

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA

SECCION DE POSGRADO



**“MONITOREO DE LOS EFECTOS DE LAS VIBRACIONES
PRODUCIDAS POR LA VOLADURA DE ROCAS
EL MODELO DE VIBRACION COLQUE”**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON

MENCIÓN EN:

INGENIERIA DE MINAS

PRESENTADA POR:

ALBERTO HERMOGENES ANICAMA LUJAN

**LIMA - PERÚ
2010**

DEDICATORIA:

A la memoria de mis padres:
José Hermogenes y Carlota.
A mi querida esposa Martha e Hijos.

A la memoria de mis ex. Profesores:

Carlos Loret de Mola Taleri

Bernardino Huaita Núñez

RESUMEN

Las voladuras de rocas en general generan vibraciones, estas vibraciones ocasionan daños estructurales, ambientales y pueden ocasionar también daños a la salud (Sistema nervioso y auditivo), etc.

Para realizar la prevención y el control de las vibraciones ocasionadas por la voladura, un método muy usado es establecer la ley de propagación de la velocidad de partículas,(VPP) teniendo en cuenta el tipo del macizo rocoso, la carga explosiva y la distancia, es necesario también un adecuado dimensionamiento de los parámetros del plano de perforación y voladura, conteniendo las mallas del diseño respectivo, las cantidades de las mezclas cargadas dentro de los taladros y la secuencia de salida respectiva.

El objetivo de la presente investigación es estimar uno de los Modelos presentados por varios investigadores relacionados con la VPP. Por ejemplo en la mina Colquijirca se usa el Modelo postulado por Devine y como resultado del presente trabajo se propone usar el Modelo "Colque" que servirá para evitar todos los impactos negativos que se producirán por las excesivas vibraciones producidas por una voladura de rocas no adecuada.

ABSTRACT

In general, blasting generates vibrations that could produce not only structural and environmental problems but also health issues (mainly related to the nervous system or hearing).

To prevent and control vibrations produced by blasting, a methodology generally used is to establish the law of particle's propagation (PPV) taking into account the rock type, the explosive and the distance, to the blast is also necessary to consider the patterns of drilling and blasting, its charges, its depth and the blasting sequence.

The objective of this investigation is to estimate one of the Models presented by many investigators related to the PPV. For example: In the mine called Colquijirca, is used the Model developed by Devine and as a result of the present investigation, it is recommended to use the Model called "Colque". This model will allow avoiding negative impacts as consequence of the excessive vibrations produced by the blasting.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores: Dr. Carlos Agreda y M.Sc. José Corimanya por sus valiosas orientaciones y sugerencias en la elaboración de este trabajo.

Al M.Sc. David Córdova Rojas por sus valiosas orientaciones y sugerencias.

Al Ing. Eder Salazar Dulanto Superintendente de la mina Colquijirca por haberme autorizado a usar la data de voladura de la mina Colquijirca.

A los señores profesores que en forma directa o indirecta han contribuido en la publicación de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	CAPITULO I	1
1.0	Introducción	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Formulación de la Hipótesis	2
	CAPITULO II	3
	GENERACIÓN DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LAS VOLADURAS DE ROCAS	3
2.0	Descripción del fenómeno vibratorio	3
2.1	Generación de las ondas sísmicas por voladura.....	3
2.2	Tipos de ondas elásticas.....	4
2.2.1	Ondas Internas.....	5
2.2.2	Ondas Superficiales	5
2.3	Atenuación Geométrica.....	8
2.4	Amortiguación Inelástica	8
2.5	Daños en la roca basados en tensiones dinámicas	9
2.6	Efectos de las vibraciones sobre los macizos rocosos	10
2.7	Definición y Obtención de los Parámetros Fundamentales de las Vibraciones.....	11
2.8	Estimación de Vibraciones Terrestres.....	11

2.8.1	Modelo Devine	11
2.9	Velocidad de propagación de onda.....	13
	CAPITULO III.....	15
	CASO - ESTUDIO DE LA MINA COLQUIJIRCA	15
3.0	Ubicación y Acceso.....	15
3.1	Clima y Vegetación	16
3.2	Geomorfología	16
3.3	Recursos Naturales.....	16
3.4	Geología General.....	17
3.4.1	Litología y Estratigrafía.....	17
3.4.2	Geología Estructural.....	17
3.4.3	Geología Económica	18
	CAPITULO IV.....	23
	ELABORACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO CONFIABLE PARA LA	
	PREDICCIÓN DE LAS VIBRACIONES DE LOS TAJOS MERCEDES	
	NORTE Y PRINCIPAL DE LA MINA COLQUIJIRCA	23
4.0	Data de los Tajos Mercedes Norte y Principal	23
4.1	Instrumentación y materiales usados.....	24
4.2	Definición y obtención del Modelo Matemático Colque.....	25
4.3	Monitoreo de las vibraciones en los Tajos	
	Mercedes Norte y Principal	30
4.4	Determinación del mejor Modelo para hallar la	
	Velocidad Pico de Partícula (VPP).....	33

4.5	VPP del Geofono, Modelo Devine y Modelo Colque del Tajo Mercedes Norte y Principal.	36
4.6	Validación del Modelo Colque.....	38
4.7	Para validar el Modelo Colque en otras minas, Caso Tintaya,...	38

CAPITULO V..... 47

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL TAJO MERCEDES

NORTE Y PRINCIPAL..... 47

5.0 Propiedades Geomecánicas del Tajo Mercedes Norte y Principal... 47

5.1 PPV_{max} y Evaluación de daños 48

Conclusiones 51

Recomendaciones 53

Bibliografía 54

Apéndice A. Figuras

Apéndice B. Tablas

Apéndice C. Archivos

APÉNDICE A. FIGURAS

Figura 2.1 Ejes de desplazamiento de ondas en sistema macizo rocoso	6
Figura 2.2 Fuente: Crédito imagen: www.funvisis.gob.ve	7
Figura 3.1 Plano de Ubicación de la mina Colquijirca	20
Figura 3.2 Tajo Mercedes Norte y Principal (Foto)	21
Figura 3.3 Plano del Tajo Mercedes Norte y Principal - Escala: 1/2000	22
Figura 4.1 Geofono Triaxial (foto)	25
Figura 4.2 Grafico para hallar el K del Modelo Colque, $K = 0.270$ (los datos se han tomados del Apéndice C.1)	29
Figura 4.3 (a) Gráficos de la VPP del Geofono y de los Modelos Devine y Colque en la Mina Colquijirca	35
Figura 4.3 (b) Gráficos de la VPP del Geofono y de los Modelos Devine y Colque en la Mina Colquijirca	35
Figura 4.3 (c) Gráficos de la VPP del Geofono y de los Modelos Devine y Colque en la Mina Colquijirca	36
Fig. 4.4 Zona de Deslizamiento de Mina Tintaya	39
Figura 4.5 (a) Graficas de la VPP de los Modelos Devine, Colque y del Geofono de la Mina Tintaya	45

Figura 4.5 (b) Graficas de la VPP de los Modelos Devine, Colque y del Geofono de la Mina Tintaya	45
Figura 4.5 (c) Graficas de la VPP de los Modelos Devine, Colque y del Geofono de la Mina Tintaya	46
Figura 5.1 Gráfico PPV vs. Distancia Escalada, según el Modelo Colque	50
Figura 5.2 Grafico Carga (Kg) Vs Distancia (m), según el Modelo Colque	50
A.1 Sección Litológica- Área Tajo Norte	
A.2 Escala del Tajo Mercedes Norte y Principal	

APÉNDICE B. TABLAS

Tabla 2.1	Velocidad de onda P según el tipo de roca	14
Tabla 4.1	Cuadro Resumen de la voladura de los Tajos Mercedes Norte y Principal	24
Tabla 4.2	Distancia Escalada para n = 2	27
Tabla 4.3	Distancia Escalada para n = 5	27
Tabla 4.4	Modelo Devine	31
Tabla 4.5	Coefficiente de Correlación	31
Tabla 4.6	VPP del Modelo Colque	33
Tabla 4.7	Coefficiente de Correlación	33
Tabla 4.8	Resumen estadístico de los Modelos	34
Tabla 4.9	VPP del Geofono y, de los Modelos Devine y Colque del Tajo Mercedes Norte y Principal	37
Tabla 4.10	Data de las Vibraciones – Mina Tintaya	40
Tabla 4.11	Resumen estadístico de la data de Tintaya	40
Tabla 4.12	VPP según Modelo Devine	41
Tabla 4.13	Coefficiente de correlación	41
Tabla 4.14	VPP según Modelo Colque	42
Tabla 4.15	Coefficiente de correlación, se obtiene del Minitab o por formula	42

Tabla 4.16 Data de VPP de: GEOFONO, DEVINE, COLQUE	44
Tabla 5.1 Algunos Niveles Críticos para Rocas Comunes	49
B.1 Tipos de las discontinuidades principales en los macizos rocosos	
B.2 Datos de Tintaya	
B.3 Estadísticas Descriptivas: Devine y Colque	
B.4 Correlaciones: Devine y Colque	
B.5 Data de las voladuras en los tajos Mercedes Norte y Principal	

APÉNDICE C. ARCHIVOS

- C.1 Monitoreo con valores de K, para hallar el K del Modelo de Colque
- C.2 Modelo Colque aplicado a la mina Tintaya
- C.3 Modelo Colque aplicado a la mina Colquijirca
- C.4 Archivo colqui.txt
- C.5 Archivo hperson.txt
- C.6 Archivo D.ME3.7.txt
- C.7 Archivo colm3.7.txt
- C.8 Archivo tintaya.txt
- C.9 Archivo ltintaya.txt
- C.10 Archivo tesis.txt
- C.11 Archivo colquijirca.txt
- C.12 Archivo D.ESTin.txt
- C.13 Archivo D.TIN.txt
- C.14 Archivo dattin.txt

CAPITULO I

1.0 Introducción

Este estudio lleva a cabo un enfoque estadístico del problema concerniente al tratamiento matemático del monitoreo de las vibraciones en la voladura de rocas.

Para realizar la prevención y el control de las vibraciones ocasionadas por la voladura, un método muy usado es establecer la ley de propagación de la velocidad de partículas (VPP), teniendo en cuenta el tipo de macizo rocoso, sus propiedades geomecánicas, la carga explosiva, la distancia, una malla adecuada de perforación y voladura, su profundidad, sus respectivas cargas y la secuencia de salida. Se ha monitoreado con dos Modelos Matemáticos la datos de las vibraciones de los Tajos Mercedes Norte y Principal, de la mina Colquijirca.

1.1 Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es mejorar la estimación del Modelo Devine en la VPP de los tajos Mercedes Norte y Principal de la mina Colquijirca por el Modelo Matemático Colque para

predecir las excesivas vibraciones en la zona investigada de tal manera que se pueda prevenir cualquier accidente que podría suceder por las excesivas vibraciones producidas por la voladura de rocas

1.2 Formulación de la Hipótesis

Se quiere probar si:

H₀ : El Modelo Colque estima mejor la VPP que el Modelo Devine

H₁ : El Modelo Colque no estima mejor la VPP que el Modelo Devine

CAPITULO II

GENERACIÓN DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LAS VOLADURAS DE ROCAS

2.0 Descripción del fenómeno vibratorio

Las vibraciones son fenómenos que transmiten energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. Las vibraciones se manifiestan mediante un movimiento ondulatorio y en el caso de la voladura son ondas que se generan en el interior de la corteza terrestre debido a la detonación de un explosivo que se propagan por el macizo rocoso, aunque puede propagarse también por el aire.

2.1 Generación de las ondas sísmicas por voladura

Cuando un explosivo confinado en el interior de un taladro localizado en un macizo rocoso, detona, genera en forma casi instantánea un volumen de gases a una presión y temperatura elevada, esta aparición brusca de una presión elevada sobre las paredes del taladro, actúa como un choque o impacto brusco que se manifiesta

en forma de onda de deformación a través del macizo rocoso en torno al taladro. Esa onda de deformación/tensión transmitida es cilíndrica en el caso de carga cilíndrica, distribuida en el taladro o esférica, en caso de carga puntual, aunque a considerable distancia del taladro con relación a su longitud puede considerarse la detonación reducida a un punto y en consecuencia la onda de propagación como esférica, luego la tensión que soporta un elemento material será función inversa de la distancia.

La energía vibratoria es proporcional a la cantidad de explosivo.

$$E = p \times Q \quad (2.1)$$

E : Energía vibratoria

Q : Energía producida por la detonación de la mezcla explosiva comercial. Función de la resistencia de la roca.

p : Es la proporción de energía total del explosivo empleada en generar vibración en voladuras convencionales, en las que no existe gran confinamiento, este valor es 0.4 aprox.¹

2.2 Tipos de ondas elásticas

Básicamente se puede agrupar los tipos de ondas elásticas en dos grupos: Ondas Internas y Ondas Superficiales.

¹ Fuente: Pascual de Blas Jesús. Referencia bibliográfica

2.2.1 Ondas Internas

Son aquellas que se propagan en el interior del macizo rocoso en este caso, se tiene las ondas longitudinales, de compresión o principales P y las ondas transversales, de cizalladura o secundaria S. Las ondas P se caracterizan por provocar la oscilación de las partículas en la misma dirección en la que la onda se propaga. Son las que primero se registran en los sismógrafos, de ahí su nombre P o primarias. Atraviesan sólidos y líquidos. Son de alta frecuencia y longitud de onda corta.

Las ondas S se caracterizan por provocar la oscilación de las partículas en una dirección transversal a la dirección en que la onda se propaga. Atraviesan únicamente los sólidos y se registran en segundo lugar en el sismógrafo. Son de baja frecuencia y longitud de onda larga.

2.2.2 Ondas Superficiales

Son aquellas que únicamente se transmiten por la superficie del material, tenemos las ondas Rayleigh (R) y las ondas Love (L) como principales, existen también las ondas acopladas y las hidrodinámicas.

Cuando las ondas internas que se generan en el interior del macizo rocoso, alcanzan la superficie, aparecen las ondas de

superficie. Si se considera para su análisis que el eje X corresponde a la dirección principal de propagación, el eje Y horizontal perpendicular al eje X y el eje Z, perpendicular a ambos, según la figura que se muestra abajo.

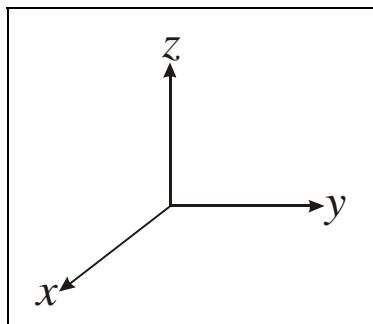


Figura 2.1 Ejes de desplazamiento de ondas en sistema macizo rocoso

Las ondas Rayleigh se propagan en el plano ZX, originando en dicho plano oscilaciones elípticas. Sus efectos son de compresión, dilatación y cizalla, su velocidad es aproximadamente 0.9 de las ondas transversales. La existencia de estas ondas fue enunciada por Lord Rayleigh en 1885.

Las ondas Love, se propagan en el plano XY originando oscilaciones elípticas contenidas en dicho plano. Su velocidad es similar a las de las Rayleigh. Se denomina así en honor al matemático británico Love (1911).

En las siguientes figuras se muestran los trenes de ondas de una vibración generada por una voladura; se observan las ondas P y S y las superficiales.²

² Fuente: Pascual de Blas Jesús. Referencia bibliográfica

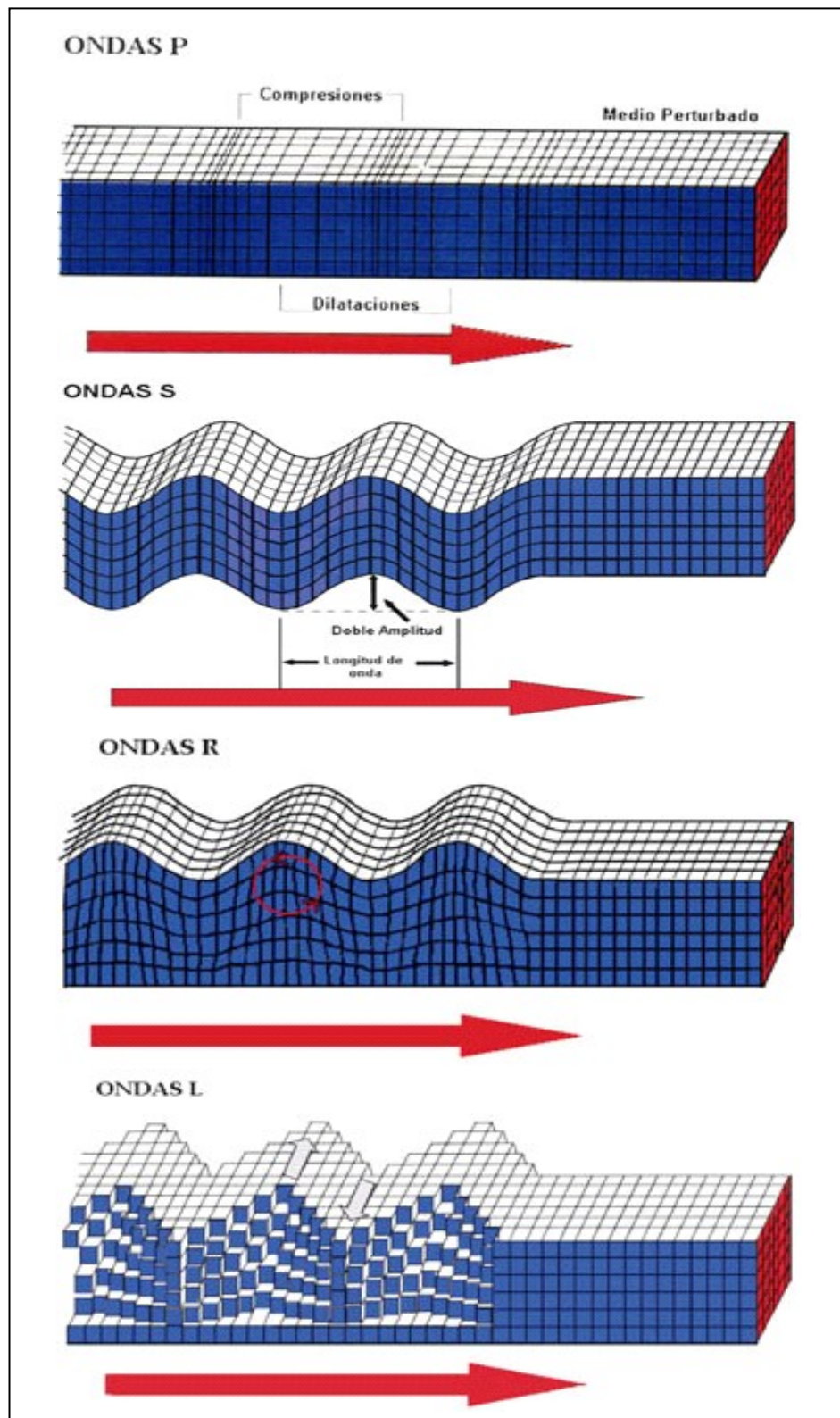


Figura 2.2 Fuente: Crédito imagen: www.funvisis.gob.ve

2.3 Atenuación Geométrica

La densidad de energía en la propagación de los pulsos generados por la detonación de una carga de explosivo, disminuye conforme las ondas encuentran o afectan a mayores volúmenes de rocas. Debido a la complejidad de las ondas que se generan en la voladura es necesario considerar ciertos factores de atenuación geométrica para cada uno de los distintos tipos.

En un medio homogéneo, elástico e isotropico la amplitud decae debido a la atenuación geométrica, su caída para los distintos tipos de ondas dominantes son proporcional a:

- $\frac{1}{DS}$ para ondas internas en un medio semí-infinito.
- $\left(\frac{1}{DS}\right)^{0.5}$ para ondas Rayleigh.
- $\left(\frac{1}{DS}\right)^2$ para ondas internas propagándose a lo largo de una superficie libre.

DS es la distancia desde la fuente sísmica.³

2.4 Amortiguación Inelástica

³ Richard et. al. 1970.

Los macizos rocosos no constituyen para la propagación de las vibraciones un medio elástico. Isótropo y homogéneo, al contrario aparecen numerosos efectos inelásticos que provocan una pérdida de energía durante la propagación de las ondas que se suma a la atenuación geométrica.

Son numerosas las causas de la atenuación inelástica, teniendo cada una de ellas diferentes grados de influencia.

- Disipación en la matriz inelástica.
- Atenuación en rocas saturadas.
- Flujo en el interior de las grietas.
- Reflexión en rocas porosas o con grandes orificios.
- Absorción de energía en sistemas que experimentan cambios de fase, etc.⁴

2.5 Daños en la roca basados en tensiones dinámicas

La geodinámica en la minería se ocupa de los movimientos vibratorios naturales (terremotos) o inducidos (monitoreo) y sus efectos sobre las estructuras mineras, tales como taludes, excavaciones subterráneas y presas de relave. Por lo tanto el comportamiento dinámico es un aspecto a considerar en forma

⁴ Fuente: Córdova David. Vibraciones. Referencia bibliográfica

practica en todas las minas. En el Perú, la dinámica resulta particularmente importante en la minería debido a la actividad sísmica en casi todos los yacimientos.

La transmisión de ondas dinámicas desde la fuente al punto de interés depende del material a través del cual deben pasar las ondas con menos atenuación (perdida de energía) que los materiales menos competentes, como los suelos.

La principal preocupación para la industria minera es el efecto (daño) que ocasiona el movimiento dinámico sobre la estabilidad. Las estructuras mineras de interés incluyen excavaciones subterráneas bancos y taludes de minas a cielo abierto, presas de relavas, botaderos y pilas de lixiviación.⁵

2.6 Efectos de las vibraciones sobre los macizos rocosos

Las vibraciones tienen un doble ámbito de actuación sobre los macizos rocosos, por un lado afectan a la integridad de las rocas o parámetros resistentes de estas y por otro lado pueden llegar a provocar colapsos en los taludes al introducir acciones desestabilizadoras.⁶

⁵ Fuente: López Jimeno. Referencia bibliográfica

⁶ López Jimeno. Referencia bibliográfica

2.7 Definición y Obtención de los Parámetros Fundamentales de las Vibraciones.

Investigadores de diversos países concluyen en admitir que los daños estructurales se correlacionan con la amplitud de las ondas sísmicas y que entre los parámetros físicos más representativos es la velocidad de vibración de las partículas.⁷

2.8 Estimación de las Vibraciones Terrestres

2.8.1 Modelo Devine

Es el siguiente:

$$V = a \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^b + \varepsilon \quad (2.2)$$

V = V PP;

D = distancia al Geofono

Q = carga explosiva

a, b parámetros de la roca

ε = error aleatorio;

$\left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)$ es la distancia escalada

⁷ Dinis da Gama, 1998

Tomando logaritmos en (2.2) a ambos miembros se tiene:

$$\log(V) = \log(a) + b \cdot \log\left(\frac{D}{\sqrt{Q}}\right) \quad (2.3)$$

Haciendo

$$\log(V) = Y \quad (2.4)$$

$$\log(a) = A; \quad (2.5)$$

$$\log\left(\frac{D}{\sqrt{Q}}\right) = X \quad (2.6)$$

La ecuación (2.2) se transforma en:

$$Y = A + b \times X \quad (2.7)$$

Regresión Lineal simple, se calcula a y b,

El error ε = lectura del Geofono – Y = lectura del Geofono – (A + b.X) Usando el Minitab y el lenguaje R, calculamos los parámetros a y b y la VPP.

2.9 Velocidad de propagación de onda

Es la velocidad con que viaja una onda en un medio sólido o líquido. La corteza terrestre no es una masa uniforme y homogénea, es una sucesión de rocas que tienen distintos orígenes y naturaleza de allí que se distinguen en cuanto a sus propiedades mecánicas estructurales y que se comportan de una manera particular cuando viaja a través de ellas una onda sísmica.

Cuando se genera un sismo, se manifiesta como una complejidad de ondas que se propagan a través del terreno, de varias maneras.⁸

De todos los tipos de ondas presentes en un sismo, se estudia la onda P.

Velocidad de onda P

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\gamma)}{\rho(1+\gamma)(1-2\gamma)}} \quad (2.8)$$

Donde:

E = módulo de Young

γ = relación de Poisson.

ρ = densidad del medio (roca)

⁸ López Jimeno. Referencia bibliográfica

Tabla 2.1 Velocidad de onda P según el tipo de roca.

Tipo de roca	Velocidad (km/s)
Grano diorita	6,44
Diorita	6,10
Pizarras	5,91
Cuarcitas	6,15
Gneis	6,07
Lutitas	3,50
Basalto	6,63
Anfibolitas	7,21
Gabro	7,06
Granulitos	7,25

Fuente: Valores hallados por Buitriago et al. (2001)

CAPITULO III

CASO - ESTUDIO DE LA MINA COLQUIJIRCA

3.0 Ubicación y Acceso

Colquijirca etimológicamente proviene de los vocablos quechua-aymara (Colque: Plata y Jirca: Cerro, en español significa: “Cerro de Plata”

El yacimiento minero de Colquijirca se encuentra ubicado en el, Departamento de Cerro de Pasco, Provincia de Pasco y distrito de Tinyahuarco a una altura promedio de 4,350 m.s.n.m.

Sus coordenadas U.T.M., son:

- 811 271- N
- 361 760 - E

El acceso principal a la mina Colquijirca, es a través de la Carretera Central, Lima - La Oroya - Colquijirca con un recorrido de 288 Km. También hay acceso por la vía férrea Lima - La Oroya - Cerro de Pasco. Colquijirca se encuentra a 15.8 Km. de la ciudad de Cerro de Pasco por la Carretera Central.

3.1 Clima y Vegetación

El clima presenta dos estaciones bien definidas: el invierno comienza entre los meses de octubre a noviembre y termina en abril, las temperaturas son de 0°C a 10°C. El verano empieza en abril o mayo y termina en septiembre, los días son calurosos y por la noche la temperatura desciende a niveles bajo cero.

La vegetación es poca, está conformada por árboles y el pasto natural llamado Ichu. La maca es el principal fruto de las regiones.

3.2 Geomorfología

El yacimiento minero de Colquijirca, se encuentra en una meseta elevada conocida como el Nudo de Pasco y limitado entre las cordilleras oriental y occidental. Hacia el sur las pendientes son suaves terminando en las pampas de Junín, hacia el norte existe un cambio total al manifestarse en una serie de cañones y cascadas con pendientes empinadas.

3.3 Recursos Naturales

Los minerales poli metálicos como la plata, plomo, cobre, zinc entre otros, constituyen los principales recursos naturales de la región, su

vegetación es escasa, en la ganadería se tiene la crianza de ovinos, vacunos y auquénidos.

En las cercanías de la mina existen cooperativas ganaderas, denominadas Sociedad Agrícola de Interés Social (SAIS), que producen carne, leche y queso de gran demanda en la región.

3.4 Geología General

3.4.1 Litología y Estratigrafía

La región Colquijirca presenta rocas sedimentarias de edades que van desde el Paleozoico (Devónico) hasta el Terciario Inferior y rocas ígneas volcánicas en intrusos terciarios.

3.4.2 Geología Estructural

Los rasgos estructurales de mayor importancia en el área son la Falla Longitudinal y la falla del Río San Juan - Venenococha, siendo la primera una estructura antigua con dirección N-S, que controló por el movimiento de la falla, los depósitos de los sedimentos del Triásico (Era Mesozoica), constituidos por calizas, margas, dolomitas pertenecientes a la Formación Chambará depositados al W y E de la falla.

Al Este de la Falla longitudinal existen pequeñas estructuras, donde las secuencias sedimentarias delgadas descansan sobre esquistos, presentándose como anticlinales domicos alongados. Al Oeste de esta falla regional se observan anticlinales y sinclinales apretados. En el área del tajo Norte - La Llave están presentes los flancos: Principal - Mercedes - Chocayoc-La Llave - La Pampa. Las direcciones de los ejes de estas estructuras son:

- Eje del sinclinal Principal - Mercedes : N12°W
- Eje del anticlinal Mercedes - Chocayoc : N20°W
- Eje del sinclinal Chocayoc - La Llave : N32°W
- Eje del anticlinal La Llave - Pampa : N39°W

3.4.3 Geología Económica

La mineralización en el Tajo Norte - La Llave, es de origen epitermal del tipo alta sulfuración, desarrollado en las secuencias sedimentarias plegadas del Miembro Medio o Colquijirca y del Miembro Superior de la Formación Calera. La mineralización se emplaza en los flancos Principal, Mercedes, Chocayoc, La Llave y La Pampa, preferentemente en el tope del Miembro Medio.

Estudios realizados a los testigos de perforación diamantina, han definido tres tipos de mineralización:

- Tipo I,
- Tipo II
- Tipo III.

La mineralización Tipo I se caracteriza por su alto contenido de cobre, plata y bismuto, en la zona central. La mineralización Tipo II representa a la zona de transición, caracterizada por alto contenido de cobre, plata, bismuto, zinc y plomo, siendo una zona muy compleja. La mineralización Tipo III es el halo más externo de la mineralización y el de mayor importancia económica por su volumen.

Se han generado alteraciones muy intensas por los fluidos hidrotermales, en las rocas carbonadas de la Formación Calera. Se pueden observar silificación argilización, dolomitación y descarbonitación, en diferentes lugares y en diferente intensidad. Como alteración supergena está la oxidación.⁹

⁹ Fuente: Sociedad Minera EL Brocal S.A.A. Referencia bibliográfica

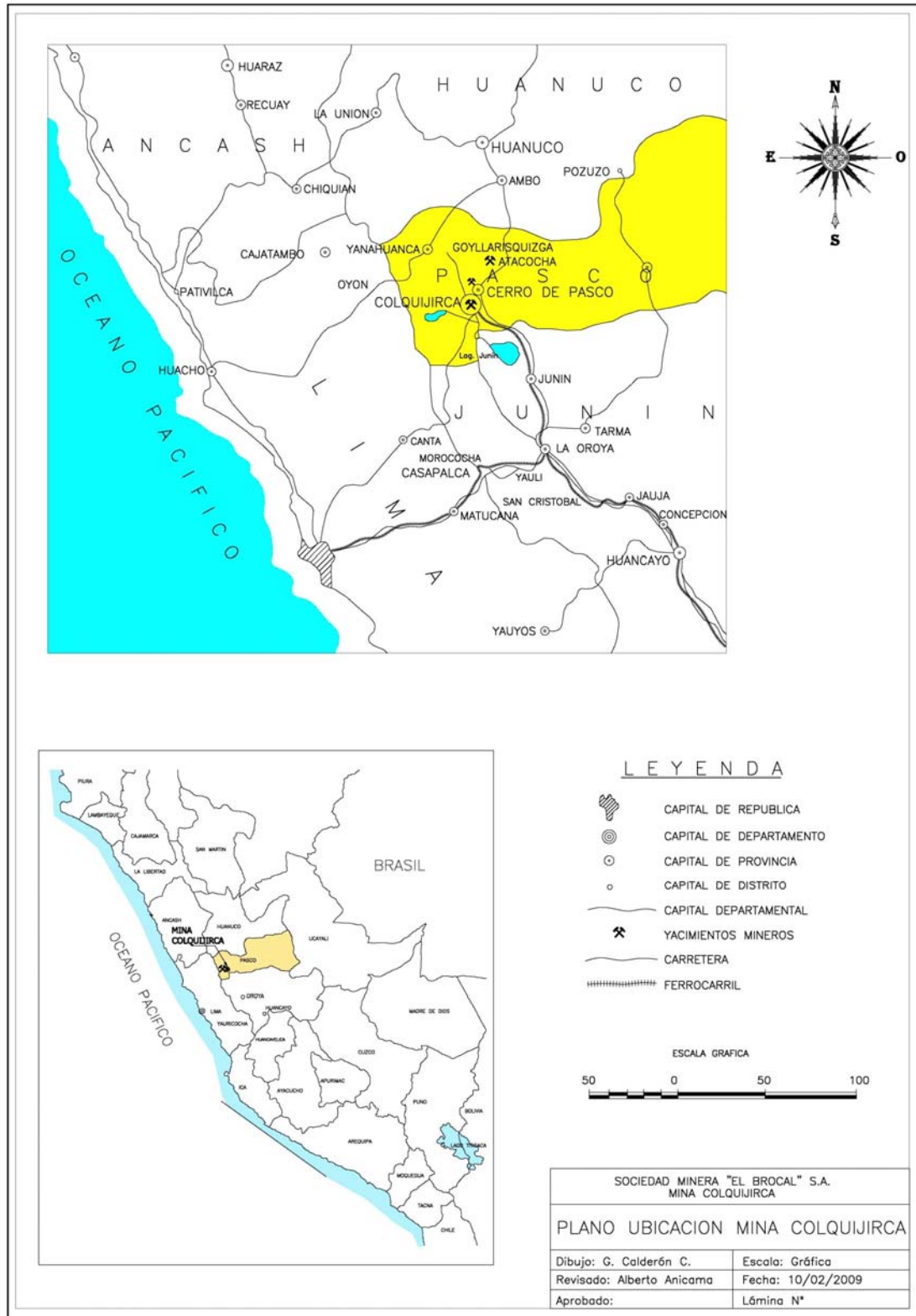


Figura 3.1 Plano de Ubicación de la mina Colquijirca



Figura 3.2 Tajo Mercedes Norte y Principal (Foto)



Figura 3.3 Plano del Tajo Mercedes Norte y Principal - **Escala:** 1/2000

CAPITULO IV

ELABORACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO CONFIABLE PARA LA PREDICCIÓN DE LAS VIBRACIONES DE LOS TAJOS MERCEDES NORTE Y PRINCIPAL DE LA MINA COLQUIJIRCA

4.0 Data de los Tajos Mercedes Norte y Principal

Las labores de las voladuras de los Tajos Mercedes Norte y Principal las que se realizaron del 23 de noviembre del 2000 al 01 de Setiembre del 2001 se detallan en la siguiente tabla resumen:

Tabla 4.1 Cuadro Resumen de la voladura de los Tajos Mercedes Norte
y Principal

Distancia (m)	C. Max/Ret (Kg/ret.)	PPV cm/s	Distancia Escalada (S.D)	Distancia (m)	C. Max/Ret (Kg/ret.)	PPV cm/s	Distancia Escalada (S.D)
245,76	60	3,06	31,73	.... viene			
175,92	260	2,64	10,91	58,93	100	11,60	5,89
176,01	180	9,43	13,12	58,93	100	12,44	5,89
175,90	180	1,61	13,11	109,46	100	5,52	10,95
210,13	140	3,44	17,76	117,48	100	3,17	11,75
272,93	25	0,43	54,59	136,71	28	3,22	25,84
148,40	100	2,41	14,84	146,87	100	3,39	14,69
165,50	25	1,56	33,10	151,82	150	4,84	12,40
166,60	280	3,96	9,96	87,70	150	11,20	7,16
192,40	120	3,87	17,56	133,66	125	3,30	11,96
277,37	120	0,69	25,32	108,35	125	3,14	9,69
228,07	10	1,94	72,12	115,99	125	2,26	10,37
228,07	10	2,37	72,12	100,95	125	1,04	9,03
139,60	160	2,36	11,04	191,94	125	0,38	17,17
365,65	30	0,33	66,76	155,01	125	3,30	13,86
337,10	29	0,44	62,60	167,20	125	0,99	14,95
135,83	280	6,44	8,12	147,86	125	1,04	13,23
94,23	280	6,31	5,63	171,28	240	3,40	11,06
176,25	160	1,45	13,93	121,93	200	3,68	8,62
108,36	160	6,46	8,57	130,88	240	0,91	8,45
165,62	125	3,03	14,81	154,94	200	2,38	10,96
133,90	65	1,27	16,61	149,37	80	1,52	16,70
202,77	280	2,42	12,12	154,25	170	0,55	11,83
73,63	45	3,57	10,98	134,82	50	5,51	19,07
215,56	280	1,76	12,88	158,91	160	1,16	12,56
124,72	160	10,20	9,86	153,26	160	1,54	12,12
98,43	18	0,64	23,20	220,71	160	0,58	17,45
104,85	80	5,24	11,72	177,46	160	1,06	14,03
110,21	30	3,23	20,12	190,10	160	1,98	15,03
114,78	80	2,89	12,83	189,39	160	2,71	14,97
221,80	132	0,34	19,31	74,06	60	3,81	9,56
190,00	110	1,97	18,12	74,06	60	4,11	9,56
168,18	140	2,14	14,21	146,26	160	5,56	11,56
121,70	110	2,10	11,60	146,26	160	2,64	11,56
128,07	250	4,42	8,10	142,22	170	1,85	10,91
99,43	150	3,08	8,12	173,02	160	1,85	13,68

va.... ↗

Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A. - Unidad Colquijirca - "La seguridad es mi responsabilidad"

4.1 Instrumentación y materiales usados

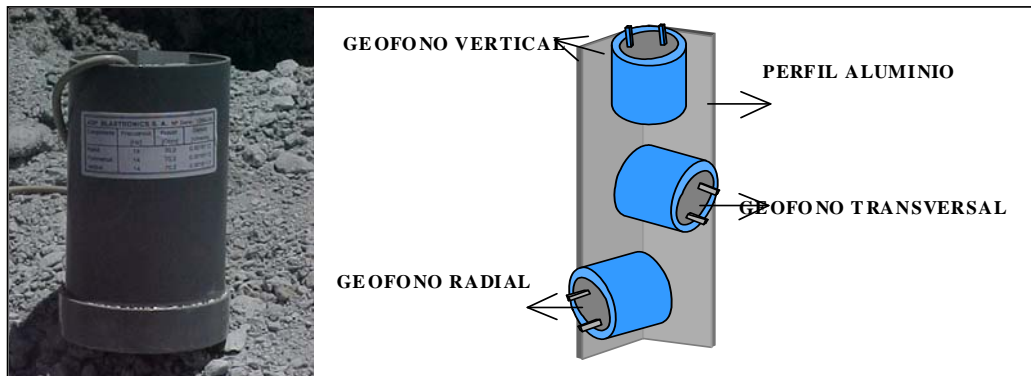


Figura 4.1 Geofono Triaxial (foto)

Geofono Triaxial:

Resistencia: 35.7 ohm, Resistividad: 0.0008057 V/mm/s

- Software Minitab
- Lenguaje R
- Caja de Conexión
- Tubo de PVC 3 pulgadas y pegamento
- Concreto
- Carga Explosiva (Fuente Sísmica)

4.2 Definición y obtención del Modelo Matemático Colque

Sea la Serie

$$\sum_{n=2}^{\infty} \frac{D_n}{n\sqrt[n]{Q_n}} = \frac{D_2}{\sqrt{Q_2}} + \frac{D_3}{\sqrt[3]{Q_3}} + \frac{D_4}{\sqrt[4]{Q_4}} + \frac{D_5}{\sqrt[5]{Q_5}} + \frac{D_6}{\sqrt[6]{Q_6}} + \frac{D_7}{\sqrt[7]{Q_7}} + \frac{D_8}{\sqrt[8]{Q_8}} + \dots \quad (4.1)$$

Definida en el intervalo $2 \leq n < \infty$

La serie (4.1), $\exists \forall n \in \mathbb{Z}^+$ Domínio ($2 \leq n < \infty$) Rango $(\frac{D_2}{\sqrt{Q_2}}, \infty)$

Donde:

D_n son distancias

Q_n son cargas por retardo

($n = 2, 3, 4, 5, 6, \dots, \infty$),

Siendo la serie definida en el intervalo $2 \leq n < \infty$ infinita y creciente.

Cuando $n = 2$ se tiene el termino $\frac{D_2}{\sqrt{Q_2}}$ de la serie dada

Cuando $n = 5$ se tiene el termino $\frac{D_5}{\sqrt[5]{Q_5}}$ de la serie dada

Con la data dada de los Tajos y usando el archivo colqui.txt (apéndice C.4) donde se encuentra la información de la mina Colquijirca se calcula la media de las distancias escaladas para $n = 2$ y $n = 5$, usando el lenguaje R.

$n = 2$ es la distancia escalada del Modelo Devine que es la referencia para hallar otro Modelo.

Q.RE es la carga por retardo,

D.R la distancia y

D.ES la distancia escalada, según el archivo colqui.txt

```
dat=read.table("colqui.txt", T)
```

```
> Q.RE=dat$Q.RE
```

```
> D.R=dat$D.R
```

```
> D.ES=D.R/ (Q.RE) ^ (1/2)
```


> D.ES

Tabla 4.2 Distancia Escalada para n = 2

[1]	31.727480	10.910095	13.119011	13.110812	17.759226	54.586000	14.840000
[8]	33.100000	9.956254	17.563637	25.320301	72.122067	72.122067	11.036349
[15]	66.758251	62.597898	8.117395	5.631320	13.933786	8.566610	14.813503
[22]	16.608251	12.117825	10.976112	12.882174	9.859982	23.200173	11.722586
[29]	20.121501	12.832794	19.305212	18.115789	14.213804	11.603640	8.099858
[36]	8.118426	5.893000	5.893000	10.946000	11.748000	25.835762	14.687000
[43]	12.396051	7.160675	11.954914	9.691119	10.374461	9.029242	17.167636
[50]	13.864516	14.954823	13.225000	11.056076	8.621753	8.448268	10.955912
[57]	16.700074	11.830435	19.066427	12.562939	12.116267	17.448658	14.029445
[64]	15.028725	14.972594	9.561105	9.561105	11.562868	11.562868	10.907776
[71]	13.678432						

> mean (D.ES)

[1] 17.21075

> dat=read. table ("colqui.txt",T)

> Q.RE=dat\$Q.RE

> D.R=dat\$D.R

> D.CIN=D.R/(Q.RE)^(1/5)

> D.CIN (es la distancia escalada para n = 5)

Tabla 4.3 Distancia Escalada para n = 5

[1]	108.36298	57.85229	62.29925	62.26032	78.21003	143.37165	59.07910
[8]	86.93807	53.98131	73.85312	106.46902	143.90244	143.90244	50.58962
[15]	185.20015	171.90130	44.01129	30.53216	63.87121	39.26856	63.05663
[22]	58.10291	65.70102	34.38843	69.84520	45.19726	55.21702	43.64660
[29]	55.82089	47.78023	83.53082	74.21216	62.59631	47.53484	42.44821
[36]	36.50053	23.46046	23.46046	43.57681	46.76963	70.20510	58.47000
[43]	55.73278	32.19447	50.88848	41.25218	44.16096	38.43477	73.07747
[50]	59.01708	63.65819	56.29485	57.23536	42.25758	43.73519	53.69793
[57]	62.17924	55.22496	61.65387	57.58737	55.53987	79.98306	64.30970
[64]	68.89031	68.63301	32.65528	32.65528	53.00314	53.00314	50.91795
[71]	62.70069						

> mean (D.CIN)

[1] 63.21059

Se iguala las medias:

$$17.21075 = K \times 63.21059 \text{ de donde } K = 0.272$$

Se ha monitoreado la media del Tajo con los valores de:

$$K = \frac{1}{3.5}, \frac{1}{3.6}, \frac{1}{3.64}, \frac{1}{3.68}, \frac{1}{3.7}, \frac{1}{3.72}, \frac{1}{3.75}, \frac{1}{3.8}$$

cuyas equivalencias son:

$$0.285, 0.277, 0.270, 0.272, 0.275, 0.268, 0.267, 0.263$$

(ver apéndice C.1 y grafico que se adjunta), la mejor media se halla con $K = 0.270$ o $1/3.7$ Al decir la mejor media es con referencia a la media que se halla con el Modelo Devine que es 2.515.

Se tiene el siguiente grafico para hallar el K que se va usar en el Modelo Colque.

$$> \text{media} = c(2.63, 2.61, 2.642, 2.62, 2.643, 2.60, 2.62, 2.613)$$

$$> K = c(0.285, 0.277, 0.275, 0.272, 0.270, 0.268, 0.267, 0.263)$$

$$> \text{plot}(\text{media}, K)$$

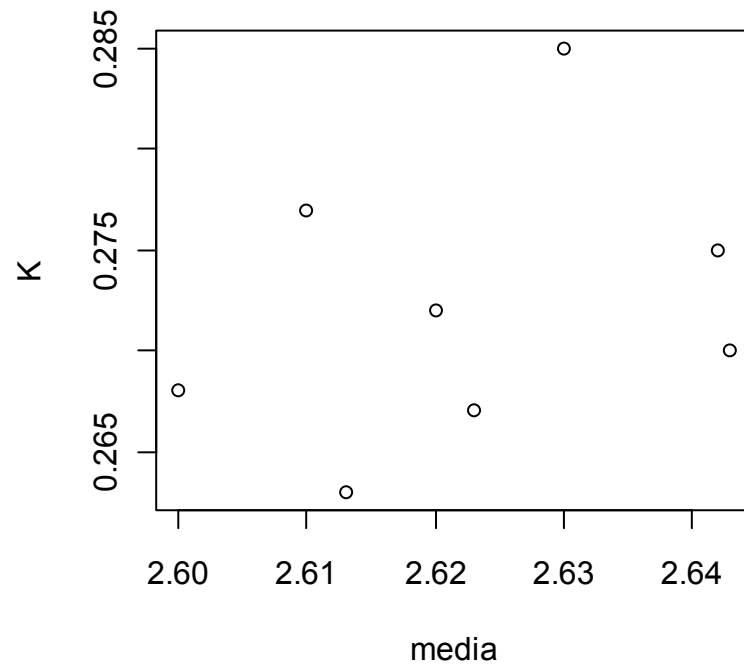


Figura 4.2 Grafico para hallar el K del Modelo Colque, K = 0.270 (los datos se han tomados del Apéndice C.1)

El Modelo Matemático Colque será:

$$PPV = 0.27 \times a \times \left(\frac{D_5}{\sqrt[5]{Q_5}} \right)^b + \varepsilon \quad (4.2)$$

Donde: 0.27 es una constante fija, a y b son constantes que deben ser estimadas. Ambas constantes dependen directa o indirectamente de las condiciones geológicas de la región. $D_5 = D$ es la distancia desde la voladura hasta el sitio de interés (sitio de medición) $Q_5 = Q$ es la carga que genera las vibraciones, de esta ecuación se pueden

predecir, con cierta confianza, los valores de velocidad máxima de partícula como función de la carga Q y la distancia D, luego, después de haber hecho los reemplazos, se tiene:

$$PPV = 0.27 \times a \times \left(\frac{D}{\sqrt[5]{Q}} \right)^b + \varepsilon \quad (4.3)$$

4.3 Monitoreo de las vibraciones en los Tajos Mercedes Norte y Principal

En el yacimiento minero de Colquijirca, para hallar la velocidad pico de partícula se ha usado el Modelo Devine, como se observa en la siguiente ecuación:

$$V = a \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^b + \varepsilon \quad (4.4)$$

Tomando logaritmos a ambos miembros, se tiene

$$\log(V) = \log(a) + b \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right) \quad (4.5)$$

V, lectura del Geofono,

$\left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)$, distancia escalada

El log de V en este caso es el PPV del archivo hperson.txt, donde se encuentra también el log de la distancia escalada log D.ES introducimos estos archivos en el Minitab para hallar a y b, Luego el lenguaje R para calcular la media de la VPP de la Mina Colquijirca. En el archivo colqui.txt se encuentra la información de la mina Colquijirca

```
> dat=read.table("colqui.txt",T)
> a=21.88
> b=-0.848
> D.ES=dat$D.ES
> VPP1=a*(D.ES)^b
> VPP1
```

Tabla 4.4 Modelo Devine

[1]	1.1662743	2.8838451	2.4662632	2.4678584	1.9077422	0.7361654	2.2216281
[8]	1.1252090	3.1154687	1.9261519	1.4122452	0.5813211	0.5813211	2.8550226
[15]	0.6206653	0.6554692	3.7046212	5.0537784	2.3441034	3.538992	2.2254438
[22]	2.0191746	2.6377710	2.8682469	2.5051784	3.1422425	1.520945	2.7139179
[29]	1.7162114	2.5134550	1.7770676	1.8755523	2.3048759	2.7377069	3.7123766
[36]	3.7046212	4.8639550	4.8639550	2.8749093	2.7080408	1.388108	2.2408503
[43]	2.5871745	4.1217446	2.6676649	3.1889283	3.0106962	3.385510	1.9631890
[50]	2.354139	2.2077586	2.4488635	2.8506439	3.5215767	3.5815649	2.8726847
[57]	2.009943	2.6925034	1.7960149	2.5591993	2.637771	1.9364433	2.3299275
[64]	2.1977895	2.2052571	3.2256632	3.2256632	2.7457379	2.7457379	2.8838451
[71]	2.3803801						

```
> mean(VPP1)
```

```
[1] 2.515673
```

Tabla 4.5 Coeficiente de Correlación

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	1.3437	0.1848	7.27	0.000
D.ES	-0.8484	0.1570	-5.40	0.000
		S = 0.312858	R-cuad. = 29.7%	R-cuad.(ajustado) = 28.7%

El Modelo Matemático Colque mejora la aproximación de la media aritmética, como se podrá apreciar, mas adelante.

Modelo Matemático Colque, ecuación (4.3)

Para calcular las constantes a y b, la velocidad resultante VPP y la distancia escalada $\frac{D}{\sqrt[5]{Q}}$ se toma logaritmos a la ecuación (4.3), se

tiene:

$\log(VPP) = b \cdot \log\left(\frac{D}{\sqrt[5]{Q}}\right) + \log(a)$ en esta ecuación logarítmica, b es la

pendiente de la recta, $\log(a)$ es el intercepto con $\log\left(\frac{D}{\sqrt[5]{Q}}\right)$, para

calcular a y b, usamos en el Minitab los 71 datos del $\log(VPP)$, con

los datos del $\log\left(\frac{D}{\sqrt[5]{Q}}\right)$ que están en los archivos: hperson.txt y

D.ME3.7.txt (apéndice C.5 y C.6) obteniendo la ecuación de regresión y los valores de a y b, a = 83.17 y b = -1.3

El archivo colm3.7.txt contiene los 71 valores de la distancia

escalada $\frac{D}{\sqrt[5]{Q}}$

Con estos datos, procedemos a calcular los valores de la VPP y su media de la Mina Colquijirca, usando el lenguaje R

```
> dat=read.table("colm3.7.txt",T)
```

```
> a=83.17
```

```

> b=-1.3
> dat=dat$colm3.7
> VPP3=a*(dat) ^b
> VPP3

```

Tabla 4.6 VPP del Modelo Colque

[1]	1.0310595	2.3313755	2.1173919	2.1191134	1.5753888	0.7165173	2.2686364
[8]	1.3729539	2.5510123	1.6972644	1.0549666	0.7130834	0.7130834	2.7755504
[15]	0.513683	0.5659343	3.326562	5.3511127	2.049898	3.858073	2.0843898
[22]	2.3183108	1.9759921	4.5845104	1.8249518	3.2135361	2.4770459	3.3627406
[29]	2.4422671	2.9895531	1.4461993	1.6865972	2.1043384	3.0096313	3.4866769
[36]	4.2426776	7.5368789	7.5368789	3.3697438	3.0738014	1.812799	2.2994073
[43]	2.4472874	4.9947439	2.7543788	3.6186615	3.3119122	3.9672298	1.7207208
[50]	2.2717363	2.05882	2.4155701	2.3640965	3.5071393	3.3538884	2.568527
[57]	2.1227065	2.4765833	2.1462511	2.3453277	2.4583442	1.5301413	2.0317465
[64]	1.8579045	1.8669642	4.9033113	4.9033113	2.6123833	2.6123833	2.7523066
[71]	2.0997855						

```

> mean (VPP3)

```

```

[1] 2.643039

```

Tabla 4.7 Coeficiente de Correlación

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	1.9164	0.2410	7.95	0.000
D.ME3.7	-1.2989	0.1997	-6.50	0.000
		S = 0.293849	R-cuad. = 38.0%	R-cuad.(ajustado) = 37.1%

Con lo que se demuestra mas adelante que el Modelo Matemático

Colque estima mejor que el Modelo Devine cuya media es: 2.51

4.4 Determinación del mejor Modelo para hallar la Velocidad Pico de Partícula (VPP).

En los Tajos mencionados y Graficas de los Modelos.

Según el cuadro Resumen (Summary) se tiene: usando el archivo tesis.txt (apéndice C.10) donde se encuentra información de los Modelo Devine y Colque

```
dat=read.table("tesis.txt",T)
> summary(dat)
```

Tabla 4.8 Resumen estadístico de los Modelos

Geofono	M. Devine	M. Colque
Min. : 0.330	Min. : 0.5813	Min. : 0.5137
1st Qu.: 1.530	1st Qu.: 1.9866	1st Qu.: 1.9215
Median : 2.640	Median : 2.5135	Median : 2.3641
Mean : 3.199	Mean : 2.5157	Mean : 2.6430
3rd Qu.: 3.745	3rd Qu.: 2.8838	3rd Qu.: 3.2627
Max. : 12.440	Max. : 5.0538	Max. : 7.5369

Se observa que la media del Modelo Colque es 2.64, la del Modelo Devine es 2.51 y la media del Geofono es 3.19. Por lo tanto el Modelo Colque estima mejor la VPP de la mina Colquijirca que el Modelo Devine.

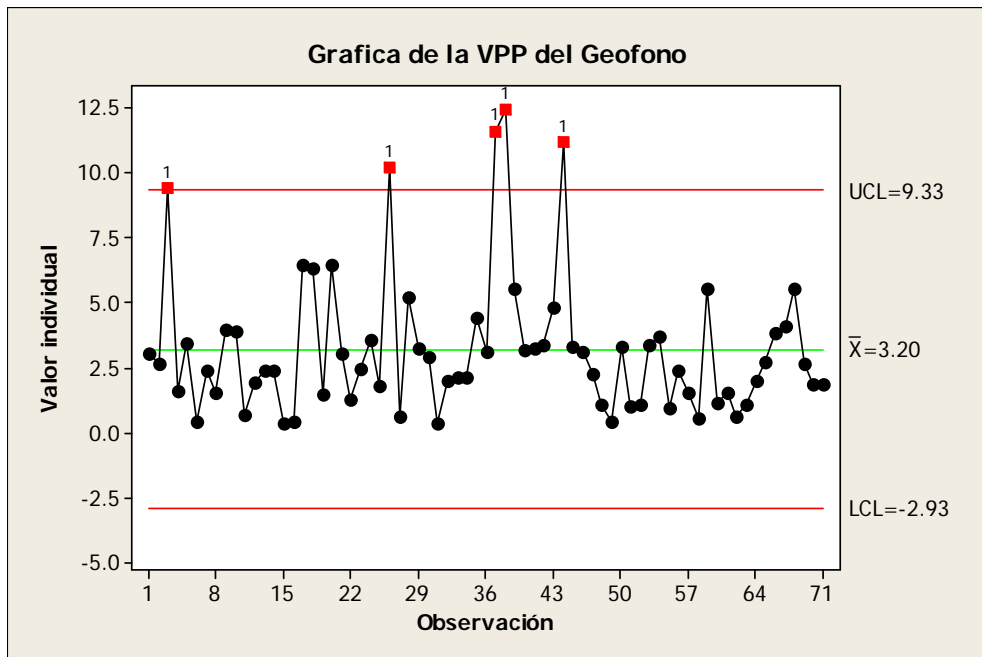


Figura 4.3 (a) Gráficos de la VPP del Geofono y de los Modelos Devine y Colque en la Mina Colquijirca

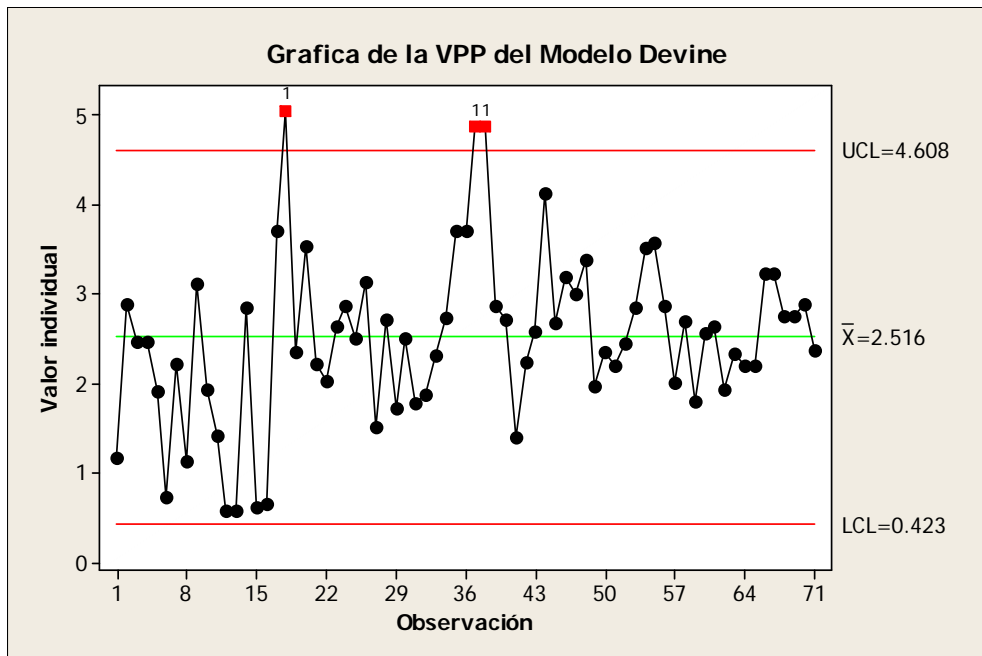


Figura 4.3 (b) Gráficos de la VPP del Geofono y de los Modelos Devine y Colque en la Mina Colquijirca

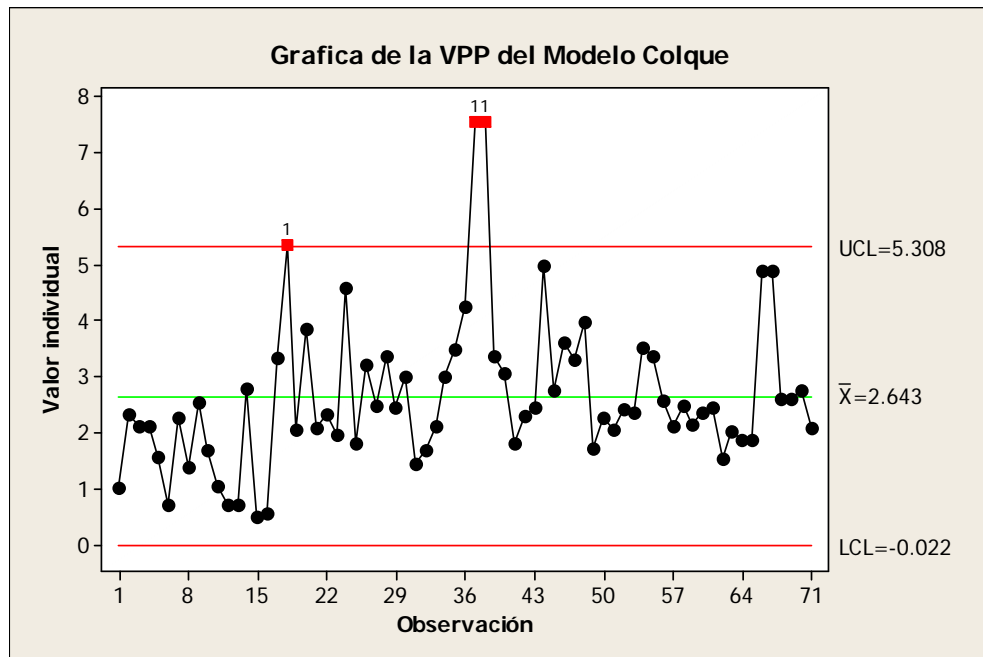


Figura 4.3 (c) Gráficos de la VPP del Geofono y de los Modelos Devine y Colque en la Mina Colquijirca

Estas Graficas comprueban que las Velocidades Pico Partícula del Modelo Colque son las que mas se aproxima a las Velocidades Pico Partícula del Geofono

4.5 VPP del Geofono, Modelo Devine y Modelo Colque del Tajo Mercedes Norte y Principal.

En el archivo tesis.txt, se encuentra la información de la VPP(cm/s) del Geofono, Modelo Devine y del Modelo Colque que se muestran a continuación.

```
> dat = read.table("tesis.txt", T)
```

```
> dat
```

Tabla 4.9 VPP del Geofono y, de los Modelos Devine y Colque del Tajo

Mercedes Norte y Principal

N°	Geofono cm/s	M. Devine cm/s	M. Colque cm/s	N°	Geofono cm/s	M. Devine cm/s	M. Colque cm/s
1	3.06	1.1662743	1.0310595	...	viene		
2	2.64	2.8838451	2.3313755	37	11.6	4.863955	7.536879
3	9.43	2.4662632	2.1173919	38	12.44	4.863955	7.536879
4	1.61	2.4678584	2.1191134	39	5.52	2.874909	3.369744
5	3.44	1.9077422	1.5753888	40	3.17	2.708041	3.073801
6	0.43	0.7361654	0.7165173	41	3.22	1.388108	1.812799
7	2.41	2.2216281	2.2686364	42	3.39	2.24085	2.299407
8	1.56	1.125209	1.3729539	43	4.84	2.587175	2.447287
9	3.96	3.1154687	2.5510123	44	11.2	4.121745	4.994744
10	3.87	1.9261519	1.6972644	45	3.3	2.667665	2.754379
11	0.69	1.4122452	1.0549666	46	3.14	3.188928	3.618662
12	1.94	0.5813211	0.7130834	47	2.26	3.010696	3.311912
13	2.37	0.5813211	0.7130834	48	1.04	3.38551	3.96723
14	2.36	2.8550226	2.7755504	49	0.38	1.963189	1.720721
15	0.33	0.6206653	0.513683	50	3.3	2.354139	2.271736
16	0.44	0.6554692	0.5659343	51	0.99	2.207759	2.05882
17	6.44	3.7046212	3.326562	52	1.04	2.448864	2.41557
18	6.31	5.0537784	5.3511127	53	3.4	2.850644	2.364097
19	1.45	2.3441034	2.049898	54	3.68	3.521577	3.507139
20	6.46	3.538992	3.858073	55	0.91	3.581565	3.353888
21	3.03	2.2254438	2.0843898	56	2.38	2.872685	2.568527
22	1.27	2.0191746	2.3183108	57	1.52	2.009943	2.122707
23	2.42	2.637771	1.9759921	58	0.55	2.692503	2.476583
24	3.57	2.8682469	4.5845104	59	5.51	1.796015	2.146251
25	1.76	2.5051784	1.8249518	60	1.16	2.559199	2.345328
26	10.2	3.1422425	3.2135361	61	1.54	2.637771	2.458344
27	0.64	1.520945	2.4770459	62	0.58	1.936443	1.530141
28	5.24	2.7139179	3.3627406	63	1.06	2.329928	2.031747
29	3.23	1.7162114	2.4422671	64	1.98	2.19779	1.857905
30	2.89	2.513455	2.9895531	65	2.71	2.205257	1.866964
31	0.34	1.7770676	1.4461993	66	3.81	3.225663	4.903311
32	1.97	1.8755523	1.6865972	67	4.11	3.225663	4.903311
33	2.14	2.3048759	2.1043384	68	5.56	2.745738	2.612383
34	2.1	2.7377069	3.0096313	69	2.64	2.745738	2.612383
35	4.42	3.7123766	3.4866769	70	1.85	2.883845	2.752307
36	3.08	3.7046212	4.2426776	71	1.85	2.38038	2.099786
			va.... ↗	Media=3.19	Media=2.51	Media=2.64	

$$\text{Error del Modelo Devine} = \frac{(3.19 - 2.51)}{3.19} \times 100 = 21.32\%$$

$$\text{Error del Modelo Colque} = \frac{(3.19 - 2.64)}{3.19} \times 100 = 17.24\%$$

Con los resultados obtenidos del Modelo Colque versus el Modelo Devine, se concluye que el Modelo Colque estima mejor la VPP que el Modelo Devine.

Se acepta la Hipótesis H_0

Se rechaza la Hipótesis H_1

4.6 Validación del Modelo Colque

El método más eficaz para validar un modelo de regresión con respecto a su eficiencia de predicción es reunir nuevos datos y comparar en forma directa las predicciones del modelo con esos datos. Si el modelo produce predicciones exactas para nuevos datos, el usuario tendrá más confianza tanto en el modelo como en el proceso de su obtención. A veces, a esas nuevas observaciones se les llama corridas de confirmación.¹⁰

4.7 Para validar el Modelo Colque en otras minas, Caso Tintaya,

Se aplica los Modelos Devine y Colque a la zona de Deslizamiento CHEW Banco 4000 en la mina Tintaya para calcular la VPP de la mina referida.

¹⁰ Fuente: Montgomery - Pech Análisis de Regresión Lineal (capítulo 15 Validación de los Modelos de Regresión Pág. 479, 15.2.2). Referencia bibliográfica.



Fig. 4.4 Zona de Deslizamiento de Mina Tintaya

Tabla 4.10 Data de las Vibraciones – Mina Tintaya

Distancia al Geófono (m)	Heavy Anfo (Kg.)	PPV (mm/s)	Distancia al Geófono (m)	Heavy Anfo (Kg.)	PPV (mm/s)
59.01	650	22.06	.... viene		
50.14	670	30.62	53.53	670	55.30
42.43	660	26.29	22.61	200	105.30
33.42	650	51.78	31.20	200	35.39
35.78	630	35.78	17.13	200	116.78
30.63	650	61.27	24.88	200	43.11
28.61	660	90.38	12.74	200	349.08
30.14	600	77.80	18.41	200	319.82
64.26	680	18.07	11.59	200	223.82
26.41	620	90.38	13.66	200	161.57
33.30	620	47.87	14.56	200	137.89
20.93	650	209.5	10.53	200	307.03
25.35	650	203.36	20.14	180	74.94
20.25	670	276.21	12.72	180	136.38
20.34	670	134.76	25.60	200	74.69
23.62	660	107.00	16.95	200	197.14
19.42	660	475.81	31.92	200	36.67
29.78	640	211.29	22.62	200	50.04
22.72	640	89.05	39.38	200	32.79
37.64	550	77.09	29.85	200	37.09
29.20	550	194.22	56.75	670	83.00
47.21	650	71.02	47.41	670	88.29
38.24	650	90.31	45.91	200	25.30
63.03	670	36.06	36.22	200	38.63
	va....				

(Cortesía: Ing. Sebastián Vargas - Junio 2007)

```
> dat=read.table("tintaya.txt",T)
```

```
> Summary(dat)
```

Tabla 4.11 Resumen estadístico de la data de Tintaya

D	Q	VPP
Min. : 10.53	Min. : 180.0	Min. : 18.07
1st Qu. : 20.30	1st Qu. : 200.0	1st Qu. : 40.87
Median : 29.20	Median : 620.0	Median : 83.00
Mean : 30.81	Mean : 454.7	Mean : 116.13
3rd Qu. : 37.94	3rd Qu. : 655.0	3rd Qu. : 149.73
Max. : 64.26	Max. : 680.0	Max. : 475.81

La media de la VPP del Geofono de la mina Tintaya es de 116.13 mm/s

Se calcula la media de la VPP de los Modelos Devine y Colque, con esta data para compararlos con la VPP del Geofono de la mina Tintaya

Modelo Devine

```
dat=read.table("D.ESTin.txt",T)
```

```
> a=147.91
```

```
> b=-1.69
```

```
> dat=dat$D.ESTin
```

```
> VPP=a*(dat)^b
```

```
> VPP
```

Tabla 4.12 VPP según Modelo Devine

[1]	35.81336	48.38594	63.34973	93.61349	81.24341	108.47282	123.30963
[8]	104.17974	32.21423	133.8998	90.49774	206.44737	149.34358	223.9610
[15]	222.28881	170.4783	237.34	112.27598	177.37381	66.48997	102.1191
[22]	52.21459	74.55111	39.24898	53.18762	32.86971	43.32129	66.92678
[29]	38.83708	106.98378	56.93518	176.45403	94.71679	207.0460	156.83976
[36]	140.80729	243.48038	74.44616	161.85257	54.25532	108.91083	37.36815
[43]	66.87679	26.20306	41.85159	20.21830	30.18179		

```
> mean(VPP)
```

```
[1] 101.9081
```

Tabla 4.13 Coeficiente de correlación

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	2.17473	0.03986	54.55	0.000
Logtin	-1.6924	0.1765	-9.59	0.000
		S = 0.205818	R-cuad. = 67.1%	R-cuad.(ajustado) = 66.4%

Modelo Colque

```
> dat=read.table("D.TIN.txt",T)
> a=316.23
> b=-1.61
> dat=dat$D.TIN
> VPP=a*(dat)^b
> VPP
```

Tabla 4.14 VPP según Modelo Colque

[1]	29.51721	38.7442	50.44835	73.72507	65.39344	84.83381	95.14958
[8]	84.84991	26.10903	106.07437	73.03352	156.61269	115.04317	166.78590
[15]	165.59932	129.54477	177.54939	88.32401	136.54636	57.69105	86.82358
[22]	42.27375	59.34878	31.74084	42.39872	26.80602	34.87080	94.62700
[29]	56.34433	147.94141	81.1185	238.29569	131.73533	277.50115	212.99218
[36]	192.19806	323.83921	110.19693	230.93026	77.47696	150.47893	54.31225
[43]	94.55971	38.72979	60.50326	30.25299	44.31310		

```
> mean(VPP)
```

```
[1] 104.1316
```

Tabla 4.15 Coeficiente de correlación, se obtiene del Minitab o por formula

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	2.49699	0.06801	36.72	0.000
colmTIN	-1.6062	0.1704	-9.43	0.000
		S = 0.208134	R-cuad. = 66.4%	R-cuad.(ajustado) = 65.6%

Se observa que la media de la VPP del Modelo Colque es 104.1316, estima mejor que el Modelo Devine cuya media es 101.9081.

```
> dat = read.table("tintaya.txt",T)
> Geofono=dat$PPV
> dat=read.table("D.ESTin.txt",T)
> a=147.91
```



```
> b=-1.69  
  
> dat=dat$D.ESTin  
  
> DEVINE=a*(dat)^b  
  
> dat=read.table("D.TIN.txt",T)  
  
> a=316.23  
  
> b=-1.61  
  
> dat1=dat$D.TIN  
  
> COLQUE=a*(dat1)^b  
  
> data.frame (Geofono, DEVINE, COLQUE)
```

Tabla 4.16 Data de VPP de: GEOFONO, DEVINE, COLQUE

N°	GEOFONO cm/s	DEVINE cm/s	COLQUE cm/s	N°	GEOFONO cm/s	DEVINE cm/s	COLQUE cm/s
1	22.06	35.81336	29.51721	.... viene			
2	30.62	48.38594	38.7442	25	88.29	53.18762	42.39872
3	26.29	63.34973	50.44835	26	36.06	32.86971	26.80602
4	51.78	93.61349	73.72507	27	55.3	43.32129	34.8708
5	35.78	81.24341	65.39344	28	105.3	66.92678	94.627
6	61.27	108.47282	84.83381	29	35.39	38.83708	56.34433
7	90.38	123.30963	95.14958	30	116.78	106.9838	147.9414
8	77.80	104.17974	84.84991	31	43.11	56.93518	81.1185
9	18.07	32.21423	26.10903	32	349.08	176.454	238.2957
10	90.38	133.8998	106.07437	33	319.82	94.71679	131.7353
11	47.87	90.49774	73.03352	34	223.82	207.046	277.5012
12	209.5	206.44737	156.61269	35	161.57	156.8398	212.9922
13	203.36	149.34358	115.04317	36	137.89	140.8073	192.1981
14	276.21	223.961	166.7859	37	307.03	243.4804	323.8392
15	134.76	222.28881	165.59932	38	74.94	74.44616	110.1969
16	107.00	170.4783	129.54477	39	136.38	161.8526	230.9303
17	475.81	237.34	177.54939	40	74.69	54.25532	77.47696
18	211.29	112.27598	88.32401	41	197.14	108.9108	150.4789
19	89.05	177.37381	136.54636	42	36.67	37.36815	54.31225
20	77.09	66.48997	57.69105	43	50.04	66.87679	94.55971
21	194.22	102.1191	86.82358	44	32.79	26.20306	38.72979
22	71.02	52.21459	42.27375	45	37.09	41.85159	60.50326
23	90.31	74.55111	59.34878	46	25.30	20.21830	30.25299
24	83.00	39.24898	31.74084	47	38.63	30.18179	44.3131
		va.... ↗			Media=116.13	Media=101.908	Media=104.131

$$\text{Error del Modelo Devine} = \frac{(116.13 - 101.908)}{116.13} \times 100 = 12.25\%$$

$$\text{Error del Modelo Colque} = \frac{(116.13 - 104.131)}{116.13} \times 100 = 10.33\%$$

Con este monitoreo de las vibraciones en la mina Tintaya con los Modelos Devine y Colque y habiendo obtenido resultados positivos en el sentido que el Modelo Colque estima mejor la VPP que el Modelo Devine, queda validado el Modelo Colque.

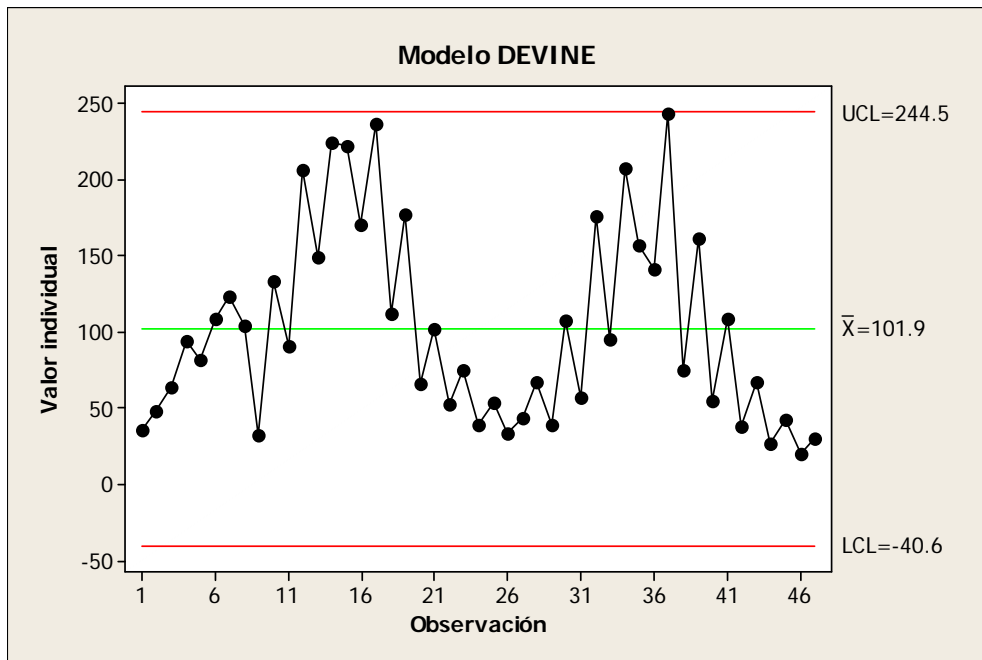


Figura 4.5 (a) Gráficas de la VPP de los Modelos Devine, Colque y del Geofono de la Mina Tintaya

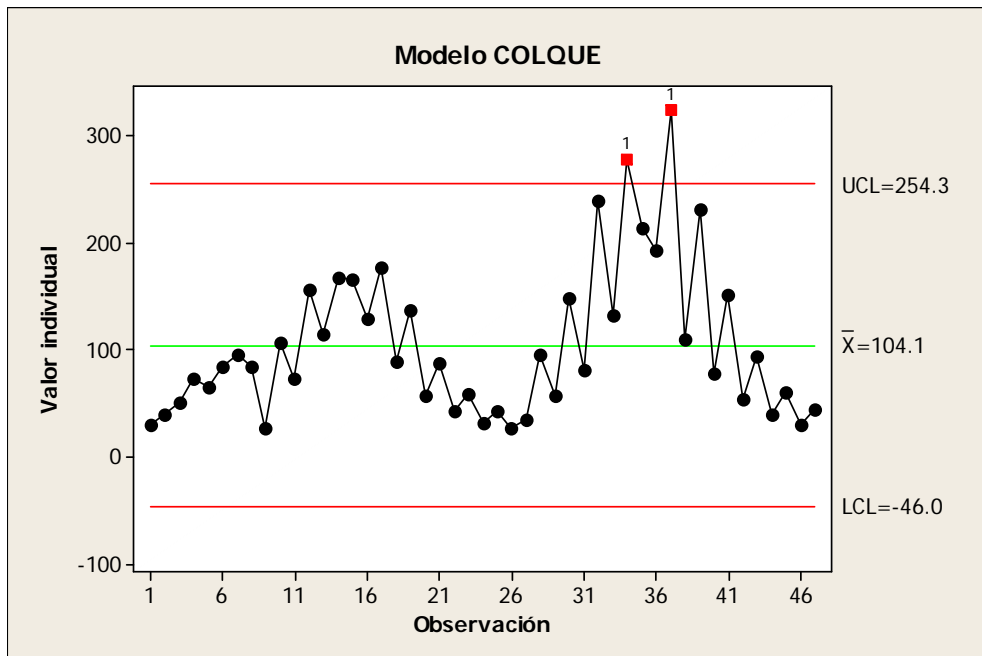


Figura 4.5 (b) Gráficas de la VPP de los Modelos Devine, Colque y del Geofono de la Mina Tintaya

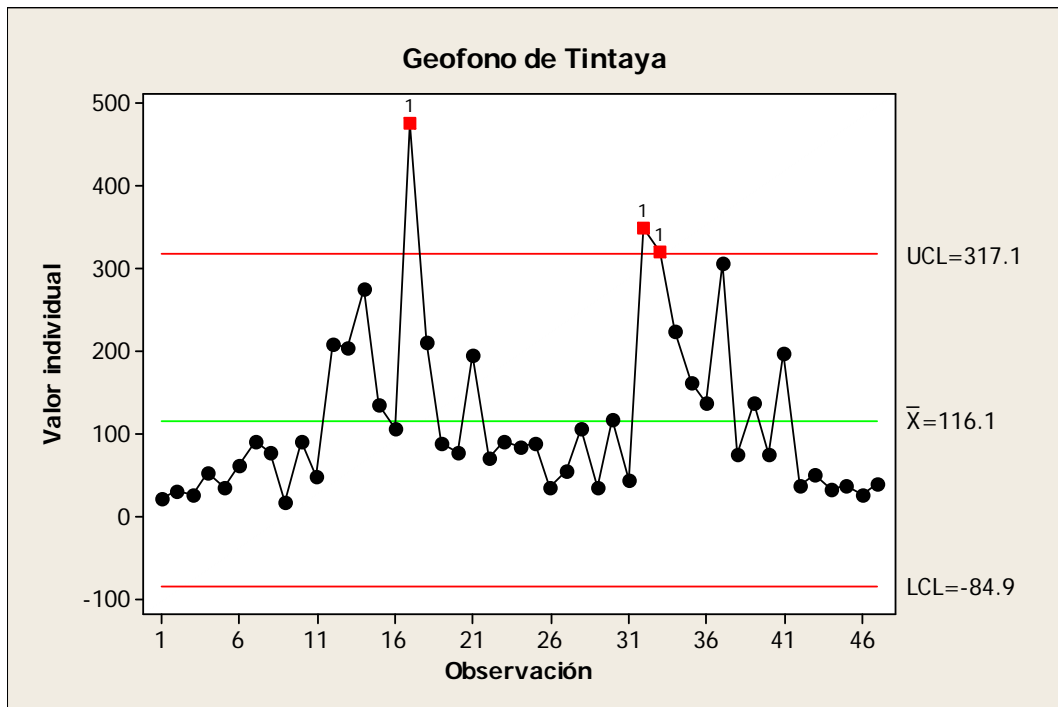


Figura 4.5 (c) Gráficas de la VPP de los Modelos Devine, Colque y del Geofono de la Mina Tintaya

Estas Gráficas comprueban que las Velocidades Pico Partícula del Método Colque son las que más se aproximan a las Velocidades Pico Partícula del Geofono de la MINA TINTAYA.

CAPITULO V

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL TAJO MERCEDES NORTE Y PRINCIPAL

5.0 Propiedades Geomecánicas del Tajo Mercedes Norte y Principal

Modulo de Young	$E = 9.45\text{Gpa}$
Coefficiente de Poisson	$\nu = 0.27$
Densidad de la roca	$\rho = 2293\text{kg/m}^3$
Velocidad onda	$P = 2269.31\text{m/s}$
Velocidad Máxima	$= 1104.63 \text{ mm/s}$
Modulo de Rigidez	$G = 5.18\text{GPa}$
Resistencia a la tracción	$\sigma_t = 4.6 \text{ Mpa}$

Calculo de la velocidad de onda P

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\gamma)}{\rho(1+\gamma)(1-2\gamma)}} \quad (5.1)$$

reemplazando se obtiene: 2269.31m/s

$$PPV_{max} = V_p \times \frac{\sigma_t}{E} \quad (5.2)$$

$$PPV_{max} = V_p \times \frac{\sigma_t}{E} = 2269.31 \times \frac{4.6}{9.45} = 1104.63 \frac{mm}{n}$$

5.1 PPV_{max} y Evaluación de daños

Según la ley de Hooke, la velocidad pico de partícula crítica que puede soportar la roca antes de que ocurra la falla por tensión, puede ser estimada conociendo la resistencia a la tracción, el modulo de Young dinámico y la velocidad de propagación de la onda P usando la ecuación:

$$PPV_c = \frac{\sigma_t V_p}{E} \quad (5.3)$$

Cuando se ha establecido la PPVc se puede establecer criterios de daño según los efectos en el macizo rocoso.

Niveles de Daño en función de la PPV:

- Sobre quiebre 8 a mas de 16 PPV_{MAX}
- Intenso fracturamiento 4 PPV_{MAX}
- Creación de Nuevas Fracturas 1/4 PPV_{MAX}

Tabla 5.1 Algunos Niveles Críticos para Rocas Comunes:

Granito	850mm/s
Andesita	600mm/s
Arenisca	450mm/s
Concreto	250mm/s

Fuente: Xstrata Tintaya (Medición de onda P)

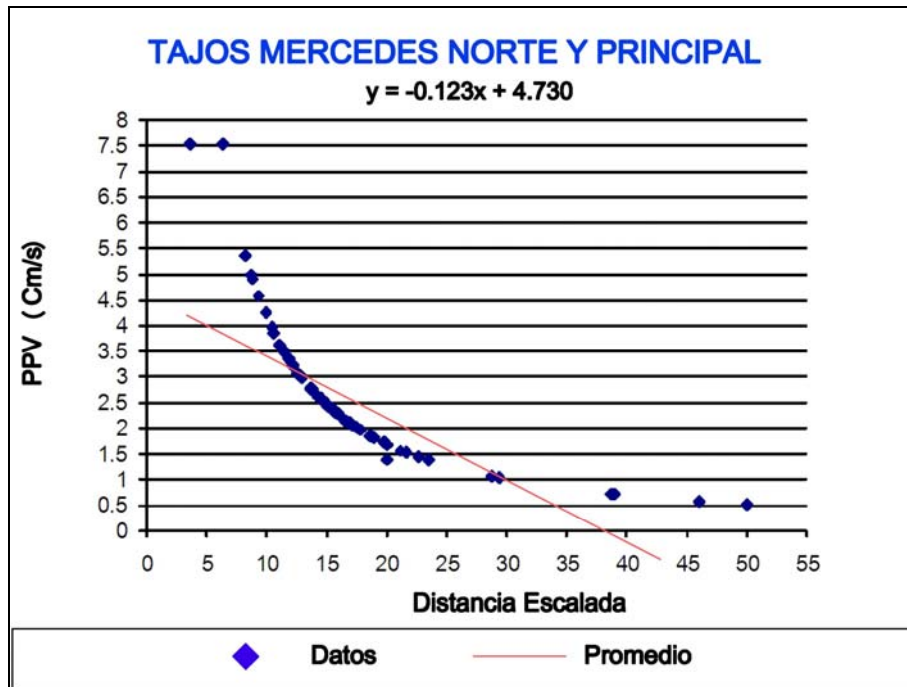


Figura 5.1 Gráfico PPV vs. Distancia Escalada. Según el Modelo Colque.

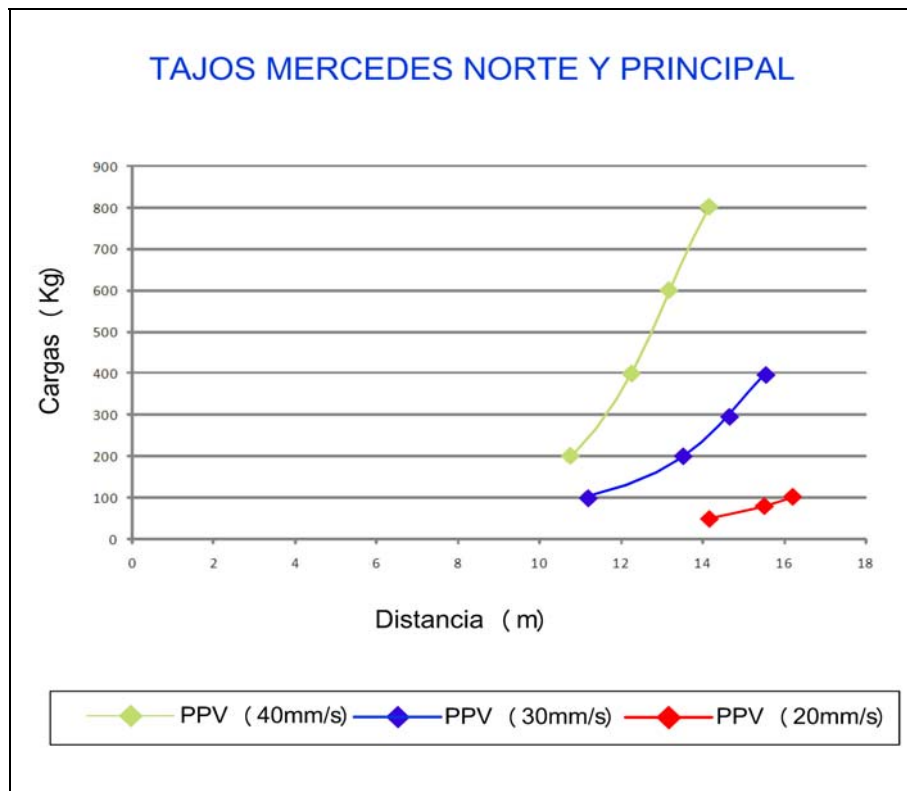


Figura 5.2 Grafico Carga (Kg) Vs Distancia (m). Según el Modelo Colque

CONCLUSIONES

1. El Modelo Colque estima mejor la VPP que el Modelo Devine en la mina Colquijirca, con un error del 17.24%, mientras que el error con el Modelo Devine es del 21.32%. Estos altos errores se pueden deber, a la baja correlación que hay entre las variables independientes (Distancia y Carga)
2. La correlación en la mina Colquijirca, usando el Modelo Devine es 28.7% y usando el Modelo Colque es 37.1%.
3. Aplicando el Modelo Colque en la mina Tintaya (Zona de Deslizamiento) el error es del 10.33%, con el Modelo Devine es del 12.25%, en esta operación el error ha bajado porque las correlaciones son mas altas, 65.6 y 66.4%.
4. El análisis de vibraciones, permite establecer una ecuación de comportamiento como función de la distancia y la carga por retardo, con la cual se puede estimar las vibraciones máximas para las próximas voladuras.
5. Con las regresiones que se hacen para hallar la VPP se puede hallar las correlaciones que hay entre las variables independientes.
6. Es posible determinar una formula empírica para estimar la VPP en la voladura de rocas de un yacimiento minero ajustando una serie

finita, infinita o quizás un polinomio ortogonal o algebraico como base. Se requiere un equipo de investigación conformados por ingenieros de minas, matemáticos y estadísticos.

7. Existe una gran cantidad de tecnicas para la reducción de los niveles de vibraciones producidas por la voladura de rocas; sin embargo se incluirán 2, la voladura controlada en Ingles smooth blasting, y el precorte llamado en ingles pre-splitting, la primera técnica, consiste en el empleo de cargas explosivas lineares de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre si y disparados simultáneamente, antes o después de la voladura principal para crear y controlar la formación de una grieta continua que delimite la superficie final de un corte o excavación. Tiene ventajas y desventajas, una de las ventajas es que proporciona superficie de roca mas lisa y estables, menor vibración, etc, entre las desventajas está que ocasiona mayor costo que la voladura convencional por requerir mayor perforación y empleo de explosivos especiales, etc.La segunda técnica el pre-corte consiste básicamente en perforar una serie de taladros a lo largo de la línea teórica de excavación, con carga explosiva y espaciamiento menor a los utilizados en una voladura convencional de tal modo que al disparar en forma simultanea antes de iniciar la voladura principal, se genere un plano de debilidad que sirva de amortiguación para las vibraciones de dicha voladura, esta técnica se ha aplicado en las minas Cuajone y Tintaya, entre otras.La desventaja es el costo que ocasiona.

RECOMENDACIONES

1. Las formulas empíricas de Devine, Holmberg & Person, etc. deben agregárseles siempre un error (ϵ) aleatorio
2. Obtener una fragmentación esperada minimizando el daño al macizo rocoso
3. La voladura debe provocar una mínima proyección (fly rocks), un perfil volado de alta productividad y un bajo nivel de vibraciones.
4. Hay que conocer en detalle las características del macizo rocoso “metro a metro” si es posible
5. El geofono o los geofonos deben colocarse en sitios adecuados para hacer mejor las mediciones de la VPP
6. La Ingeniería de explosivos juega un rol importante en la variación de la VPP.
7. Los ingenieros especialistas en perforación y voladura de rocas deben estar muy bien capacitados y actualizados para que cuando realicen su trabajo traten de minimizar las excesivas vibraciones producidas por la detonación de las mezclas explosivas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Agreda Carlos - Teves A.** Últimos Avances Tecnológicos en la Voladura de Rocas. SIPERVOR 92
2. Convención XXI de Ingenieros de Minas. ICA - 1993
3. **Córdova David.** Vibraciones del Terreno por Efectos de la Voladura. Lima, julio del 2004
4. **Díaz Rolando - Uriarte** Uso y Programación del Sistema Estadístico R.
5. **EXSA** Manual Práctico de Voladura
6. **López Jimeno Carlos** Manual de Perforación y Voladura de Rocas.
7. **Mendiburo Felipe** UNI Estadística Aplicada a la Investigación con R
8. **Minitab** Guía Práctica para su uso
9. **Montgomery - Pech** Análisis de Regresión Lineal.
10. **Pascual de Blas Jesús** - Problemáticas de las Vibraciones en la Voladura
11. **R Development Core Team (2010).** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
12. **Scherpenisse Carlos - Silva Guillermo** Vibraciones por Voladura en Operaciones Mineras. SIPERVOR 2009

13. **Scherpenisse Carlos** Fragmentación Sustentable. SIPERVOR 2009
14. **Simposium V** Internacional de la Información Aplicada a la Minería
14-17 set. 2004 Lima Perú.
15. Sociedad Minera **EL Brocal SAA**
16. **X strata Tintaya** Medición de Onda P. Junio 2007.

APÉNDICE A. FIGURAS

A.1 Sección Litológica- Área Tajo Norte

A.2 Escala del Tajo Mercedes Norte y Principal

APÉNDICE B. TABLAS

B.1 Tipos de las principales discontinuidades en los Macizos Rocosos

Origen	Roca	Clase	Mecanismo
Genético	Ígneas	Estructura de flujo	Contactos entre coladas de lavas sucesivas
		Estructura de retracción	Grietas de retracción por enfriamiento
	Metamórficas	Foliación	Por gradientes térmicos, de presión y anatexia
	Sedimento	Estratificación	Contactos entre eventos de deposición
Físico-químico	Todas	Termofracturas	Ciclos de calentamiento – enfriamiento o humedecimiento-secado
		Halifracturas	Expansión de sales y arcillas en fracturas
		Gelifracturas	Ciclos de congelamiento y fusión de agua
Gravedad	Todas	Relajación	Pérdida de presión de sepultura y esfuerzos de tracción.
		Corte	Concentración de esfuerzos horizontales en valles.
Tectónico	Todas	Estructura de placa	Bordes constructivos, pasivos y destructivos
		Fallas	Rupturas con desplazamientos por esfuerzos de compresión, tracción y corte
		Diaclasas	Rupturas por esfuerzos tectónicos, pero sin desplazamiento de bloques
		Fracturas de pliegues	Radiales en la zona de tracción y de corte en la parte interna de la charnela
	Todas	Acción de las raíces	Penetración y crecimiento de las raíces de los árboles.

Adaptado de Álvaro J. Gonzáles G. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín 1995.

B.2 Datos de la mina Tintaya

Profundidad Geófono (m)	Profundidad Taladro (m)	Longitud Carga (m)	Distancia al Geófono (m)	Heavy Anfo (kg)	PPV (mm/s)
7.50	16.20	7.48	59.01	650	22.06
7.50	16.00	7.71	50.14	670	30.62
7.50	16.20	7.59	42.43	660	26.29
7.50	16.40	7.48	33.42	650	51.78
7.50	14.40	6.34	35.78	630	35.78
7.50	15.70	7.48	30.63	650	61.27
7.50	16.60	7.59	28.61	660	90.38
7.50	15.00	6.90	30.14	600	77.80
7.50	16.30	7.82	64.26	680	18.07
7.50	16.60	7.13	26.41	620	90.38
7.50	16.60	7.13	33.30	620	47.87
7.50	15.50	7.48	20.93	650	209.50
7.50	15.50	7.48	25.35	650	203.36
7.50	16.00	7.71	20.25	670	276.21
7.50	16.00	7.10	20.34	670	134.76
7.50	16.00	7.59	23.62	660	107.00
7.50	16.00	7.59	19.42	660	475.81
7.50	15.00	6.44	29.78	640	211.29
7.50	15.00	6.44	22.72	640	89.05
7.50	13.30	5.53	37.64	550	77.09
7.50	13.30	5.53	29.20	550	194.22
7.50	13.50	7.48	47.21	650	71.02
7.50	13.50	7.48	38.24	650	90.31
7.50	16.00	7.71	56.75	670	83.00
7.50	16.00	7.71	47.41	670	88.29
7.50	16.00	7.71	63.03	670	36.06
7.50	16.00	7.71	53.53	670	55.30
7.50	14.20	2.30	22.61	200	105.30
7.50	14.20	2.30	31.20	200	35.39
7.50	14.90	2.30	17.13	200	116.78
7.50	14.90	2.30	24.88	200	43.11
7.50	14.80	2.30	12.74	200	349.08
7.50	14.80	2.30	18.41	200	319.82
7.50	15.00	2.30	11.59	200	223.82
7.50	15.00	2.30	13.66	200	161.57
7.50	14.80	2.30	14.56	200	137.89
7.50	14.80	2.30	10.53	200	307.03
7.50	15.10	2.07	20.14	180	74.94
7.50	15.10	2.07	12.72	180	136.38
7.50	15.30	2.30	25.60	200	74.69
7.50	15.30	2.30	16.95	200	197.14
7.50	15.00	2.30	31.92	200	36.67
7.50	15.00	2.30	22.62	200	50.04
7.50	15.00	2.30	39.38	200	32.79
7.50	15.00	2.30	29.85	200	37.09
7.50	15.50	2.30	45.91	200	25.30
7.50	15.50	2.30	36.22	200	38.63

Estas voladuras se realizaron en Junio del 2009

B.3 Estadísticas Descriptivas

Estadísticas descriptivas: Geofono

Media del
Error

Variable	Media	estándar	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Geofono	3.199	0.316	2.662	0.330	1.520	2.640	3.810	12.440

Estadísticas descriptivas: M.Devine

Media del
Error

Variable	Media	estándar	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
M. Devine	2.516	0.111	0.938	0.581	1.963	2.513	2.884	5.054

Estadísticas descriptivas: M.Colque

Media del
Error

Variable	Media	estándar	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
M. Colque	2.643	0.160	1.344	0.514	1.867	2.364	3.312	7.537

B.4 Correlaciones: Devine y Colque

```
> dat=read. table("tesis.txt",T)
```

```
> round(cor(dat[,-1]),3)
```

M.Devine M.Colque

M. Devine	1.000	0.893
M. Colque	0.893	1.000

```
> cor(dat[,-1],dat[,1])
```

[,1]

M. Devine	0.6135168
M. Colque	0.6836782

B.5 Data de las Voladuras de los tajos Mercedes Norte y Principal

APÉNDICE C. ARCHIVOS

C.1 Monitoreo con valores de K, para hallar el K del Modelo de Colque

Monitoreo con valores de $K = \frac{1}{3.5}, \frac{1}{3.6}, \frac{1}{3.7}, \frac{1}{3.72}, \frac{1}{3.75}, \frac{1}{3.8}$

$K = 0.285, 0.277, 0.270, 0.268, 0.266, 0.263$

y otros

```
dat=read.table("colm3.5.txt",T)
```

```
> a=89.13
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.5
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0279385	2.3243187	2.1109826	2.1126991	1.5706202	0.7143484	2.2617692
[8]	1.368798	2.5432905	1.6921268	1.0517733	0.710925	0.710925	2.7671489
[15]	0.5121281	0.5642213	3.3164927	5.3349153	2.0436931	3.8463949	2.0780804
[22]	2.3112935	1.970011	4.570633	1.8194277	3.203809	2.4695481	3.3525617
[29]	2.4348744	2.9805037	1.4418218	1.6814919	2.0979687	3.0005213	3.4761229
[36]	4.2298351	7.5140662	7.5140662	3.3595438	3.0644972	1.8073118	2.2924473
[43]	2.4398798	4.979625	2.7460413	3.6077081	3.3018875	3.9552208	1.7155123
[50]	2.2648598	2.0525881	2.4082583	2.3569405	3.4965232	3.3437363	2.5607521
[57]	2.1162812	2.4690869	2.1397544	2.3382285	2.4509028	1.5255096	2.0255965
[64]	1.8522807	1.8613129	4.888469	4.888469	2.6044758	2.6044758	2.7439754
[71]	2.0934297						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.635038
```

```
dat=read.table("colm3.6.txt",T)
```

```
> a=85.11
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.6
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0181895	2.3022747	2.0909621	2.0926621	1.5557244	0.7075736	2.2403186
[8]	1.3558163	2.5191698	1.6760786	1.0417983	0.7041825	0.7041825	2.7409052
[15]	0.5072711	0.5588702	3.285039	5.2843181	2.0243107	3.8099155	2.0583719
[22]	2.289373	1.9513272	4.5272849	1.8021722	3.1734241	2.4461267	3.320766
[29]	2.411782	2.9522365	1.4281475	1.6655446	2.0780715	2.9720643	3.4431554
[36]	4.1897187	7.4428024	7.4428024	3.3276815	3.0354335	1.7901712	2.2707055
[43]	2.4167397	4.9323975	2.7199978	3.5734924	3.2705723	3.9177094	1.6992423
[50]	2.2433799	2.0331213	2.3854181	2.3345872	3.4633622	3.3120243	2.5364659
[57]	2.0962103	2.4456699	2.119461	2.3160528	2.4276585	1.5110416	2.0063857
[64]	1.8347137	1.8436602	4.8421066	4.8421066	2.5797747	2.5797747	2.7179515
[71]	2.0735754						

```
> mean (VPP6)
```

```
[1] 2.610048
```

```
> dat=read. table ("colm3.7.txt",T)
```

```
> a=83.17
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.7
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0310595	2.3313755	2.1173919	2.1191134	1.5753888	0.7165173	2.2686364
[8]	1.3729539	2.5510123	1.6972644	1.0549666	0.7130834	0.7130834	2.7755504
[15]	0.513683	0.5659343	3.326562	5.3511127	2.049898	3.858073	2.0843898
[22]	2.3183108	1.9759921	4.5845104	1.8249518	3.2135361	2.4770459	3.3627406
[29]	2.4422671	2.9895531	1.4461993	1.6865972	2.1043384	3.0096313	3.4866769
[36]	4.2426776	7.5368789	7.5368789	3.3697438	3.0738014	1.812799	2.2994073
[43]	2.4472874	4.9947439	2.7543788	3.6186615	3.3119122	3.9672298	1.7207208
[50]	2.2717363	2.05882	2.4155701	2.3640965	3.5071393	3.3538884	2.568527
[57]	2.1227065	2.4765833	2.1462511	2.3453277	2.4583442	1.5301413	2.0317465
[64]	1.8579045	1.8669642	4.9033113	4.9033113	2.6123833	2.6123833	2.7523066
[71]	2.0997855						

> mean(VPP6)

[1] 2.643039

Coeficiente de Correlación:

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	1.9164	0.2410	7.95	0.000
D.ME3.7	-1.2989	0.1997	-6.50	0.000
		S = 0.293849	R-cuad. = 38.0%	R-cuad.(ajustado) = 37.1%

dat=read. table ("colm3.72.txt",T)

> a=81.28

> b=-1.3

> dat=dat\$colm3.72

> VPP6=a*(dat)^b

> VPP6

[1]	1.0147155	2.2944193	2.0838278	2.085522	1.5504163	0.7051593	2.2326746
[8]	1.3511903	2.5105744	1.6703599	1.0382437	0.7017799	0.7017799	2.7315533
[15]	0.5055403	0.5569634	3.2738305	5.2662886	2.0174038	3.7969163	2.0513487
[22]	2.2815617	1.9446694	4.511838	1.7960233	3.1625965	2.4377806	3.3094359
[29]	2.4035533	2.9421638	1.4232747	1.6598618	2.0709812	2.9619237	3.4314074
[36]	4.1754238	7.4174077	7.4174077	3.3163279	3.0250768	1.7840632	2.262958
[43]	2.408494	4.9155685	2.7107173	3.5612997	3.2594131	3.9043425	1.6934446
[50]	2.2357256	2.0261844	2.3772794	2.3266218	3.4515453	3.3007237	2.5278115
[57]	2.0890582	2.4373253	2.1122295	2.3081505	2.4193754	1.505886	1.9995399
[64]	1.8284536	1.8373697	4.8255856	4.8255856	2.5709728	2.5709728	2.708678
[71]	2.0665005						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.601142
```

```
dat=read.table("colm3.75.txt",T)
```

```
> a=81.28
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.75
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0253665	2.3185029	2.1057008	2.1074127	1.5666903	0.7125611	2.2561100
[8]	1.3653731	2.5369268	1.6878929	1.0491417	0.7091461	0.7091461	2.7602252
[15]	0.5108467	0.5628095	3.3081943	5.3215667	2.0385796	3.8367705	2.0728808
[22]	2.3055103	1.9650818	4.5591969	1.8148753	3.1957926	2.4633690	3.3441732
[29]	2.4287823	2.9730463	1.4382142	1.6772846	2.0927192	2.9930137	3.4674254
[36]	4.2192514	7.4952654	7.4952654	3.3511376	3.0568297	1.8027896	2.2867112
[43]	2.4337747	4.9671653	2.7391703	3.5986809	3.2936257	3.9453244	1.7112198
[50]	2.2591929	2.0474523	2.4022325	2.3510433	3.4877744	3.3353698	2.5543449
[57]	2.1109859	2.4629089	2.1344006	2.3323779	2.4447703	1.5216926	2.0205282
[64]	1.8476460	1.8566557	4.8762372	4.8762372	2.5979590	2.5979590	2.7371097
[71]	2.0881915						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.628445
```

```
dat=read.table("colm3.8.txt",T)
```

```

> a=79.43
> b=-1.3
> dat=dat$colm3.8
> VPP6=a*(dat)^b
> VPP6

```

[1]	1.0194314	2.3050827	2.0935125	2.0952146	1.5576219	0.7084366	2.2430510
[8]	1.3574700	2.5222424	1.6781230	1.0430690	0.7050414	0.7050414	2.7442482
[15]	0.5078898	0.5595519	3.2890459	5.2907638	2.0267798	3.8145626	2.0608824
[22]	2.2921655	1.9537074	4.5328071	1.8043704	3.1772946	2.4491105	3.3248164
[29]	2.4147237	2.9558376	1.4298895	1.6675761	2.0806062	2.9756892	3.4473551
[36]	4.1948293	7.4518804	7.4518804	3.3317404	3.0391360	1.7923547	2.2734752
[43]	2.4196875	4.9384141	2.7233156	3.5778510	3.2745615	3.9224880	1.7013149
[50]	2.2461162	2.0356011	2.3883278	2.3374349	3.4675862	3.3160639	2.5395598
[57]	2.0987670	2.4486530	2.1220461	2.3188776	2.4306195	1.5128846	2.0088329
[64]	1.8369515	1.8459090	4.8480124	4.8480124	2.5829214	2.5829214	2.7212665
[71]	2.0761047						

```

> mean (VPP)
> mean (VPP6)
[1] 2.613231

```

C.2 Modelo Colque aplicado a la Mina TINTAYA

```

dat=read. table("tintaya.txt",T)
> Q=dat$Q
> D=dat$D
> D.TIN=0.27*D/(Q)^0.2
> D.TIN

```

[1]	4.362211	3.684115	3.127001	2.470515	2.661558	2.264269	2.108496	2.264002
[9]	4.707634	1.970851	2.485019	1.547214	1.873955	1.487900	1.494513	1.740744
[17]	1.431213	2.208271	1.684752	2.877006	2.231897	3.489917	2.826825	4.169795
[25]	3.483524	4.631227	3.933200	2.115721	2.919526	1.602932	2.328135	1.192140
[33]	1.722708	1.084529	1.278228	1.362446	0.985340	1.924725	1.215616	2.395509
[41]	1.586089	2.986900	2.116656	3.684966	2.793200	4.296008	3.389270	

> data.frame(D.TIN)

N°	D.TIN	N°	D.TIN	N°	D.TIN	N°	D.TIN
1	4.362211	.... viene		.... viene		.... viene	
2	3.684115	14	1.487900	26	4.631227	38	1.924725
3	3.127001	15	1.494513	27	3.933200	39	1.215616
4	2.470515	16	1.740744	28	2.115721	40	2.395509
5	2.661558	17	1.431213	29	2.919526	41	1.586089
6	2.264269	18	2.208271	30	1.602932	42	2.986900
7	2.108496	19	1.684752	31	2.328135	43	2.116656
8	2.264002	20	2.877006	32	1.192140	44	3.684966
9	4.707634	21	2.231897	33	1.722708	45	2.793200
10	1.970851	22	3.489917	34	1.084529	46	4.296008
11	2.485019	23	2.826825	35	1.278228	47	3.389270
12	1.547214	24	4.169795	36	1.362446		
13	1.873955	25	3.483524	37	0.985340		

va.... ↗ va.... ↗ va.... ↗

> log(D.TIN,10)

[1]	0.639706707	0.566333133	0.49512801	0.392787538	0.42513599
[6]	0.35492809	0.323972835	0.35487676	0.672802703	0.294653827
[11]	0.39532966	0.189550321	0.27275906	0.172573831	0.174499752
[16]	0.24073487	0.155704203	0.34405246	0.226536096	0.458940841
[21]	0.348674078	0.542815093	0.45129898	0.620114669	0.542018759
[26]	0.665696111	0.594746047	0.32545833	0.465312359	0.204915128
[31]	0.367008141	0.076327193	0.23621155	0.035241201	0.106608464
[36]	0.13431914	-0.00641386	0.28436873	0.084796374	0.37939773
[41]	0.200327468	0.475220648	0.32565037	0.566433477	0.4461021
[46]	0.633065058	0.530106211			

> data.frame(log(D.TIN,10))

log(D.TIN,10)

1	0.639706707	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene
2	0.566333133	120.189550321	220.542815093	320.076327193	420.475220648
3	0.495128009	130.272759056	230.451298976	330.236211554	430.325650366
4	0.392787538	140.172573831	240.620114669	340.035241201	440.566433477
5	0.425135990	150.174499752	250.542018759	350.106608464	450.446102100
6	0.354928090	160.240734870	260.665696111	360.134319140	460.633065058
7	0.323972835	170.155704203	270.594746047	37-0.006413860	470.530106211
8	0.354876762	180.344052463	280.325458327	380.284368729	
9	0.672802703	190.226536096	290.465312359	390.084796374	
10	0.294653827	200.458940841	300.204915128	400.379397730	
11	0.395329660	210.348674078	310.367008141	410.200327468	
	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	

> dat=read.table("D.TIN.txt",T)

> a=316.23

> b=-1.61

> dat=dat\$D.TIN

> VPP6=a*(dat)^b> VPP6

[1]	29.51721	38.74420	50.44835	73.72507	65.39344	84.83381	95.14958
[8]	84.84991	26.10903	106.07437	73.03352	156.61269	115.04317	166.78590
[15]	165.59932	129.54477	177.54939	88.32401	136.54636	57.69105	86.82358
[22]	42.27375	59.34878	31.74084	42.39872	26.80602	34.87080	94.62700
[29]	56.34433	147.94141	81.11850	238.29569	131.73533	277.50115	212.99218
[36]	192.19806	323.83921	110.19693	230.93026	77.47696	150.47893	54.31225
[43]	94.55971	38.72979	60.50326	30.25299	44.31310		

> mean(VPP6)

[1] 104.1316

Coeficiente de correlación, se obtiene del Minitab

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	2.49699	0.06801	36.72	0.000
colmTIN	-1.6062	0.1704	-9.43	0.000
		S = 0.208134	R-cuad. = 66.4%	R-cuad.(ajustado) = 65.6%

C.3 Modelo Colque aplicado a la mina Colquijirca

```

> dat=read. table ("colqui.txt",T)

> Q.RE=dat$Q.RE

> D.R=dat$D.R

> colm3.7=(1/3.7)*D.R/(Q.RE)^0.20

> colm3.7

```

[1]	29.287292	15.635754	16.837636	16.827113	21.137846	38.749094	15.967325
[8]	23.496776	14.589542	19.960301	28.775410	38.892552	38.892552	13.672870
[15]	50.054094	46.459810	11.894943	8.251936	17.262489	10.613125	17.042333
[22]	15.703490	17.757032	9.294169	18.877081	12.215476	14.923520	11.796379
[29]	15.086727	12.913575	22.575898	20.057340	16.917922	12.847254	11.472490
[36]	9.865008	6.340664	6.340664	11.777516	12.640441	18.974352	15.802703
[43]	15.062915	8.701209	13.753642	11.149238	11.935396	10.387776	19.750667
[50]	15.950562	17.204916	15.214825	15.469016	11.420966	11.820322	14.512954
[57]	16.805199	14.925664	16.663207	15.564154	15.010774	21.617043	17.381000
[64]	18.619002	18.549462	8.825752	8.825752	14.325172	14.325172	13.761607
[71]	16.946132						

log(colm3.7,10)

[1]	1.4666792	1.1941188	1.2262811	1.2260096	1.3250607	1.5882615	1.2032322
[8]	1.3710083	1.1640417	1.3001671	1.4590215	1.5898664	1.5898664	1.1358597
[15]	1.6994396	1.6670774	1.0753624	0.9165559	1.2371034	1.0258433	1.2315291
[22]	1.1959962	1.2493704	0.9682106	1.2759348	1.0869104	1.1738713	1.0717487
[29]	1.1785950	1.1110465	1.3536450	1.3022733	1.2283470	1.1088103	1.0596577
[36]	0.9940975	0.8021347	0.8021347	1.0710537	1.1017622	1.2781670	1.1987314
[43]	1.1779090	0.9395796	1.1384177	1.0472452	1.0768368	1.0165226	1.2955818
[50]	1.2027760	1.2356525	1.1822670	1.1894627	1.0577029	1.0726293	1.1617558
[57]	1.2254437	1.1739337	1.2217586	1.1921255	1.1764031	1.3347963	1.2400748
[64]	1.2699564	1.2683313	0.9457517	0.9457517	1.1560998	1.1560998	1.1386692
[71]	1.2290706						

```
> data. frame(log(colm3.7,10))
```

log.colm3.7..10.

1	1.4666792	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene				
2	1.1941188	16	1.6670774	30	1.1110465	44	0.9395796	58	1.1739337
3	1.2262811	17	1.0753624	31	1.353645	45	1.1384177	59	1.2217586
4	1.2260096	18	0.9165559	32	1.3022733	46	1.0472452	60	1.1921255
5	1.3250607	19	1.2371034	33	1.228347	47	1.0768368	61	1.1764031
6	1.5882615	20	1.0258433	34	1.1088103	48	1.0165226	62	1.3347963
7	1.2032322	21	1.2315291	35	1.0596577	49	1.2955818	63	1.2400748
8	1.3710083	22	1.1959962	36	0.9940975	50	1.202776	64	1.2699564
9	1.1640417	23	1.2493704	37	0.8021347	51	1.2356525	65	1.2683313
10	1.3001671	24	0.9682106	38	0.8021347	52	1.182267	66	0.9457517
11	1.4590215	25	1.2759348	39	1.0710537	53	1.1894627	67	0.9457517
12	1.5898664	26	1.0869104	40	1.1017622	54	1.0577029	68	1.1560998
13	1.5898664	27	1.1738713	41	1.278167	55	1.0726293	69	1.1560998
14	1.1358597	28	1.0717487	42	1.1987314	56	1.1617558	70	1.1386692
15	1.6994396	29	1.178595	43	1.177909	57	1.2254437	71	1.2290706
	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗				

> data.frame(colm3.7)

N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7
1	29.287292	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene
2	15.635754	16	46.459810	30	12.913575	44	8.701209	58	14.925664
3	16.837636	17	11.894943	31	22.575898	45	13.753642	59	16.663207
4	16.827113	18	8.251936	32	20.057340	46	11.149238	60	15.564154
5	21.137846	19	17.262489	33	16.917922	47	11.935396	61	15.010774
6	38.749094	20	10.613125	34	12.847254	48	10.387776	62	21.617043
7	15.967325	21	17.042333	35	11.472490	49	19.750667	63	17.381000
8	23.496776	22	15.703490	36	9.865008	50	15.950562	64	18.619002
9	14.589542	23	17.757032	37	6.340664	51	17.204916	65	18.549462
10	19.960301	24	9.294169	38	6.340664	52	15.214825	66	8.825752
11	28.775410	25	18.877081	39	11.777516	53	15.469016	67	8.825752
12	38.892552	26	12.215476	40	12.640441	54	11.420966	68	14.325172
13	38.892552	27	14.923520	41	18.974352	55	11.820322	69	14.325172
14	13.672870	28	11.796379	42	15.802703	56	14.512954	70	13.761607
15	50.054094	29	15.086727	43	15.062915	57	16.805199	71	16.946132
	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗				

> # con estos 2 últimos archivos se introducen en el Minitab para hallar a

y b

> # también el archivo hperson.txt

Los resultados del Minitab son los siguientes:

Análisis de regresión: PPV vs. D.ME3.7

La ecuación de regresión es:

$$PPV = 1.92 - 1.30 D.ME3.7$$

$$a = 10^{1.92} = 83.1$$

$$b = -1.3$$

Usando el archivo colm3.7.txt donde se encuentran los valores de la

distancia escalada $\frac{D}{\sqrt[5]{Q}}$ se tiene:

```
> dat=read.table("colm3.7.txt",T)
```

```
> a=83.17
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.7
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0310595	2.3313755	2.1173919	2.1191134	1.5753888	0.7165173	2.2686364
[8]	1.3729539	2.5510123	1.6972644	1.0549666	0.7130834	0.7130834	2.7755504
[15]	0.5136830	0.5659343	3.3265620	5.3511127	2.0498980	3.8580730	2.0843898
[22]	2.3183108	1.9759921	4.5845104	1.8249518	3.2135361	2.4770459	3.3627406
[29]	2.4422671	2.9895531	1.4461993	1.6865972	2.1043384	3.0096313	3.4866769
[36]	4.2426776	7.5368789	7.5368789	3.3697438	3.0738014	1.8127990	2.2994073
[43]	2.4472874	4.9947439	2.7543788	3.6186615	3.3119122	3.9672298	1.7207208
[50]	2.2717363	2.0588200	2.4155701	2.3640965	3.5071393	3.3538884	2.5685270
[57]	2.1227065	2.4765833	2.1462511	2.3453277	2.4583442	1.5301413	2.0317465
[64]	1.8579045	1.8669642	4.9033113	4.9033113	2.6123833	2.6123833	2.7523066
[71]	2.0997855						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.643039
```

Coeficiente de Correlación:

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	1.9164	0.2410	7.95	0.000
D.ME3.7	-1.2989	0.1997	-6.50	0.000
		S = 0.293849	R-cuad. = 38.0%	R-cuad.(ajustado) = 37.1%

C.4 Archivo Colqui

N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES	N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES
1	3.06	60.00	245.76	31.73	.... viene				
2	2.64	260.00	175.92	10.91	37	11.60	100.00	58.93	5.89
3	9.43	180.00	176.01	13.12	38	12.44	100.00	58.93	5.89
4	1.61	180.00	175.90	13.11	39	5.52	100.00	109.46	10.95
5	3.44	140.00	210.13	17.76	40	3.17	100.00	117.48	11.75
6	0.43	25.00	272.93	54.59	41	3.22	28.00	136.71	25.84
7	2.41	100.00	148.40	14.84	42	3.39	100.00	146.87	14.69
8	1.56	25.00	165.50	33.10	43	4.84	150.00	151.82	12.40
9	3.96	280.00	166.60	9.96	44	11.20	150.00	87.70	7.16
10	3.87	120.00	192.40	17.56	45	3.30	125.00	133.66	11.96
11	0.69	120.00	277.37	25.32	46	3.14	125.00	108.35	9.69
12	1.94	10.00	228.07	72.12	47	2.26	125.00	115.99	10.37
13	2.37	10.00	228.07	72.12	48	1.04	125.00	100.95	9.03
14	2.36	160.00	139.60	11.04	49	0.38	125.00	191.94	17.17
15	0.33	30.00	365.65	66.76	50	3.30	125.00	155.01	13.86
16	0.44	29.00	337.10	62.60	51	0.99	125.00	167.20	14.95
17	6.44	280.00	135.83	8.12	52	1.04	125.00	147.86	13.23
18	6.31	280.00	94.23	5.63	53	3.40	240.00	171.28	11.06
19	1.45	160.00	176.25	13.93	54	3.68	200.00	121.93	8.62
20	6.46	160.00	108.36	8.57	55	0.91	240.00	130.88	8.45
21	3.03	125.00	165.62	14.81	56	2.38	200.00	154.94	10.96
22	1.27	65.00	133.90	16.61	57	1.52	80.00	149.37	16.70
23	2.42	280.00	202.77	12.12	58	0.55	170.00	154.25	11.83
24	3.57	45.00	73.63	10.98	59	5.51	50.00	134.82	19.07
25	1.76	280.00	215.56	12.88	60	1.16	160.00	158.91	12.56
26	10.20	160.00	124.72	9.86	61	1.54	160.00	153.26	12.12
27	0.64	18.00	98.43	23.20	62	0.58	160.00	220.71	17.45
28	5.24	80.00	104.85	11.72	63	1.06	160.00	177.46	14.03
29	3.23	30.00	110.21	20.12	64	1.98	160.00	190.10	15.03
30	2.89	80.00	114.78	12.83	65	2.71	160.00	189.39	14.97
31	0.34	132.00	221.80	19.31	66	3.81	60.00	74.06	9.56
32	1.97	110.00	190.00	18.12	67	4.11	60.00	74.06	9.56
33	2.14	140.00	168.18	14.21	68	5.56	160.00	146.26	11.56
34	2.10	110.00	121.70	11.60	69	2.64	160.00	146.26	11.56
35	4.42	250.00	128.07	8.10	70	1.85	170.00	142.22	10.91
36	3.08	150.00	99.43	8.12	71	1.85	160.00	173.02	13.68
va....									

C.5 Archivo hperson

```
> dat = read.table("hperson.txt", T)
> dat
```

N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES
1	0.485721426	1.778151	2.390511	1.5014701
2	0.421603927	2.414973	2.245315	1.0378248
3	0.974511693	2.255273	2.245537	1.1179338
4	0.206825876	2.255273	2.245266	1.1176027
5	0.536558443	2.146128	2.322488	1.2494430
6	-0.366531544	1.397940	2.436051	1.7371131
7	0.382017043	2.000000	2.171434	1.1714339
8	0.193124598	1.397940	2.218798	1.5198280
9	0.597695186	2.447158	2.221675	0.9982593
10	0.587710965	2.079181	2.284205	1.2445245
11	-0.161150909	2.079181	2.443059	1.4034637
12	0.287801730	1.000000	2.358068	1.8580557
13	0.374748346	1.000000	2.358068	1.8580557
14	0.372912003	2.204120	2.144885	1.0429691
15	-0.481486060	1.477121	2.563066	1.8245163
16	-0.356547324	1.462398	2.527759	1.7965743
17	0.808885867	2.447158	2.132996	0.9095560
18	0.800029359	2.447158	1.974189	0.7505084
19	0.161368002	2.204120	2.246129	1.1439511
20	0.810232518	2.204120	2.034869	0.9329808
21	0.481442629	2.096910	2.219113	1.1705551
22	0.103803721	1.812913	2.126781	1.2203696
23	0.383815366	2.447158	2.307004	1.0835026
24	0.552668216	1.653213	1.867055	1.0406023
25	0.245512668	2.447158	2.333568	1.1099159
26	1.008600172	2.204120	2.095936	0.9938769
27	-0.193820026	1.255273	1.993127	1.3654880
28	0.719331287	1.903090	2.020568	1.0689276
29	0.509202522	1.477121	2.042221	1.3036280
30	0.460897843	1.903090	2.059866	1.1082267
31	-0.468521083	2.120574	2.345962	1.2857823
32	0.294466226	2.041393	2.278754	1.2581582
33	0.330413773	2.146128	2.225774	1.1525941
34	0.322219295	2.041393	2.085291	1.0644580
35	0.645422269	2.397940	2.107447	0.9084850
36	0.488550717	2.176091	1.997517	0.9095560

va.... ↗

N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES
.... viene				
37	1.064457989	2.000000	1.770336	0.7701153
38	1.094820380	2.000000	1.770336	0.7701153
39	0.741939078	2.000000	2.039255	1.0394141
40	0.501059262	2.000000	2.069964	1.0700379
41	0.507855872	1.447158	2.135800	1.4122925
42	0.530199698	2.000000	2.166933	1.1670218
43	0.684845362	2.176091	2.181329	1.0934217
44	1.049218023	2.176091	1.943000	0.8549130
45	0.518513940	2.096910	2.126001	1.0777312
46	0.496929648	2.096910	2.034829	0.9863238
47	0.354108439	2.096910	2.064421	1.0157788
48	0.017033339	2.096910	2.004106	0.9556878
49	-0.420216403	2.096910	2.283165	1.2347703
50	0.518513940	2.096910	2.190360	1.1417632
51	-0.004364805	2.096910	2.223236	1.1746412
52	0.017033339	2.096910	2.169851	1.1215598
53	0.531478917	2.380211	2.233707	1.0437551
54	0.565847819	2.301030	2.086111	0.9355073
55	-0.040958608	2.380211	2.116873	0.9268567
56	0.376576957	2.301030	2.190164	1.0398106
57	0.181843588	1.903090	2.174263	1.2227165
58	-0.259637311	2.230449	2.188225	1.0729847
59	0.741151599	1.698970	2.129754	1.2803507
60	0.064457989	2.204120	2.201151	1.0989896
61	0.187520721	2.204120	2.185429	1.0835026
62	-0.236572006	2.204120	2.343822	1.2417954
63	0.025305865	2.204120	2.249100	1.1470577
64	0.296665190	2.204120	2.278982	1.1769590
65	0.432969291	2.204120	2.277357	1.1752218
66	0.580924976	1.778151	1.869584	0.9804579
67	0.613841822	1.778151	1.869584	0.9804579
68	0.745074792	2.204120	2.165126	1.0629578
69	0.421603927	2.204120	2.165126	1.0629578
70	0.267171728	2.230449	2.152961	1.0378248
71	0.267171728	2.204120	2.238096	1.1360861

C.6 Archivo D.ME3.7

```
> dat = read.table("D.ME3.7.txt",T)
```

```
> dat
```

N° D.ME3.7		N° D.ME3.7		N° D.ME3.7		N° D.ME3.7		N° D.ME3.7	
1	1.4666792	....	viene	....	viene	....	viene	....	viene
2	1.1941188	16	1.6670774	30	1.1110465	44	0.9395796	58	1.1739337
3	1.2262811	17	1.0753624	31	1.3536450	45	1.1384177	59	1.2217586
4	1.2260096	18	0.9165559	32	1.3022733	46	1.0472452	60	1.1921255
5	1.3250607	19	1.2371034	33	1.2283470	47	1.0768368	61	1.1764031
6	1.5882615	20	1.0258433	34	1.1088103	48	1.0165226	62	1.3347963
7	1.2032322	21	1.2315291	35	1.0596577	49	1.2955818	63	1.2400748
8	1.3710083	22	1.1959962	36	0.9940975	50	1.2027760	64	1.2699564
9	1.1640417	23	1.2493704	37	0.8021347	51	1.2356525	65	1.2683313
10	1.3001671	24	0.9682106	38	0.8021347	52	1.1822670	66	0.9457517
11	1.4590215	25	1.2759348	39	1.0710537	53	1.1894627	67	0.9457517
12	1.5898664	26	1.0869104	40	1.1017622	54	1.0577029	68	1.1560998
13	1.5898664	27	1.1738713	41	1.2781670	55	1.0726293	69	1.1560998
14	1.1358597	28	1.0717487	42	1.1987314	56	1.1617558	70	1.1386692
15	1.6994396	29	1.1785950	43	1.1779090	57	1.2254437	71	1.2290706
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗

C.7 Archivo colm3.7.txt

```
dat = read.table("colm3.7.txt", T)
```

```
> dat
```

N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7
1	29.287292	....	viene	....	viene	....	viene	....	viene
2	15.635754	16	46.459810	30	12.913575	44	8.701209	58	14.925664
3	16.837636	17	11.894943	31	22.575898	45	13.753642	59	16.663207
4	16.827113	18	8.251936	32	20.057340	46	11.149238	60	15.564154
5	21.137846	19	17.262489	33	16.917922	47	11.935396	61	15.010774
6	38.749094	20	10.613125	34	12.847254	48	10.387776	62	21.617043
7	15.967325	21	17.042333	35	11.472490	49	19.750667	63	17.381000
8	23.496776	22	15.703490	36	9.865008	50	15.950562	64	18.619002
9	14.589542	23	17.757032	37	6.340664	51	17.204916	65	18.549462
10	19.960301	24	9.294169	38	6.340664	52	15.214825	66	8.825752
11	28.775410	25	18.877081	39	11.777516	53	15.469016	67	8.825752
12	38.892552	26	12.215476	40	12.640441	54	11.420966	68	14.325172
13	38.892552	27	14.923520	41	18.974352	55	11.820322	69	14.325172
14	13.672870	28	11.796379	42	15.802703	56	14.512954	70	13.761607
15	50.054094	29	15.086727	43	15.062915	57	16.805199	71	16.946132
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		

C.8 Archivo tintaya.txt

```
dat=read. table("tintaya.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	D	Q	PPV	N°	D	Q	PPV
1	59.01	650	22.06	.... viene			
2	50.14	670	30.62	25	47.41	670	88.29
3	42.43	660	26.29	26	63.03	670	36.06
4	33.42	650	51.78	27	53.53	670	55.30
5	35.78	630	35.78	28	22.61	200	105.30
6	30.63	650	61.27	29	31.20	200	35.39
7	28.61	660	90.38	30	17.13	200	116.78
8	30.14	600	77.80	31	24.88	200	43.11
9	64.26	680	18.07	32	12.74	200	349.08
10	26.41	620	90.38	33	18.41	200	319.82
11	33.30	620	47.87	34	11.59	200	223.82
12	20.93	650	209.50	35	13.66	200	161.57
13	25.35	650	203.36	36	14.56	200	137.89
14	20.25	670	276.21	37	10.53	200	307.03
15	20.34	670	134.76	38	20.14	180	74.94
16	23.62	660	107.00	39	12.72	180	136.38
17	19.42	660	475.81	40	25.60	200	74.69
18	29.78	640	211.29	41	16.95	200	197.14
19	22.72	640	89.05	42	31.92	200	36.67
20	37.64	550	77.09	43	22.62	200	50.04
21	29.20	550	194.22	44	39.38	200	32.79
22	47.21	650	71.02	45	29.85	200	37.09
23	38.24	650	90.31	46	45.91	200	25.30
24	56.75	670	83.00	47	36.22	200	38.63

va.... ↗

C.9 Archivo ltintaya.txt

```
> dat=read. table("ltintaya.txt",T)
```

```
> dat
```

	D	Q	VPP		D	Q	VPP
1	1.770926	2.812913	1.343606	.... viene			
2	1.700184	2.826075	1.486005	25	1.675870	2.826075	1.945912
3	1.627673	2.819544	1.419791	26	1.799547	2.826075	1.557026
4	1.524006	2.812913	1.714162	27	1.728597	2.826075	1.742725
5	1.553640	2.799341	1.553640	28	1.354301	2.301030	2.022428
6	1.486147	2.812913	1.787248	29	1.494155	2.301030	1.548881
7	1.456518	2.819544	1.956072	30	1.233757	2.301030	2.067368
8	1.479143	2.778151	1.890980	31	1.395850	2.301030	1.634578
9	1.807941	2.832509	1.256958	32	1.105169	2.301030	2.542925
10	1.421768	2.792392	1.956072	33	1.265054	2.301030	2.504906
11	1.522444	2.792392	1.680063	34	1.064083	2.301030	2.349899
12	1.320769	2.812913	2.321184	35	1.135451	2.301030	2.208361
13	1.403978	2.812913	2.308266	36	1.163161	2.301030	2.139533
14	1.306425	2.826075	2.441239	37	1.022428	2.301030	2.487181
15	1.308351	2.826075	2.129561	38	1.304059	2.255273	1.874714
16	1.373280	2.819544	2.029384	39	1.104487	2.255273	2.134751
17	1.288249	2.819544	2.677434	40	1.408240	2.301030	1.873262
18	1.473925	2.806180	2.324879	41	1.229170	2.301030	2.294775
19	1.356408	2.806180	1.949634	42	1.504063	2.301030	1.564311
20	1.575650	2.740363	1.886998	43	1.354493	2.301030	1.699317
21	1.465383	2.740363	2.288294	44	1.595276	2.301030	1.515741
22	1.674034	2.812913	1.851381	45	1.474944	2.301030	1.569257
23	1.582518	2.812913	1.955736	46	1.661907	2.301030	1.403121
24	1.753966	2.826075	1.919078	47	1.558948	2.301030	1.586925
			va....				

C.10 Archivo tesis.txt

```
dat=read.table("tesis.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	Geofono	M.Devine	M.Colque
1	3.06	1.1662743	1.0310595
2	2.64	2.8838451	2.3313755
3	9.43	2.4662632	2.1173919
4	1.61	2.4678584	2.1191134
5	3.44	1.9077422	1.5753888
6	0.43	0.7361654	0.7165173
7	2.41	2.2216281	2.2686364
8	1.56	1.1252090	1.3729539
9	3.96	3.1154687	2.5510123
10	3.87	1.9261519	1.6972644
11	0.69	1.4122452	1.0549666
12	1.94	0.5813211	0.7130834
13	2.37	0.5813211	0.7130834
14	2.36	2.8550226	2.7755504
15	0.33	0.6206653	0.5136830
16	0.44	0.6554692	0.5659343
17	6.44	3.7046212	3.3265620
18	6.31	5.0537784	5.3511127
19	1.45	2.3441034	2.0498980
20	6.46	3.5389920	3.8580730
21	3.03	2.2254438	2.0843898
22	1.27	2.0191746	2.3183108
23	2.42	2.6377710	1.9759921
24	3.57	2.8682469	4.5845104
25	1.76	2.5051784	1.8249518
26	10.2	3.1422425	3.2135361
27	0.64	1.5209450	2.4770459
28	5.24	2.7139179	3.3627406
29	3.23	1.7162114	2.4422671
30	2.89	2.5134550	2.9895531
31	0.34	1.7770676	1.4461993
32	1.97	1.8755523	1.6865972
33	2.14	2.3048759	2.1043384
34	2.10	2.7377069	3.0096313
35	4.42	3.7123766	3.4866769
36	3.08	3.7046212	4.2426776
.... viene			
37	11.6	4.8639550	7.5368789
38	12.44	4.8639550	7.5368789
39	5.52	2.8749093	3.3697438
40	3.17	2.7080408	3.0738014
41	3.22	1.3881080	1.8127990
42	3.39	2.2408503	2.2994073
43	4.84	2.5871745	2.4472874
44	11.2	4.1217446	4.9947439
45	3.30	2.6676649	2.7543788
46	3.14	3.1889283	3.6186615
47	2.26	3.0106962	3.3119122
48	1.04	3.3855100	3.9672298
49	0.38	1.9631890	1.7207208
50	3.30	2.3541390	2.2717363
51	0.99	2.2077586	2.0588200
52	1.04	2.4488635	2.4155701
53	3.40	2.8506439	2.3640965
54	3.68	3.5215767	3.5071393
55	0.91	3.5815649	3.3538884
56	2.38	2.8726847	2.5685270
57	1.52	2.0099430	2.1227065
58	0.55	2.6925034	2.4765833
59	5.51	1.7960149	2.1462511
60	1.16	2.5591993	2.3453277
61	1.54	2.6377710	2.4583442
62	0.58	1.9364433	1.5301413
63	1.06	2.3299275	2.0317465
64	1.98	2.1977895	1.8579045
65	2.71	2.2052571	1.8669642
66	3.81	3.2256632	4.9033113
67	4.11	3.2256632	4.9033113
68	5.56	2.7457379	2.6123833
69	2.64	2.7457379	2.6123833
70	1.85	2.8838451	2.7523066
71	1.85	2.3803801	2.0997855

va.... ↗

C.11 Archivo colquijirca.txt

```
dat=read.table("colquijirca.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	PPV cm/s	C.Max.Ret (Kg/ret.)	Distancia Radial (m)	Distancia. ESCALADA
1	3.06	60.00	245.76	31.73
2	2.64	260.00	175.92	10.91
3	9.43	180.00	176.01	13.12
4	1.61	180.00	175.90	13.11
5	3.44	140.00	210.13	17.76
6	0.43	25.00	272.93	54.59
7	2.41	100.00	148.40	14.84
8	1.56	25.00	165.50	33.10
9	3.96	280.00	166.60	9.96
10	3.87	120.00	192.40	17.56
11	0.69	120.00	277.37	25.32
12	1.94	10.00	228.07	72.12
13	2.37	10.00	228.07	72.12
14	2.36	160.00	139.60	11.04
15	0.33	30.00	365.65	66.76
16	0.44	29.00	337.10	62.60
17	6.44	280.00	135.83	8.12
18	6.31	280.00	94.23	5.63
19	1.45	160.00	176.25	13.93
20	6.46	160.00	108.36	8.57
21	3.03	125.00	165.62	14.81
22	1.27	65.00	133.90	16.61
23	2.42	280.00	202.77	12.12
24	3.57	45.00	73.63	10.98
25	1.76	280.00	215.56	12.88
26	10.20	160.00	124.72	9.86
27	0.64	18.00	98.43	23.20
28	5.24	80.00	104.85	11.72
29	3.23	30.00	110.21	20.12
30	2.89	80.00	114.78	12.83
31	0.34	132.00	221.80	19.31
32	1.97	110.00	190.00	18.12
33	2.14	140.00	168.18	14.21
34	2.10	110.00	121.70	11.60
35	4.42	250.00	128.07	8.10
36	3.08	150.00	99.43	8.12

va.... ↗

N°	PPV cm/s	C.Max.Ret (Kg/ret.)	Distancia Radial (m)	Distancia. ESCALADA
.... viene				
37	11.60	100.00	58.93	5.89
38	12.44	100.00	58.93	5.89
39	5.52	100.00	109.46	10.95
40	3.17	100.00	117.48	11.75
41	3.22	28.00	136.71	25.84
42	3.39	100.00	146.87	14.69
43	4.84	150.00	151.82	12.40
44	11.20	150.00	87.70	7.16
45	3.30	125.00	133.66	11.96
46	3.14	125.00	108.35	9.69
47	2.26	125.00	115.99	10.37
48	1.04	125.00	100.95	9.03
49	0.38	125.00	191.94	17.17
50	3.30	125.00	155.01	13.86
51	0.99	125.00	167.20	14.95
52	1.04	125.00	147.86	13.23
53	3.40	240.00	171.28	11.06
54	3.68	200.00	121.93	8.62
55	0.91	240.00	130.88	8.45
56	2.38	200.00	154.94	10.96
57	1.52	80.00	149.37	16.70
58	0.55	170.00	154.25	11.83
59	5.51	50.00	134.82	19.07
60	1.16	160.00	158.91	12.56
61	1.54	160.00	153.26	12.12
62	0.58	160.00	220.71	17.45
63	1.06	160.00	177.46	14.03
64	1.98	160.00	190.10	15.03
65	2.71	160.00	189.39	14.97
66	3.81	60.00	74.06	9.56
67	4.11	60.00	74.06	9.56
68	5.56	160.00	146.26	11.56
69	2.64	160.00	146.26	11.56
70	1.85	170.00	142.22	10.91
71	1.85	160.00	173.02	13.68

C.12 Archivo D.ESTin.txt.

```
dat=read. table("D.ESTin.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin
1	2.3145626	....	viene	....	viene	....	viene
2	1.9370772	14	0.7823258	26	2.4350613	38	1.5011470
3	1.6515855	15	0.7858028	27	2.0680443	39	0.9480928
4	1.3108402	16	0.9194073	28	1.5987684	40	1.8101934
5	1.4255093	17	0.7559225	29	2.2061732	41	1.1985460
6	1.2014074	18	1.1771579	30	1.2112739	42	2.2570848
7	1.1136427	19	0.8980869	31	1.7592817	43	1.5994755
8	1.2304603	20	1.6049750	32	0.9008540	44	2.7845865
9	2.4642585	21	1.2450922	33	1.3017836	45	2.1107137
10	1.0606511	22	1.8517285	34	0.8195368	46	3.2463272
11	1.3373602	23	1.4998962	35	0.9659079	47	2.5611408
12	0.8209421	24	2.1924438	36	1.0295475		
13	0.9943088	25	1.8316081	37	0.7445834		
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		

N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin
1	2.3145626	....	viene	....	viene	....	viene
2	1.9370772	14	0.7823258	26	2.4350613	38	1.5011470
3	1.6515855	15	0.7858028	27	2.0680443	39	0.9480928
4	1.3108402	16	0.9194073	28	1.5987684	40	1.8101934
5	1.4255093	17	0.7559225	29	2.2061732	41	1.1985460
6	1.2014074	18	1.1771579	30	1.2112739	42	2.2570848
7	1.1136427	19	0.8980869	31	1.7592817	43	1.5994755
8	1.2304603	20	1.6049750	32	0.9008540	44	2.7845865
9	2.4642585	21	1.2450922	33	1.3017836	45	2.1107137
10	1.0606511	22	1.8517285	34	0.8195368	46	3.2463272
11	1.3373602	23	1.4998962	35	0.9659079	47	2.5611408
12	0.8209421	24	2.1924438	36	1.0295475		
13	0.9943088	25	1.8316081	37	0.7445834		
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		

C.13 Archivo D.TIN.txt

```
> dat=read. table("D.TIN.txt",T)
```

```
> dat
```

N°D.TIN	N°D.TIN	N°D.TIN	N°D.TIN
14.362211	.... viene	.... viene	.... viene
23.684115	141.487900	264.631227	381.924725
33.127001	151.494513	273.933200	391.215616
42.470515	161.740744	282.115721	402.395509
52.661558	171.431213	292.919526	411.586089
62.264269	182.208271	301.602932	422.986900
72.108496	191.684752	312.328135	432.116656
82.264002	202.877006	321.192140	443.684966
94.707634	212.231897	331.722708	452.793200
101.970851	223.489917	341.084529	464.296008
112.485019	232.826825	351.278228	473.389270
121.547214	244.169795	361.362446	
131.873955	253.483524	370.985340	
va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	

C.14 Archivo dattin.txt

```
> dat=read. table("dattin.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	D	Q	PPV	N°	D	Q	PPV
1	1.770926	2.812913	1.343606	.... viene			
2	1.700184	2.826075	1.486005	25	1.675870	2.826075	1.945912
3	1.627673	2.819544	1.419791	26	1.799547	2.826075	1.557026
4	1.524006	2.812913	1.714162	27	1.728597	2.826075	1.742725
5	1.553640	2.799341	1.553640	28	1.354301	2.301030	2.022428
6	1.486147	2.812913	1.787248	29	1.494155	2.301030	1.548881
7	1.456518	2.819544	1.956072	30	1.233757	2.301030	2.067368
8	1.479143	2.778151	1.890980	31	1.395850	2.301030	1.634578
9	1.807941	2.832509	1.256958	32	1.105169	2.301030	2.542925
10	1.421768	2.792392	1.956072	33	1.265054	2.301030	2.504906
11	1.522444	2.792392	1.680063	34	1.064083	2.301030	2.349899
12	1.320769	2.812913	2.321184	35	1.135451	2.301030	2.208361
13	1.403978	2.812913	2.308266	36	1.163161	2.301030	2.139533
14	1.306425	2.826075	2.441239	37	1.022428	2.301030	2.487181
15	1.308351	2.826075	2.129561	38	1.304059	2.255273	1.874714
16	1.373280	2.819544	2.029384	39	1.104487	2.255273	2.134751
17	1.288249	2.819544	2.677434	40	1.408240	2.301030	1.873262
18	1.473925	2.806180	2.324879	41	1.229170	2.301030	2.294775
19	1.356408	2.806180	1.949634	42	1.504063	2.301030	1.564311
20	1.575650	2.740363	1.886998	43	1.354493	2.301030	1.699317
21	1.465383	2.740363	2.288294	44	1.595276	2.301030	1.515741
22	1.674034	2.812913	1.851381	45	1.474944	2.301030	1.569257
23	1.582518	2.812913	1.955736	46	1.661907	2.301030	1.403121
24	1.753966	2.826075	1.919078	47	1.558948	2.301030	1.586925
			va.... ↗				

APÉNDICE B. TABLAS

B.1 Tipos de las principales discontinuidades en los Macizos Rocosos

Origen	Roca	Clase	Mecanismo
Genético	Ígneas	Estructura de flujo	Contactos entre coladas de lavas sucesivas
		Estructura de retracción	Grietas de retracción por enfriamiento
	Metamórficas	Foliación	Por gradientes térmicos, de presión y anatexia
	Sedimento	Estratificación	Contactos entre eventos de deposición
Físico-químico	Todas	Termofracturas	Ciclos de calentamiento – enfriamiento o humedecimiento-secado
		Halifracturas	Expansión de sales y arcillas en fracturas
		Gelifracturas	Ciclos de congelamiento y fusión de agua
Gravedad	Todas	Relajación	Pérdida de presión de sepultura y esfuerzos de tracción.
		Corte	Concentración de esfuerzos horizontales en valles.
Tectónico	Todas	Estructura de placa	Bordes constructivos, pasivos y destructivos
		Fallas	Rupturas con desplazamientos por esfuerzos de compresión, tracción y corte
		Diaclasas	Rupturas por esfuerzos tectónicos, pero sin desplazamiento de bloques
		Fracturas de pliegues	Radiales en la zona de tracción y de corte en la parte interna de la charnela
	Todas	Acción de las raíces	Penetración y crecimiento de las raíces de los árboles.

Adaptado de Álvaro J. Gonzáles G. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín 1995.

B.2 Datos de la mina Tintaya

Profundidad Geófono (m)	Profundidad Taladro (m)	Longitud Carga (m)	Distancia al Geófono (m)	Heavy Anfo (kg)	PPV (mm/s)
7.50	16.20	7.48	59.01	650	22.06
7.50	16.00	7.71	50.14	670	30.62
7.50	16.20	7.59	42.43	660	26.29
7.50	16.40	7.48	33.42	650	51.78
7.50	14.40	6.34	35.78	630	35.78
7.50	15.70	7.48	30.63	650	61.27
7.50	16.60	7.59	28.61	660	90.38
7.50	15.00	6.90	30.14	600	77.80
7.50	16.30	7.82	64.26	680	18.07
7.50	16.60	7.13	26.41	620	90.38
7.50	16.60	7.13	33.30	620	47.87
7.50	15.50	7.48	20.93	650	209.50
7.50	15.50	7.48	25.35	650	203.36
7.50	16.00	7.71	20.25	670	276.21
7.50	16.00	7.10	20.34	670	134.76
7.50	16.00	7.59	23.62	660	107.00
7.50	16.00	7.59	19.42	660	475.81
7.50	15.00	6.44	29.78	640	211.29
7.50	15.00	6.44	22.72	640	89.05
7.50	13.30	5.53	37.64	550	77.09
7.50	13.30	5.53	29.20	550	194.22
7.50	13.50	7.48	47.21	650	71.02
7.50	13.50	7.48	38.24	650	90.31
7.50	16.00	7.71	56.75	670	83.00
7.50	16.00	7.71	47.41	670	88.29
7.50	16.00	7.71	63.03	670	36.06
7.50	16.00	7.71	53.53	670	55.30
7.50	14.20	2.30	22.61	200	105.30
7.50	14.20	2.30	31.20	200	35.39
7.50	14.90	2.30	17.13	200	116.78
7.50	14.90	2.30	24.88	200	43.11
7.50	14.80	2.30	12.74	200	349.08
7.50	14.80	2.30	18.41	200	319.82
7.50	15.00	2.30	11.59	200	223.82
7.50	15.00	2.30	13.66	200	161.57
7.50	14.80	2.30	14.56	200	137.89
7.50	14.80	2.30	10.53	200	307.03
7.50	15.10	2.07	20.14	180	74.94
7.50	15.10	2.07	12.72	180	136.38
7.50	15.30	2.30	25.60	200	74.69
7.50	15.30	2.30	16.95	200	197.14
7.50	15.00	2.30	31.92	200	36.67
7.50	15.00	2.30	22.62	200	50.04
7.50	15.00	2.30	39.38	200	32.79
7.50	15.00	2.30	29.85	200	37.09
7.50	15.50	2.30	45.91	200	25.30
7.50	15.50	2.30	36.22	200	38.63

Estas voladuras se realizaron en Junio del 2009

B.3 Estadísticas Descriptivas

Estadísticas descriptivas: Geofono

Media del
Error

Variable	Media	estándar	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Geofono	3.199	0.316	2.662	0.330	1.520	2.640	3.810	12.440

Estadísticas descriptivas: M.Devine

Media del
Error

Variable	Media	estándar	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
M. Devine	2.516	0.111	0.938	0.581	1.963	2.513	2.884	5.054

Estadísticas descriptivas: M.Colque

Media del
Error

Variable	Media	estándar	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
M. Colque	2.643	0.160	1.344	0.514	1.867	2.364	3.312	7.537

B.4 Correlaciones: Devine y Colque

```
> dat=read. table("tesis.txt",T)
```

```
> round(cor(dat[,-1]),3)
```

M.Devine M.Colque

M. Devine	1.000	0.893
M. Colque	0.893	1.000

```
> cor(dat[,-1],dat[,1])
```

[,1]

M. Devine	0.6135168
M. Colque	0.6836782

B.5 Data de las Voladuras de los tajos Mercedes Norte y Principal

APÉNDICE C. ARCHIVOS

C.1 Monitoreo con valores de K, para hallar el K del Modelo de Colque

Monitoreo con valores de $K = \frac{1}{3.5}, \frac{1}{3.6}, \frac{1}{3.7}, \frac{1}{3.72}, \frac{1}{3.75}, \frac{1}{3.8}$

$K = 0.285, 0.277, 0.270, 0.268, 0.266, 0.263$

y otros

```
dat=read.table("colm3.5.txt",T)
```

```
> a=89.13
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.5
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0279385	2.3243187	2.1109826	2.1126991	1.5706202	0.7143484	2.2617692
[8]	1.368798	2.5432905	1.6921268	1.0517733	0.710925	0.710925	2.7671489
[15]	0.5121281	0.5642213	3.3164927	5.3349153	2.0436931	3.8463949	2.0780804
[22]	2.3112935	1.970011	4.570633	1.8194277	3.203809	2.4695481	3.3525617
[29]	2.4348744	2.9805037	1.4418218	1.6814919	2.0979687	3.0005213	3.4761229
[36]	4.2298351	7.5140662	7.5140662	3.3595438	3.0644972	1.8073118	2.2924473
[43]	2.4398798	4.979625	2.7460413	3.6077081	3.3018875	3.9552208	1.7155123
[50]	2.2648598	2.0525881	2.4082583	2.3569405	3.4965232	3.3437363	2.5607521
[57]	2.1162812	2.4690869	2.1397544	2.3382285	2.4509028	1.5255096	2.0255965
[64]	1.8522807	1.8613129	4.888469	4.888469	2.6044758	2.6044758	2.7439754
[71]	2.0934297						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.635038
```

```
dat=read.table("colm3.6.txt",T)
```

```
> a=85.11
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.6
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0181895	2.3022747	2.0909621	2.0926621	1.5557244	0.7075736	2.2403186
[8]	1.3558163	2.5191698	1.6760786	1.0417983	0.7041825	0.7041825	2.7409052
[15]	0.5072711	0.5588702	3.285039	5.2843181	2.0243107	3.8099155	2.0583719
[22]	2.289373	1.9513272	4.5272849	1.8021722	3.1734241	2.4461267	3.320766
[29]	2.411782	2.9522365	1.4281475	1.6655446	2.0780715	2.9720643	3.4431554
[36]	4.1897187	7.4428024	7.4428024	3.3276815	3.0354335	1.7901712	2.2707055
[43]	2.4167397	4.9323975	2.7199978	3.5734924	3.2705723	3.9177094	1.6992423
[50]	2.2433799	2.0331213	2.3854181	2.3345872	3.4633622	3.3120243	2.5364659
[57]	2.0962103	2.4456699	2.119461	2.3160528	2.4276585	1.5110416	2.0063857
[64]	1.8347137	1.8436602	4.8421066	4.8421066	2.5797747	2.5797747	2.7179515
[71]	2.0735754						

```
> mean (VPP6)
```

```
[1] 2.610048
```

```
> dat=read. table ("colm3.7.txt",T)
```

```
> a=83.17
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.7
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0310595	2.3313755	2.1173919	2.1191134	1.5753888	0.7165173	2.2686364
[8]	1.3729539	2.5510123	1.6972644	1.0549666	0.7130834	0.7130834	2.7755504
[15]	0.513683	0.5659343	3.326562	5.3511127	2.049898	3.858073	2.0843898
[22]	2.3183108	1.9759921	4.5845104	1.8249518	3.2135361	2.4770459	3.3627406
[29]	2.4422671	2.9895531	1.4461993	1.6865972	2.1043384	3.0096313	3.4866769
[36]	4.2426776	7.5368789	7.5368789	3.3697438	3.0738014	1.812799	2.2994073
[43]	2.4472874	4.9947439	2.7543788	3.6186615	3.3119122	3.9672298	1.7207208
[50]	2.2717363	2.05882	2.4155701	2.3640965	3.5071393	3.3538884	2.568527
[57]	2.1227065	2.4765833	2.1462511	2.3453277	2.4583442	1.5301413	2.0317465
[64]	1.8579045	1.8669642	4.9033113	4.9033113	2.6123833	2.6123833	2.7523066
[71]	2.0997855						

> mean(VPP6)

[1] 2.643039

Coeficiente de Correlación:

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	1.9164	0.2410	7.95	0.000
D.ME3.7	-1.2989	0.1997	-6.50	0.000
		S = 0.293849	R-cuad. = 38.0%	R-cuad.(ajustado) = 37.1%

dat=read. table ("colm3.72.txt",T)

> a=81.28

> b=-1.3

> dat=dat\$colm3.72

> VPP6=a*(dat)^b

> VPP6

[1]	1.0147155	2.2944193	2.0838278	2.085522	1.5504163	0.7051593	2.2326746
[8]	1.3511903	2.5105744	1.6703599	1.0382437	0.7017799	0.7017799	2.7315533
[15]	0.5055403	0.5569634	3.2738305	5.2662886	2.0174038	3.7969163	2.0513487
[22]	2.2815617	1.9446694	4.511838	1.7960233	3.1625965	2.4377806	3.3094359
[29]	2.4035533	2.9421638	1.4232747	1.6598618	2.0709812	2.9619237	3.4314074
[36]	4.1754238	7.4174077	7.4174077	3.3163279	3.0250768	1.7840632	2.262958
[43]	2.408494	4.9155685	2.7107173	3.5612997	3.2594131	3.9043425	1.6934446
[50]	2.2357256	2.0261844	2.3772794	2.3266218	3.4515453	3.3007237	2.5278115
[57]	2.0890582	2.4373253	2.1122295	2.3081505	2.4193754	1.505886	1.9995399
[64]	1.8284536	1.8373697	4.8255856	4.8255856	2.5709728	2.5709728	2.708678
[71]	2.0665005						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.601142
```

```
dat=read.table("colm3.75.txt",T)
```

```
> a=81.28
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.75
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0253665	2.3185029	2.1057008	2.1074127	1.5666903	0.7125611	2.2561100
[8]	1.3653731	2.5369268	1.6878929	1.0491417	0.7091461	0.7091461	2.7602252
[15]	0.5108467	0.5628095	3.3081943	5.3215667	2.0385796	3.8367705	2.0728808
[22]	2.3055103	1.9650818	4.5591969	1.8148753	3.1957926	2.4633690	3.3441732
[29]	2.4287823	2.9730463	1.4382142	1.6772846	2.0927192	2.9930137	3.4674254
[36]	4.2192514	7.4952654	7.4952654	3.3511376	3.0568297	1.8027896	2.2867112
[43]	2.4337747	4.9671653	2.7391703	3.5986809	3.2936257	3.9453244	1.7112198
[50]	2.2591929	2.0474523	2.4022325	2.3510433	3.4877744	3.3353698	2.5543449
[57]	2.1109859	2.4629089	2.1344006	2.3323779	2.4447703	1.5216926	2.0205282
[64]	1.8476460	1.8566557	4.8762372	4.8762372	2.5979590	2.5979590	2.7371097
[71]	2.0881915						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.628445
```

```
dat=read.table("colm3.8.txt",T)
```

```

> a=79.43
> b=-1.3
> dat=dat$colm3.8
> VPP6=a*(dat)^b
> VPP6

```

[1]	1.0194314	2.3050827	2.0935125	2.0952146	1.5576219	0.7084366	2.2430510
[8]	1.3574700	2.5222424	1.6781230	1.0430690	0.7050414	0.7050414	2.7442482
[15]	0.5078898	0.5595519	3.2890459	5.2907638	2.0267798	3.8145626	2.0608824
[22]	2.2921655	1.9537074	4.5328071	1.8043704	3.1772946	2.4491105	3.3248164
[29]	2.4147237	2.9558376	1.4298895	1.6675761	2.0806062	2.9756892	3.4473551
[36]	4.1948293	7.4518804	7.4518804	3.3317404	3.0391360	1.7923547	2.2734752
[43]	2.4196875	4.9384141	2.7233156	3.5778510	3.2745615	3.9224880	1.7013149
[50]	2.2461162	2.0356011	2.3883278	2.3374349	3.4675862	3.3160639	2.5395598
[57]	2.0987670	2.4486530	2.1220461	2.3188776	2.4306195	1.5128846	2.0088329
[64]	1.8369515	1.8459090	4.8480124	4.8480124	2.5829214	2.5829214	2.7212665
[71]	2.0761047						

```

> mean (VPP)
> mean (VPP6)
[1] 2.613231

```

C.2 Modelo Colque aplicado a la Mina TINTAYA

```

dat=read. table("tintaya.txt",T)
> Q=dat$Q
> D=dat$D
> D.TIN=0.27*D/(Q)^0.2
> D.TIN

```

[1]	4.362211	3.684115	3.127001	2.470515	2.661558	2.264269	2.108496	2.264002
[9]	4.707634	1.970851	2.485019	1.547214	1.873955	1.487900	1.494513	1.740744
[17]	1.431213	2.208271	1.684752	2.877006	2.231897	3.489917	2.826825	4.169795
[25]	3.483524	4.631227	3.933200	2.115721	2.919526	1.602932	2.328135	1.192140
[33]	1.722708	1.084529	1.278228	1.362446	0.985340	1.924725	1.215616	2.395509
[41]	1.586089	2.986900	2.116656	3.684966	2.793200	4.296008	3.389270	

> data.frame(D.TIN)

N°	D.TIN	N°	D.TIN	N°	D.TIN	N°	D.TIN
1	4.362211	.... viene		.... viene		.... viene	
2	3.684115	14	1.487900	26	4.631227	38	1.924725
3	3.127001	15	1.494513	27	3.933200	39	1.215616
4	2.470515	16	1.740744	28	2.115721	40	2.395509
5	2.661558	17	1.431213	29	2.919526	41	1.586089
6	2.264269	18	2.208271	30	1.602932	42	2.986900
7	2.108496	19	1.684752	31	2.328135	43	2.116656
8	2.264002	20	2.877006	32	1.192140	44	3.684966
9	4.707634	21	2.231897	33	1.722708	45	2.793200
10	1.970851	22	3.489917	34	1.084529	46	4.296008
11	2.485019	23	2.826825	35	1.278228	47	3.389270
12	1.547214	24	4.169795	36	1.362446		
13	1.873955	25	3.483524	37	0.985340		

va.... ↗ va.... ↗ va.... ↗

> log(D.TIN,10)

[1]	0.639706707	0.566333133	0.49512801	0.392787538	0.42513599
[6]	0.35492809	0.323972835	0.35487676	0.672802703	0.294653827
[11]	0.39532966	0.189550321	0.27275906	0.172573831	0.174499752
[16]	0.24073487	0.155704203	0.34405246	0.226536096	0.458940841
[21]	0.348674078	0.542815093	0.45129898	0.620114669	0.542018759
[26]	0.665696111	0.594746047	0.32545833	0.465312359	0.204915128
[31]	0.367008141	0.076327193	0.23621155	0.035241201	0.106608464
[36]	0.13431914	-0.00641386	0.28436873	0.084796374	0.37939773
[41]	0.200327468	0.475220648	0.32565037	0.566433477	0.4461021
[46]	0.633065058	0.530106211			

> data.frame(log(D.TIN,10))

log(D.TIN,10)

1	0.639706707	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene
2	0.566333133	120.189550321	220.542815093	320.076327193	420.475220648
3	0.495128009	130.272759056	230.451298976	330.236211554	430.325650366
4	0.392787538	140.172573831	240.620114669	340.035241201	440.566433477
5	0.425135990	150.174499752	250.542018759	350.106608464	450.446102100
6	0.354928090	160.240734870	260.665696111	360.134319140	460.633065058
7	0.323972835	170.155704203	270.594746047	37-0.006413860	470.530106211
8	0.354876762	180.344052463	280.325458327	380.284368729	
9	0.672802703	190.226536096	290.465312359	390.084796374	
10	0.294653827	200.458940841	300.204915128	400.379397730	
11	0.395329660	210.348674078	310.367008141	410.200327468	
	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	

> dat=read.table("D.TIN.txt",T)

> a=316.23

> b=-1.61

> dat=dat\$D.TIN

> VPP6=a*(dat)^b> VPP6

[1]	29.51721	38.74420	50.44835	73.72507	65.39344	84.83381	95.14958
[8]	84.84991	26.10903	106.07437	73.03352	156.61269	115.04317	166.78590
[15]	165.59932	129.54477	177.54939	88.32401	136.54636	57.69105	86.82358
[22]	42.27375	59.34878	31.74084	42.39872	26.80602	34.87080	94.62700
[29]	56.34433	147.94141	81.11850	238.29569	131.73533	277.50115	212.99218
[36]	192.19806	323.83921	110.19693	230.93026	77.47696	150.47893	54.31225
[43]	94.55971	38.72979	60.50326	30.25299	44.31310		

> mean(VPP6)

[1] 104.1316

Coeficiente de correlación, se obtiene del Minitab

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	2.49699	0.06801	36.72	0.000
colmTIN	-1.6062	0.1704	-9.43	0.000
		S = 0.208134	R-cuad. = 66.4%	R-cuad.(ajustado) = 65.6%

C.3 Modelo Colque aplicado a la mina Colquijirca

```

> dat=read. table ("colqui.txt",T)

> Q.RE=dat$Q.RE

> D.R=dat$D.R

> colm3.7=(1/3.7)*D.R/(Q.RE)^0.20

> colm3.7

```

[1]	29.287292	15.635754	16.837636	16.827113	21.137846	38.749094	15.967325
[8]	23.496776	14.589542	19.960301	28.775410	38.892552	38.892552	13.672870
[15]	50.054094	46.459810	11.894943	8.251936	17.262489	10.613125	17.042333
[22]	15.703490	17.757032	9.294169	18.877081	12.215476	14.923520	11.796379
[29]	15.086727	12.913575	22.575898	20.057340	16.917922	12.847254	11.472490
[36]	9.865008	6.340664	6.340664	11.777516	12.640441	18.974352	15.802703
[43]	15.062915	8.701209	13.753642	11.149238	11.935396	10.387776	19.750667
[50]	15.950562	17.204916	15.214825	15.469016	11.420966	11.820322	14.512954
[57]	16.805199	14.925664	16.663207	15.564154	15.010774	21.617043	17.381000
[64]	18.619002	18.549462	8.825752	8.825752	14.325172	14.325172	13.761607
[71]	16.946132						

log(colm3.7,10)

[1]	1.4666792	1.1941188	1.2262811	1.2260096	1.3250607	1.5882615	1.2032322
[8]	1.3710083	1.1640417	1.3001671	1.4590215	1.5898664	1.5898664	1.1358597
[15]	1.6994396	1.6670774	1.0753624	0.9165559	1.2371034	1.0258433	1.2315291
[22]	1.1959962	1.2493704	0.9682106	1.2759348	1.0869104	1.1738713	1.0717487
[29]	1.1785950	1.1110465	1.3536450	1.3022733	1.2283470	1.1088103	1.0596577
[36]	0.9940975	0.8021347	0.8021347	1.0710537	1.1017622	1.2781670	1.1987314
[43]	1.1779090	0.9395796	1.1384177	1.0472452	1.0768368	1.0165226	1.2955818
[50]	1.2027760	1.2356525	1.1822670	1.1894627	1.0577029	1.0726293	1.1617558
[57]	1.2254437	1.1739337	1.2217586	1.1921255	1.1764031	1.3347963	1.2400748
[64]	1.2699564	1.2683313	0.9457517	0.9457517	1.1560998	1.1560998	1.1386692
[71]	1.2290706						

```

> data. frame(log(colm3.7,10))

```

log.colm3.7..10.

1	1.4666792	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene				
2	1.1941188	16	1.6670774	30	1.1110465	44	0.9395796	58	1.1739337
3	1.2262811	17	1.0753624	31	1.353645	45	1.1384177	59	1.2217586
4	1.2260096	18	0.9165559	32	1.3022733	46	1.0472452	60	1.1921255
5	1.3250607	19	1.2371034	33	1.228347	47	1.0768368	61	1.1764031
6	1.5882615	20	1.0258433	34	1.1088103	48	1.0165226	62	1.3347963
7	1.2032322	21	1.2315291	35	1.0596577	49	1.2955818	63	1.2400748
8	1.3710083	22	1.1959962	36	0.9940975	50	1.202776	64	1.2699564
9	1.1640417	23	1.2493704	37	0.8021347	51	1.2356525	65	1.2683313
10	1.3001671	24	0.9682106	38	0.8021347	52	1.182267	66	0.9457517
11	1.4590215	25	1.2759348	39	1.0710537	53	1.1894627	67	0.9457517
12	1.5898664	26	1.0869104	40	1.1017622	54	1.0577029	68	1.1560998
13	1.5898664	27	1.1738713	41	1.278167	55	1.0726293	69	1.1560998
14	1.1358597	28	1.0717487	42	1.1987314	56	1.1617558	70	1.1386692
15	1.6994396	29	1.178595	43	1.177909	57	1.2254437	71	1.2290706
	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗				

> data.frame (colm3.7)

N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7
1	29.287292	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene	.... viene
2	15.635754	16	46.459810	30	12.913575	44	8.701209	58	14.925664
3	16.837636	17	11.894943	31	22.575898	45	13.753642	59	16.663207
4	16.827113	18	8.251936	32	20.057340	46	11.149238	60	15.564154
5	21.137846	19	17.262489	33	16.917922	47	11.935396	61	15.010774
6	38.749094	20	10.613125	34	12.847254	48	10.387776	62	21.617043
7	15.967325	21	17.042333	35	11.472490	49	19.750667	63	17.381000
8	23.496776	22	15.703490	36	9.865008	50	15.950562	64	18.619002
9	14.589542	23	17.757032	37	6.340664	51	17.204916	65	18.549462
10	19.960301	24	9.294169	38	6.340664	52	15.214825	66	8.825752
11	28.775410	25	18.877081	39	11.777516	53	15.469016	67	8.825752
12	38.892552	26	12.215476	40	12.640441	54	11.420966	68	14.325172
13	38.892552	27	14.923520	41	18.974352	55	11.820322	69	14.325172
14	13.672870	28	11.796379	42	15.802703	56	14.512954	70	13.761607
15	50.054094	29	15.086727	43	15.062915	57	16.805199	71	16.946132
	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗				

> # con estos 2 últimos archivos se introducen en el Minitab para hallar a

y b

> # también el archivo hperson.txt

Los resultados del Minitab son los siguientes:

Análisis de regresión: PPV vs. D.ME3.7

La ecuación de regresión es:

$$PPV = 1.92 - 1.30 D.ME3.7$$

$$a = 10^{1.92} = 83.1$$

$$b = -1.3$$

Usando el archivo colm3.7.txt donde se encuentran los valores de la

distancia escalada $\frac{D}{\sqrt[5]{Q}}$ se tiene:

```
> dat=read.table("colm3.7.txt",T)
```

```
> a=83.17
```

```
> b=-1.3
```

```
> dat=dat$colm3.7
```

```
> VPP6=a*(dat)^b
```

```
> VPP6
```

[1]	1.0310595	2.3313755	2.1173919	2.1191134	1.5753888	0.7165173	2.2686364
[8]	1.3729539	2.5510123	1.6972644	1.0549666	0.7130834	0.7130834	2.7755504
[15]	0.5136830	0.5659343	3.3265620	5.3511127	2.0498980	3.8580730	2.0843898
[22]	2.3183108	1.9759921	4.5845104	1.8249518	3.2135361	2.4770459	3.3627406
[29]	2.4422671	2.9895531	1.4461993	1.6865972	2.1043384	3.0096313	3.4866769
[36]	4.2426776	7.5368789	7.5368789	3.3697438	3.0738014	1.8127990	2.2994073
[43]	2.4472874	4.9947439	2.7543788	3.6186615	3.3119122	3.9672298	1.7207208
[50]	2.2717363	2.0588200	2.4155701	2.3640965	3.5071393	3.3538884	2.5685270
[57]	2.1227065	2.4765833	2.1462511	2.3453277	2.4583442	1.5301413	2.0317465
[64]	1.8579045	1.8669642	4.9033113	4.9033113	2.6123833	2.6123833	2.7523066
[71]	2.0997855						

```
> mean(VPP6)
```

```
[1] 2.643039
```

Coeficiente de Correlación:

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	1.9164	0.2410	7.95	0.000
D.ME3.7	-1.2989	0.1997	-6.50	0.000
		S = 0.293849	R-cuad. = 38.0%	R-cuad.(ajustado) = 37.1%

C.4 Archivo Colqui

N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES	N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES
1	3.06	60.00	245.76	31.73	.... viene				
2	2.64	260.00	175.92	10.91	37	11.60	100.00	58.93	5.89
3	9.43	180.00	176.01	13.12	38	12.44	100.00	58.93	5.89
4	1.61	180.00	175.90	13.11	39	5.52	100.00	109.46	10.95
5	3.44	140.00	210.13	17.76	40	3.17	100.00	117.48	11.75
6	0.43	25.00	272.93	54.59	41	3.22	28.00	136.71	25.84
7	2.41	100.00	148.40	14.84	42	3.39	100.00	146.87	14.69
8	1.56	25.00	165.50	33.10	43	4.84	150.00	151.82	12.40
9	3.96	280.00	166.60	9.96	44	11.20	150.00	87.70	7.16
10	3.87	120.00	192.40	17.56	45	3.30	125.00	133.66	11.96
11	0.69	120.00	277.37	25.32	46	3.14	125.00	108.35	9.69
12	1.94	10.00	228.07	72.12	47	2.26	125.00	115.99	10.37
13	2.37	10.00	228.07	72.12	48	1.04	125.00	100.95	9.03
14	2.36	160.00	139.60	11.04	49	0.38	125.00	191.94	17.17
15	0.33	30.00	365.65	66.76	50	3.30	125.00	155.01	13.86
16	0.44	29.00	337.10	62.60	51	0.99	125.00	167.20	14.95
17	6.44	280.00	135.83	8.12	52	1.04	125.00	147.86	13.23
18	6.31	280.00	94.23	5.63	53	3.40	240.00	171.28	11.06
19	1.45	160.00	176.25	13.93	54	3.68	200.00	121.93	8.62
20	6.46	160.00	108.36	8.57	55	0.91	240.00	130.88	8.45
21	3.03	125.00	165.62	14.81	56	2.38	200.00	154.94	10.96
22	1.27	65.00	133.90	16.61	57	1.52	80.00	149.37	16.70
23	2.42	280.00	202.77	12.12	58	0.55	170.00	154.25	11.83
24	3.57	45.00	73.63	10.98	59	5.51	50.00	134.82	19.07
25	1.76	280.00	215.56	12.88	60	1.16	160.00	158.91	12.56
26	10.20	160.00	124.72	9.86	61	1.54	160.00	153.26	12.12
27	0.64	18.00	98.43	23.20	62	0.58	160.00	220.71	17.45
28	5.24	80.00	104.85	11.72	63	1.06	160.00	177.46	14.03
29	3.23	30.00	110.21	20.12	64	1.98	160.00	190.10	15.03
30	2.89	80.00	114.78	12.83	65	2.71	160.00	189.39	14.97
31	0.34	132.00	221.80	19.31	66	3.81	60.00	74.06	9.56
32	1.97	110.00	190.00	18.12	67	4.11	60.00	74.06	9.56
33	2.14	140.00	168.18	14.21	68	5.56	160.00	146.26	11.56
34	2.10	110.00	121.70	11.60	69	2.64	160.00	146.26	11.56
35	4.42	250.00	128.07	8.10	70	1.85	170.00	142.22	10.91
36	3.08	150.00	99.43	8.12	71	1.85	160.00	173.02	13.68
va....									

C.5 Archivo hperson

```
> dat = read.table("hperson.txt", T)
> dat
```

N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES
1	0.485721426	1.778151	2.390511	1.5014701
2	0.421603927	2.414973	2.245315	1.0378248
3	0.974511693	2.255273	2.245537	1.1179338
4	0.206825876	2.255273	2.245266	1.1176027
5	0.536558443	2.146128	2.322488	1.2494430
6	-0.366531544	1.397940	2.436051	1.7371131
7	0.382017043	2.000000	2.171434	1.1714339
8	0.193124598	1.397940	2.218798	1.5198280
9	0.597695186	2.447158	2.221675	0.9982593
10	0.587710965	2.079181	2.284205	1.2445245
11	-0.161150909	2.079181	2.443059	1.4034637
12	0.287801730	1.000000	2.358068	1.8580557
13	0.374748346	1.000000	2.358068	1.8580557
14	0.372912003	2.204120	2.144885	1.0429691
15	-0.481486060	1.477121	2.563066	1.8245163
16	-0.356547324	1.462398	2.527759	1.7965743
17	0.808885867	2.447158	2.132996	0.9095560
18	0.800029359	2.447158	1.974189	0.7505084
19	0.161368002	2.204120	2.246129	1.1439511
20	0.810232518	2.204120	2.034869	0.9329808
21	0.481442629	2.096910	2.219113	1.1705551
22	0.103803721	1.812913	2.126781	1.2203696
23	0.383815366	2.447158	2.307004	1.0835026
24	0.552668216	1.653213	1.867055	1.0406023
25	0.245512668	2.447158	2.333568	1.1099159
26	1.008600172	2.204120	2.095936	0.9938769
27	-0.193820026	1.255273	1.993127	1.3654880
28	0.719331287	1.903090	2.020568	1.0689276
29	0.509202522	1.477121	2.042221	1.3036280
30	0.460897843	1.903090	2.059866	1.1082267
31	-0.468521083	2.120574	2.345962	1.2857823
32	0.294466226	2.041393	2.278754	1.2581582
33	0.330413773	2.146128	2.225774	1.1525941
34	0.322219295	2.041393	2.085291	1.0644580
35	0.645422269	2.397940	2.107447	0.9084850
36	0.488550717	2.176091	1.997517	0.9095560

va.... ↗

N°	PPV	Q.RE	D.R	D.ES
.... viene				
37	1.064457989	2.000000	1.770336	0.7701153
38	1.094820380	2.000000	1.770336	0.7701153
39	0.741939078	2.000000	2.039255	1.0394141
40	0.501059262	2.000000	2.069964	1.0700379
41	0.507855872	1.447158	2.135800	1.4122925
42	0.530199698	2.000000	2.166933	1.1670218
43	0.684845362	2.176091	2.181329	1.0934217
44	1.049218023	2.176091	1.943000	0.8549130
45	0.518513940	2.096910	2.126001	1.0777312
46	0.496929648	2.096910	2.034829	0.9863238
47	0.354108439	2.096910	2.064421	1.0157788
48	0.017033339	2.096910	2.004106	0.9556878
49	-0.420216403	2.096910	2.283165	1.2347703
50	0.518513940	2.096910	2.190360	1.1417632
51	-0.004364805	2.096910	2.223236	1.1746412
52	0.017033339	2.096910	2.169851	1.1215598
53	0.531478917	2.380211	2.233707	1.0437551
54	0.565847819	2.301030	2.086111	0.9355073
55	-0.040958608	2.380211	2.116873	0.9268567
56	0.376576957	2.301030	2.190164	1.0398106
57	0.181843588	1.903090	2.174263	1.2227165
58	-0.259637311	2.230449	2.188225	1.0729847
59	0.741151599	1.698970	2.129754	1.2803507
60	0.064457989	2.204120	2.201151	1.0989896
61	0.187520721	2.204120	2.185429	1.0835026
62	-0.236572006	2.204120	2.343822	1.2417954
63	0.025305865	2.204120	2.249100	1.1470577
64	0.296665190	2.204120	2.278982	1.1769590
65	0.432969291	2.204120	2.277357	1.1752218
66	0.580924976	1.778151	1.869584	0.9804579
67	0.613841822	1.778151	1.869584	0.9804579
68	0.745074792	2.204120	2.165126	1.0629578
69	0.421603927	2.204120	2.165126	1.0629578
70	0.267171728	2.230449	2.152961	1.0378248
71	0.267171728	2.204120	2.238096	1.1360861

C.6 Archivo D.ME3.7

```
> dat = read.table("D.ME3.7.txt",T)
```

```
> dat
```

N° D.ME3.7		N° D.ME3.7		N° D.ME3.7		N° D.ME3.7		N° D.ME3.7	
1	1.4666792	....	viene	....	viene	....	viene	....	viene
2	1.1941188	16	1.6670774	30	1.1110465	44	0.9395796	58	1.1739337
3	1.2262811	17	1.0753624	31	1.3536450	45	1.1384177	59	1.2217586
4	1.2260096	18	0.9165559	32	1.3022733	46	1.0472452	60	1.1921255
5	1.3250607	19	1.2371034	33	1.2283470	47	1.0768368	61	1.1764031
6	1.5882615	20	1.0258433	34	1.1088103	48	1.0165226	62	1.3347963
7	1.2032322	21	1.2315291	35	1.0596577	49	1.2955818	63	1.2400748
8	1.3710083	22	1.1959962	36	0.9940975	50	1.2027760	64	1.2699564
9	1.1640417	23	1.2493704	37	0.8021347	51	1.2356525	65	1.2683313
10	1.3001671	24	0.9682106	38	0.8021347	52	1.1822670	66	0.9457517
11	1.4590215	25	1.2759348	39	1.0710537	53	1.1894627	67	0.9457517
12	1.5898664	26	1.0869104	40	1.1017622	54	1.0577029	68	1.1560998
13	1.5898664	27	1.1738713	41	1.2781670	55	1.0726293	69	1.1560998
14	1.1358597	28	1.0717487	42	1.1987314	56	1.1617558	70	1.1386692
15	1.6994396	29	1.1785950	43	1.1779090	57	1.2254437	71	1.2290706
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗

C.7 Archivo colm3.7.txt

```
dat = read.table("colm3.7.txt", T)
```

```
> dat
```

N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7	N°	colm3.7
1	29.287292	....	viene	....	viene	....	viene	....	viene
2	15.635754	16	46.459810	30	12.913575	44	8.701209	58	14.925664
3	16.837636	17	11.894943	31	22.575898	45	13.753642	59	16.663207
4	16.827113	18	8.251936	32	20.057340	46	11.149238	60	15.564154
5	21.137846	19	17.262489	33	16.917922	47	11.935396	61	15.010774
6	38.749094	20	10.613125	34	12.847254	48	10.387776	62	21.617043
7	15.967325	21	17.042333	35	11.472490	49	19.750667	63	17.381000
8	23.496776	22	15.703490	36	9.865008	50	15.950562	64	18.619002
9	14.589542	23	17.757032	37	6.340664	51	17.204916	65	18.549462
10	19.960301	24	9.294169	38	6.340664	52	15.214825	66	8.825752
11	28.775410	25	18.877081	39	11.777516	53	15.469016	67	8.825752
12	38.892552	26	12.215476	40	12.640441	54	11.420966	68	14.325172
13	38.892552	27	14.923520	41	18.974352	55	11.820322	69	14.325172
14	13.672870	28	11.796379	42	15.802703	56	14.512954	70	13.761607
15	50.054094	29	15.086727	43	15.062915	57	16.805199	71	16.946132
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		

C.8 Archivo tintaya.txt

```
dat=read.table("tintaya.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	D	Q	PPV	N°	D	Q	PPV
1	59.01	650	22.06	.... viene			
2	50.14	670	30.62	25	47.41	670	88.29
3	42.43	660	26.29	26	63.03	670	36.06
4	33.42	650	51.78	27	53.53	670	55.30
5	35.78	630	35.78	28	22.61	200	105.30
6	30.63	650	61.27	29	31.20	200	35.39
7	28.61	660	90.38	30	17.13	200	116.78
8	30.14	600	77.80	31	24.88	200	43.11
9	64.26	680	18.07	32	12.74	200	349.08
10	26.41	620	90.38	33	18.41	200	319.82
11	33.30	620	47.87	34	11.59	200	223.82
12	20.93	650	209.50	35	13.66	200	161.57
13	25.35	650	203.36	36	14.56	200	137.89
14	20.25	670	276.21	37	10.53	200	307.03
15	20.34	670	134.76	38	20.14	180	74.94
16	23.62	660	107.00	39	12.72	180	136.38
17	19.42	660	475.81	40	25.60	200	74.69
18	29.78	640	211.29	41	16.95	200	197.14
19	22.72	640	89.05	42	31.92	200	36.67
20	37.64	550	77.09	43	22.62	200	50.04
21	29.20	550	194.22	44	39.38	200	32.79
22	47.21	650	71.02	45	29.85	200	37.09
23	38.24	650	90.31	46	45.91	200	25.30
24	56.75	670	83.00	47	36.22	200	38.63

va.... ↗

C.9 Archivo ltintaya.txt

```
> dat=read. table("ltintaya.txt",T)
```

```
> dat
```

	D	Q	VPP		D	Q	VPP
1	1.770926	2.812913	1.343606	.... viene			
2	1.700184	2.826075	1.486005	25	1.675870	2.826075	1.945912
3	1.627673	2.819544	1.419791	26	1.799547	2.826075	1.557026
4	1.524006	2.812913	1.714162	27	1.728597	2.826075	1.742725
5	1.553640	2.799341	1.553640	28	1.354301	2.301030	2.022428
6	1.486147	2.812913	1.787248	29	1.494155	2.301030	1.548881
7	1.456518	2.819544	1.956072	30	1.233757	2.301030	2.067368
8	1.479143	2.778151	1.890980	31	1.395850	2.301030	1.634578
9	1.807941	2.832509	1.256958	32	1.105169	2.301030	2.542925
10	1.421768	2.792392	1.956072	33	1.265054	2.301030	2.504906
11	1.522444	2.792392	1.680063	34	1.064083	2.301030	2.349899
12	1.320769	2.812913	2.321184	35	1.135451	2.301030	2.208361
13	1.403978	2.812913	2.308266	36	1.163161	2.301030	2.139533
14	1.306425	2.826075	2.441239	37	1.022428	2.301030	2.487181
15	1.308351	2.826075	2.129561	38	1.304059	2.255273	1.874714
16	1.373280	2.819544	2.029384	39	1.104487	2.255273	2.134751
17	1.288249	2.819544	2.677434	40	1.408240	2.301030	1.873262
18	1.473925	2.806180	2.324879	41	1.229170	2.301030	2.294775
19	1.356408	2.806180	1.949634	42	1.504063	2.301030	1.564311
20	1.575650	2.740363	1.886998	43	1.354493	2.301030	1.699317
21	1.465383	2.740363	2.288294	44	1.595276	2.301030	1.515741
22	1.674034	2.812913	1.851381	45	1.474944	2.301030	1.569257
23	1.582518	2.812913	1.955736	46	1.661907	2.301030	1.403121
24	1.753966	2.826075	1.919078	47	1.558948	2.301030	1.586925
			va....				

C.10 Archivo tesis.txt

```
dat=read.table("tesis.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	Geofono	M.Devine	M.Colque
1	3.06	1.1662743	1.0310595
2	2.64	2.8838451	2.3313755
3	9.43	2.4662632	2.1173919
4	1.61	2.4678584	2.1191134
5	3.44	1.9077422	1.5753888
6	0.43	0.7361654	0.7165173
7	2.41	2.2216281	2.2686364
8	1.56	1.1252090	1.3729539
9	3.96	3.1154687	2.5510123
10	3.87	1.9261519	1.6972644
11	0.69	1.4122452	1.0549666
12	1.94	0.5813211	0.7130834
13	2.37	0.5813211	0.7130834
14	2.36	2.8550226	2.7755504
15	0.33	0.6206653	0.5136830
16	0.44	0.6554692	0.5659343
17	6.44	3.7046212	3.3265620
18	6.31	5.0537784	5.3511127
19	1.45	2.3441034	2.0498980
20	6.46	3.5389920	3.8580730
21	3.03	2.2254438	2.0843898
22	1.27	2.0191746	2.3183108
23	2.42	2.6377710	1.9759921
24	3.57	2.8682469	4.5845104
25	1.76	2.5051784	1.8249518
26	10.2	3.1422425	3.2135361
27	0.64	1.5209450	2.4770459
28	5.24	2.7139179	3.3627406
29	3.23	1.7162114	2.4422671
30	2.89	2.5134550	2.9895531
31	0.34	1.7770676	1.4461993
32	1.97	1.8755523	1.6865972
33	2.14	2.3048759	2.1043384
34	2.10	2.7377069	3.0096313
35	4.42	3.7123766	3.4866769
36	3.08	3.7046212	4.2426776
.... viene			
37	11.6	4.8639550	7.5368789
38	12.44	4.8639550	7.5368789
39	5.52	2.8749093	3.3697438
40	3.17	2.7080408	3.0738014
41	3.22	1.3881080	1.8127990
42	3.39	2.2408503	2.2994073
43	4.84	2.5871745	2.4472874
44	11.2	4.1217446	4.9947439
45	3.30	2.6676649	2.7543788
46	3.14	3.1889283	3.6186615
47	2.26	3.0106962	3.3119122
48	1.04	3.3855100	3.9672298
49	0.38	1.9631890	1.7207208
50	3.30	2.3541390	2.2717363
51	0.99	2.2077586	2.0588200
52	1.04	2.4488635	2.4155701
53	3.40	2.8506439	2.3640965
54	3.68	3.5215767	3.5071393
55	0.91	3.5815649	3.3538884
56	2.38	2.8726847	2.5685270
57	1.52	2.0099430	2.1227065
58	0.55	2.6925034	2.4765833
59	5.51	1.7960149	2.1462511
60	1.16	2.5591993	2.3453277
61	1.54	2.6377710	2.4583442
62	0.58	1.9364433	1.5301413
63	1.06	2.3299275	2.0317465
64	1.98	2.1977895	1.8579045
65	2.71	2.2052571	1.8669642
66	3.81	3.2256632	4.9033113
67	4.11	3.2256632	4.9033113
68	5.56	2.7457379	2.6123833
69	2.64	2.7457379	2.6123833
70	1.85	2.8838451	2.7523066
71	1.85	2.3803801	2.0997855

va.... ↗

C.11 Archivo colquijirca.txt

```
dat=read.table("colquijirca.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	PPV cm/s	C.Max.Ret (Kg/ret.)	Distancia Radial (m)	Distancia. ESCALADA
1	3.06	60.00	245.76	31.73
2	2.64	260.00	175.92	10.91
3	9.43	180.00	176.01	13.12
4	1.61	180.00	175.90	13.11
5	3.44	140.00	210.13	17.76
6	0.43	25.00	272.93	54.59
7	2.41	100.00	148.40	14.84
8	1.56	25.00	165.50	33.10
9	3.96	280.00	166.60	9.96
10	3.87	120.00	192.40	17.56
11	0.69	120.00	277.37	25.32
12	1.94	10.00	228.07	72.12
13	2.37	10.00	228.07	72.12
14	2.36	160.00	139.60	11.04
15	0.33	30.00	365.65	66.76
16	0.44	29.00	337.10	62.60
17	6.44	280.00	135.83	8.12
18	6.31	280.00	94.23	5.63
19	1.45	160.00	176.25	13.93
20	6.46	160.00	108.36	8.57
21	3.03	125.00	165.62	14.81
22	1.27	65.00	133.90	16.61
23	2.42	280.00	202.77	12.12
24	3.57	45.00	73.63	10.98
25	1.76	280.00	215.56	12.88
26	10.20	160.00	124.72	9.86
27	0.64	18.00	98.43	23.20
28	5.24	80.00	104.85	11.72
29	3.23	30.00	110.21	20.12
30	2.89	80.00	114.78	12.83
31	0.34	132.00	221.80	19.31
32	1.97	110.00	190.00	18.12
33	2.14	140.00	168.18	14.21
34	2.10	110.00	121.70	11.60
35	4.42	250.00	128.07	8.10
36	3.08	150.00	99.43	8.12

va.... ↗

N°	PPV cm/s	C.Max.Ret (Kg/ret.)	Distancia Radial (m)	Distancia. ESCALADA
.... viene				
37	11.60	100.00	58.93	5.89
38	12.44	100.00	58.93	5.89
39	5.52	100.00	109.46	10.95
40	3.17	100.00	117.48	11.75
41	3.22	28.00	136.71	25.84
42	3.39	100.00	146.87	14.69
43	4.84	150.00	151.82	12.40
44	11.20	150.00	87.70	7.16
45	3.30	125.00	133.66	11.96
46	3.14	125.00	108.35	9.69
47	2.26	125.00	115.99	10.37
48	1.04	125.00	100.95	9.03
49	0.38	125.00	191.94	17.17
50	3.30	125.00	155.01	13.86
51	0.99	125.00	167.20	14.95
52	1.04	125.00	147.86	13.23
53	3.40	240.00	171.28	11.06
54	3.68	200.00	121.93	8.62
55	0.91	240.00	130.88	8.45
56	2.38	200.00	154.94	10.96
57	1.52	80.00	149.37	16.70
58	0.55	170.00	154.25	11.83
59	5.51	50.00	134.82	19.07
60	1.16	160.00	158.91	12.56
61	1.54	160.00	153.26	12.12
62	0.58	160.00	220.71	17.45
63	1.06	160.00	177.46	14.03
64	1.98	160.00	190.10	15.03
65	2.71	160.00	189.39	14.97
66	3.81	60.00	74.06	9.56
67	4.11	60.00	74.06	9.56
68	5.56	160.00	146.26	11.56
69	2.64	160.00	146.26	11.56
70	1.85	170.00	142.22	10.91
71	1.85	160.00	173.02	13.68

C.12 Archivo D.ESTin.txt.

```
dat=read. table("D.ESTin.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin
1	2.3145626	....	viene	....	viene	....	viene
2	1.9370772	14	0.7823258	26	2.4350613	38	1.5011470
3	1.6515855	15	0.7858028	27	2.0680443	39	0.9480928
4	1.3108402	16	0.9194073	28	1.5987684	40	1.8101934
5	1.4255093	17	0.7559225	29	2.2061732	41	1.1985460
6	1.2014074	18	1.1771579	30	1.2112739	42	2.2570848
7	1.1136427	19	0.8980869	31	1.7592817	43	1.5994755
8	1.2304603	20	1.6049750	32	0.9008540	44	2.7845865
9	2.4642585	21	1.2450922	33	1.3017836	45	2.1107137
10	1.0606511	22	1.8517285	34	0.8195368	46	3.2463272
11	1.3373602	23	1.4998962	35	0.9659079	47	2.5611408
12	0.8209421	24	2.1924438	36	1.0295475		
13	0.9943088	25	1.8316081	37	0.7445834		
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		

N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin	N°	D.ESTin
1	2.3145626	....	viene	....	viene	....	viene
2	1.9370772	14	0.7823258	26	2.4350613	38	1.5011470
3	1.6515855	15	0.7858028	27	2.0680443	39	0.9480928
4	1.3108402	16	0.9194073	28	1.5987684	40	1.8101934
5	1.4255093	17	0.7559225	29	2.2061732	41	1.1985460
6	1.2014074	18	1.1771579	30	1.2112739	42	2.2570848
7	1.1136427	19	0.8980869	31	1.7592817	43	1.5994755
8	1.2304603	20	1.6049750	32	0.9008540	44	2.7845865
9	2.4642585	21	1.2450922	33	1.3017836	45	2.1107137
10	1.0606511	22	1.8517285	34	0.8195368	46	3.2463272
11	1.3373602	23	1.4998962	35	0.9659079	47	2.5611408
12	0.8209421	24	2.1924438	36	1.0295475		
13	0.9943088	25	1.8316081	37	0.7445834		
	va.... ↗		va.... ↗		va.... ↗		

C.13 Archivo D.TIN.txt

```
> dat=read. table("D.TIN.txt",T)
```

```
> dat
```

N°D.TIN	N°D.TIN	N°D.TIN	N°D.TIN
14.362211	.... viene	.... viene	.... viene
23.684115	141.487900	264.631227	381.924725
33.127001	151.494513	273.933200	391.215616
42.470515	161.740744	282.115721	402.395509
52.661558	171.431213	292.919526	411.586089
62.264269	182.208271	301.602932	422.986900
72.108496	191.684752	312.328135	432.116656
82.264002	202.877006	321.192140	443.684966
94.707634	212.231897	331.722708	452.793200
101.970851	223.489917	341.084529	464.296008
112.485019	232.826825	351.278228	473.389270
121.547214	244.169795	361.362446	
131.873955	253.483524	370.985340	
va.... ↗	va.... ↗	va.... ↗	

C.14 Archivo dattin.txt

```
> dat=read.table("dattin.txt",T)
```

```
> dat
```

N°	D	Q	PPV	N°	D	Q	PPV
1	1.770926	2.812913	1.343606	.... viene			
2	1.700184	2.826075	1.486005	25	1.675870	2.826075	1.945912
3	1.627673	2.819544	1.419791	26	1.799547	2.826075	1.557026
4	1.524006	2.812913	1.714162	27	1.728597	2.826075	1.742725
5	1.553640	2.799341	1.553640	28	1.354301	2.301030	2.022428
6	1.486147	2.812913	1.787248	29	1.494155	2.301030	1.548881
7	1.456518	2.819544	1.956072	30	1.233757	2.301030	2.067368
8	1.479143	2.778151	1.890980	31	1.395850	2.301030	1.634578
9	1.807941	2.832509	1.256958	32	1.105169	2.301030	2.542925
10	1.421768	2.792392	1.956072	33	1.265054	2.301030	2.504906
11	1.522444	2.792392	1.680063	34	1.064083	2.301030	2.349899
12	1.320769	2.812913	2.321184	35	1.135451	2.301030	2.208361
13	1.403978	2.812913	2.308266	36	1.163161	2.301030	2.139533
14	1.306425	2.826075	2.441239	37	1.022428	2.301030	2.487181
15	1.308351	2.826075	2.129561	38	1.304059	2.255273	1.874714
16	1.373280	2.819544	2.029384	39	1.104487	2.255273	2.134751
17	1.288249	2.819544	2.677434	40	1.408240	2.301030	1.873262
18	1.473925	2.806180	2.324879	41	1.229170	2.301030	2.294775
19	1.356408	2.806180	1.949634	42	1.504063	2.301030	1.564311
20	1.575650	2.740363	1.886998	43	1.354493	2.301030	1.699317
21	1.465383	2.740363	2.288294	44	1.595276	2.301030	1.515741
22	1.674034	2.812913	1.851381	45	1.474944	2.301030	1.569257
23	1.582518	2.812913	1.955736	46	1.661907	2.301030	1.403121
24	1.753966	2.826075	1.919078	47	1.558948	2.301030	1.586925
			va.... ↗				