencionados



### **C.-Criterio y lógica del ingeniero de Minas**

En la actualidad debido al crecimiento y mecanización de las Minas se tiene que realizar cálculos complejos para hallar la resistencia y demás parámetros técnicos que se necesitan para el diseño del circuito primario que se tendrá que ejecutar, la realización manual de estos cálculos demandaría demasiado tiempo y podríamos equivocarnos, lo cual atrasaría los trabajos de planificación y ejecución; Con el desarrollo de la informática se han creado programas que facilitan estos cálculos, uno de estos programas es el **Vnet**, el cual puede integrarse para la toma de datos con otros programas de diseño de Minas, haciendo por consiguiente más rápido y seguro el diseño del circuito primario de ventilación.

#### **4.1.2 Selección de ventiladores**

Antes del avance de la informática los ventiladores se seleccionaban sin tener ningún fundamento técnico respecto de la necesidad de aire requerido en Mina ni tampoco de la resistencia que generaba la infraestructura minera al paso del aire, es decir estos eran comprados en base al criterio del ingeniero de minas y de algunas recomendaciones que eran dadas por algunos fabricantes, no se consideraba las características físicas de labores de Mina ni tampoco la potencia de los equipos Diesel que trabajarían en Mina, por lo cual normalmente estos ventiladores no satisfacían las necesidades en todos los circuitos principales y

secundarios de ventilación, actualmente se cuenta con programas para selección de ventiladores y se puede realizar la simulación de los mismos.

Como referencia en Mina San Cristóbal antes del uso del Vnet se compró ventiladores para los circuitos primarios, estos no duraron mucho, la falla principal en la gran mayoría de los casos fue rotura de alabes y quemadura de motor, a simple vista podemos concluir que la causa básica de estas fallas fue el exceso de resistencia de la infraestructura del sistema de ventilación el cual no pudo ser predecido.

#### **4.1.3 Diseño de circuito de ventilación**

Antes de la utilización de los programas de computación los circuitos de ventilación eran diseñados en base a la intuición y lógica del ingeniero de ventilación, se manejaba poca información respecto de las características físicas de labores y la resistencia que estas generaban, el cálculo de resistencia de Mina en los puntos donde se instalaría los ventiladores primarios tampoco se conocía por lo cual se instalaba ventiladores que muchas veces trabajaban en forma ineficiente, prácticamente no se tenía conocimiento de la resistencia de cada labor minera ni mucho menos de toda la Mina; no se tenía un sistema de ventilación conocido el cual podía servir como referencia para predecir con exactitud los futuros circuitos principales de ventilación , la falta de

esta información generaba algunas veces puntos de recirculación en los circuitos principales, estos puntos de recirculación normalmente se generaban cuando se comunicaba rampas con niveles ó algunas veces cuando se comunicaba alguna chimenea principal entre niveles, debido a esto muchas chimeneas que se ejecutaban trabajaban muy poco tiempo en forma eficiente teniendo que hermetizarse en algunos casos y dándoles otro trabajo como chimeneas de servicio, en otros casos los circuitos existentes en ellas tenían que forzarse con ventiladores, generando consumos adicionales de energía lo cual genera un gasto constante repercutiendo en los costos , a todo ello tendríamos que agregar que la mayoría de las Minas tenían un sistema de explotación en forma convencional, es decir no se contaba con mucho equipo Diesel por lo cual su necesidad era mínima, en Minas donde se tenía algunos equipos Diesel la ventilación era bastante deficiente y no se contaba con herramientas ó programas para su optimización, todo esto ocasionaba retrasos en la ejecución de labores de preparación , desarrollo y explotación por lo cual el crecimiento de las Minas era bastante lento.

En San Cristóbal los circuitos primarios hasta el nivel 780 y 820 prácticamente fueron diseñados en base a la lógica del ingeniero de ventilación ya que no se contaba con programa de computación para la simulación, la demanda de aire era de aproximadamente 650,000 cfm, las chimeneas principales tenían como diámetro

máximo 7 pies, se contaba con ventiladores primarios de 100,00 cfm, los cuales en muchos casos eran de baja presión, cuando la Mina empezó a crecer al este y en profundidad se comenzó a tener problemas de ventilación en los circuitos primarios y por ende en los circuitos secundarios, esto generado por el aumento de equipos diesel los cuales son usados en nuevas labores de desarrollo, preparación y explotación, lo mencionado no podía continuar, por lo cual se optó en mejorar el sistema primario de ventilación para lo cual se tuvo que recurrir en la compra de un programa de diseño de ventilación el cual tendría que servir para modular el sistema actual y planificar con cierto grado de certeza el sistema de ventilación futuro, uno de los programas que cumple con estos requisitos y es de fácil aprendizaje su uso es el programa Vnet, con mencionado programa se ha podido diseñar el sistema actual, el cual tiene una cobertura sobre el cien por ciento en una necesidad de aire de 1,509,000 cfm, también se viene trabajando en la simulación del circuito futuro ya que se viene encontrando más reservas económicas al Este y Sur del actual yacimiento.

## **4.2 APLICACIÓN DEL VNET PC 2003**

### **4.2.1 VnetPC: Sus aplicaciones y usos**

VnetPC puede simular redes de ventilación ya existentes incluyendo puntos de operación de los ventiladores, cantidades de flujo de aire y diferencias de presión por fricción muy similares a los

del sistema real; Esto se logra usando datos de estudios de ventilación e información basada en las dimensiones y características de vías de aire conocidas. También se puede diseñar instalaciones subterráneas propuestas usando Vnet Pc, esta es la parte que los ingenieros de ventilación conjuntamente con los de planeamiento dan más uso ya que sirve para proyectar la mina futura y ver las condiciones que se presentaran, con lo cual se puede adelantar las soluciones ó prever lo que se debe hacer para evitar distorsiones en el circuito de ventilación futuro.

Las simulaciones se realizan usando datos físicos que se obtienen de campo los cuales son verificados en planos y parámetros de diseño documentados, con los datos mencionados se determinan ó estiman las vías de aire en la red.

Con Vnet se puede determinar el rango de cargas de ventiladores necesarios, los flujos de aire, diferencias de presión, costos de operación y ubicación de los controles de ventilación para toda la vida del proyecto realizando ejercicios de tiempo-etapa. Las opciones con las que cuenta Vnet PC permiten la visualización y manipulación de redes en tercera dimensión, preparar listas y archivos y trazar los datos alimentados o los resultados.

Lo más importante de utilizar este programa es que podemos realizar una planificación a largo tiempo de todo el sistema de ventilación futura, para lo cual el ingeniero de ventilación tiene que trabajar en forma conjunta con el área de Geología y planeamiento

para tener información respecto de la ubicación de nuevas reservas económicas y el desarrollo de labores para su preparación y posterior explotación de las mismas, con esta información se puede simular la infraestructura futura de ventilación, logrando también estimar la inversión necesaria para su ejecución, lo mencionado genera ahorro de gastos en la ejecución de la infraestructura, ya que se tiene conocimiento casi al detalle de todo el proyecto con una certeza confiable del mismo.

#### **4.2.2 Teoría en la que se basa Vnet PC**

El programa Vnet PC se ha desarrollado con base en las suposiciones de flujo incomprensible y las Leyes de Kirchhoff. El código utiliza una forma acelerada de la técnica iterativa de Hardy Cross para solucionar ecuaciones cuadráticas y llegar a una solución, calculando resistencias, caudales, sentido del flujo, etc. de igual forma el programa selecciona ventiladores que trabajaran en el sistema primario y secundario, para lo cual solo es necesario conocer la curva del ventilador, también trabaja con cantidades fijas esto en caso que no se conozca las características del ventilador a emplear, normalmente es usado en el programa cuando se necesita simular la ventilación en labores nuevas donde no se tiene más información que la de los planos es decir se está proyectando la infraestructura futura ó cuando se necesita instalar en los circuitos reguladores.

### 4.2.3 Características del Programa.

Programa presenta siguientes características

- Muestra plano esquemático de la red en tercera dimensión el cual es interactivo y a color
- Sistemas de coordenadas mejorado, expansible
- Data puede ser alimentada en vista esquemática y tabular, de igual forma los resultados.
- Ramales pueden ser codificados en colores según tipo de vía de aire (definido por el usuario)
- Se puede importar archivos DXF de CAD y programas de planeación de minas
- Tiene capacidad de ordenar ventiladores en paralelo o en serie.
- Se puede trabajar en el sistema métrico y sistema ingles con completa conversión de datos.
- Asignación automática de ramales de superficie para cerrar redes en nódulos de superficie
- Sección de apuntes para anotar la descripción de una simulación
- Capacidad de agregar notas en todas las vistas - permite texto en ángulo
- Calcula en forma automática la longitud del ramal con los valores de las coordenadas
- Cuenta con Herramienta para calcular el tamaño del orificio regulador
- Aplicación pura de 32 bits para más rápida ejecución

- El límite del tamaño de la Red es de 5,000 ramales con 600 ventiladores
- Extensas herramientas de Ayuda y Tutoriales.
- Completo soporte en línea [www.mvsengineering.com](http://www.mvsengineering.com)
- Impresión directa de gráficas y trazado multicolor
- Exportación de archivos DXF a CAD y a programas de planeación de minas - atributo exportado específicamente elegido
- Capacidad de alimentar cuatro diferentes tipos de datos para la resistencia del ramal.
- Análisis de distribución de contaminantes en estado constante
- Herramienta de Cantidad fija
- Codificación de Ramales en color para rango de parámetros (flujo de aire, presión, etc.)
- Herramientas cortar/copiar/pegar para intercambio con otras aplicaciones Windows
- Drives de frecuencia variable - ajustes de curva de ventilador para densidad y frecuencia (RPM)
- Edición de Ramales en múltiples vistas
- Computadora compatible con IBM con Windows 95, 98, 2000, NT, XP , Vista ó Seven
- Procesador clase Pentium ó superior
- 16 MB de Memoria RAM
- 50 MB de espacio en disco duro para programa Vnet PC (adicional para Adobe Acrobat Reader™)



- Pantalla VGA

#### 4.2.4 Preparación y alimentación de datos

Vnet PC está estructurado de manera tal que el usuario pueda pasar de una vista, o ventana a otra, en donde se encuentran los datos alimentados ó los resultados. Se usa un solo archivo para alimentar los datos de la red, coordenadas del esquemático y datos de contaminantes. Se usa un archivo por separado para guardar múltiples curvas de ventilador. Dentro del programa Vnet PC se puede crear, importar, editar o ver las curvas de ventilador. El programa Vnet PC consta de nueve pantallas para la alimentación y visualización de los datos del programa. Las diferentes pantallas aparecen en una lista en la Barra de Menú bajo el Menú "Vaya".

Las vistas son:

- Información del modelo
- Alimentación de ramal
- Resultados de ramal
- Cantidades fijas
- Alimentación de datos de ventilador
- Resultados de ventilador
- Datos de cruces
- Esquemático
- Contaminantes

Esta sección proporciona detalles sobre el contenido y forma de los datos que se tienen que alimentar al programa Vnet Pc.

Este programa permite cuatro formas de introducir los datos de los ramales a considerar:

- Introduciendo la resistencia del ramal R, usado normalmente cuando en dicho ramal se tiene alguna resistencia como puerta.
- Introduciendo la caída de presión y el volumen que viaja por el ramal
- La más usada es la que se introduce el (K, P, A, L, Le) datos de los diferentes ramales los cuales trabajan con la ecuación de Atkinson y pueden ser obtenidos de los planos de mina de forma fácil.
- Trabaja con la resistividad por unidad de longitud, esta es poco usado.

Los datos en mención pueden ser ingresados en forma manual, ramal por ramal ó utilizando un programa de diseño de Mina como el AutoCAD, para lo cual cada nivel de mina es gravado como una nueva capa en formato **dxf**, luego mencionado archivo es importado por el Vnet cuando este se encuentra abierto en la vista esquemático, la capa que contiene los datos de Mina son ingresado con el nombre creado ó otro nuevo según como corresponda; Esta última forma agiliza el ingreso de la data de

Mina al programa Vnet, el grafico importado del programa de diseño de Mina debe ser similar al que se tiene en el Vnet, las coordenadas de los cruces son también importadas para lo cual el plano original en formato DWG debe tener sus ejes de coordenadas en forma ortogonal a los ejes de pantalla; de todos los métodos de ingreso de data al programa de ventilación esta es la forma más rápida y segura.

#### **4.3 DATA DE MINA PARA TRABAJO DE PROGRAMA.**

Para la realización del presente trabajo mostraremos dos formas de ingresar la data en el programa, la forma clásica como hoja de Excel y la practica en la cual se genera un plano de líneas en el programa de diseño de mina, muy similar al esquemático del Vnet, en ambos casos se debe tomar los datos físicos de todos los ramales de mina, nivel por nivel en forma manual (Perímetro, sección, coeficiente de fricción, longitud) lo cual debe ser ayudado para agilizar la toma de datos con los planos actualizados de Mina. Todos los ramales ingresados deben formar circuito cerrado, es decir tienen que estar interconectados entre ellos, caso contrario el programa votara error cuando se ejecute simulación indicando que el ramal está sin cerrar circuito, otro punto importante cuando se ingresa la data es el ingreso de los ventiladores, se debe tomar en cuenta el sentido de trabajo de los mismos caso contrario estos trabajaran en sentido contrario distorsionando el circuito,

generando problemas que muchas veces toman tiempo ubicarlos. Cuando los ramales tienen comunicación con superficie también se debe indicar al programa si es ingreso ó salida, esto último también distorsiona el circuito.

#### **4.4 TOMA DATOS**

##### **4.4.1 Tipo Hoja Excel**

En los siguientes cuadros se muestra como ejemplo los datos físicos tomados en mina para 100 ramales, como puede observarse esta es la data básica que necesita el programa y puede ser ingresada de forma manual como si fuera una base de datos en Excel.

Se debe ayudar con tablas para la toma de los coeficientes de fricción en la cual se debe ser muy cuidadoso ya que dichos valores deben tomarse de labores que deben ser muy similares al de la mina que se está trabajando y en algunos casos se tomara el valor intermedio, luego de ingresar los datos manualmente en la tabla mencionada se debe ingresar también en forma manual los valores de las coordenadas de cada nudo, esta forma de ingreso de data es bastante lenta, para agilizar el ingreso de la data por este método se puede crear una tabla similar en Excel y luego copiarla.

CUADRO 8: Data forma hoja Excel

Ramal N°	De	A	Tipo	Resistencia(P.U)	Factor friccion	Longitud	Area	Perimetro	Descripcion
1	5877	5880	R	100					VE A RB098
2	5877	5829	k Factor		58.2	78.7	185.9	55.76	BP 805, HASTA RB098
3	5878	5877	k Factor		58.2	49.2	185.9	55.76	BP 805 HASTA RB099
4	5875	5876	k Factor		58.2	136.1	165	52.48	VE A RB836
5	5875	5837	R	50					BP 805E, HASTA PIE RB
6	5878	5879	R	100					VE A RB099
7	7356	7396	k Factor		58.2	32.2	165	52.48	VE A RB836
8	8459	8460	k Factor		58.2	204.9	165	52.4	BP 340
9	8446	8459	k Factor		58.2	85.8	165	52.4	ACC-4, RP843
10	8460	8461	k Factor		58.2	426.4	165	52.4	BP 340
11	8461	8462	k Factor		58.2	101	165	52.4	BP 340
12	8462	8463	k Factor		58.2	217.2	165	52.4	BP 340 HASTA PIE RP206
13	8463	8464	k Factor		58.2	271.2	165	52.4	BP340 DE RP206 - VE RB206
14	8464	8465	k Factor		58.2	45.6	150	45.92	VE RB206
15	8465	8466	k Factor		50	459.2	24	19.6	RB 206
16	2197	2198	k Factor		52.2	103	172	52.48	RP 218 HASTA BP432
17	2196	2197	k Factor		52.2	205	172	52.48	RP 218
18	2182	2196	k Factor		58	196.8	172	52.48	RP 218, DESDE VE6
19	6399	6375	k Factor		66.8	89.1	25	20	CHIMENEA
20	6384	6399	k Factor		66.8	889.9	81	36	SN723-III
21	6396	6373	k Factor		58.2	113.5	217	59	Xc-7(De chimnea a BP630)
22	9301	6396	R	100					Chimenea de RP 930 a Xc-07
23	6373	6395	k Factor		58.2	885.3	217	59	BP 630 DE Xc-7 A Xc-9
24	6395	6376	k Factor		58.2	101.8	217	59	PIE RB999
25	3928	3916	k Factor		58.2	44.9	172.23	52.49	BP-206 (de CA-930 a AC-9940)
26	3929	3928	k Factor		58.2	24.3	172.23	52.49	CA-930 (a CH-930)
27	8458	8430	k Factor		58.2	67.9	172.23	52.49	RP-843
28	8457	8458	k Factor		58.2	142.7	172.23	52.49	RP-843
29	3914	8457	k Factor		58.2	76.1	172.23	52.49	Inicio RP-843
30	8452	8453	k Factor		58.2	72.8	172.23	52.49	RP-843
31	8451	8452	k Factor		58.2	44.3	172.23	52.49	RP-843
32	8436	8437	k Factor		58.2	113.5	172.23	52.49	RP-843
33	8438	8439	k Factor		58.2	44.3	172.23	52.49	RP-843
34	8450	8451	k Factor		58.2	29.2	172.23	52.49	RP-843
35	8433	8434	k Factor		58.2	46.9	172.23	52.49	RP-843
36	8435	8436	k Factor		58.2	105.6	172.23	52.49	RP-843
37	8434	8435	k Factor		58.2	123.4	172.23	52.49	RP-843
38	8437	8438	k Factor		58.2	42.7	172.23	52.49	RP-843
39	8439	8440	k Factor		58.2	101	172.23	52.49	RP-843
40	8440	8441	k Factor		58.2	146	172.23	52.49	RP-843
41	8445	8446	k Factor		58.2	47.9	172.23	52.49	RP-843
42	8449	8450	k Factor		58.2	40	172.23	52.49	RP-843
43	8448	8449	k Factor		58.2	121.7	172.23	52.49	RP-843
44	8446	8447	k Factor		58.2	139.4	172.23	52.49	RP-843
45	8441	8442	k Factor		58.2	95.5	172.23	52.49	RP-843

424	6302	6301	k Factor		66.8	110.9	93	39.37	RP-572 (entrada al Nv-630)
425	6302	6303	k Factor		58.2	182.1	165.34	52.49	GL-610
426	6303	6304	k Factor		58.2	618.1	165.34	52.49	GL-610
427	6304	6305	k Factor		58.2	443.6	165.34	52.49	GL-610
428	6305	6365	k Factor		58.2	41.3	165.34	52.49	GL-610 (Tres Marias)
429	6306	6307	k Factor		58.2	294	165.34	52.49	GL-610
430	6307	6308	k Factor		58.2	147	165.34	52.49	GL-610
431	6308	6309	k Factor		58.2	268	165.34	52.49	GL-610
432	6309	6310	k Factor		58.2	95.1	165.34	52.49	GL-610
433	6310	6311	k Factor		58.2	246.1	165.34	52.49	GL-610
434	6311	6312	R	894.21443					GL-610
435	6312	6313	k Factor		58.2	272	165.34	52.49	GL-610
436	6313	6314	k Factor		58.2	753.9	165.34	52.49	GL-610
437	6315	6314	k Factor		66.8	125.5	93	39.37	al RB-9085
438	6316	6314	R	100					BP-409
439	6359	6316	k Factor		66.8	614.5	93	39.37	BP-409
440	6318	6306	R	10					al RB-223
441	6319	6304	k Factor		58.2	85.3	165.34	52.49	Llegada RP-380 al Nv-630
442	6326	6320	R	100					al RB-777
443	6326	6321	k Factor		58.2	122	165.34	52.49	GL-792
444	6321	6363	k Factor		58.2	237.2	165.34	52.49	GL-792
445	6364	6323	k Factor		58.2	239.5	165.34	52.49	GL-792 (de RB-919 a RB-089)
446	6324	6323	k Factor		58.2	14.1	165.34	52.49	Ve al RB-919
447	6323	6325	k Factor		58.2	373	165.34	52.49	GL-792
448	6325	6327	k Factor		58.2	750.3	165.34	52.49	BP-228
449	6327	6328	k Factor		58.2	65.9	165.34	52.49	XC-156
450	6328	6329	k Factor		58.2	194.9	165.34	52.49	XC-156
451	6329	6330	k Factor		58.2	51.5	165.34	52.49	GL-792
452	6331	6330	k Factor		58.2	68.9	165.34	52.49	XC-156
453	6332	6331	k Factor		58.2	101	165.34	52.49	XC-156
454	6333	6332	k Factor		58.2	1791.6	268.9	65.8	XC-156
455	6334	6333	k Factor		58.2	295.9	165.34	52.49	XC-156
456	6335	6334	k Factor		58.2	151.2	165.34	52.49	BP-598E
457	6336	6335	k Factor		58.2	77.8	165.34	52.49	al RB-770
458	6339	6338	k Factor		58.2	179.1	165.34	52.49	AC-9560
459	6340	6339	k Factor		58.2	357.9	165.34	52.49	BP-274E
460	6371	6340	k Factor		58.2	50.2	165.34	52.49	RP-425
461	6342	6341	k Factor		58.2	35.1	165.34	52.49	RP-425
462	6343	6342	k Factor		58.2	60.7	165.34	52.49	RP-425
463	6344	6343	k Factor		58.2	175.9	165.34	52.49	RP-425 (inicio)
464	6345	6344	k Factor		58.2	71.5	165.34	52.49	BP-228
465	6346	6345	k Factor		58.2	189.6	165.34	52.49	BP-228
466	6347	6333	k Factor		66.8	43.1	19.63	15.7	al pique PORVENIR
467	6327	6346	k Factor		58.2	138.1	165.34	52.49	BP-228
468	6350	6351	k Factor		58.2	148	217.85	59	BP-630
469	6351	6352	k Factor		58.2	79.9	217	59	BP-630
470	6352	6353	k Factor		58.2	235.4	217	59	BP-630
471	6353	6354	k Factor		58.2	163.5	217	59	BP-630
472	6354	6355	k Factor		58.2	91.8	217	59	XC-3
473	6355	6356	k Factor		58.2	98.4	217	59	XC-3
474	7301	7302	k Factor		58.2	135.8	165.34	52.49	GL-367
475	7302	7303	k Factor		58.2	166	165.34	52.49	GL-367
476	7303	7304	k Factor		58.2	365.8	165.34	52.49	GL-367
477	7304	7385	k Factor		58.2	51.8	165.34	52.49	GL-367
478	7305	7306	k Factor		58.2	192.9	165.34	52.49	GL-367
479	7306	7307	k Factor		58.2	225.4	165.34	52.49	GL-367
480	7307	7308	k Factor		58.2	171.6	165.34	52.49	GL-367
481	7308	7309	k Factor		58.2	38.1	165.34	52.49	GL-367
482	7309	7310	k Factor		58.2	169	165.34	52.49	GL-367
483	7310	7311	k Factor		58.2	85.3	165.34	52.49	GL-367
484	7311	7312	k Factor		58.2	209	165.34	52.49	GL-367
485	7312	7368	k Factor		58.2	149.9	165.34	52.49	GL-367

Fuente: área de ventilación Mina San Cristóbal

#### 4.4.2 Toma Datos Prácticos (Vista Esquema)

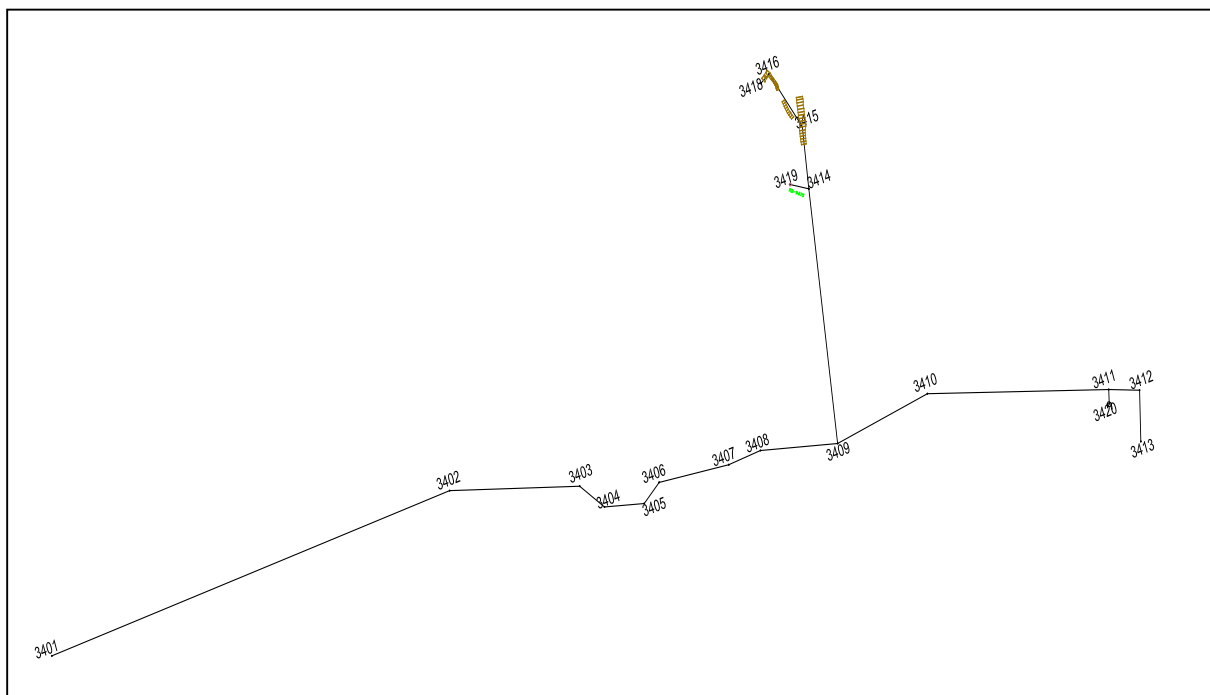
La forma más segura de tomar la data de mina para el programa **Vnet** es la siguiente:

- 1) Contar con todos los planos actualizados de mina nivel por nivel, incluyendo las labores que unen niveles (Chimeneas, Rampas, Inclinaados, Etc.)
- 2) Generar en cada plano de nivel a través de líneas los ramales correspondientes al circuito de ventilación, para lo cual debemos considerar todos los ramales incluyendo las labores que unen niveles (Rampas, chimeneas, inclinados, Piques, etc.)
- 3) Enumerar los cruces en forma secuencial para lo cual los dos primeros dígitos del cruce deben tener concordancia con el nombre del nivel al cual pertenecen.
- 4) Guardar el plano creado en formato DXF.
- 5) Entrar al Vnet y estando en el esquemático, ingresar a herramientas e importar el archivo creado en formato DXF y extraer el layer que se creó con la zona ó nivel de trabajo.
- 6) Cuando la información es importada de un plano Cad y no están las coordenadas en tres dimensiones se debe entrar al esquemático e ingresar uno por uno las coordenadas de cota de cada cruce.
- 7) Los ramales que unen niveles ó rampas con niveles deben ser ingresados en forma manual en la base general de datos.

- 8) Ingresar los datos de todos los ventiladores primarios y secundarios que conforman el circuito de ventilación, para lo cual se debe de identificar el ramal donde se ubica cada ventilador, el primer número del ramal donde se ubica el ventilador será el punto de succión y el segundo el de salida de aire del mismo; En caso no se tenga información de las curvas de trabajo de los ventiladores se probara con ventiladores que trabajaran como si fuesen cantidades fijas, el programa luego de realizar la simulación dará resultados de valores de caudal de cada ramal con lo cual se podrá tomar decisión del ventilador a utilizar ya que dicha información ayuda a conocer las características técnicas del ventilador que se utilizara.
- 9) Ingresar datos faltantes de ramales (Area, perímetro, K, longitud, Puertas, cortinas, Reguladores, etc.), de igual forma de los ramales que tienen flujos fijos.
- 10) Ejecutar la simulación del programa.
- 11) Revisar los resultados de la simulación verificando la concordancia de los mismos con lo medido en el campo.

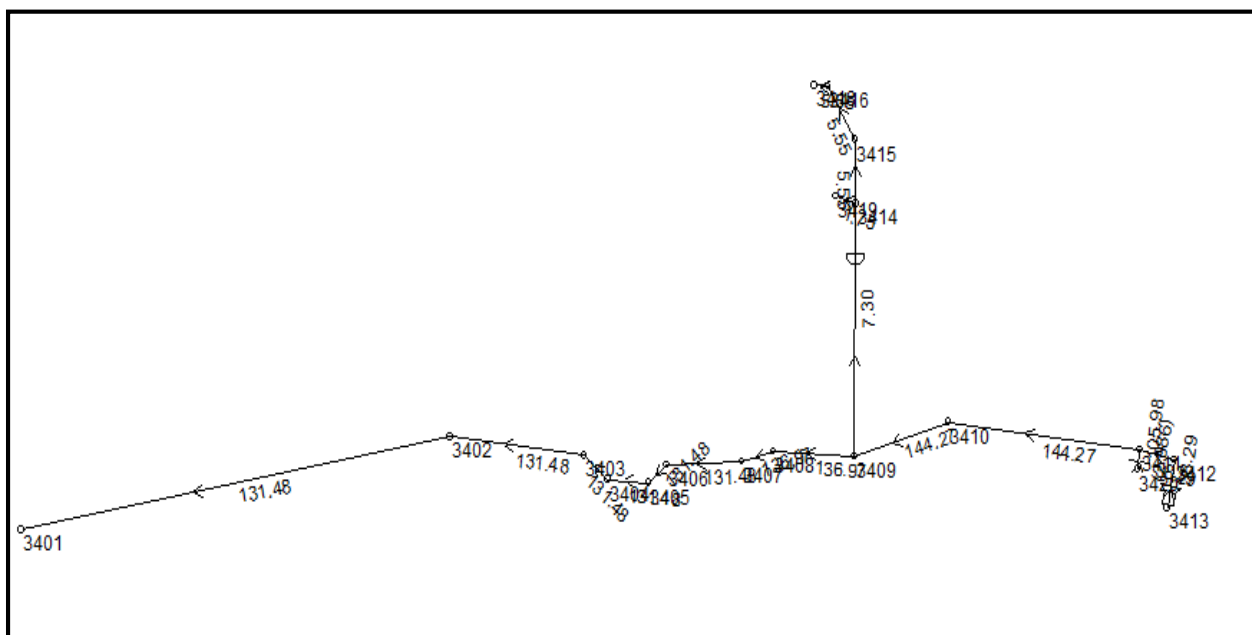


FIGURA 5: ESQUEMA EN AUTOCAD NV.340



Fuente: Área ventilación

FIGURA 6: ESQUEMA EN VNET, NV.340



Fuente: Área ventilación

Como puede observarse la forma de ambos gráficos es muy similar en el **Vnet** y en **AutoCAD** lo que indica que los datos ingresados al programa de ventilación están bien ingresados.

#### **4.4.3 Resultados en red de ventilación**

Luego de ingresar los datos físicos de todos los ramales de mina y ejecutar la simulación respectiva, el programa Vnet nos da los resultados de cada ramal indicando volumen, presión y dirección del flujo que pasa por cada ramal como se muestra en el siguiente cuadro, también en la vista esquemático se puede observar con mucha claridad los resultados obtenidos en la simulación, en esta vista se puede realizar algunas modificaciones a los datos físicos de cada ramal es decir se puede colocar puertas, reguladores, Ventiladores, Etc. También se puede observar el comportamiento del circuito luego de una nueva simulación, se puede crear circuitos futuros con la información que se pueda tener del área de Geología y planeamiento, con lo cual se puede predecir los futuros circuitos; Para que esto pueda tener bastante severidad se deberá probar la correlación de lo obtenido en la simulación con lo medido en el campo en el circuito actual, en la tabla siguiente se muestra los resultados de una simulación.

CUADRO 9: RESULTADO HOJA EXCEL

Ramal N°	De	A	Resistencia (P.U)	Flujo(kcfm)	Presión(m.in.wg)	Descripción
1	5877	5880	100	1.46	-213.3	VE A RB098
2	5877	5829	0.00076	12.9	0.1	BP 805, HASTA RB098
3	5878	5877	0.00048	11.44	0.1	BP 805 HASTA RB099
4	5875	5876	0.00178	2.52	0	VE A RB836
5	5875	5837	50	8.43	-3554.4	BP 805E, HASTA PIE RB
6	5878	5879	100	1.46	-213.2	VE A RB099
7	7356	7396	0.00042	2.52	0	VE A RB836
8	8459	8460	0.00268	36.21	-3.5	BP 340
9	8446	8459	0.00112	36.21	-1.5	ACC-4, RP843
10	8460	8461	0.00557	36.21	-7.3	BP 340
11	8461	8462	0.00132	36.21	-1.7	BP 340
12	8462	8463	0.00284	36.21	-3.7	BP 340 HASTA PIE RP206
13	8463	8464	0.00354	36.21	-4.6	BP340 DE RP206 - VE RB206
14	8464	8465	0.0007	36.21	-0.9	VE RB206
15	8465	8466	0.62602	36.21	-821	RB 206
16	2197	2198	0.00107	6.51	0	RP 218 HASTA BP432
17	2196	2197	0.00212	6.51	0.1	RP 218
18	2182	2196	0.00226	6.51	0.1	RP 218, DESDE VE6
19	6399	6375	0.14651	39.24	225.6	CHIMENEA
20	6384	6399	0.07744	39.24	119.2	SN723-III
21	6396	6373	0.00073	47.8	1.7	Xc-7(De chimnea a BP630)
22	9301	6396	0.14905	16.73	41.7	Chimenea de RP 930 a Xc-07
23	6373	6395	0.00572	187.46	201	BP 630 DE Xc-7 A Xc-9
24	6395	6376	0.00066	187.46	23.2	PIE RB999
25	3928	3916	0.00052	65.3	2.2	BP-206 (de CA-930 a AC-9940)
26	3929	3928	0.00028	66.74	1.2	CA-930 (a CH-930)
27	8458	8430	0.00078	24.02	0.4	RP-843
28	8457	8458	0.00164	24.02	0.9	RP-843
29	3914	8457	0.00088	24.02	0.5	Inicio RP-843
30	8452	8453	0.00084	66.74	3.7	RP-843
31	8451	8452	0.00051	66.74	2.3	RP-843
32	8436	8437	0.00131	24.02	0.8	RP-843
33	8438	8439	0.00051	24.02	0.3	RP-843
34	8450	8451	0.00034	60.23	1.2	RP-843
35	8433	8434	0.00054	24.02	0.3	RP-843
36	8435	8436	0.00121	24.02	0.7	RP-843
37	8434	8435	0.00142	24.02	0.8	RP-843
38	8437	8438	0.00049	24.02	0.3	RP-843
39	8439	8440	0.00116	24.02	0.7	RP-843
40	8440	8441	0.00168	24.02	1	RP-843
41	8445	8446	0.00055	24.02	0.3	RP-843
42	8449	8450	0.00046	60.23	1.7	RP-843
43	8448	8449	0.0014	60.23	5.1	RP-843
44	8446	8447	0.0016	60.23	5.8	RP-843
45	8441	8442	0.0011	24.02	0.6	RP-843

424	6302	6301	0.00697	126.42	111.4	RP-572 (entrada al Nv-630)
425	6302	6303	0.00237	19.31	0.9	GL-610
426	6303	6304	0.00803	19.31	3	GL-610
427	6304	6305	0.00577	167.45	161.8	GL-610
428	6305	6365	0.00054	167.45	15.1	GL-610 (Tres Marías)
429	6306	6307	0.00382	127.69	62.3	GL-610
430	6307	6308	0.00191	137.11	35.9	GL-610
431	6308	6309	0.00348	137.11	65.4	GL-610
432	6309	6310	0.00124	137.11	23.3	GL-610
433	6310	6311	0.0032	13.2	-0.6	GL-610
434	6311	6312	894.21443	3.15	-8884.9	GL-610
435	6312	6313	0.00354	3.15	0	GL-610
436	6313	6314	0.0098	55.42	-30.1	GL-610
437	6315	6314	0.00789	65.21	33.6	al RB-9085
438	6316	6314	100	9.79	-9584	BP-409
439	6359	6316	0.03864	9.79	-3.7	BP-409
440	6318	6306	10	8.81	-775.4	al RB-223
441	6319	6304	0.00111	148.14	24.4	Llegada RP-380 al Nv-630
442	6326	6320	100	2.89	-836.3	al RB-777
443	6326	6321	0.00159	153.2	37.3	GL-792
444	6321	6363	0.00308	153.2	72.3	GL-792
445	6364	6323	0.00311	156.26	75.9	GL-792 (de RB-919 a RB-089)
446	6324	6323	0.00018	51.38	0.5	Ve al RB-919
447	6323	6325	0.00485	207.64	209.1	GL-792
448	6325	6327	0.00975	120.5	141.6	BP-228
449	6327	6328	0.00086	22.16	-0.4	XC-156
450	6328	6329	0.00253	22.16	-1.2	XC-156
451	6329	6330	0.00067	22.16	-0.3	GL-792
452	6331	6330	0.0009	11.28	0.1	XC-156
453	6332	6331	0.00131	0.75	0	XC-156
454	6333	6332	0.00679	50.33	17.2	XC-156
455	6334	6333	0.00385	5.37	-0.1	XC-156
456	6335	6334	0.00197	29.45	1.7	BP-598E
457	6336	6335	0.00101	29.45	0.9	al RB-770
458	6339	6338	0.00233	156.9	57.4	AC-9560
459	6340	6339	0.00465	156.9	114.5	BP-274E
460	6371	6340	0.00065	156.9	16	RP-425
461	6342	6341	0.00046	156.9	11.3	RP-425
462	6343	6342	0.00079	156.9	19.4	RP-425
463	6344	6343	0.00229	156.9	56.4	RP-425 (inicio)
464	6345	6344	0.00093	142.66	18.9	BP-228
465	6346	6345	0.00246	142.66	50.1	BP-228
466	6347	6333	0.11492	55.71	356.6	al pique PORVENIR
467	6327	6346	0.00179	142.66	36.4	BP-228
468	6350	6351	0.00095	152.87	22.2	BP-630
469	6351	6352	0.00052	152.87	12.2	BP-630
470	6352	6353	0.00152	152.87	35.5	BP-630
471	6353	6354	0.00106	152.87	24.8	BP-630
472	6354	6355	0.00059	152.87	13.8	XC-3
473	6355	6356	0.00064	152.87	15	XC-3
474	7301	7302	0.00177	231.54	94.9	GL-367
475	7302	7303	0.00216	231.54	115.8	GL-367
476	7303	7304	0.00475	231.54	254.6	GL-367
477	7304	7385	0.00067	78.52	4.1	GL-367
478	7305	7306	0.00251	149.72	56.3	GL-367
479	7306	7307	0.00293	149.72	65.7	GL-367
480	7307	7308	0.00223	-24.46	-1.3	GL-367
481	7308	7309	0.0005	24.46	-0.3	GL-367
482	7309	7310	0.0022	24.46	-1.3	GL-367
483	7310	7311	0.00111	24.46	-0.7	GL-367
484	7311	7312	0.00272	24.46	-1.6	GL-367

Fuente área ventilación

#### 4.4.4 Comparativo simulado con realizado

Para verificar el modelo creado con el programa, correlacionaremos los resultados de caudales obtenidos por este, con lo medido en mina, la correlación no debe ser mayor de 10%. Para considerar el modelo como aceptable, si es menor de 5% indicara que se tiene buena reciprocidad entre la ventilación de mina con el modelo creado por el Vnet, caso contrario se tendrá que volver a revisar toda la data ingresada al programa.

Para verificar la correlación del modelo básico utilizamos la siguiente ecuación.

$$\text{CORR} = \text{N} = \frac{(\text{Suma flujos medidos mina} - \text{Suma flujos obtenidos modelo})}{(\text{Total volúmenes medidos})} \times 100$$

La correlación en mención sirve para verificar los resultados obtenidos respecto al flujo más no en el sentido de los mismos, esto último puede ser verificado observando los planos en el esquemático, en nuestro caso se cumple al cien por ciento es decir el sentido de todos los flujos de mina son similares al obtenido con el programa, en el siguiente cuadro se muestra los resultados obtenidos en mina y modelo respectivamente para el cálculo de la correlación, como se puede observar en el cuadro mostrado el valor de la correlación es de 4.33%, valor que está dentro del rango permitido cuando se compara lo real con lo simulado, lo calculado da severidad al modelo creado por el programa, indica que los

datos ingresados y el programa pueden ser utilizados para simular circuitos futuros en mina.

CUADRO 10: FLUJO EN CAMPO Y SIMULADO

Nivel	Labor	Flujo en campo (cfm)	Flujo simulado (cfm)	Variación
340	GL990W	82800	82610	190
340	BP 365W	90200	86130	4070
340	Cx 9505	8200	4650	3550
340	BP 365E	97300	90780	6520
390	BP 206	169617	141840	27777
390	BP 282	102600	92210	10390
390	RP 218	58500	51450	7050
390	RP 843	8850	5070	3780
390	CX 080	185600	170590	15010
500	BP 578W	142300	139210	3090
500	BP 635E	22500	16920	5580
500	BP 469	85400	93330	-7930
500	BP 464E	5200	3460	1740
500	BOCAMINA, NV-500	11009	8450	2559
580	AC 942	188700	182440	6260
580	Cx 836	158300	162690	-4390
580	BP 805E	212500	204540	7960
580	BP 805W	28600	21680	6920
580	RP 300	191363	217670	-26307
580	RP 995	258513	200140	58373
630	Cx 590	224300	238370	-14070
630	GL 610W	42400	38240	4160
630	GL 610E	78600	82080	-3480
630	GL 792E	132600	141630	-9030
630	BP 228E	25400	18640	6760
630	Cx 156	48700	42090	6610
630	VE PQ-PORVENIR	45825	55610	-9785
630	RB 770(RELLENO)	53104	39750	13354
730	VE RB 256	115203	112970	2233
730	Cx 742	98500	115280	-16780
730	RP 090	186600	177240	9360
730	Cx 070	56300	50320	5980
730	GL 757E	46200	49100	-2900
730	RP 087	84500	81310	3190
730	BP 142E	5300	3720	1580
780	BP 011	67500	70750	-3250
780	BP 037	98300	109210	-10910
780	BP 690W	63500	58150	5350
780	BP 690E	56400	41390	15010
780	RP 691	57600	41390	16210
780	RP 9680	40300	49800	-9500

820	TUNEL VICTORIA	44662	41340	3322
820	BP 960	28600	30440	-1840
820	Cx 320	13800	10900	2900
820	Cx 810	82112	63200	18912
820	BP 051	74500	89980	-15480
820	Cx 420	110200	93560	16640
820	BP 035E	20859	9930	10929
820	Cx 622	78600	73670	4930
870	BP 870W	104500	100060	4440
870	RP 040(-)	90500	83500	7000
870	BP 8990	33600	28940	4660
870	Cx 9490	108500	123330	-14830
870	Cx 9560	89500	75050	14450
870	RP 400(-)	118500	121730	-3230
920	BP 920W	102500	91270	11230
920	VE7, BP920	100778	82970	17808
920	VE-RB 310	48330	55310	-6980
920	BP 920, Cx13 - Cx14	88936	106850	-17914
920	Cx-11, NV 920	110268	110900	-632
920	Cx-10, NV 920	35600	33050	2550
920	RP 400(-)	115600	90030	25570
1020	RP 040(+)	112400	106280	6120
1020	PIE RB 040	41078	38730	2348
1020	RP 400(+)	116500	90030	26470
1020	BP 615	36500	22690	13810
1020	BP 1020E	48600	55310	-6710
1020	Cx-811	108124	115110	-6986
1070	BP 1070W	104600	95940	8660
1070	BP 616	68500	80510	-12010
1070	BP 1070E	204600	193360	11240
1070	RP 400(+)	99600	97420	2180
TOTALES		6276131	6004290	271841
% CORRELACION		4.33%		

Fuente: área ventilación Mina San Cristóbal

#### 4.5.- INFLUENCIA DE LA VENTILACION NATURAL

El tiro natural en toda mina subterránea se debe a la diferencia del peso específico del aire entrante y saliente, esta diferencia de peso específico proviene de la diferencia de temperatura es decir el aire a mayor temperatura tiene menor peso específico y viceversa.

Ejemplo en invierno normalmente el aire de mina se mantiene más caliente que el de superficie ya sea por el propio calentamiento que sufre por efecto de la gradiente geotérmica (temperatura roca) más calor generado por los equipos de combustión, esto también se cumple en las noches y en el día puede invertirse el sentido del flujo, normalmente estas depresiones se dan en minas con relieves montañosos donde existe una diferencia marcada de altura entre la bocamina de ingreso y la de salida.

Debido al relieve montañoso de ubicación de la mina San Cristóbal, la gran cantidad de equipos de combustión, diferencia de niveles en más de 700 metros entre pie y cabeza de chimeneas principales hace que exista una diferencia de temperatura y por ende diferencia de peso específico entre aire entrante y saliente de mina lo cual genera movimiento de aire en forma natural es decir el aire caliente de interior mina es empujado por el aire frío que ingresa por las boca minas inferiores generando el movimiento del aire a las chimeneas y bocaminas de la parte alta de mina, esto sucede en la gran mayoría de casos es decir favorece a la ventilación



mecánica la cual también extrae aire viciado de las chimeneas principales las cuales están ubicadas en las partes altas de mina.

Los volúmenes de aire movidos por ventilación natural no sobrepasan los 35,000 cfm en cada chimenea principal de mina San Cristóbal, teóricamente los volúmenes y estática pueden ser calculados por las siguientes formulas

$$Q = ((5.2 * H_f * A^3) / (K P (L + L_e)))^{0.5}$$

Se puede observar que es necesario conocer la perdida de fricción  $H_f$  a la altitud de trabajo, la cual puede ser calculada en función de la densidad de superficie y Mina mediante la siguiente ecuación

$$H_f = L / 5.2 * (W_d - W_u) \dots\dots\dots(1)$$

$$W_d = (1.327 * B_2) / 460 + T_2 \dots\dots\dots(2)$$

$$W_u = (1.327 * B_1) / 460 + T_1 \dots\dots\dots(3)$$

$$H_f = L / 5.2 (( 1.327 * B_2 / 460 * T_2) - (1.327 * B_1 / 460 + T_1) ) \dots\dots\dots(4)$$

$W_d$  = es densidad promedio de parte baja de mina

$W_u$  = densidad promedio de puntos altos de mina

$L$  = desnivel entre parte baja y alta de mina en pies.

$B_2$  = Presión en pulgada de Hg en parte baja de mina

$B_1$  = Presión en pulgadas Hg parte alta de mina

$T_1, T_2$  Temperatura en grados Fahrenheit en ambas zonas de mina

### Ejemplo

Para dos puntos de mina se tuvo los siguientes datos

$$L = 2,000 \text{ ft}$$

$$B_1 = 17.57 \text{ Hg}$$

$$T_1 = 40 \text{ F}$$

$$B_2 = 18.29 \text{ Hg}$$

$$T_2 = 100 \text{ F}$$

Reemplazando en ecuación (4) se tendrá

$$H_f = 2000/5.2 \left( (1.327 \cdot 18.24)/560 - (1.327 \cdot 17.57)/500 \right)$$

$$H_f = 2000/5.2(0.0433 - 0.466)$$

$$H_f = 1.27'' \text{ w.a}$$

En la realidad en las mismas condiciones de temperatura muchas veces esta caída de presión no pasa de la pulgada, pero nos aproximamos en forma teórica lo cual ayuda como referencia.

## **CAPITULO V**

### **INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS**

#### **5.1.- EVALUACION RESPECTO CANTIDAD Y DIRECCION FLUJO**

En la presente evaluación evaluaremos los resultados respecto a los flujos y dirección de los mismos para lo cual analizaremos una parte del cuadro que se utilizó en la correlación incluyendo el sentido y dirección del flujo obtenido como el que se muestra en la siguiente tabla.

CUADRO 11: EVALUACION SENTIDO FLUJO

Nivel	Labor	Flujo en campo (cfm)	Flujo simulado (cfm)	Dirección de flujo
340	GL990W	82800	82610	Ambos mismo sentido
340	BP 365W	90200	86130	Ambos mismo sentido
340	Cx 9505	8200	4650	Ambos mismo sentido
340	BP 365E	97300	90780	Ambos mismo sentido
390	BP 206	169617	141840	Ambos mismo sentido
390	BP 282	102600	92210	Ambos mismo sentido
390	RP 218	58500	51450	Ambos mismo sentido
390	RP 843	8850	5070	Ambos mismo sentido
390	CX 080	185600	170590	Ambos mismo sentido
500	BP 578W	142300	139210	Ambos mismo sentido
500	BP 635E	22500	16920	Ambos mismo sentido
500	BP 469	85400	93330	Ambos mismo sentido
500	BP 464E	5200	3460	Ambos mismo sentido
500	BOCAMINA	11009	8450	Ambos mismo sentido
580	AC 942	188700	182440	Ambos mismo sentido
580	Cx 836	158300	162690	Ambos mismo sentido
580	BP 805E	212500	204540	Ambos mismo sentido
580	BP 805W	28600	21680	Ambos mismo sentido
580	RP 300	191363	217670	Ambos mismo sentido
580	RP 995	258513	200140	Ambos mismo sentido
630	Cx 590	224300	238370	Ambos mismo sentido
630	GL 610W	42400	38240	Ambos mismo sentido
630	GL 610E	78600	82080	Ambos mismo sentido
630	GL 792E	132600	141630	Ambos mismo sentido
630	BP 228E	25400	18640	Ambos mismo sentido
630	Cx 156	48700	42090	Ambos mismo sentido
630	VE PQUE	45825	55610	Ambos mismo sentido
630	RB 770	53104	39750	Ambos mismo sentido

Fuente: área ventilación Mina San Cristóbal

Observando la tabla anterior podemos concluir lo siguiente.

1.- La dirección de flujo en cinco niveles se cumple al 100% es decir programa da en forma exacta el sentido del mismo, lo que indica que cuando se ingresa todos los datos del sistema, programa realizara simulación y el sentido que resulte tendrá

mucha veracidad, lo cual servirá para saber sentido del aire en futuras labores.

2.- Respecto a la cantidad del flujo se tiene cierta variación pero que está dentro de los límites permisibles, la variación del flujo se debe más que todo a que las áreas de los ramales no es constante en toda su longitud, siendo mayor el error en los ramales más largos ya que se tiene la posibilidad de tener más áreas de diferente sección y solo se toma un área promedio.

## **5.2.- EVALUACION RESPECTO A DIAMETRO DE CHIMENEA**

Cuando se realiza la simulación con Vnet, esto nos permite realizar cambios en los diámetros de las chimeneas obteniéndose valores de resistencias para cada diámetro, Ayuda valiosa que nos permite decidir la mejor alternativa de construcción de la futura chimenea que se ejecutara; Para poder generar una tabla con las alternativas futuras se necesita tener actualizado el programa de computación los valores obtenidos deben ser comparados con los valores de campo, en nuestro caso los resultados de la simulación son muy parecidos a lo obtenido en campo, esto fue corroborado con la correlación obtenida en el capítulo IV cuyo valor es de 4.3% el cual está dentro de los valores permitidos, la siguiente tabla mostrara resultados de resistencia para diferentes diámetros de chimenea cuando esta trabaje con un ventilador primario de 100 Kcfm y luego con dos ventiladores de 110 Kcfm en paralelo de las mismas

características, cabe mencionar que los resultados que se obtendrán son en una chimenea que esta por ejecutarse y necesitamos conocer la mejor alternativa respecto al diámetro de la misma, chimenea en mención tiene como nombre RB 810 y tendrá longitud de 430 mts y se ejecutara desde superficie hasta el Nv.820.

**CUADRO 12: EVALUACION CHIMENEA CON VENTILADOR 110KCFM**

Diámetro (pies)	Resistencia (P.U)	Caudal (Kcfm)	Velocidad (Pies/min)	Observación
7	0.22652	117.79	3.061	Velocidad al limite
8	0.11698	122.83	2.443.8	Velocidad dentro limite
10	0.03820	126.35	1.608.7	Velocidad efectiva

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal

**CUADRO 13: EVALUACION CHIMENEA CON DOS VENTILADORES  
DE 110 KCFM**

Diámetro (pies)	Resistencia (P.U)	Caudal (Kcfm)	Velocidad (Pies/min)	Observación
7	0.22652	182.31	4737.8	Velocidad en exceso
8	0.11698	207.71	4132.7	Velocidad al limite
10	0.03820	230.08	2929.5	Velocidad efectiva

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal

Observando las tablas podemos concluir lo siguiente

- 1.- La resistencia es independiente del caudal que pase, cumpliéndose lo afirmado por Atkinsón en su famosa teoría de caída de presión en la cual menciona que  $DP = R \times Q^2$

DP: Caída de presión

R: Resistencia del conducto

Q: Caudal que pasa por conducto

- 2.- El caudal que pasa por un conducto es directamente proporcional al tamaño de la sección, en nuestro caso al diámetro de la chimenea, es decir a mayor sección se tiene mayor volumen de aire que pasa, lo cual también está relacionado con la velocidad del aire que pasa

por el conducto, es decir cuando se tiene velocidades de aire sobre los 3900 pies/min esto causa mayor caída de presión en el trabajo de los ventiladores, lo mencionado se nota más cuando en la cabeza de la chimenea se instala un ventilador como el del ejemplo

- 3.- Es más económico ejecutar chimeneas de mayor diámetro, esto nos puede permite trabajar en un futuro con dos ventiladores similares en paralelo, caso contrario se tendrá que ejecutar una chimenea adicional lo cual eleva los gastos de inversión y genera mucha pérdida de tiempo.

### **5.3.- EVALUACION RESPECTO A SELECCIÓN DE VENTILADORES**

El Vnet nos permite trabajar con las curvas de los ventiladores cuando estos son conocidos, en caso no se conozca la misma se puede trabajar con cantidades fijas valor que nos sirve de referencia, en la actualidad es fácil obtener información de las características técnicas de los ventiladores incluyendo sus curvas; Cuando se realiza la simulación el programa da resultados donde indica el caudal y presión de trabajo del ventilador, esta información es valiosa para realizar la selección del ventilador que se tendrá que utilizar el cual indudablemente será el más eficiente, esto permite generar ahorro de energía ya que si no se tiene una referencia se puede comprar un ventilador sobre dimensionado ó uno que no de el caudal que necesita la Mina, en los siguientes



gráficos se muestra dos curvas de ventiladores primarios de 110, 000 cfm los cuales trabajan a diferente abertura de ángulo de alabe(62° y 72°), se puede observar que a pesar de ser muy similares trabajan a diferente presión por efecto de la abertura de los alabes, la información de la curva de trabajo puede ser ingresada al Vnet trabajar con ella y realizar las simulaciones necesarias y obtener resultados como los que se muestra en tabla, con lo cual se tomara decisiones respecto a compra de los futuros ventiladores.

FIGURA 7: CURVA VENTILADOR 110 KCFM, ANGULO 62°

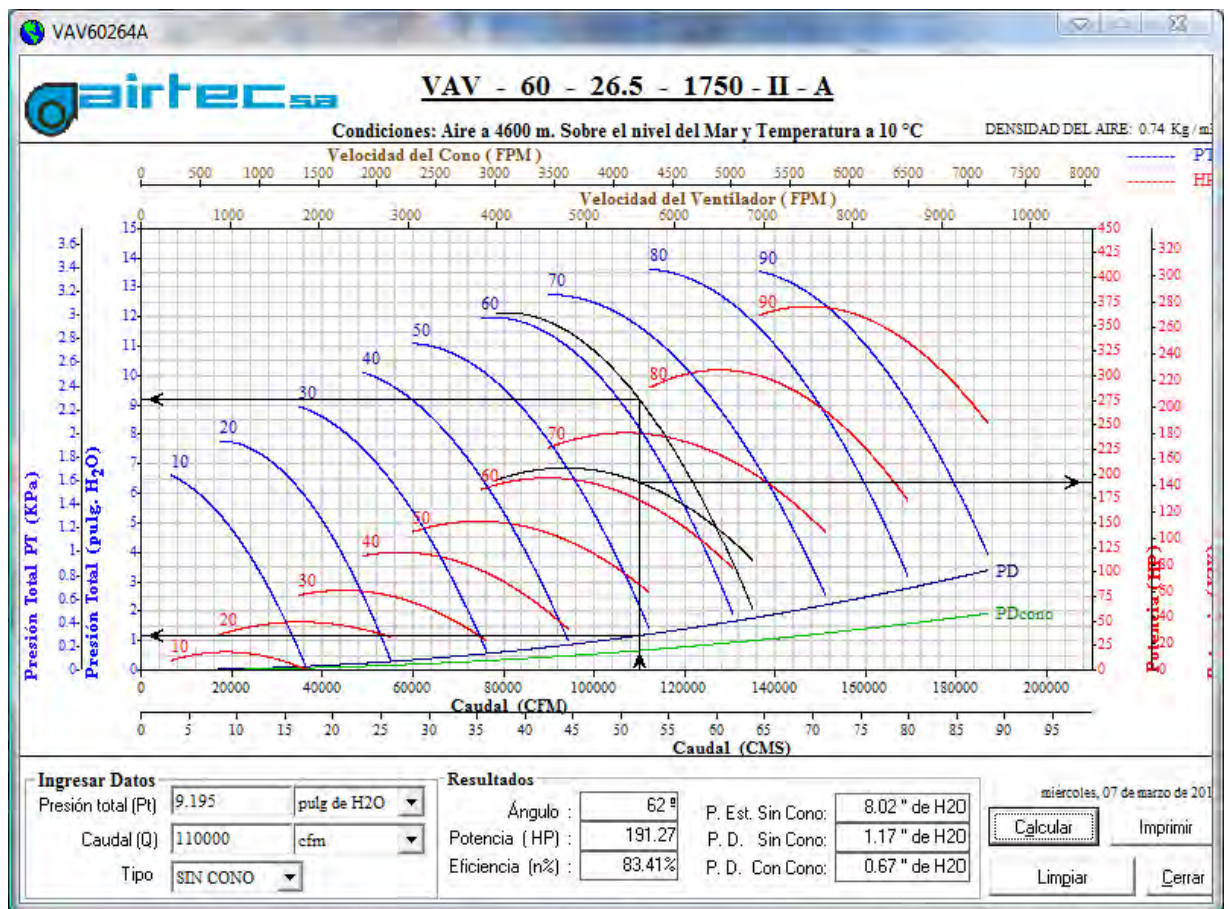
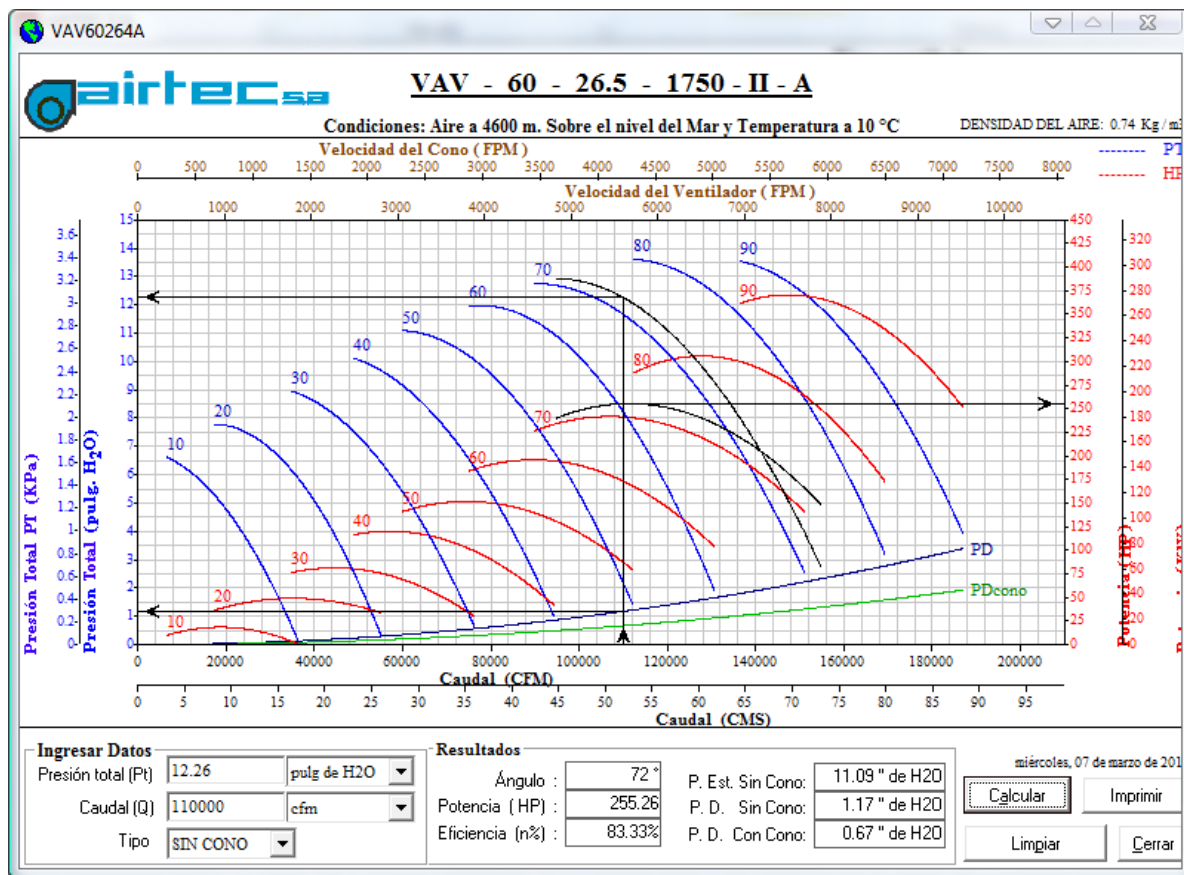


FIGURA 8: CURVA VENTILADOR 110 KCFM, ANGULO 72°



**CUADRO 14: CON VENTILADOR 110 KCFM, 62° ALABE**

Diámetro (pies)	Caída presión (m.in.wg)	Caudal (Kcfm)	Costo (\$/año)	Observación
7	5.46	117.79	45.248	Presión dentro limite
8	4.22	122.83	36.964	Presión dentro limite
10	3.20	126.35	29.112	Presión eficiente

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal

**CUADRO 15: CON VENTILADOR 110 KCFM, 72° ALABE**

Diámetro (pies)	Caída presión (m.in.wg)	Caudal (Kcfm)	Costo (\$/año)	Observación
7	5.67	142.795	51.391	Presión fuera limite
8	4.46	147.158	41.650	Presión al limite
10	3.49	150.928	33.355	Presión dentro limite

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal

Observando los cuadros podemos concluir lo siguiente

- 1.- A mayor sección de la chimenea de trabajo la caída de presión de los ventiladores es menor, esto influye en el consumo de energía de los mismos, consumo que es constante y puede ser hasta anti económico cuando en la misma chimenea se quiera colocar otro ventilador similar en paralelo.
- 2.- Con los resultados obtenidos podemos realizar una selección eficiente del ventilador que trabajara en mencionado punto, minimizando la incógnita respecto al trabajo que realizara el ventilador, es decir programa ayuda a prever todo lo que puede suceder con el circuito primario.
- 3.- En selección de ventilador primario Vnet PC nos da dato referencial respecto al ángulo de alabe más eficiente y económico al cual debe trabajar ventilador seleccionado, logrando evitar derroche en gasto de energía.

## **CAPITULO VI**

### **COSTOS DEL SISTEMA DE VENTILACION**

Los costos relacionados con ventilación podemos dividirlos en dos, costo operativo y costo de inversión; Entre los principales gastos que se cargan al costo de operación podemos mencionar el de consumo de energía, mantenimiento de ventiladores, mantenimiento de infraestructura auxiliar (Instalación y reemplazo mangas), ejecución de casetas para instalación de ventiladores primarios y secundarios etc. En lo que se refiere a los gastos de inversión estos podemos resumirlos en dos principales, gasto en ejecución de infraestructura (chimeneas), gasto en compra de ventiladores primarios y secundarios, gasto en equipos de monitoreo y control etc.

#### **6.1.-ENERGIA CONSUMIDA**

La energía consumida por ventilación se considera para lo que es:

1. **Ventilación primaria**, consumo de ventiladores principales estos son los generadores del circuito primario y se mantienen prendidos

las 24 horas excepto el día que les toca su mantenimiento preventivo; El mayor consumo de energía por ventilación se realiza en el mantener los ventiladores primarios prendidos ya que estos son los de mayor potencia y están prácticamente prendidos todo el día, el mantenerlos prendidos es una necesidad operativa ya que si estos se apagan se tendrá que paralizar los trabajos de Mina, debemos mencionar que en Minas modernas los ventiladores primarios están siendo automatizados, esto hace que sigan prendidos pero ha menor frecuencia de rotación por consiguiente se genera un alto grado de ahorro de energía, esto normalmente se realiza en los cambios de guardia, es decir se utiliza la energía que se necesita.

2. **Ventilación auxiliar y secundaria** , referida al consumo de energía en circuitos secundarios y auxiliares (ventiladores secundarios y auxiliares) estos se mantienen prendidos según necesidad de operación normalmente trabajan en labores de preparación y desarrollo y son prendidos por el personal que trabaja en las labores antes mencionadas, mencionados equipos son muy necesarios ya que toda labor que está en desarrollo ó exploración normalmente es labor ciega; La potencia de estos equipos está en el rango de 30 a 120 HP y son instalados sobre plataformas ó suspendidos en alcayatas utilizando cables de acero.

En los cuadros siguientes podemos ver los KW-HRS de consumo de energía en ventilación principal, auxiliar y secundaria

### CUADRO 16: ENERGIA CONSUMIDA POR VENTILACION PRINCIPAL Y SECUNDARIA

MINA	SC
CONDICION	OPERATIVO
NIVEL	(Todas)

Suma de KW-HORA(MES)					
CODIGO	EMPRESA	MARCA	UBICACIÓN	FUNCION	Total
0014-YA	VOLCAN	AIRTEC	CABEZA RB-742(SUPERFICIE)	Principal	28645.14
0015-YA	VOLCAN	AIRTEC	CHUMPE,RB 999,SUPERFICIE	Principal	85507.88
0023-YA	VOLCAN	BUFALO	BP 1020,FRENTE A XC 12	Secundario	38867.22
0033-YA	VOLCAN	AIRTEC	Polvorin, RB 616 Superficie	Principal	94058.67
0035-YA	VOLCAN	JOY	RP 572,RB 613,LIDIA	Principal	81232.49
0037-YA	VOLCAN	AIRTEC	RB-290-Boca Mina-340 Superficie	Principal	53442.43
0041-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP 920,XC 10,RB 642	Secundario	30316.43
0052-YA	VOLCAN	JOY	BP 826	Principal	64130.91
0067-YA	VOLCAN	HOWDEN	RB 256,TRES MARIAS Superficie	Principal	94058.67
0076-YA	VOLCAN	HOWDEN	RP 843,FRENTE A ACC 6	Secundario	38478.55
0077-YA	VOLCAN	HOWDEN	Extractor taller NV820	Secundario	39255.89
0078-YA	VOLCAN	AIRTEC	WINCE,CA 431,,LIDIA	Secundario	85507.88
0095-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP 9615,RB 630	Secundario	51693.40
0104-YA	VOLCAN	ALPHAIR	CAMARA DE VENTILACION NV580	Principal	143420.04
0106-YA	VOLCAN	AIRTEC	GL-610-NV630	Secundario	58300.83
0109-YA	VOLCAN	GIOTTO	RP 590,BP 2	Secundario	12826.18
0124-YA	VOLCAN	ALPHAIR	CAMARA DE VENTILACION NV730	Principal	318711.20
0127-YA	VOLCAN	HOWDEN	BP 365,RP 218	Principal	29072.68
SMG-06	SEMIGLO	AIRTEC	RP 671	Secundario	11271.49
Total general					1358798.02

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal

**CUADRO17: ENERGIA CONSUMIDA POR VENTILACION AUXILIAR**

MINA	SC
CONDICION	OPERATIVO
NIVEL	(Todas)

Suma de KW-HORA(MES)					
CODIGO	EMPRESA	MARCA	UBICACIÓN	FUNCION	Total
0001-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 590,BP 4	Auxiliar	30782.84
0004-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 930,ACC 980	Auxiliar	10260.95
0038-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP 636	Auxiliar	7695.71
0058-YA	VOLCAN	AIRTEC	ACC 638,RP 010,LIDIA	Auxiliar	21687.91
0061-YA	VOLCAN	HOWDEN	RP 400,BP 3.	Auxiliar	19278.14
0062-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP 206,VE-11	Auxiliar	5700.53
0063-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 223,LIDIA	Auxiliar	34980.50
0065-YA	VOLCAN	JOY	RP 010,DIANA,LIDIA	Auxiliar	52859.42
0066-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 459,LIDIA	Auxiliar	41976.60
0071-YA	VOLCAN	HOWDEN	RP-400	Auxiliar	21338.10
0072-YA	VOLCAN	HOWDEN	RP590,ACC 604	Auxiliar	15546.89
0075-YA	VOLCAN	AIRTEC	SN 278,LIDIA	Auxiliar	18967.20
0079-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 830,ACC 820,LIDIA	Auxiliar	24253.15
0084-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP 630,XC-3	Auxiliar	11193.76
0085-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 218 , NV 340	Auxiliar	10882.82
0086-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 843,GL 254 Y 254	Auxiliar	10571.88
0087-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP635,ACC 6	Auxiliar	9950.01
0090-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP 690.LUCHO ROJAS	Auxiliar	13292.59
0092-YA	VOLCAN	AIRTEC	ACC 569	Auxiliar	11543.56
0094-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 843,Nv 390	Auxiliar	9794.54
0096-YA	VOLCAN	AIRTEC	BP 630,XC-7	Auxiliar	11504.70
0097-YA	VOLCAN	HOWDEN	CUERPO,RP 742	Auxiliar	12955.74
0100-YA	VOLCAN	AIRTEC	SN 104,AC 820(LIDIA)	Auxiliar	12243.17
0102-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 590,ACC 557	Auxiliar	11193.76
0108-YA	VOLCAN	AIRTEC	ACC 348(LIDIA)	Auxiliar	10571.88
0110-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 589,ACC 667	Auxiliar	10260.95
0112-YA	VOLCAN	AIRTEC	GL 826,(LIDIA)	Auxiliar	6996.10
0118-YA	VOLCAN	AIRTEC	GL 430,LIDIA	Auxiliar	11893.37
0128-YA	VOLCAN	AIRTEC	RP 218,ACC 4	Auxiliar	10260.95
SMG-04	SEMIGLO	AIRTEC	RP 671	Auxiliar	11543.56
SMG-05	SEMIGLO	AIRTEC	XC 17	Auxiliar	11543.56
TUN-02	TUNELEROS	AIRTEC	ACC 829,SN 630	Auxiliar	10144.34
TUN-03	TUNELEROS	SIVA	ACC 829,SN 630	Auxiliar	8045.51
TUN-04	TUNELEROS	AIRTEC	BP 690.LUCHO ROJAS	Auxiliar	11543.56
TUN-05	TUNELEROS	AIRTEC	BP 690,RP 803	Auxiliar	9794.54
TUN-06	TUNELEROS	AIRTEC	RP 400,BP 2	Auxiliar	73459.05
0136-YA	VOLCAN	HOWDEN	SN 457,LIDIA	Auxiliar	19589.08
Total general					636100.92

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal



Según observado en los cuadros podemos resumir que el consumo mensual de energía por ventilación es: 1, 994,898 Kw-HR, esto está referido al consumo total por ventilación primaria y secundaria.

## **6.2 COSTO DE INVERSION**

El costo de inversión que se realiza en toda Mina está referido al gasto realizado en la compra de maquinaria ó ejecución de infraestructura minera que servirá por meses ó años al circuito primario de ventilación; Para el caso de Mina San Cristóbal las inversiones realizadas son las siguientes:

- Estructura (chimeneas , cámaras para ventiladores)
- Compra de ventiladores (Principales, auxiliares)

En los siguientes cuadros se puede ver el presupuesto de inversión que se realiza en infraestructura y compra de ventiladores en Mina San Cristóbal, debe mencionarse que los gastos mostrados son muy similares en estos últimos años, esto debido a que se viene cubriendo en forma constante más reserva de mineral en nuevas zonas es decir la Mina sigue creciendo en forma vertical y horizontal.

CUADRO 18: PRESUPUESTO CHIMENEAS CON EQUIPO RB

PROYECTO	UBICACIÓN	CONCESIÓN	DIAMETRO	LONGITUD	P.U US\$	Costo RB \$
				(metros)		
RB 810	Superficie - Nv.820	SC-28	10	212	1220	258640
RB 622	Nv.630 - Nv.780	SC-24	6	180	670	120600
RB 206	Nv.630 - Nv.780	SC-24	8	160	870	139200
RB 742	Nv.870-Nv.1020	SC-28	10	192	1220	234240
RB 999	Nv.780-Nv 920	SC-24	12	160	1670	267200
RB 672	Nv.820-Nv1020	SC-24	10	210	1220	256200
RB 620	Nv.920-Nv 1070	SC-28	10	160	1220	195200
RB 778	Nv.1070-Nv.1120	SC-24	12	60	1670	100200
RB 060	Nv.780 - Nv.920	SC-24	8	165	870	143550
RB 617	Nv.1020-Nv.1070	SC-24	10	60	1220	73200
RB771	Superficie - Nv.630	SC-24	10	160	1220	195200
<b>Total</b>				<b>1.719</b>		<b>1.983.430</b>

Fuente: Área ventilación Mina San Cristóbal

CUADRO 19: PRESUPUESTO INVERSION COMPRA VENTILADORES

EQUIPO	CAUDAL (CFM)	POTENCIA (HP)	PRESION TOTAL (w.a)	P.U \$	CANTIDAD	INVERSION \$
Ventilador	30 Kcfm	49	7.65	9765	6	58590
Ventilador	150 Kcfm	300	12	150000	2	300000
						358.590

De los gráficos podemos concluir que se tiene un gasto total de inversión de \$2, 342,020 dólares, dinero en mención normalmente es financiado por los bancos lo cual debe ser amortizado en forma anual, para el caso en mención se considerara los siguientes parámetros de financiación:

- C = Capital de inversión
- i = interés anual
- t = N° años de financiamiento
- Aan = amortización anual

$$Aan = C * i * (1+i)^t / ((1+i)^t - 1)$$

Para nuestro caso

- $C = \$ 2,342,020$
- $i = 12 \%$
- $t = 6$  años
- $A_{an} = 569,640$

La amortización anual será la suma de \$ 569,640 si consideramos una producción anual de 1,603,250 toneladas de mineral tendremos lo siguiente

Costo inversión

**C.I = 0.36 \$/tn**

### 6.3 COSTO DE OPERACIÓN

Los costos de operación relacionados con ventilación son los siguientes

- Costo por consumo de energía de ventiladores.
- Costo por consumo de materiales (Mangas y accesorios para ventilación).
- Costo de mantenimiento preventivo y de reparación de ventiladores.
- Costo de personal que realiza el mantenimiento de ventiladores, circuitos principales y secundarios.
- Costo de personal supervisor.

**CUADRO 20: COSTO OPERATIVO**

GASTO POR	UNIDAD	CONSUMO MENSUAL	P.U \$	SUB TOTAL \$
Energía	Kw-hr	1994898	0.065	129668.37
Manga 18"	mts	150	1.2	180
Manga 24"	mts	250	1.6	400
Manga 30"	mts	300	3	900
Manga 36"	mts	300	3	900
Rodajes 18	und	5	40	200
Rodajes 24	und	5	45	225
Rodajes 30	und	5	60	300
Rodajes 36	und	5	70	350
Alambre #8	Kg	150	6	900
Alambre #16	Kg	150	5	750
alambre cobre	Kg	5	80	400
Solvente	Gln	2	40	80
Otros	Glb			150
Personal obrero	Glb			23142
Personal supervisor	Glb			11500
			Total	170,045.37

**6.4 COSTO TOTAL**

Considerando una producción promedio de 133,604 tn/mes la cual al año hace un total de 1, 603,250 tn, nuestro costo operativo por ventilación es:

$$Co = 1.27 \text{ \$/tn}$$

El costo total será

$$CT = Ci + Co$$

$$CT = 1.63 \text{ \$/tn}$$

## **CONCLUSIONES**

Luego de realizar el comparativo de los resultados obtenidos con el programa de simulación Vnet y lo obtenido en campo podemos concluir en lo siguiente:

1. Programa de computación sirve para crear modelos de sistemas de ventilación los cuales pueden ser empleados en cualquier Mina, independientemente de dimensión, método de explotación y característica de macizo rocoso de la misma
2. Conociendo modelo actual, programa puede predecir circuitos futuros, prediciendo flujos, sus sentidos, resistencias, caídas de presión y demás parámetros necesarios que se requieren para planificar infraestructura de ventilación futura, esto ayuda a agilizar y evitar gastos innecesarios en el desarrollo de Mina.

3. Se puede generar esquemas verticales y tridimensionales de los nuevos flujos del circuito de ventilación.
4. Programa puede determinar los puntos de operación de los ventiladores verificando nuevas alternativas económicas con otros ventiladores, es decir ayuda a seleccionar el ventilador que trabajara más eficientemente.
5. Programa calcula las caídas de presión de los ventiladores en circuitos nuevos y futuros indicando alternativas de mejora para los mismos, esto evita que se haga trabajar a los ventiladores en forma forzada evitando daños prematuros en los mismos.
6. Programa puede determinar alternativa para diámetro económico de chimeneas a ejecutarse, el cálculo del mismo es rápido solo se necesita conocer los parámetros físicos de la infraestructura a ejecutar, como se mencionó anteriormente el dato relevante para el mismo es el conocimiento de la reserva mineral y dimensión de equipos a utilizar.
7. Vnet es un programa compatible con muchos programas de diseño de Mina lo cual hace que se pueda agilizar el trabajo de diseño de infraestructura del circuito de ventilación, esto permite trabajar con datos reales y obtener resultados representativos.
8. Con esta herramienta se puede evitar derroches en gastos de construcción de chimeneas, ya que algunas veces estas chimeneas no sirven mucho para el circuito principal de ventilación ya sea por estar mal ubicadas ó generar cortocircuitos en la red

principal, esto se pudo verificar en todos los circuitos simulados en mina San Cristóbal donde la dirección de los flujos simulados son similares a la dirección de los flujos que se tienen en Mina es decir se cumplen al 100%.

9. Con solo evitar la ejecución de una chimenea mal ubicada este programa estará pagado ya que el costo de adquisición es mucho muy barato en comparación con la ejecución de una chimenea las cuales bordean los \$ 50,000 dólares americanos y el programa no pasa de los \$ 3,000, el costo de inversión es barato.

## **RECOMENDACIONES**

Para tener buenos resultados cuando se utiliza el programa se recomienda lo siguiente:

1. Al alimentar el programa con los datos físicos de mina, estos deben ser lo más exacto posible, de igual forma deben ser alimentados todos los ramales especialmente las chimeneas, para que programa nos dé un modelo patrón con valores reales.
2. Programa trabaja con circuitos cerrados es decir los ramales tienen que estar interconectados, los ramales abiertos no son considerados en la simulación y son reportados como error.
3. Personal que ingrese datos al programa tiene que conocer al detalle la mina para que pueda ingresar en forma precisa la data, en caso contrario los resultados obtenidos pueden diferenciarse mucho de la realidad, una chimenea ó una labor mal ingresada puede ocasionar errores en la simulación.



4. Para que se diseñe un eficiente sistema de ventilación el ingeniero de ventilación tiene que coordinar constantemente con las áreas de geología y planeamiento, para tener conocimiento de las nuevas zonas con mineralización, desarrollo y preparación de las mismas para integrarlas al circuito de ventilación, el programa por sí solo no modelara un sistema eficiente se necesita de la lógica y conocimiento del ingeniero, el programa da velocidad en los cálculos y diseño del sistema de ventilación simulando los circuitos que por lógica del ingeniero se necesita.
5. La forma más rápida y precisa para ingresar la data al programa es mediante la importación de un gráfico DXF, el cual puede ser creado en un programa de diseño de mina como AutoCAD, esto ayuda mucho ya que gráficos van hacer muy similares y cuando se ingresa data uno puede estar observando los cambios que se están ejecutando.
6. Luego de realizar la simulación del sistema de ventilación con el programa, se debe realizar los ajustes respectivos tomando como referencia la data de Mina, para realización de lo mencionado se debe tener un conocimiento exacto de todas las labores de Mina, para evitar equivocaciones ajuste realizarlo cuando se está en la ventana esquema.
7. Para el ingreso de data evitar ingresar la data referida a labores secundarias ó auxiliares, puede generar equivocaciones estas labores muchas veces son labores ciegas, no sirven para generar

circuito primario, priorizar en forma exacta el ingreso de data de labores primarias (BY PASS, GALERIAS PRINCIPALES, RAMPAS, CHIMENEAS, ETC).

## CITAS

- De acuerdo a Felipe Calizaya (2011), los sistemas aspirantes son más eficientes y controlables que los sistemas insuflantes.
- La utilización de ventiladores axiales es más beneficioso que los ventiladores centrífugos en los circuitos primarios (Felipe Calizaya, 2011).
- La caída de presión será menor en aquellos conductos que sean amplios y tengan menor rugosidad ( Harold Berry, 1963)
- Los diámetros económicos de chimeneas primarias deben dimensionarse en función a la reserva y equipos a emplear (Pablo Jiménez, 2011).
- El mejor sistema de ventilación, es aquel que abastece a todas las labores de Mina con el aire necesario al menor costo (Pablo, Jiménez, 2011).
- Para optimizar el sistema primario de ventilación, se debe disminuir la pérdida de presión en todas las labores principales, empleando diferentes métodos, esto para reducir presión trabajo de ventiladores (Alejandro Novizki, 1961).
- La optimización del sistema primario de ventilación se logra empleando un buen método de explotación y aplicando el circuito de ventilación que más se acomode a este método (Keith Wallace, 2001).
- Para el diseño de los circuitos primarios de ventilación se debe tener conocimiento global del yacimiento (Keith Wallace, 2001).

## Glosario

- Chumpe: Quebrada en parte alta de Mina San Cristóbal.
- Crinoideo: Fósil que abundo durante el paleozoico.
- ECM: Empresa contratista minera.
- Huron: Equipo transporte de mezcla para Schocrete.
- Manba: Equipo lanzador de mezcla para Schocrete.
- Malla: es la sucesión de ramales ó diversas labores de mina (Galerías, chimeneas, cortadas, rampas, etc.) las cuales están interconectas y forman un circuito que indica volúmenes, estáticas, sentido avance del flujo puertas, reguladores, ventiladores.
- Nudo: es la intersección de dos ó más ramales en el cual llega y sale aire, el nudo está determinado espacialmente por las coordenadas (X, Y, Z) obtenidas de los planos lo cual da veracidad que se está trabajando en posiciones reales.
- Ramal. Nombre que se da a cada labor de Mina por donde circula aire en un sentido determinado y está limitado por intersecciones en ambos extremos llamados nudos, los datos físicos mencionados deben ser introducidos para cada ramal.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. AIRTEC, 2011 Manual de ventiladores axiales
2. FELIPE CALIZAYA ,2011 Consultor intercade, diseño de sistemas primarios de ventilación
3. HAROL BERRY,1963 Flow and Fan Principles of Moving in Though ducts
4. PABLO JIMENEZ, 2011 Consultor de ventilación y seguridad industrial Ventilación de Minas subterráneas túneles.
5. WILLIAM MOUNT Principios básicos ventilación subterránea
6. ALEJANDRO NOVITZKY, 1962 Ventilación de minas
7. KEITH WALLACE, 2001 Planeamiento de ventilación avanzada para minas y túneles.

## ANEXO

### **Aplicación del VNET PC 2003**

#### **VnetPC: Aplicaciones y usos**

VnetPC puede simular redes de ventilación ya existentes incluyendo puntos de operación de los ventiladores, cantidades de flujo de aire y diferencias de presión por fricción muy similares a los del sistema real. Esto se logra usando datos de estudios de ventilación e información basada en las dimensiones y características de vías de aire conocidas. También se puede diseñar instalaciones subterráneas propuestas usando VnetPc.

Las simulaciones se realizan usando datos físicos que se obtienen de los planos y parámetros de diseño documentados, con los que se determinan las resistencias estimadas de las vías de aire en la red.

Se puede determinar el rango de cargas de ventiladores necesarios, los flujos de aire, diferencias de presión, costos de operación y ubicación de los controles de ventilación para toda la vida del proyecto realizando ejercicios de tiempo-etapa. Las opciones con las que cuenta VnetPC permiten la visualización y manipulación de redes en tercera dimensión, preparar listas y archivos y trazar los datos alimentados o los resultados.

#### **Teoría en la que se basa VnetPC**

El programa VnetPC se ha desarrollado con base en las suposiciones de flujo incomprensible y las Leyes de Kirchhoff. El código utiliza una forma acelerada de la técnica de repetición de Hardy Cross para llegar a una solución.

#### **Lista de las principales características del Programa.**

- Esquemático de la red en tercera dimensión, interactivo y a color
- Sistemas de coordenadas mejorado, expansible

- Alimentación y presentación de datos en vista esquemático o tabular
- Codificación de los ramales en colores según tipo de vía de aire (definido por el usuario)
- Importación de archivos DXF de CAD y programas de planeación de minas
- Capacidad de ordenar ventiladores en paralelo o en serie.
- Sistema métrico y sistema inglés con completa conversión de datos.
- Asignación automática de ramales de superficie para cerrar redes en nódulos de superficie
- Sección de apuntes para anotar la descripción de una simulación
- Capacidad de agregar notas en todas las vistas - permite texto en ángulo
- Cálculo automático de la longitud del ramal con los valores de las coordenadas
- Herramienta para calcular el tamaño del orificio regulador
- Aplicación pura de 32 bits para más rápida ejecución
- El límite del tamaño de la Red es de 5,000 ramales con 600 ventiladores
- Extensas herramientas de Ayuda y Tutoriales
- Completo soporte en línea [www.mvsengineering.com](http://www.mvsengineering.com)
- Impresión directa de graficas y trazado multicolor
- Exportación de archivos DXF a CAD y a programas de planeación de minas - atributo exportado específicamente elegido
- Capacidad de alimentar cuatro diferentes tipos de datos para la resistencia del ramal.
- Análisis de distribución de contaminantes en estado constante
- Herramienta de Cantidad fija
- Codificación de Tamales en color para rango de parámetros (flujo de aire, presión, etc.)

- Herramientas cortar/copiar/pegar para intercambio con otras aplicaciones Windows
- Drives de frecuencia variable - ajustes de curva de ventilador para densidad y frecuencia (RPM)
- Edición de Tamales en múltiples vistas
- Computadora compatible con IBM con Windows 95, 98, 2000, NT, XP o Vista
- Procesador clase Pentium o superior
- 16 MB de Memoria RAM
- 50 MB de espacio en disco duro para programa VnetPC (adicional para Adobe Acrobat Reader™)
- Pantalla VGA

### **Preparación y alimentación de datos**

VnetPC está estructurado de manera tal que el usuario pueda pasar de una vista, o ventana a otra, en donde se encuentran los datos alimentados ó los resultados. Se usa un solo archivo para alimentar los datos de la red, coordenadas del esquemático y datos de contaminantes. Se usa un archivo por separado para guardar múltiples curvas de ventilador. Dentro del programa VnetPC se puede crear, importar, editar o ver las curvas de ventilador. El programa VnetPC consta de nueve pantallas para la alimentación y visualización de los datos del programa. Las diferentes pantallas aparecen en una lista en la Barra de Menú bajo el Menú "Vaya". Las vistas son:

- Información del modelo
- Alimentación de ramal
- Resultados de ramal
- Cantidades fijas
- Alimentación de datos de ventilador
- Resultados de ventilador
- Datos de cruces
- Esquemático
- Contaminantes



Esta sección proporciona detalles sobre el contenido y forma de los datos que se tienen que alimentar al programa VnetPc. Los requisitos de datos se presentan en seis categorías:

1. Red de ventilación (pagina 8)
2. Datos descriptivos (pagina 10)
3. Datos de ramal (pagina )
4. Datos de ventilador (pagina 27)
5. Herramienta de cantidad fija (pagina 32)
6. Datos de distribución de contaminantes (pagina 33)

### **Red de ventilación (Esquemático)**

Una red de ventilación es una representación gráfica de un sistema de ventilación y consiste en un conjunto de cruces y líneas interconectadas (ramales) que representan las rutas de flujo de aire principal o importante. Las siguientes secciones describen los requisitos para el esquemático.

### **Circuito cerrado**

El esquemático de la red debe formar un circuito cerrado de ramales interconectados. Cada ramal debe representar una sola vía de aire, un grupo de vías de aire o trayectorias de fuga. VnetPC cierra automáticamente los ramales conectados a la superficie, cuando el usuario especifica que son ramales de "Toma de superficie" o "Salida a superficie". Hay opciones para seleccionar el estado de superficie de los diferentes ramales de la red tanto en la vista Esquemático como en la vista Alimentación de ramal.

### **Números de cruce**

Se debe asignar un número a cada cruce en el esquemático. Los números aceptados son números positivos del 1 al 9999. Con VnetPC se pueden ver e imprimir los ramales interconectados a cualquier rango especificado de números de cruce. VnetPC automáticamente asignará

números de cruce a los nuevos ramales dibujados en la vista Esquemático 0 a los datos importados de un archivo DXF.

### **Trazado del esquemático**

Se pueden usar tres diferentes técnicas para alimentar un esquemático a VnetPC

1. Dibujar el esquemático en un programa CAD o de planeación de minas (establecido como una capa Única, tal vez llamado VnetPC) e importarlo a VnetPc. Este método es el que por lo general se usa cuando el usuario quiere superponer la red de ventilación sobre el plano de una mina (dentro de un programa CAD).
2. Trazar directamente la red en la pantalla usando el mouse de la computadora (aceptable para redes pequeñas).
3. Introducir numéricamente los datos de las coordenadas en forma tabular, o copiar los datos de las coordenadas de una hoja de cálculo y pegarlos en la vista Datos de cruces.

Nota: Escala y compensación de coordenadas durante importación de DXF

VnetPC acepta coordenadas reales, y por lo general importa las coordenadas exactas de los programas CAD. La única excepción es cuando el programa tiene que aplicar una compensación a los datos importados y/o escala de la red debido a que el rango de coordenadas es demasiado grande para las vistas de VnetPc. Cualquier escala o compensación se indica al usuario durante el proceso de importación. Para importar múltiples capas o archivos DXF a la misma red, la información inicial de compensación y escala (usada para la primera capa) se aplicara automáticamente a todas las capas subsecuentes.

### **Ramales paralelos**

Los usuarios que tienen experiencia con versiones anteriores de VnetPC han indicado que se puede presentar cierta confusión si se alimentan dos o más ramales con idénticos números de cruce De y A. VnetPC verifica que no exista esta condición al alimentar los datos y no permite ramales duplicados. Sin embargo, el usuario puede de hecho conectar dos cruces con ramales paralelos ya sea poniendo los números de cruce al revés o insertando nódulos intermedios.

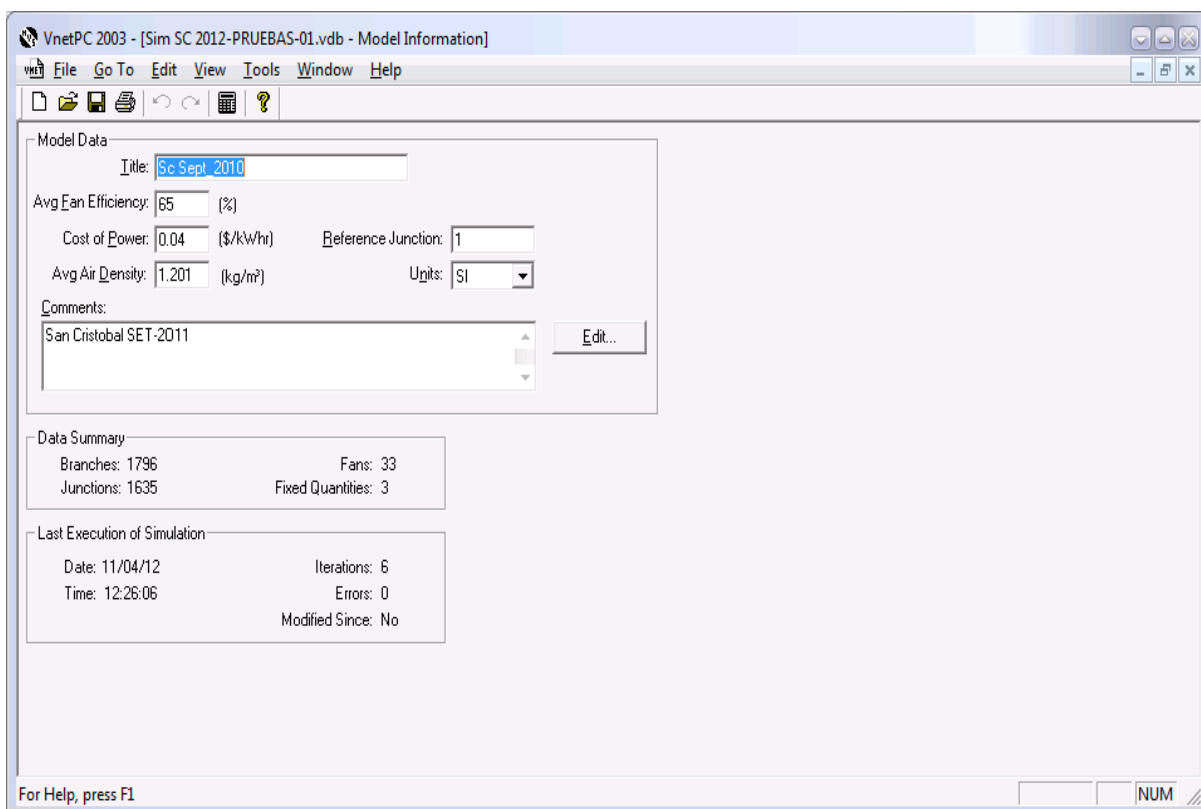
Nota: Herramienta de ramal paralelo

Se cuenta con una nueva herramienta que permite al usuario ajustar rápidamente la resistencia de un ramal de acuerdo con la teoría de red paralela. Se puede tener acceso a esta herramienta en la vista Alimentación de ramal (columna) y en la vista Esquemático (cuadro de dialogo de Datos de ramal). El usuario puede introducir un número, siendo 1 el predeterminado. Si el usuario selecciona un 2, entonces el código ajustará la resistencia del ramal alimentando al doble del número de vías de aire representadas por el ramal. Si el usuario tecleara 0.5, entonces la resistencia se ajustaría para proporcionar la mitad del número de vías de aire representadas en el ramal. Si el usuario teclea 1, entonces la resistencia vuelve al valor original. Durante un estudio de ventilación las resistencias se determinan para entradas paralelas y se alimentan directamente al modelo. Aunque solo se modele un ramal de hecho representara dos (en ocasiones tres) galerías paralelas. Se debe tener cuidado de identificar con exactitud cuántas galerías se incorporan al valor de resistencia original.

### **Datos descriptivos**

Los datos descriptivos consisten en la información, tanto requerida como opcional, usada como documentación y para iniciar el programa. La información descriptiva se modifica en la vista Información del modelo. La

vista Información del modelo permite que los datos se alimenten directamente en celdas. La siguiente Figura muestra la vista Información del modelo.



Las siguientes subsecciones describen como se alimentan los datos y el formato necesario para la vista Información del modelo.

### Nombre del Archivo

Se debe asignar un nombre al archivo al guardarlo la primera vez, o al usar el comando "Guardar como" en el Menú Archivo. Cuando se guarda un archivo, el programa automáticamente establece la extensión .vdb. VnetPC acepta nombres largos para los archivos.

### **Herramientas de unidades y conversión**

VnetPC puede funcionar con unidades del sistema métrico o del sistema inglés. El usuario debe especificar desde el inicio un tipo de unidad para la ingeniería; sin embargo, si el usuario decide cambiar de tipo de unidad, se cuenta con una herramienta de conversión automática. Esta herramienta de conversión está en el menú Herramientas en cualquier vista. La herramienta de conversión convierte todos los datos alimentados, incluyendo las curvas de ventilador.

Es importante que el usuario ejecute el programa después de la conversión de unidades. En casos raros, durante la conversión, uno o más de los valores de los datos puede quedar fuera de rango, y el programa tomará los valores. Sin embargo, esto sólo sucederá si la red original contiene parámetros alimentados extremadamente altos y de cualquier manera los valores truncados tendrán el largo suficiente para que la exactitud de la red no se vea afectada.

### **Costo de energía.**

El usuario debe alimentar el costo de energía eléctrica para determinar el costo de operación de los ventiladores del sistema. Los costos de energía se proporcionan en unidades/kWH, para lo cual la unidad puede ser cualquier moneda.

### **Densidad de aire y calcular tamaño de regulador**

El usuario tiene que alimentar una densidad de aire promedio bajo tierra. Este valor se necesita para calcular el área del orificio para cualquier regulador que aparezca en la lista de la vista Cantidad fija. El parámetro de densidad de aire no se usa en ninguna otra parte del programa.

### **Libreta de apuntes (Comentarios)**

Hay un amplio campo de texto para anotar la descripción detallada del archivo en particular. La información puede incluir un título, resumen de

resultados y los detalles específicos relacionados con ese modelo. Esta Libreta de apuntes se puede ver en la vista Información del modelo. Se puede teclear el texto directamente en la ventana reducida, o agrandar la Libreta de apuntes presionando la tecla Editar.

## Datos de ramal

### Formato de datos del ramal

VnetPC reconoce cuatro formatos de datos de ramal. Se puede tener acceso a los tipos de ramal disponibles en la vista Alimentación de ramal por medio de una lista que se despliega bajo la columna correspondiente para cada ramal que se muestra en la Figura.

Branch No.	From	To	FQi	Type	Resistance (Ns <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	Pressure Drop (Pa)	Quantity (m <sup>3</sup> /s)	Friction Factor (kg/m <sup>2</sup> )	Resistance per Length (R/1000m)	Length (m)
1	9287	9288		k Factor				0.0124		22
2	9286	9287		k Factor				0.0124		50
3	9288	9289		k Factor				0.0124		24
4	8293	8294		R				0.0108		228
5	8292	8293		p/Q				0.0108		267
6	8291	8292		k Factor				0.0108		124
7	8253	8291		R/L				0.0108		50
8	9279	9285		k Factor				0.0108		9
9	7448	7472		R	20.00000					
10	6376	6300		k Factor				0.0098		17
11	63	6376		k Factor				0.0098		12
12	7842	7843		k Factor				0.0098		50

También existe una herramienta que liga un código numérico a las opciones de datos de resistencia. Si el usuario está alimentando datos en la vista Alimentación de ramal usando el teclado numérico, para facilitar una más rápida alimentación de datos se puede usar un código 1, 2, 3 ó 4 (Ver Tabla 1).

Los tipos de datos de ramal también se pueden alimentar en la vista Esquemático Usando el Apuntador ó la herramienta Editar. El Apuntador se encuentra bajo el menú Herramientas o seleccionando el icono del

Apuntador; en la barra de herramientas y presionando el botón derecho del mouse (seleccione la opción Datos de ramal). La herramienta Editar se puede seleccionar en el menú Herramientas ó seleccionando el icono de la herramienta Editar que se encuentra en la barra de herramientas y presionando el botón izquierdo del mouse en el ramal. Usando cualquiera de estos métodos aparecerá el cuadro de dialogo de Datos de ramal, ilustrado en la Figura, donde también se puede cambiar los tipos de ramal.

Cuadro dialogo datos de ramal

The 'Branch Data' dialog box contains the following fields and options:

- From:** 8242
- To:** 8264
- Swap From/To** button
- OK** button
- Cancel** button
- Description:** BP-9615
- Type:** k Factor (dropdown menu)
- Resistance:** R (dropdown menu)
- Pressure Drop:** p/Q, k Factor (dropdown menu), R/L (dropdown menu)
- Quantity:** 0 (m<sup>2</sup>/s)
- Friction Factor:** 0.0108 (kg/m<sup>2</sup>)
- Resistance per Length:** 0 (R/1000m)
- Length:** 84.1 (m)
- Equivalent Length:** 0 (m)
- Area:** 16 (m<sup>2</sup>)
- Perimeter:** 16 (m)
- Parallel Factor:** 1
- Branch Code:** Predeterminado (dropdown menu)
- Surface State:** Neither (dropdown menu)
- Branch Symbol:** None (dropdown menu)
- Auto Length:** Enabled (dropdown menu)
- Select k Factor...** button
- Select R per L...** button

Cada ramal se define con dos cruces y los datos numéricos que indican las características de la vía de aire (ver Figura 5). Se puede alimentar datos en cualquiera de los cuatro formatos que aparecen en la Tabla. Se

puede usar el mouse para copiar y pegar rangos de datos entre ramales en la vista Alimentación de ramal ó desde otras aplicaciones de Windows (como hojas de cálculo u otros simuladores de ventilación).

Una vez que se hayan alimentado los datos al programa, allí permanecerán hasta que se les borre.

El tipo de resistencia se puede cambiar para que se puedan usar diferentes parámetros para definir la resistencia, aunque los datos originales se guardan, simplemente no estarán activos.

**Tabla. Tipos de datos de ramal**

<b>Tipo de datos</b>	<b>Forma de alimentación</b>	<b>Comentarios</b>
<b>1</b>	R (resistencia de vía de aire)	<b>Resistencia fija</b>
<b>2</b>	P, Q (diferencia de presión por fricción y cantidad)	Diferencia de presión – datos de volumen
<b>3</b>	K, L, Leq, A, per (factor de fricción, longitud, longitud equivalente, área y perímetro)	<b>Información de aire para la Ecuación de Atkinson</b>
<b>4</b>	R/Longitud, L, Leq (resistencia por unidad de longitud, longitud de vía de aire y longitud equivalente)	Permite el calculo directo de resistencia a partir de una resistencia media previamente

Las siguientes secciones proporcionan una descripción detallada de los cuatro formatos de ellos.

### **Datos de resistencia**

Los datos tipo 1 requieren que se alimente un valor de resistencia para el ramal. Este tipo de datos es útil para ramales con una resistencia conocida o previamente calculada. Cuando se alimenta un ramal nuevo en la vista Alimentación de ramal ó en la vista Esquemático el tipo de



datos de ramal predeterminado es el tipo 1. Cuando se desarrolla una red a partir de un archivo .DXF importado, el tipo de ramal quedara predeterminado en tipo 1, con una resistencia preestablecida de cero.

### Datos p y Q

Los datos tipo 2 requieren que se alimente presión y cantidad. Estos valores por lo general se obtienen de un estudio de presión-cantidad. El programa calcula la resistencia, R, con base en la Ley Cuadrática, como se indica a continuación:

$$\text{Ecuación 1.} \quad R = \frac{p}{Q^2}$$

Donde: R = Resistencia de vía de aire (Unidad práctica [P.U.] o  $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ )

p = Diferencia de presión (milipulgada w.g. o Pa)

Q = tasa de flujo (kcfm [x 1000 fm] o  $\text{m}^3/\text{s}$ )

### Datos k, L, L<sub>eq</sub>, A, P<sub>er</sub>

Los datos tipo 3 requieren que se alimenten las características físicas de la vía de aire (factor de fricción de Atkinson (factor k), longitud, longitud equivalente de perdida por choque, perímetro y área de corte transversal). Este tipo de datos calcula la resistencia del ramal empíricamente. El programa calcula la resistencia con base en la ecuación de Atkinson, que se expresa así:

$$\text{Ecuación 2.} \quad R = \frac{k(L + L_{eq})P_{er}}{cA^3}$$

Donde:

R = Resistencia de vía de aire (Unidad práctica o  $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ )

k = Factor de fricción ( $\text{lbf min}^2/\text{ft}^4 \times 10^{-10}$  o  $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$Q$  = tasa de flujo (kcfm [x 1000 fm] o  $m^3/s$ )

$L$  = Longitud de vía de aire (pies o metros)

$L_{eq}$  = longitud equivalente de pérdida por choques (pies o metros)

$A$  = área (pie<sup>2</sup> o metro<sup>2</sup>)

$P_{er}$  = Perímetro de vía de aire (pies o metros)

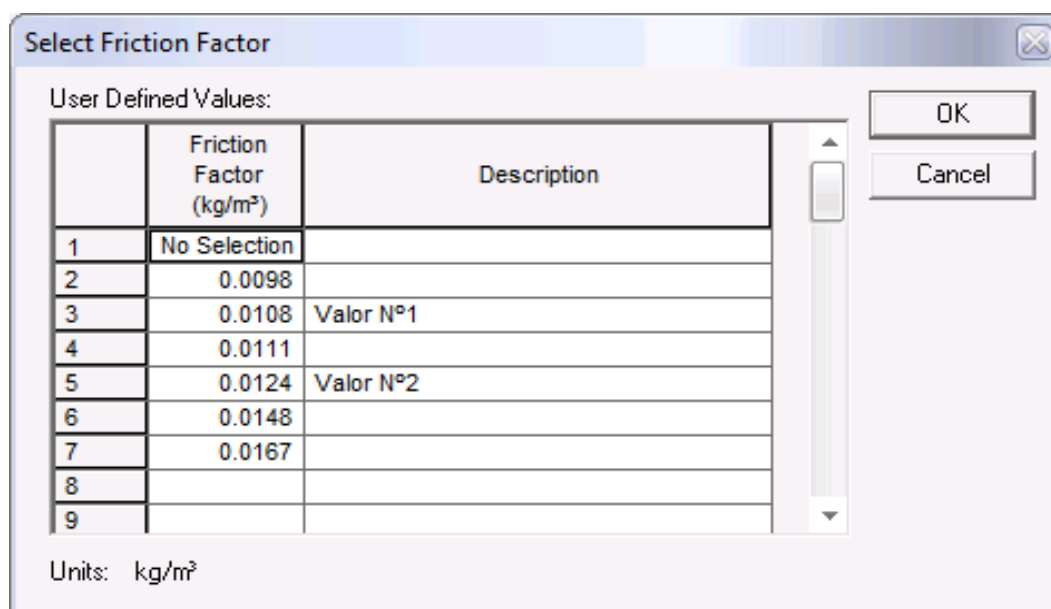
$c$  = constante (Ingles = 52 y Métrico = 1)

VnetPC verifica los datos conforme se van alimentando y, si no son válidos, solicita que se vuelvan a alimentar. Es importante observar que al alimentar un valor para factor  $k$  en Unidades del sistema Ingles en los Datos de ramal, el factor  $10^{-10}$  no se debe incluir en los datos alimentados. Por tanto, para una vía de aire típica con un factor  $k$  de  $65 \times 10^{-10}$  lbf min<sup>2</sup>/ft<sup>4</sup>, el usuario alimentará sólo 65. Note que VnetPC usa una constante de 52 no 5.2. Esto permite que se alimente directamente el factor de fricción de Atkinson sin incluir el factor  $10^{-10}$ . A la unidad resultante se le llama Unidad Practica (UP). Esta misma unidad se obtiene con la Ley Cuadrática usando milipulgadas w.g. (milésimas de una pulgada w.g.) y kcfm (milésimo de pies cúbicos de aire por minuto).

Para facilitar la alimentación de factores de fricción, se puede tener acceso a una pista de factores  $k$  definida por el usuario haciendo clic en el botón Factor K seleccionado en el cuadro de dialogo Datos de ramal. El cuadro de dialogo Selección de factor de fricción aparecen como se muestra enseguida en la Figura. Use el Apuntador y el botón Izquierdo del mouse en la celda deseada y presione Aceptar.

Esta herramienta permite al usuario alimentar un valor de factor  $k$  y una descripción para cada tipo de vía de aire; que se puede recuperar con rapidez para ponerse en la hoja de datos de alimentación de ramal. También se puede tener acceso a esta lista definida por el usuario en la pantalla Alimentación de ramal. Al seleccionar el factor  $k$  bajo el menú

Tipo para un ramal deseado se hace doble clic en la celda Factor de fricción, aparecen el cuadro de diálogo Seleccionar factor de fricción.



### Forma de datos de resistencia por longitud

Los datos tipo 4 requieren que el usuario alimente valores de resistencia por unidad de longitud para los principales tipos de vía de aire, longitud y longitud equivalente de perdidas por choque. Los valores típicos de resistencia por unidad de longitud para las vías de aire que se están modelando se deben obtener de resultados de estudios o se calculan empíricamente usando factores de fricción y geometría de las vías de aire adecuados.

Los valores de resistencia por longitud (R/L) se alimentan de manera similar a los factores k que se mencionaron en la sección anterior. Los valores R/L se alimentan tanto en la vista Esquemático como en la pantalla Alimentación de ramal. En la vista Esquemático, los valores se pueden alimentar presionando el botón Seleccionar R por L en el cuadro

de dialogo Datos de ramal y seleccionando un valor de la lista definida por el usuario en el cuadro de dialogo Seleccionar resistencia por longitud que se muestra en la Figura. También, el cuadro de dialogo Seleccionar resistencia por longitud aparecerá haciendo doble clic en la celda bajo el encabezado Resistencia por longitud en la pantalla Alimentación de ramal. Los valores de resistencia por longitud se alimentan en tantos de 1,000 unidades (pies 0 metros).

	Resistance per Length (R/1000m)	Description
1	No Selection	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Units:  $Ns^2/m^8$  per 1000m

### Herramienta de longitud automática

El programa VnetPC incluye una herramienta de longitud automática. Se puede tener acceso a esta herramienta desde el menú Herramientas en las vistas: Información del modelo, Alimentación de ramal, Resultados de ramal, Datos de cruce y Esquemático. Cuando el usuario selecciona "Longitud automática" aparece el cuadro de dialogo Calculo automático de longitud de ramal como se muestra en la Figura.

## Cuadro dialogo longitud automática

The 'Branch Data' dialog box contains the following fields and options:

- From:** 8245
- To:** 8243
- Swap From/To** (button)
- OK** (button)
- Cancel** (button)
- Description:** BP-9615
- Type:** k Factor (dropdown)
- Select K Factor...** (button)
- Resistance:** 0 (Ns<sup>2</sup>/m<sup>8</sup>)
- Select R per L...** (button)
- Pressure Drop:** 0 (Pa)
- Quantity:** 0 (m<sup>3</sup>/s)
- Friction Factor:** 0.0108 (kg/m<sup>3</sup>)
- Branch Code:** Predeterminado (dropdown)
- Resistance per Length:** 0 (R/1000m)
- Surface State:** Neither (dropdown)
- Length:** 74.8 (m)
- Branch Symbol:** None (dropdown)
- Equivalent Length:** 0 (m)
- Auto Length:** Enabled (dropdown, indicated by an arrow)
- Area:** 16 (m<sup>2</sup>)
- Perimeter:** 16 (m)
- Parallel Factor:** 1

La sección superior del cuadro de dialogo establece el valor predeterminado para los ramales nuevos que se añadan a la red. Si se activa la herramienta de longitud automática, el programa calculara la longitud del ramal con base en las coordenadas x, y, z. La longitud se calcula solo para los tipos de ramal 3 y 4 (factor de fricción y resistencia por longitud). El programa supone que cada división (coordenada) en sistema ingles es 1 pie y en sistema métrico es 1 metro. El usuario no puede cambiar esto dentro de VnetPC, por lo que es importante que se especifiquen correctamente las unidades en el programa del que se importe el archivo DXF.

La segunda sección del cuadro de dialogo permite que se hagan cambios a ramales existentes. El predeterminado está establecido en "No hacer cambios". Si el usuario selecciona Permitir la herramienta de longitud automática, entonces la longitud y la resistencia de todos los ramales existentes (especificados como tipo 3 0 4 {factor de fricción 0 R/L}) se calculara y se cambiara (usando los valores de coordenadas). Al activar la herramienta de longitud automática la columna de longitud en la vista Alimentación de ramal y el dialogo en la celda de longitud en Datos de ramal serán de "solo lectura." Los datos de longitud no se pueden cambiar a menos que el usuario elija desactivar todos los ramales existentes.

Durante la conversión de unidades, la longitud de los ramales se convierte automáticamente. También se convierten las coordenadas en la vista Esquemático; por lo tanto, la herramienta de longitud automática proporcionara nuevos datos de longitud.

La herramienta de longitud automática actualiza la longitud del ramal cuando hay algún cambio en la ubicación de uno de los cruces, 0 si se reasignan números de cruce al ramal.

En la vista Alimentación de ramal, los datos de las características del ramal se pueden alimentar y modificar de la misma manera como se alimentan y modifican datos en las hojas de cálculo de las aplicaciones para Windows. Se puede agregar, eliminar 0 insertar un ramal seleccionando el comando bajo el menú Ramal.

Si se está desarrollando un nuevo modelo, o si se están añadiendo ramales, el usuario puede seleccionar Añadir ramal en el menú Ramal. Cuando se ha alimentado el primer ramal en una red se agregan mas ramales automáticamente presionando "Entrar" al final de cada fila en la vista Alimentación de ramal. También se puede agregar ramales adicionales presionando Mayúsculas. Entrar en cualquier punto en la vista Alimentación de ramal.

Una vez que se han alimentado los datos en una celda en particular, el usuario puede presionar la tecla "Entrar" o la tecla de tabulador para pasar a la siguiente celda. Esta sección permite al usuario alimentar una descripción sobre cada ramal, asignar uno de seis símbolos de ventilación al ramal, introducir un código de ramal para el tipo de ramal, y especificar el estatus de superficie. Las columnas en todas las vistas tabulares se pueden congelar, ocultar o mostrar usando herramientas bajo el menú Ver. La siguiente Figura muestra un ejemplo de la vista Alimentación de ramal.

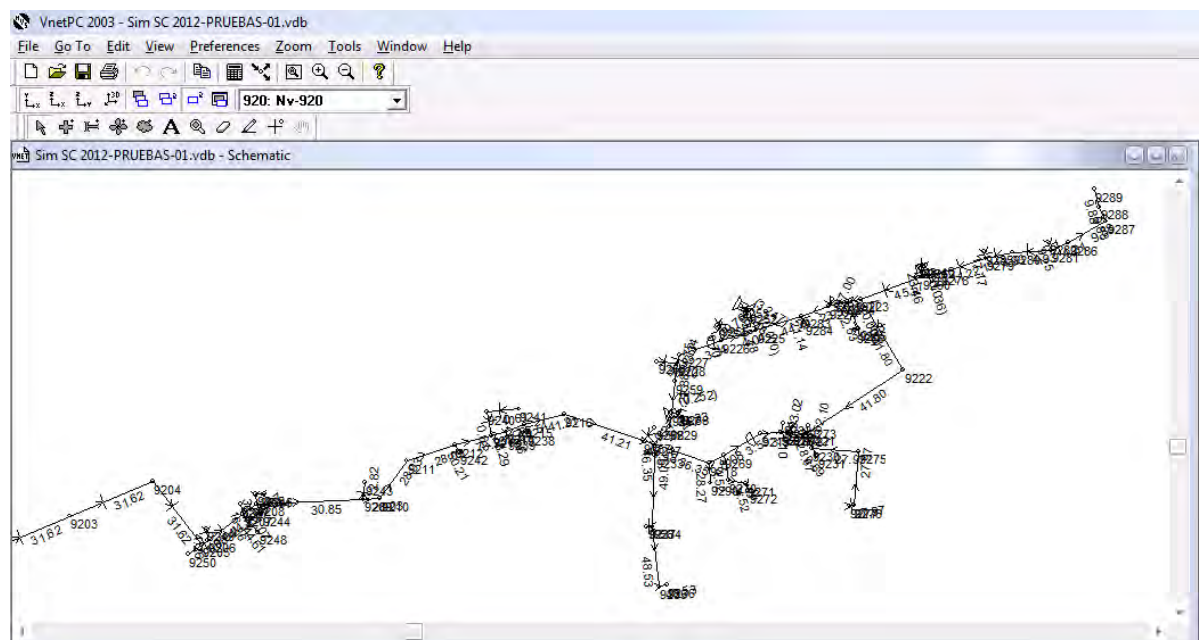
Branch No.	Pressure Drop (Pa)	Quantity (m³/s)	Friction Factor (kg/m³)	Resistance per Length (R/1000m)	Length (m)	Equiv. Length (m)	Area (m²)	Perimeter (m)	Parallel Factor	Calculated Resistance (Ns/m²)	Auto Length	Branch Code	Surface State	Symbol	
1			0.0124		22.1	0.0	20.00	18.00	1.00	0.00062	Enabled	Predetermina	Neither	None	BP632
2			0.0124		57.7	0.0	20.00	18.00	1.00	0.00161	Enabled	Predetermina	Neither	None	BP632
3			0.0124		24.9	0.0	20.00	18.00	1.00	0.00069	Enabled	Predetermina	Neither	None	BP632
4			0.0108		226.7	0.0	19.42	17.98	1.00	0.00601	Enabled	Predetermina	Neither	None	VE A R
5			0.0108		267.2	0.0	19.42	17.98	1.00	0.00708	Enabled	Predetermina	Neither	None	CX-810
6			0.0108		124.1	0.0	19.42	17.98	1.00	0.00329	Enabled	Predetermina	Neither	None	CX-810
7			0.0108		50.9	0.0	19.42	17.98	1.00	0.00135	Enabled	Predetermina	Neither	None	CX-810
8			0.0108		9.4	0.0	9.00	12.00	1.00	0.00167	Enabled	Predetermina	Neither	None	VE A C
9									1.00	20.00000	Enabled	Predetermina	Intake	D	VE A R
10			0.0098		11.4	0.0	17.00	16.00	1.00	0.00036	Enabled	Predetermina	Exhaust	None	VE A R
11			0.0098		12.5	0.0	17.00	16.00	1.00	0.00040	Enabled	Predetermina	Neither	None	VE A R
12			0.0098		54.7	0.0	17.00	17.40	1.00	0.00190	Enabled	Predetermina	Neither	None	BP690
13			0.0124		61.7	0.0	17.00	17.40	1.00	0.00271	Enabled	Predetermina	Neither	None	BP690
14			0.0108		48.0	0.0	15.35	16.00	1.00	0.00229	Enabled	Predetermina	Neither	None	VE RB9
15			0.0098		52.9	0.0	15.33	15.97	1.00	0.00230	Enabled	Predetermina	Neither	None	VE A PI
16			0.0108		23.8	0.0	10.50	14.00	1.00	0.00311	Enabled	Predetermina	Neither	None	VE A R
17			0.0108		51.7	0.0	10.50	11.49	1.00	0.00554	Enabled	Retorno	Exhaust	None	Inicio Rj
18			0.0098		64.4	0.0	17.28	17.00	1.00	0.00208	Enabled	Predetermina	Neither	None	BP628,1

En la vista Alimentación de ramal la opción Encontrar se puede usar bajo el menú Editar o usando el icono para encontrar un ramal (binoculares) en la barra de herramientas. Estas herramientas son diferentes. La opción Encontrar busca hacia arriba o hacia abajo en una columna seleccionada una cadena de texto alimentada. La opción Encontrar ramal permite que se encuentren ramales ya sea alimentando los números de cruce de y a o encontrando la siguiente vez en que aparezca un determinado número de

cruce. La opción Reemplazar permite al usuario hacer cambios globales a los datos alimentados.

### Vista esquemático

VnetPC 2007 ahora cuenta con una función de reversa, que indica cuando la dirección del flujo en una vía de aire en particular ha cambiado. Para que esta función trabaje correctamente, el usuario debe definir cada ramal con los cruces configurados en el orden adecuado (similar a ventiladores y cantidades fijas). Una vez que se ejecute una simulación, las vías de aire invertidas se etiquetaran, como se muestra en la Figura .



Si se desea, toda la red de ventilación se puede desarrollar dentro de la vista Esquemático. Las redes se crean usando las funciones que se encuentran en el menú de Herramientas o la Barra de herramientas. Este menú asigna diferentes funciones al apuntador. Se cuenta con las siguientes funciones:



- Apuntador para selección
- Crear cruce
- Crear ramal
- Trazar cruce existente
- Crear ventilador
- Crear contaminante
- Crear etiqueta
- Herramienta zoom
- Herramienta borrador
- Herramienta editar
- Herramienta girar en 3D

**El Apuntador para Selección** es la opción predeterminada. Esta herramienta permite al usuario seleccionar ramales y, presionando el botón derecho del mouse, cambiar los atributos de esos ramales. También se puede ajustar la red o cambiar su tamaño arrastrando los nódulos por la pantalla usando este apuntador.

La opción **Crear** cruce permite crear nuevos cruces antes de introducir un ramal. Después se pueden insertar ramales entre los cruces usando la opción Crear ramal. Por lo general no es necesario crear cruces, porque a los ramales dibujados en áreas en blanco de la pantalla (usando Crear ramal) se les asignara automáticamente nódulos y números De y A. Estos números predeterminados se pueden cambiar cuando sea necesario.

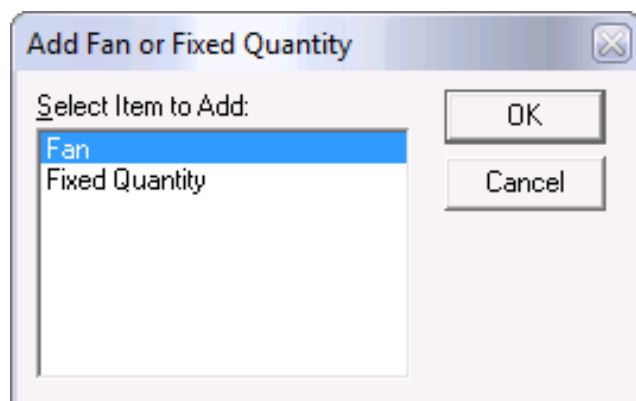
El uso de la herramienta Crear cruce por lo general se limita a agregar nódulos para identificar tiros, contrapozos y rampas. El usuario no puede crear nódulos en la sección de vistas. Solo se pueden introducir nódulos en la vista de plano. Se puede crear un ramal entre estos nódulos existentes en una vista de corte transversal. Note que el usuario puede seleccionar Crear cruce en el menú Herramientas para cambiar el número de nódulo inicial.

La herramienta **Crear ramal** permite que se dibujen nuevos ramales. El programa automáticamente asigna cruces al principio y al final de estos ramales, a menos que el usuario haga clic en un nódulo existente o interceptar un ramal existente. Si se usa una vía de aire existente para un punto de inicio o de terminación, el ramal se dividirá y se añadirá un nuevo nódulo. La vía de aire dividida quedara representada por un ramal con los datos del ramal original y un segundo ramal nuevo con una resistencia establecida en cero.

La herramienta **Trazar cruce existente** permite que el usuario trace las ubicaciones de los cruces que se alimentaron en la vista Alimentación de ramal. Esta herramienta no permite que se añadan nuevos cruces, y solo permite que se tracen los cruces existentes.

La herramienta **Crear ventilador** permite que se asignen ventiladores o valores de cantidades fijas a ramales existentes. Si ya existe un ventilador o una cantidad fija en el ramal seleccionado, aparecen los atributos del ventilador o la cantidad fija para ese ramal. La dirección del flujo depende de cómo se alimentaron los datos de nódulo Del A Al seleccionar un ramal con la herramienta Crear ventilador, aparece el cuadro de diálogo que aparece en la Figura. El usuario puede entonces seleccionar un ventilador o una cantidad fija para el ramal asignado.

Cuadro dialogo crear ventilador



La herramienta **Crear contaminante** se maneja de una manera similar a la herramienta de ventilador. En este caso aparece un cuadro de diálogo, que se ilustra en la Figura, solicitando al usuario que alimente los datos sobre el flujo ó concentración del volumen de un contaminante. La concentración alimentada representa la concentración de las emisiones en ese punto de la vía de aire. El usuario no debe introducir la concentración total del contaminante, que incluíra las fuentes desde las que fluye contaminante. El flujo total y la concentración del contaminante (que evalúa el programa) integran todas las fuentes para determinar la concentración real y el volumen con base en una condición de estado constante.

La opción **Crear etiqueta** permite insertar etiquetas para vistas ó grupos (capas) específicas. Los atributos de estas etiquetas se pueden cambiar usando el Apuntador para selección y el botón derecho del mouse ó la herramienta Editar. Se aceptan todas las fuentes que comúnmente se usan en Windows, y el tamaño del texto se puede ajustar en un amplio rango para cada etiqueta (ver Figura). La orientación de la etiqueta también se puede girar hasta 360°. El usuario puede especificar la fuente y el tamaño predeterminados (bajo el menú Preferencias/Fuente predeterminada).

La **Herramienta zoom** permite al usuario cambiar el tamaño de la vista con rapidez. Una sección de la red se puede ampliar arrastrando el mouse sobre el área seleccionada mientras se mantiene apretado el botón izquierdo del mouse. El usuario también puede presionar el botón izquierdo del mouse para hacer un acercamiento ó el botón derecho para hacer un alejamiento. También hay botones de herramientas en la vista Esquemático para que el usuario pueda hacer acercamientos / alejamientos, ó hacer zoom a todo. Por lo general estos botones se necesitan para hacer el zoom cuando se esté usando el mouse para otra herramienta (como la herramienta Añadir ramal u otra similar).

La **Herramienta borrador** permite al usuario eliminar con rapidez objetos que no desee en el esquemático. La herramienta funciona con ramales, nódulos y texto. La opción Deshacer/Rehacer asegura que los datos se puedan volver a incorporar en caso de un error.

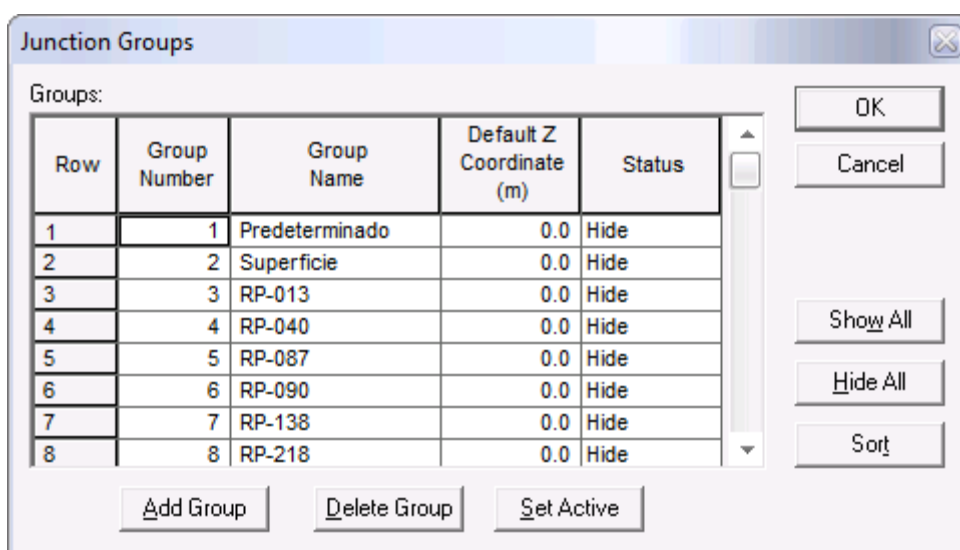
La **Herramienta editar** permite cambiar los atributos de objetos existentes. El usuario debe seleccionar el nódulo, ramal o texto requerido para que aparezcan las propiedades del objeto.

### **Niveles y perspectiva**

VnetPC fue desarrollado para permitir que se construyan redes tanto en la vista Esquemático como en la vista Alimentación de Ramal. La vista Esquemático permite al usuario desarrollar modelos en tercera dimensión usando un esquema de niveles. Un nivel en VnetPC se define como un grupo de ramales que caen dentro de un rango de coordenadas z especificado por el usuario (se puede considerar como un "Grupo" de ramales que abarca un rango z definido ). Se recomienda que el usuario desde un principio especifique una serie de niveles que cubran toda la extensión vertical de la red. Se puede establecer niveles con rangos z que se superpongan unos a otros, de manera que un tiro o nivel de rampa representaría un grupo de ramales que se extienden por toda la extensión vertical de la mina.

Al seleccionar Grupos en el menú Herramientas el usuario puede añadir, editar ó eliminar grupos de la red en el cuadro de dialogo Grupos de ramales, como se muestra en la siguiente figura.

## Cuadro dialogo selección grupos



En esta vista también se pueden modificar los nombres y coordenadas z predeterminadas de cualquier grupo. Dentro del cuadro de dialogo Grupos de ramales el usuario también puede seleccionar cuales niveles "Mostrar" u "Ocultar" y cual grupo está Activo. El grupo Activo aparece en negrillas y es en el cual se pueden agregar nuevos ramales o texto.

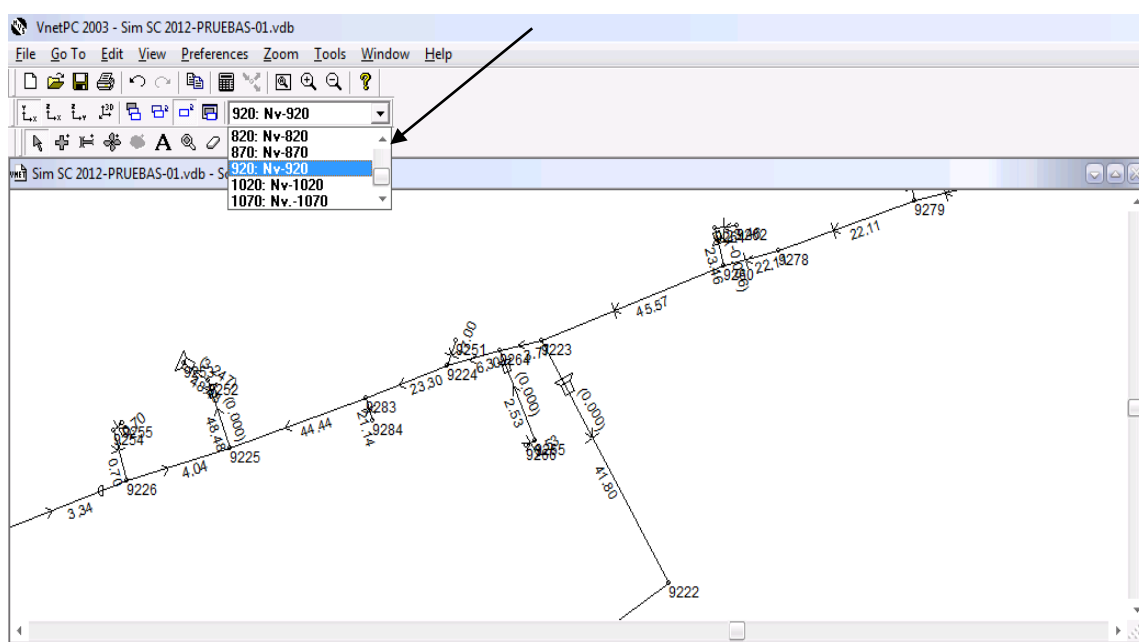
El sistema de niveles permite al usuario digitalizar la red en vista de plano, nivel por nivel, lo que simplifica la construcción de una mina compleja en tercera dimensión. VnetPC incluye múltiples opciones de perspectiva para ver la red.

- Vista de plano
- Vista de corte a lo largo
- Vista de corte transversal
- Isométrico (vista en tercera dimensión)
- Grupo activo (nivel)
- Grupos seleccionados (niveles)
- Todos los grupos (niveles)
- Cuadro de dialogo Editar grupos (niveles)

Dos de las vistas se muestran en la Figura (tercera dimensión) y en la Figura (corte transversal). Las perspectivas activas se pueden seleccionar en la vista Esquemático en el menú Ver ó seleccionando un icono en la barra de herramientas.

Las vistas de Plano, Corte a lo largo, Corte transversal e Isométrica (3D) pueden mostrar todos los grupos, grupos seleccionados o solo el grupo activo. Los grupos se designan en el cuadro de dialogo Grupos de ramales que ya se mostro en la Figura. La red se puede manipular en cualquiera de estas vistas.

El usuario puede seleccionar que grupo está activo usando el cuadro de dialogo Grupos de ramal o el menú en la barra de herramientas en la vista Esquemático. El usuario puede ver qué grupo está activo porque aparecerá en la casilla desplegable en la barra de herramientas. La opción de ver un solo grupo permite al usuario trabajar con ese nivel nada mas en las vistas de Plano, Corte a lo largo o Corte transversal. Al usar las vistas de Plano, Corte a lo largo, Corte transversal Isométrica (3D), el usuario puede cambiar con rapidez el grupo activo usando el menú desplegable como se muestra en la Figura.



Las vías de aire que no pertenecen a un nivel, como rampas y tiros o piques se pueden introducir en vista de plano 0 en una de las vistas de corte. Ya deberían existir los nódulos al trabajar en una vista de corte (los nódulos de inicio y final), sin embargo esto no es necesario. Se puede dibujar un ramal de un nódulo existente a un nuevo nódulo que no esté conectado a un ramal existente. En ese caso las coordenadas del "nuevo" nódulo se establecerán tomando las dos coordenadas que aparecen en la vista gráfica para ese punto, y transfiriendo la coordenada perpendicular a la vista grafica del nódulo de inicio al "nuevo" nódulo.

Por ejemplo: si se ha dibujado un ramal de un cruce existente en la vista Corte transversal (Z-X) a un nuevo nódulo entonces las coordenadas "Z" y "X" se determinaría con base en el lugar donde se puso el cruce y la coordenada "Y" se tomara del nódulo de inicio.

Una vez que se han agregado los cruces, se pueden mover por toda la extensión vertical especificada para ese nivel arrastrando los nódulos dentro de las vistas de corte.

Al introducir nódulos para un nivel, el valor "<x" quedara predeterminado a la coordenada z que el usuario especifico en el cuadro de dialogo Grupos de ramales que se muestra en la Figura. Estas coordenadas "Z" predeterminadas se pueden ajustar en la vista Esquemático usando el Apuntador para seleccionar un cruce y el botón derecho del mouse para cambiar los atributos, o usando la herramienta Editar. Otra manera de hacerlo es arrastrar y soltar el nódulo mientras la red está en una de las vistas de corte. La coordenada "z" el número de grupo también se puede cambiar directamente en la vista Datos de Cruce y el Esquemático se actualizara automáticamente.

Al usar la vista Isométrica (3D), las herramientas están limitadas a Zoom y Girar en 3D. La herramienta de Zoom permite al usuario hacer acercamientos y alejamientos de la red. La herramienta Girar en 3D se usa para interactuar con el modelo "arrastrando" y "jalando" la red para hacerla girar en la pantalla. La red puede girar 360° para encontrar la

perspectiva de vista ideal. Al estar girando (mientras el usuario mantiene presionado el botón izquierdo del mouse) los datos de la red desaparecen para dibujarse más rápido. Cuando el usuario suelta el botón, los datos vuelven a aparecer en la red en la nueva perspectiva.

### **Cuadriculas y conectar a cuadrícula**

VnetPC incluye líneas de cuadrícula que se pueden trazar en los ejes x, y, z. Bajo el menú Preferencias en la vista Esquemático seleccione Valores de cuadrícula, aparecen el cuadro de dialogo Espaciado de cuadrícula. Este cuadro permite al usuario definir el espaciado y origen de la cuadrícula. Si el usuario selecciona un espaciado que sea demasiado denso para mostrarlo en pantalla, aparecerá un mensaje y el usuario debe alimentar nuevos datos. Una etiqueta en la parte inferior del cuadro de dialogo permite que se active o desactive la herramienta de conexión directa. Si esta activada, entonces cualquier nódulo nuevo o que se mueva se conectara automáticamente a la cuadrícula

### **Crear cruce**

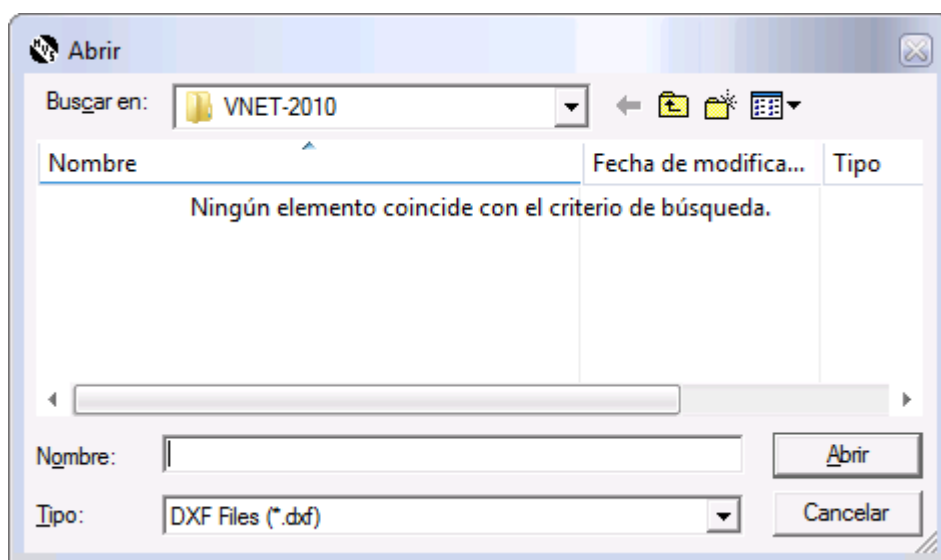
Cuando se añaden ramales en la vista Esquemático, VnetPC normalmente añade números de nódulo en secuencia ascendente, empezando a partir del menor número disponible. Al seleccionar Crear cruce en el menú Preferencias, el usuario puede desactivar esta herramienta para que no se use el menor número disponible y puede indicar en qué numero iniciara la secuencia de nódulos. El programa verifica internamente los números de nódulo para asegurar que un nódulo se use solo una vez.

### **Importar archivos DXF de CAD y programas de planeación de minas**

VnetPC permite al usuario importar una red o un nivel de un programa CAD o de planeación de minas usando un archivo DXF para transferir los datos. Seleccionar Archivo/Abrir y Archivos DXF bajo la opción Tipo de archivo permite que se importen los datos como un nuevo archivo



VnetPC. El usuario también puede importar datos a una red existente usando la herramienta Importar DXF en el menú Herramientas de la vista Esquemático. Aparecerá el cuadro de dialogo Selección de capas y el usuario debe seleccionar la capa del esquemático de ventilación. Cuando el usuario selecciona un archivo DXF, VnetPC examina el archivo para ver que capas están disponibles y después pide al usuario que seleccione una capa para usarla, como se muestra a continuación en la Figura . La capa importada creara un nuevo Grupo de ramales con el nombre que el usuario especifico para la capa importada.



Establecer un archivo DXF adecuado requiere un programa que soporte capas (como AutoCAD™). El usuario debe desarrollar la red en el programa CAD usando solo Líneas, Polilíneas y Texto. La red se debe desarrollar en una capa única (de preferencia nueva), con un nombre obvio, como VnetPc. El punto final de cada línea o sección de una polilínea debe representar la ubicación de un nódulo. Se debe tener cuidado para asegurar que los puntos finales y de inicio de ramales conectados estén exactamente en la misma coordenada (es decir, que en verdad se conecten). Esto se haría en AutoCAD™ usando las opciones:

conectar <punto final de> 0 <intersección de>. Si no se hace esto los datos se importaran como líneas separadas, no como una red.

La herramienta para importar archivos DXF no se limita a programas CAD, soporta datos DXF de casi todos los software de planeación de minas. Se tiene que tener el cuidado de asegurarse que el archivo DXF contenga un nivel, que representa el esquemático simplificado. Si el plano de la mina no está simplificado y se importan las coordenadas de la línea central para todas las líneas y polilíneas, el resultado será una red extremadamente grande (por ejemplo, una mina de carbón podría importar cada cruce en la mina).

### **Estado de la superficie**

En versiones anteriores de VnetPC el usuario tenía que conectar entre si todos los nódulos de superficie manual mente usando ramales falsos con resistencia cero (para asegurar que se cerrara la red por completo). Esto ya no es necesario en VnetPC 2003. El usuario puede ahora seleccionar el estado de superficie de un ramal al alimentar los datos marcándolo como Toma de superficie, Retorno o Ninguno. Es importante que el ramal se alimente en la dirección correcta (Nódulos De y A) de manera que el flujo de aire sea positivo. Si no es así se presentarían errores durante la ejecución, y un cuadro de mensaje indicara que uno de los cruces de superficie está asignado a otro ramal (diferente del ramal especificado como ramal de superficie). Esto se debe a que el código está tratando de asignar un nódulo como de superficie, cuando de hecho se conecta a más de un ramal. Todos los ramales de superficie se deben especificar como Toma 0 Retorno para que el programa pueda cerrar la red y ejecutarse sin error.

### **Código de ramal**

VnetPC2003 permite que la red este codificada en colores según el tipo de vía de aire, así como el rango de parámetros. El usuario puede

seleccionar de una lista de tipos de vías de aire: Predeterminada, Toma, Retorno, Neutral, Activa y otros tipos definidos por el usuario. Los códigos de colores asignados a cada tipo de ramal se pueden cambiar en el menú Preferencias bajo Definir colores. También es posible ajustar los colores para parámetros de ramales en el menú Definir colores. La opción para activar códigos de color se puede seleccionar en el menú Preferencias: No color, Usar rango de color, 0 Usar código de color.

### **Datos de ventilador**

#### **Datos de ventiladores**

El usuario puede añadir ventiladores en las vistas Alimentación de ramal, Alimentación de ventilador o Esquemático. Cuando se agrega un ventilador 0 una cantidad fija de aire a un ramal, aparece una F o una Q en la columna F/Q/i. La vista Alimentación de ventilador se actualizará para incluir los detalles del nuevo ventilador. Es importante que el usuario indique los números de cruce en la dirección esperada del flujo de aire para los ramales de cantidad fija 0 de ventilador.

En la vista Alimentación de ramal se añade un ventilador usando el icono de alimentación de ventilador o haciendo doble clic en la celda bajo la columna F/Q/i (ventilador, cantidad fija, inyección/extracción). En la vista Alimentación de ventilador, el usuario puede añadir un ventilador seleccionando Añadir ventilador bajo el menú Ventilador o haciendo clic en el icono de ventilador. En la vista Esquemático un ventilador o cantidad fija se añade usando la herramienta Ventilador, y "soltando" el ventilador en el ramal deseado.

### **Ubicación del ventilador y dirección del flujo**

Un ventilador se puede ubicar en cualquier ramal que no contenga una cantidad fija. Los números de cruce del ramal indican la ubicación del ventilador. El orden en que se indiquen los números de cruce define la

dirección del ventilador. Para ver o editar (ó agregar) ventiladores en el modelo, el usuario puede usar la vista Alimentación de ventilador.

### **Tipo de ventilador**

Cualquier ventilador se puede alimentar ya sea con una presión fija 0 con una curva característica de presión contra flujo de volumen. La presión fija y la descripción del ventilador se pueden alimentar en el cuadro de dialogo Datos de ventilador que se muestra en la Figura. Este cuadro de dialogo también permite al usuario alimentar una presión de ventilador inicial si se está alimentando una curva de ventilador, en ese caso la presión se usa como el punta de inicio en la curva de ventilador. Sin embargo, si no se alimenta una curva de ventilador, entonces el ventilador quedara fijo a esta presión (sin importar la cantidad).

El usuario puede introducir una curva de ventilador seleccionando Editar curva en el cuadro de diálogo Datos de ventilador que se muestra en la Figura, o Editar ventilador en el menú Ventilador en las vistas Alimentación de ventilador y Resultados de ventilador.

Las curvas características de ventilador se registran alimentando entre dos y veinte juegos de puntos de datos de presión flujo de aire (ver Figura 20). Estos puntos se deben elegir de manera que representen de manera adecuada toda la extensión de la curva

El programa supone una línea entre cualesquier dos puntos de la curva de ventilador. Se pueden introducir ventiladores con curvas características bajo datos de ventilador 0 se pueden sacar del banco de datos de ventilador. Una vez que se hayan introducido los puntos de la curva del ventilador en la Hoja de datos de ventilador, el usuario puede seleccionar "Aceptar" para incorporar la curva al modelo, 0 "Guardar" para exportar la curva a una base de datos externa de curvas de ventilador. Note que las curvas de ventilador dependen de la unidad y que las curvas se convierten si se usa la herramienta de conversión de unidad.

El usuario también puede alimentar datos para múltiples ventiladores (en serie o paralelos). Cuando se selecciona múltiples ventiladores el programa desarrolla una curva de ventilador equivalente basada en la teoría de ventiladores en serie/paralelos. Los datos de ventiladores en serie y paralelos aparecen en columnas en las vistas Alimentación de ventilador y Resultados de ventilado.

Cuadro dialogo resultado ventiladores.

Fan No.	From	To	Fan Pressure (kPa)	Fan Quantity (m³/s)	Air Power (kW)	Operating Cost (\$/yr)	Curve Status	Fans in Parallel	Fans in Series	Description
1	206	203	0.000	0.47	0.00	0	None	1	1	
2	7846	7847	0.000	9.88	0.00	0	None	1	1	
3	9261	9260	-0.036	23.46	0.84	455	Off	1	1	
4	1525	5046	0.000	117.06	0.00	0	On	1	1	
5	5820	5818	0.000	-100.55	0.00	0	None	1	1	
6	6315	8254	0.000	21.51	0.00	0	On	1	1	
7	8294	3030	1.990	103.98	206.92	111546	On	2	1	FAN DE 110 KCFM
8	8222	4026	0.031	27.06	0.84	452	Off	1	1	Ventilador de 50 kcfm
9	111	3001	1.106	54.04	59.77	32220	On	1	1	Ventilador axial de 100 Kcfm
10	8468	8467	0.000	43.62	0.00	0	None	1	1	
11	6401	6398	0.928	17.96	16.67	8985	Off	1	1	
12	5867	5866	0.000	53.39	0.00	0	None	1	1	
13	3412	3411	0.000	-1.08	0.00	0	None	1	1	
14	8465	8466	0.796	60.14	47.87	25806	On	1	1	FAN 110 KCFM
15	4087	1088	0.000	-0.33	0.00	0	On	1	1	
16	9265	9264	0.000	2.53	0.00	0	On	1	1	
17	9252	9253	3.247	48.48	157.41	84859	On	1	1	VENTILADOR 100 KCFM EXTRACTO
18	6315	6314	0.000	-21.51	0.00	0	On	1	1	
19	7343	7371	0.000	-1.33	0.00	0	None	1	1	
20	7344	7345	1.765	157.04	277.18	149419	Off	1	1	Ventilador axial de 400 Kcfm
21	5868	5867	2.581	55.89	144.25	77763	On	1	1	Ventilador axial de 100Kcfm, 50°
22	8456	3929	0.000	-0.98	0.00	0	None	1	1	
23	8455	8456	0.000	-0.98	0.00	0	On	1	1	Ventilador axial

Fan Curve

Fan Curve Description

Name:

Setting:

Comments:

Fan Configuration

Fans in Parallel:

Fans in Series:

Fan Curve Points

Point No.	Quantity (m³/s)	Pressure (kPa)	Description
1	37.76	3.786	
2	40.12	3.680	
3	42.48	3.650	
4	44.84	3.559	
5	47.20	3.408	
6	49.56	3.112	
7	51.92	3.014	
8	54.28	2.756	
9	56.64	2.499	
10	59.00	2.151	
11	61.36	1.817	

Buttons: OK, Cancel, Remove, Import..., Save...

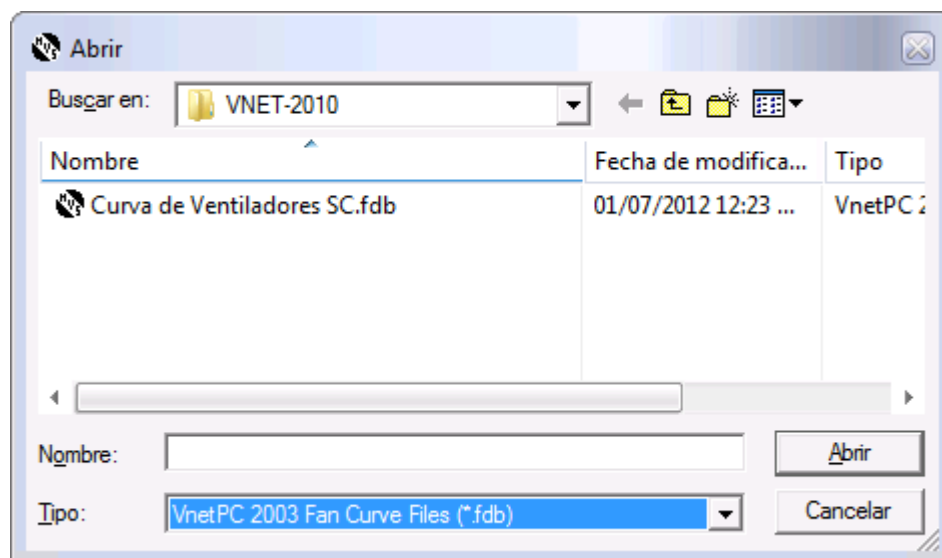
Los ventiladores de presión fija son útiles cuando se están modelando un ventilador conocido a una presión de operación específica 0 cuando se

está modelando presión de ventilación natural (PVN). En caso de un ventilador de presión fija, la curva de ventilador no se debe definir en el cuadro de dialogo Curva de Ventilador, solo se debe alimentar la presión del ventilador en el cuadro de dialogo Datos de ventilador.

### **Administrador de archivos de ventilador**

VnetPC incluye un programa para archivar datos para el desarrollo, manipulación y almacenamiento de curvas de ventilador. Esta herramienta se llama Administrador de archivo de ventilador. El Administrador de archivo de ventilador permite al usuario generar diferentes archivos de ventilador, cada uno de los cuales puede guardar muchas curvas diferentes. Por tanto, el usuario puede seleccionar tener sólo un archivo de ventilador para todos los ventiladores de la mina, o por el contrario, tener archivos de ventilador separados para cada ventilador, tal vez con valores de curva diferentes para cada ventilador individual.

Se puede tener acceso al Administrador de archivo de ventilador directamente desde VnetPC seleccionando Archivo/ Abrir y escoger un archivo de ventilador (extensión \* .fdb). La aplicación del Administrador de archivo de ventilador se recomienda cuando un número grande de ventiladores se tiene que alimentar, editar o eliminar de la base de datos de ventilador. El usuario puede desarrollar un nuevo archivo de ventilador seleccionando Archivo/Nuevo y escogiendo Archivo curva de ventilador VnetPC 2003 como el nuevo tipo de archivo como se muestra en la Figure.



Cuando se abre un nuevo archivo, aparece una pantalla que permite al usuario alimentar una nueva curva en el menú Curva. Una vez que se alimentan los puntos del ventilador, el archivo se debe guardar.

Para cada curva de ventilador alimentada en el Administrador de archivo de ventilador se tiene que alimentar también una densidad de referencia para la curva y una frecuencia de impulso. Cuando el usuario carga la curva de ventilador en el modelo de ventilación, el usuario puede optar por cambiar la densidad de referencia del ventilador. De esta manera una curva de ventilador que proporciona el fabricante a una densidad atmosférica estándar se puede guardar y después llevarla al programa VnetPC a una densidad diferente. Al cambiar la densidad de la operación del ventilador, la curva de ventilador también se cambiara de acuerdo con la proporción de la nueva densidad/densidad guardada.

Con el ánimo de maximizar la eficiencia de los sistemas de ventilación, MVS ha incorporado una herramienta para modificar la curva de ventilador con respecto a los cambios en la velocidad de rotación del ventilador basado en la frecuencia suministrada por un impulsor de frecuencia variable (VFD por sus siglas en ingles). Al insertar una curva de ventilador en el modelo de ventilación, el usuario puede optar por aumentar la frecuencia del impulso, o disminuir la frecuencia del impulso -

cambiando por tanto la velocidad de rotación del ventilador y la curva característica del ventilador.

El usuario puede guardar e importar curvas de ventilador directamente desde el cuadro de dialogo Curva de ventilador (dentro de VnetPC) haciendo de en los botones Guardar e Importar. Note que ya tiene que existir un archivo de datos de ventilador para que una curva se pueda guardar en el mismo.

### **Crear una base de datos de curva del ventilador**

- a. Bajo el menú "Archivo" seleccione "Nuevo".
- b. Seleccione "Archivo curva de ventilador VnetPC 2001", después seleccione "Aceptar".
- c. Seleccione las unidades, después presione "Aceptar".
- d. Bajo el menú "Curva" seleccione "Agregar curva".
- e. Llene el "Cuadro de dialogo Curva de ventilador", con los puntos de las curvas de Presión y Cantidad y la Densidad del aire y Frecuencia para las curvas originales, después presione "Aceptar".
- f. Repita los paso a al e para añadir tantas curvas como desee.
- g. Bajo el menú "Archivo" seleccione "Guardar Como", después guarde el archivo como en cualquier aplicación de Windows con tipo de archivo .fdb

### **Importar una curva de ventilador a un modelo**

- a. Inserte el ventilador en el modelo como se describió arriba, seleccione el botón "Editar curva" en el cuadro de dialogo "Datos de ventilador".
- b. Seleccione el botón "Importar".



- c. Encuentre el archivo de la Base de datos Curva de ventilador en el cuadro de dialogo de Windows.
- d. Resalte la curva de ventilador deseada y ajuste la Densidad del aire y Frecuencia a las condiciones reales en la mina, seleccione el botón «Aceptar».
- e. La curva de ventilador se transferirá entonces al cuadro de dialogo Curva de ventilador, después presione "Aceptar".

### **Guardar una curva de ventilador de un modelo en la base de datos Curvas de Ventilador**

- a. Estando en el cuadro de dialogo «Datos de ventilador» seleccione el botón "Guardar".
- b. Encuentre el archivo de la Base de datos Curvas de ventilador en el cuadro de dialogo de Windows.

### **Operación del Programa**

VnetPC utiliza el protocolo convencional de Windows para administrar los archivos. Los archivos de VnetPC se buscan bajo la extensión de archivo .vdb y los archivos de ventilador bajo la extensión .fdb. Se puede tener acceso a los archivos en la computadora base 0 por medio de un sistema de red.

### **Conversión de datos – versiones anteriores de VnetPC**

VnetPC permite importar archivos de versiones anteriores de VnetPC (Versión 1.0/1.0a para Windows, VnetPC 2000 y VnetPC 2003). Para convertir un archivo, el usuario lo abre normalmente, ejecuta la simulación y después guarda el archivo en el nuevo formato VnetPC 2007. Es importante que en el archivo que se va a convertir (de VnetPC para Windows) se especifiquen las coordenadas de todos los cruces en la red. Si el usuario no especifica coordenadas para todos los nódulos, aparecerán errores cuando se abra el archivo.

### **Ejecutar simulación de ventilación**

El programa se ejecuta seleccionando el menú Herramientas en la barra de menú y después eligiendo "Ejecutar simulación". Esto se debe hacer sólo hasta que se haya terminado de alimentar todos los datos de ramal, ventilador y datos descriptivos para la red. Cuando el programa ha terminado la ejecución, cada vista, y cualquier ventana que se haya abierto, se actualizara con la información al corriente. También se puede iniciar la ejecución presionando el botón de herramienta correspondiente a Ejecutar simulación (que muestra una calculadora ) en la barra de herramientas en cualquier vista. La simulación de contaminantes se debe ejecutar por separado después de terminar la simulación de flujo de aire.

A diferencia de versiones anteriores de VnetPC, los análisis de presión relativa se realizan en cada ejecución del código (el usuario no tiene que marcar que este encendido 0 apagado). La presión relativa es la diferencia en presión entre cada nódulo y el cruce de referencia especificado por el usuario. Con frecuencia esta referencia resulta útil para determinar la diferencia de presión relativa entre dos cruces no conectados. El resultado de presión relativa aparece en el Esquemático, entre corchetes, o en la vista Datos de cruce. El usuario puede seleccionar ver o esconder los datos de presión relativa en el Esquemático usando la etiqueta Preferencias/Presión relativa.

### **Resultados de una simulación**

Una vez que se ha ejecutado el programa, los resultados de una simulación se pueden ver usando las vistas Resultados de ramal, Resultados de ventilador, Cantidad fija, Esquemático o Datos de contaminantes. Los datos arrojados se pueden enviar también a una trazadora o impresora. Cualquier error de cómputo aparecen automáticamente en una lista en el cuadro de dialogo Error inmediatamente después de la ejecución. También se puede tener acceso a este cuadro de dialogo en el menú Herramientas, en cualquier vista.

## **Lista de errores**

VnetPC identifica cuatro errores de ejecución básicos.

Una vez que se ha identificado un error en un ramal, el programa no detiene la ejecución, continua en operación hasta que llega a una solución. Los siguientes errores se pueden presentar:

### **Demasiadas cantidades fijas**

Este mensaje de error aparece si el archivo de datos alimentados contiene un número excesivo de cantidades fijas ó de ramales de inyección/extracción. Si se usan demasiados ramales de cantidad fija en ramales interconectados, algunas de las cantidades fijas se omitirán para el proceso de selección de malla. Sólo se permite un ramal de cantidad fija por malla. En caso de que se presente este error, la vista Alimentación de ramal se debe modificar para disminuir el número de ramales de cantidad fija o de inyección/extracción antes de volver a ejecutar la red.

### **Ramal omitido en selección de malla**

Los ramales que aparecen bajo este encabezado en la pantalla de error no se incluyeron en el proceso de formación de la malla y se omitieron. La red trunca se evalúa de todas maneras, pero sin los ramales omitidos. Los cruces conectados a un solo ramal (por ejemplo, ramales sin salida) por lo general ocasionan este error. Si este mensaje aparece se tiene que estudiar y modificar la red.

### **No se encontró malla por ramal**

Este mensaje se debe al proceso de selección de ramal básico y de malla. El número mínimo de ramales básicos y mallas necesario en toda red se define como (número de ramales - [Numero de cruces + 1]). Si, por cualquier razón, no se llega a este valor durante el proceso de selección de ramal básico, o el proceso de selección de malla, este mensaje de

error se presentará. El programa está diseñado para continuar la evaluación de la red con base en el número de mallas obtenidas.

### **Limite de repetición excedido**

El número de repeticiones para el proceso Hardy Cross usado para resolver la red se limita a 1000 repeticiones. Si después de 1000 repeticiones no se ha logrado un equilibrio, el programa termina y los valores obtenidos después de la milésima repetición se enlistan como resultados en los datos arrojados.

Con mucha frecuencia este error se debe al uso excesivo de ramales de resistencia muy alta. Se debe verificar los datos de la red y ver el esquemático para identificar que ramales tienen error. El límite de repetición se establece para que la computadora no pase tiempo excesivo en repeticiones tratando de resolver una red que no tiene solución.

### **Puntos de operación de ventilador**

La vista Resultados de ventilador proporciona una lista con los puntos de operación para el (los) ventilador(es) en el modelo. Incluye la presión de operación, flujo de aire, configuración paralelo/en serie, potencia requerida, costo de operación anual y una descripción del ventilador. Si el usuario proporciona una curva de ventilador la vista Resultados de ventilador también indica si el ventilador está operando en la curva 0 no. El usuario no puede modificar la vista Resultados de de ventilador.

### **Resultados de ramal**

La vista Resultados de ramal presenta la lista de resultados en el formato de una hoja de cálculo (ver Figura ). Los datos incluyen el número de ramal, número de cruce, resistencia total de la vía de aire, flujo de aire, diferencia de presión, potencia de aire, descripción del ramal y un símbolo indicando si el ramal contiene un ventilador, regulador o ventilador de refuerzo (FRB). La hoja de resultados está diseñada para que sea fácil de leer y que sea sencillo buscar algo en ella. El usuario no puede modificar

los datos en la vista Resultados de ramal. La columna de resistencia total indica el total de la resistencia alimentada del ramal y la resistencia de cualquier regulación resultante de cantidades fijas. Para tener un desglose de estos dos valores de resistencia es necesario examinar la vista Cantidad fija.

### **Información de cantidad fija**

Los datos alimentados y resultados de Cantidad fija aparecen en la vista Cantidad fija. Esta vista proporciona una lista de número de ramal, cruce Del A, si el ramal esta designado como inyección/extracción (I/R), la presión de refuerzo, la resistencia del regulador, el área del orificio regulador, la resistencia de ramal alimentada, la resistencia total del ramal (si está regulada) y la descripción del ramal.

### **Mostrar los resultados usando el Esquemático**

El esquemático en la pantalla es tal vez la manera más sencilla para que el usuario alimente y vea datos. Se puede desarrollar redes de ventilación por completo en la vista Esquemático; además, proporciona un medio rápido de ver los resultados de la red. En la vista Esquemático se puede trazar diferentes parámetros en la red usando el menú Preferencias.

### **Menú preferencias**

El menú Preferencias permite al usuario seleccionar que parámetros quiere que aparezcan y como mostrarlos. Las herramientas más importantes de este menú se listan a continuación:

#### **Parámetro**

Este comando permite al usuario identificar el parámetro que desea que aparezca en el esquemático. Las nueve opciones son:

- Cantidad

- Diferencia de presión
- Perdida de energía de aire
- Costo de operación
- Resultados de flujo de contaminantes
- Concentración de contaminantes
- Resistencia
- Numero de ramal
- Trazado de líneas.

Cada parámetro se debe trazar por separado.

### **Definir colores**

Este comando permite definir rangos de color para los diferentes parámetros. Se puede escoger entre catorce colores y negro. Para un rango de parámetros especificado, los ramales de la red que contengan los valores dentro de ese rango, aparecen en la pantalla y en la impresora/trazadora en el color especificado. Se puede imprimir una leyenda que indique los rangos de parámetro y los colores asignados. Esta opción es útil para ayudar a identificar diferencias de presión altas o costos de operación excesivos en los ramales dentro de la red. Si la impresora no es a color, la leyenda se omitirá automáticamente. Dentro de este grupo también existe la opción de establecer un color para números de cruce y presión relativa.

El usuario también puede optar por definir colores para el Código de ramal, y no un rango de parámetros. Esto permite que se asignen colores a los diferentes tipos de ramal, lo que se puede especificar desde ciertas categorías al alimentar los datos. Los tipos de ramal. básico disponibles son Predeterminado, Toma, Neutral, Retorno, Activo y otros tipos de ramal definidos por el usuario. En el menú Preferencias el usuario puede

seleccionar usar ramales de color con base en un rango de parámetros, código de ramal. 0 desactivar la opción de color.

### **Rango de cruces.**

Este comando permite al usuario mostrar una serie seleccionada de nódulos. Esto es Útil en particular cuando secciones del esquemático ya no se usan y el usuario quiere que aparezcan solo las áreas que le importan. El rango total de cruces es de 1 a 10000.

### **Tamaño de la letra**

Este comando permite al usuario ajustar el tamaño de los parámetros trazados en el esquemático. Con frecuencia es Útil cambiar el tamaño de la letra para que quepa en el esquemático y que las etiquetas se puedan leer con facilidad. El rango de tamaños de fuente es el siguiente: pantalla 4 a 12 puntos; impresora 4 a 14 puntos y DXF 1 a 200. Estas fuentes son de tamaño real y no varían dependiendo del rango de coordenadas.

### **Números de cruce**

Este comando hace que aparezcan 0 no los números de cruce en la vista Esquemático. Esto es útil cuando los valores de los ramales y los números de nódulo se amontonan. Al quitar los números de cruce el dibujo puede ser más claro.

### **Presión relativa**

La presión relativa aparece entre corchetes junto a cada cruce. Esta herramienta ahora está disponible en todo momento, no se tiene que marcar durante la ejecución (como en las versiones anteriores de VnetPC).

### **Impresión de resultados**

Los datos de los resultados (vistas tabulares) y el esquemático se pueden imprimir directamente ya sea haciendo clic en el icono para imprimir en la barra de herramientas o seleccionando el sub encabezado de vista Impresión activa en el menú Archivo. Aparece un cuadro de dialogo que permite al usuario imprimir como borrador o en impresión fina. Cuando se imprime como borrador se colocan líneas alrededor del encabezado de cada página. En impresión fina cada celda en las vistas tabulares lleva un borde, por lo que la impresión se lleva más tiempo. El usuario también puede especificar un rango de impresión en el cuadro de dialogo para Imprimir. Se puede imprimir un determinado rango de ramales marcando la casilla Rango de ramales y especificando los ramales a imprimir.

Antes de imprimir el resultado el esquemático, se puede tener una vista previa en la pantalla seleccionando Vista previa en el menú Archivo. La impresora se puede volver a configurar seleccionando Configurar impresión en el menú Archivo. Esto puede ser especialmente útil cuando se cambia la orientación del papel de vertical a horizontal. Con frecuencia los esquemáticos y los ramales alimentados se ven mejor si se imprimen en la hoja horizontal. Se puede especificar diferentes dispositivos de salida usando la opción Configurar impresión siempre que el controlador del dispositivo se haya cargado en Windows.

### **Trazado de resultados**

El trazado se maneja exactamente igual que la impresión, excepto que el controlador de dispositivo seleccionado en Configurar impresión será una máquina trazadora del sistema.

VnetPC permite trazar a toda una gama de maquinas trazadoras permitidas por Windows. Siempre que el controlador de la maquina trazadora se haya cargado en la Configuración de Windows, VnetPC reconoce y se comunica con cualquier maquina trazadora



### **Generación de archivos DXF**

El usuario puede exportar el esquemático a un archivo DXF para uso en programas CAD. Se tiene acceso a esta herramienta a través de la vista Esquemático usando el menú Herramientas/ Archivo DXF. Aparece un cuadro de dialogo para que el usuario Guarde en formato DXF, después aparecerá otro cuadro de dialogo pidiendo al usuario que seleccione un parámetro para exportar, ilustrado en la siguiente página en la Figura. Esta herramienta permite a los usuarios definir que parámetro se exportaran; no tiene que ser todos los parámetros como en versiones anteriores de VnetPc. Automáticamente se asigna un nombre a las capas del archivo DXF exportado para que el usuario pueda reconocer con facilidad que datos están contenidos en cada capa.

### **Cambiar la apariencia de una vista en la tabla**

Todas las columnas en las vistas en tabla se pueden cambiar de varias maneras. Las columnas se pueden reacomodar, ampliar o hacer más estrechas, retirar o agregar. Las columnas se pueden reacomodar con facilidad haciendo clic en el encabezado de la columna con el botón izquierdo del mouse para seleccionarla, después hacer clic sobre la columna y arrastrarla a su nueva posición. El ancho de la columna se puede cambiar para aumentarlo o reducirlo haciendo clic en los separadores en el encabezado de la columna y arrastrándolo en cualquier dirección. Se puede eliminar o agregar columnas seleccionando Columnas en el menú Ver en la barra de herramientas. Esto es útil para que los artículos en una vista se limiten solo a los parámetros que se van a usar en la simulación. La Figura muestra el cuadro de diálogo de Columnas para la vista Alimentación de ramal.

## **UBICACIÓN Y PUNTO OPERACIÓN DE VENTILADORES**

La vista resultados de ventilador proporciona una lista con los puntos de operación de los ventiladores que se encuentran en el modelo, incluye la presión de operación, flujo de aire, configuración (paralelo, serie) potencia requerida, costo operación anual y descripción del ventilador.

Si se proporciona al programa la curva del ventilador, la vista resultados del ventilador también indicara si el ventilador está operando en la curva ó no.

El usuario no puede modificar la vista resultados del ventilador