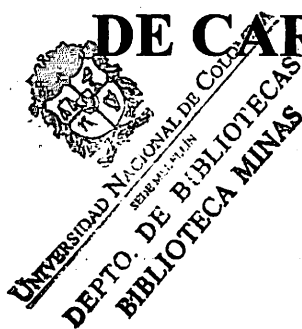


COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA EN MACIZOS DE CARBÓN



WILLIAM CASTRO MARÍN

Profesor Asociado

Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia.

CLAUDIA P. MARTÍNEZ G.

Ingeniera de Minas y Metalurgia

Investigadora - Centro del Carbón

RESUMEN

La autocombustión en los macizos de carbón en la cuenca de Amagá, constituye uno de los principales factores asociados a las pérdidas económicas y humanas que han acompañado al proceso de explotación del carbón. En este artículo se analizan los factores que intervienen en la combustión espontánea del carbón como son los procesos fisicoquímicos y las circunstancias específicas de la explotación; la generación y composición de los gases de incendio; la explosividad de los gases y los análisis para determinar la susceptibilidad de un carbón a la combustión espontánea como son los análisis termogravimétricos y los análisis petrográficos.

Como resultado de este estudio, considerando que los carbones analizados no muestran una tendencia exagerada a la combustión espontánea y teniendo en cuenta la frecuencia con que se presentan los incendios en algunas minas de la región, es posible afirmar que influyen más los aspectos mineros y geológicos que las propiedades intrínsecas del carbón en la susceptibilidad histórica de éstos.

PALABRAS CLAVE

Combustión espontánea, autocombustión, factores intrínsecos, gases de incendios, termograma, análisis termogravimétrico.

ABSTRACT

The spontaneous combustion of coal seams is one of the main causes of economic and human losses associated to the operation of the mines at the Amagá basin.

Several factors intervening in the spontaneous combustion of coal are analysed in this article, namely:

The physico - chemical processes
The specific circumstances of the explotations
The generation and composition of fire gasses
The explosivity of the gasses
The susceptibility of coal to spontaneous combustion as determined by thermogravimetric and petrographic analysis.

The results of this study show that in the Amagá basin, the mining and geological parameters have a more influential function in the spontaneous combustion process than the intrinsec properties of coal.

KEY WORDS

Spontaneous combustion, intrinsec factors, fire gasses, thermogram, gravimetric analysis.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigaciones del Carbón de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, con el apoyo financiero de Colciencias y Ecocarbón y con la especial colaboración de La Regional No. 5 Amagá, realizó el proyecto «Condiciones ambientales de la minería subterránea del carbón en la cuenca Amagá- Angelópolis».

Entre los fenómenos estudiados en el proyecto global se tiene el de Incendios en macizos de carbón, a los cuales se atribuye una buena parte de las pérdidas económicas y humanas que han acompañado al proceso de explotación del carbón en la región.

El objetivo principal fue el de hacer algunos aportes tendientes a desarrollar un tratamiento efectivo del problema a partir del estudio de los múltiples factores que se conjugan para originar una combustión espontánea y de la susceptibilidad de un carbón a incendiarse.

En esta parte del proyecto se efectuó inicialmente una profunda documentación del fenómeno de la autocombustión mediante la selección y análisis de documentos bibliográficos publicados recientemente. Con el propósito de hacer una verificación práctica de los estudios teóricos desarrollados, se seleccionaron varias minas en las cuales era conocida la susceptibilidad histórica a la presentación de fuegos en los macizos de carbón y se realizaron varios tipos de análisis en muestras tomadas en los distintos mantos en explotación. Estos análisis son recomendados internacionalmente como representativos para prever la tendencia de un carbón a la combustión espontánea.

Finalmente, se compararon los resultados de los distintos análisis de laboratorio con los datos de susceptibilidad, obtenidos a partir del seguimiento histórico de los mantos explotados en las minas seleccionadas para el estudio.

2. COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA

El carbón por su alta porosidad se oxida cuando entra en contacto con la atmósfera. Esta oxidación es un proceso exotérmico es decir, que como resultado de ella se produce un desprendimiento de calor a partir del carbón.

El aire que circula entre dos zonas con diferencia de presión, da lugar a la oxidación del carbón o sea, a la autocombustión o combustión espontánea.

El riesgo de la combustión espontánea se incrementa cuando el flujo de aire es suficiente para aportar el oxígeno pero insuficiente para disipar el calor generado por las reacciones de combustión.

Todo material susceptible de una combustión espontánea tiene una temperatura mínima de autocalentamiento. Si se alcanza esta temperatura antes de que el equilibrio térmico se logre, el proceso de oxidación se acelera y la temperatura se torna tan alta que

se produce la incandescencia del material. Para los carbones en general esta temperatura es del orden de 70 -80 °C y se conoce como temperatura crítica.

La evolución del calor de un carbón está asociada al proceso de adsorción o acumulación de oxígeno en la superficie del mismo, pero es importante resaltar que esta liberación de calor es insuficiente para generar un incendio ya que deben darse ciertas condiciones físicas que permitan la acumulación del calor y den lugar al fenómeno de la combustión espontánea o autocombustión.

El carbón in situ tiene una superficie específica del orden de 100 m²/g y en procesos de activación artificial se puede llegar hasta los 1000 m²/g.

El autocalentamiento requiere además de una gran área superficial de carbón triturado y una filtración lenta del aire a través de él. De ahí que el problema de la combustión espontánea aumenta en zonas explotadas debido a la trituración de pilares o en sitios donde se acumula carbón.

- Ver fisicoquímica de la combustión espontánea del carbón en la figura 1.

3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA DEL CARBÓN

3.1 FACTORES INTRÍNSECOS

Rango: A menor rango mayor susceptibilidad a la autocombustión.

Composición petrográfica: A mayor porcentaje de vitrinita, mayor susceptibilidad.

Contenido de materia volátil: No se presentan diferencias significativas en su contenido entre mantos de carbón susceptibles a la autocombustión.

Contenido de cenizas: No se ha encontrado ninguna relación directa.

Contenido de humedad: Cuando el carbón absorbe agua genera calor favoreciendo la susceptibilidad.

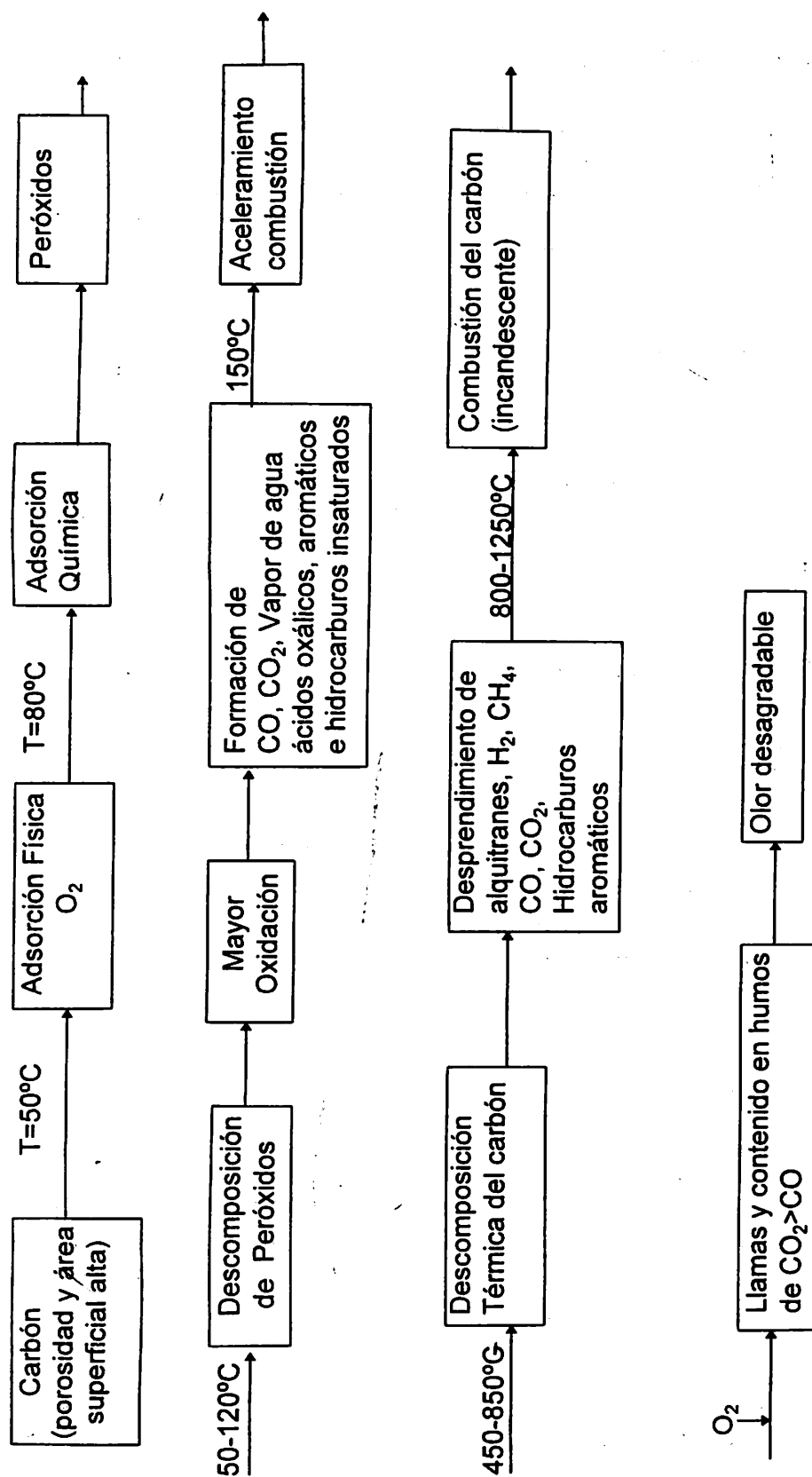


Figura 1 FISICOQUÍMICA DE LA COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA DEL CARBÓN

Contenido de sulfuros: Generalmente la concentración de azufre pirítico debe exceder el 2% para tener un efecto significativo en el autocalentamiento del carbón. Aunque anteriormente se consideraba que el contenido de pirita era la principal causa del autocalentamiento de los carbones, hoy se ha comprobado que ésta, bajo determinadas condiciones, puede favorecer la oxidación del carbón, como consecuencia del calor que genera durante su propia oxidación.

Grado de meteorización: El carbón meteorizado no es propenso a la autocombustión ya que ha sufrido un proceso de oxidación lenta.

Estado físico del carbón: La fragilidad y porosidad aumentan la tendencia a la autocombustión.

3.2 FACTORES DEL ENTORNO GEOLÓGICO MINERO

Potencia del manto: A mayor potencia, mayor susceptibilidad.

Pendiente del manto: A mayor pendiente, mayor susceptibilidad.

Profundidad del manto: A mayor profundidad, más presiones, lo que ocasiona la aparición de grietas y fisuras, favoreciendo la autocombustión. A menor profundidad, el aire tiene fácil acceso al manto favoreciendo el suministro de oxígeno y por ende la autocombustión.

Tectónica: Aumenta la susceptibilidad.

Naturaleza de las rocas circundantes: Entre más competentes sean, mayor susceptibilidad.

Métodos de explotación: Tanto las zonas derrumbadas en el método de tajo largo como los pilares de protección dejados en el de cámaras y pilares, representan graves riesgos.

Ventilación: Una ventilación inadecuada es insuficiente para remover el calor generado durante la oxidación.

4. GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE INCENDIOS

Un incendio subterráneo en una mina de carbón tiene dos consecuencias fundamentales:

- La generación de grandes cantidades de gases tóxicos los cuales además de ser nocivos para el organismo humano, representan un grave riesgo de explosión y
- El deterioro de la calidad del aire afectando el sistema de ventilación, la actividad de la mina y esterilizando grandes sectores del yacimiento.

En la tabla 1 se presentan los gases que pueden aparecer en una atmósfera minera al presentarse un incendio.

Tabla 1. Concentración de gases en una atmósfera minera en caso de un incendio.

<i>Gas</i>	<i>Símbolo químico</i>	<i>Cantidades promedio encontradas en las minas (%)</i>
Oxígeno	O ₂	1.0 - 20
Metano	CH ₄	0.2 - 80
Monóxido de carbono	CO	0.001 - 7
Hidrógeno	H ₂	0 - 2
Hidrocarburos	CxHy	0 - 2
Dióxido de carbono	CO ₂	0.4 - 20
Nitrógeno	N ₂	0.2 - 7

5. ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD DEL CARBÓN A LA COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA

En esta susceptibilidad se involucran los factores intrínsecos del carbón. Existen gran cantidad de métodos para determinar la susceptibilidad de un carbón a la autocombustión. Básicamente estos métodos comprenden dos tipos de análisis así:

- El análisis de peroxocompuestos y los estudios de velocidad de oxidación del aire.

- Los análisis referentes a datos térmicos como son:

Temperatura mínima de ignición en capa
 Temperatura mínima de inflamación en nube
 Método del agua oxigenada
 Ensayos en estufa isoterma
 Ensayos de calorimetría adiabática
 Análisis termogravimétricos

5.1 ANÁLISIS TÉRMICOS

Puede utilizarse el análisis termogravimétrico, que consiste en someter una muestra de carbón pulverizado a calentamiento a velocidad constante y registrar la variación del peso; y el análisis de calorimetría diferencial de barrido que mide los intercambios de calor sufridos por la muestra de carbón, comparándolos con una muestra de referencia y determinando cuantitativamente los procesos exotérmicos y endotérmicos.

5.1.1. Análisis termogravimétricos Es la técnica que registra las variaciones en peso, en función de la temperatura o el tiempo, de una muestra calentada a una tasa constante de incremento de temperatura.

En un termograma (Figura 2) se tienen tres puntos límites A, B y C los cuales definen la temperatura a la cual se inicia o finaliza determinada reacción.

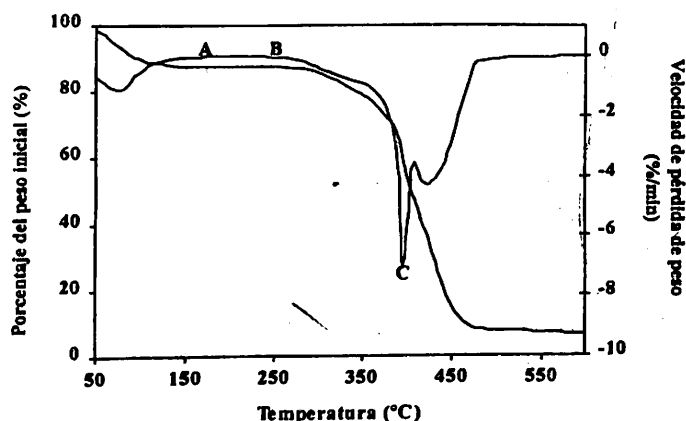


Figura 2. Termograma típico

Punto A: Temperatura a la cual cesa la pérdida de humedad y se inicia la adsorción de oxígeno. Mientras más bajo sea este valor, más susceptible resulta el carbón a la autocombustión. Este valor representa sólo las características intrínsecas del carbón; por tanto un carbón, con baja susceptibilidad a la combustión espontánea de acuerdo con un análisis termogravimétrico, y expuesto a severas condiciones ambientales y mineras, puede ser más susceptible que otro sometido a diferentes condiciones.

Punto B: Temperatura a la cual se inicia la combustión.

Punto C: Temperatura a la cual se registra la máxima tasa de pérdida de peso.

Los puntos A, B y C se pueden determinar sobre la curva que representa la primera derivada del porcentaje (%) de cambio de peso con respecto al tiempo (%/min) versus la temperatura.

En general, en un perfil de combustión se tiene un primer valor mínimo, el cual define la pérdida de peso a la humedad presente en el carbón. Posteriormente se presenta un ascenso hasta llegar a una meseta en que la derivada es positiva, lo que significa una ganancia de peso correspondiente a la quimisorción del oxígeno.

Es así como los puntos A y B se obtienen a partir de la intersección de una línea horizontal trazada a partir del cambio de peso igual a cero con el perfil de combustión. El punto C se obtiene de la intersección del segundo valor mínimo presente en la curva con la máxima pérdida de peso. De tal forma que el punto A es el que determina la susceptibilidad del carbón a la combustión espontánea y el valor de la temperatura en este punto puede variar entre 120 y 220 °C. Mientras más bajo sea dicho valor, más susceptible resulta el carbón a la autooxidación.

En la tabla 2 se presentan los puntos críticos de cada uno de los termogramas realizados a los carbones de las minas en estudio.

Tabla 2. Susceptibilidad del carbón a la autocombustión, a partir del análisis termogravimétrico.

Mina	Manto	Punto A (°C)	Punto B (°C)	Punto C (°C)
89+1	M 2	150	255	398
	M 3	153	255	430
	M 4	148	253	412
2	M 1	152	260	433
	M 2	165	249	436
	M 3	156	246	415
3	M 3	143	249	401
4	M 1	167	241	419
	M 2	171	231	441
5	M 5	143	256	406
6	M 4	160	257	420
7	M 2	144	259	438
8	M 3	149	253	431
9	M a	125	322	510
	M b	176	298	467
	M c	157	309	491

M: Manto

De acuerdo con esta tabla, los mantos de mayor susceptibilidad a la autocombustión son: Manto a de la mina 9; manto 4 de la mina 1; manto 3 de la mina 3; manto 2 de la mina 7 y el manto 2 de la mina 1, lo cual, considerando el conocimiento que tienen los autores de la zona de estudio y en particular la frecuencia de presentación de incendios y su ubicación, permite afirmar que coincide con la susceptibilidad histórica de estos mantos.

5.1.2 Análisis próximos Además de los análisis termogravimétricos se realizaron análisis próximos a cada uno de los mantos.

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos con estos análisis.

Según los resultados que se exhiben en la tabla, se puede apreciar que los carbones que se hayan en la cuenca Amagá-Angelópolis presentan un rango de porcentaje de materias volátiles muy estrecho, entre 39.18 y 42.79%, y de carbono fijo entre 42.52 y 48.44%, rangos que permiten considerar dichos carbones como sub-bituminosos. Pero tales datos no permiten establecer la susceptibilidad del carbón a la autocombustión.

Tabla 3. Análisis próximos

Mina	Manto	Humedad Res. (%)	Cenizas (%)	Materia Vol. (%)	Carbono Fijo (%)
1	M 2	7.85	3.27	42.72	46.16
	M 3	9.40	2.64	41.07	47.19
	M 4	10.49	3.97	42.79	42.75
2	M 1	9.80	4.79	41.07	44.34
	M 2	7.96	7.16	41.34	43.53
	M 3	8.45	6.83	39.81	44.91
3	M 3	9.26	2.17	40.13	48.44
4	M 1	11.36	2.52	39.83	46.29
	M 2	10.57	2.68	40.95	45.8
5	M 5	9.64	3.50	41.37	45.49
6	M 4	10.47	2.54	40.48	46.51
7	M 2	7.78	10.52	39.18	42.52
8	M 3	8.84	5.87	40.97	44.32
9	M a	2.03	11.56	31.01	55.40
	M b	5.19	6.14	40.67	48.00
	M c	5.87	5.70	41.18	47.25

Según los resultados que se exhiben en la tabla, se puede apreciar que los carbones que se hayan en la cuenca Amagá-Angelópolis presentan un rango de porcentaje de materias volátiles muy estrecho, entre 39.18 y 42.79%, y de carbono fijo entre 42.52 y 48.44%, rangos que permiten considerar dichos carbones como sub-bituminosos. Pero tales datos no permiten establecer la susceptibilidad del carbón a la autocombustión.

5.1.3 Análisis petrográficos La petrografía es otro de los parámetros utilizados para determinar la susceptibilidad del carbón a la autocombustión.

La vitrinita es el maceral más susceptible a la combustión espontánea. «La tasa de oxidación de la vitrinita se incrementa significativamente con el aumento del área específica de la partícula de carbón, mientras que la tasa de oxidación de la inertinita parece ser independiente».

A medida que aumenta el porcentaje de vitrinita, el carbón es más susceptible a la autocombustión.

En la tabla 4 se muestran los análisis petrográficos realizados por la Universidad Nacional en el estudio atrás descrito.

Aunque no existe un factor de correlación estadística muy grande, si podemos afirmar que cuando el porcentaje de vitrinita en un carbón es alto, la temperatura correspondiente al punto A es baja; pudiéndose considerar entonces estos dos parámetros como elementos que permiten prever la susceptibilidad de un carbón a la combustión espontánea.

Tabla 4. Análisis petrográficos

Mina	Manto	Vitrinita (%)	Exinita (%)	Inertinita (%)	Mineral (%)
1	M 2	64.68	16.33	7.38	11.61
	M 3	63.50	26.45	6.38	3.67
	M 4	61.21	30.61	5.87	2.31
2	M 1	57.14	29.73	5.79	7.34
	M 2	47.20	34.24	6.96	11.60
	M 3	47.06	35.30	5.04	12.60
3	M 3	67.55	25.99	5.24	1.22
4	M 1	66.90	25.68	5.79	1.63
	M 2	59.23	33.78	3.69	3.30
5	M 5	65.65	26.98	5.48	1.89
6	M 4	62.06	28.06	8.30	1.58
7	M 2	65.25	21.76	2.26	10.73
8	M 3	62.45	26.79	4.64	6.12
9	M a	69.42	20.38	1.76	8.44
	M b	55.56	30.87	5.46	8.11
	M c	64.69	25.92	3.13	6.26

6. CONCLUSIONES

En el inicio de una combustión espontánea se conjugan varios factores, como el tipo de práctica minera, aspectos geológicos del entorno y las propiedades intrínsecas del carbón.

Todo incendio subterráneo genera un riesgo importante para la seguridad de las personas y para la actividad de la mina.

La relación entre la composición petrográfica y la autocombustión del carbón está sujeta a los factores

externos que la puedan afectar. Sin embargo, se considera que, cuando la oxidación se produce a bajas temperaturas, los carbones con alto contenido de vitrinita son más susceptibles a la combustión espontánea.

Se considera que la pirita incide en el proceso de autocombustión sólo cuando, bajo determinadas condiciones, puede convertirse en sulfato ferroso.

El rango y la variación del contenido de humedad, cuando el carbón adsorbe agua, son dos de los factores más importantes que determinan la tendencia a la combustión espontánea.

Los mantos de mayor potencia son más susceptibles a la combustión espontánea que los de menor potencia, ya que en los primeros se dificulta la extracción completa del carbón.

El método de explotación por tajo largo en retirada se considera menos favorable para que se presente el proceso de combustión espontánea.

De los factores mineros que influyen en la combustión espontánea, la ventilación es uno de los más importantes.

Los pilares residuales se fracturan a causa de la presión que actúa sobre ellos, de ahí que sean altamente susceptibles a la combustión espontánea.

Aquellas áreas donde se tienen trabajos viejos que no han sido sellados se convierten en puntos de gran riesgo de aparición de incendios.

El análisis, la valoración y la planificación de los criterios que conciernen a la generación de una combustión espontánea permiten un conocimiento anticipado del riesgo.

Aunque se han desarrollado diversos ensayos de laboratorio para tratar de establecer la susceptibilidad de los mantos a la combustión espontánea, ninguno de éstos puede considerarse concluyente.

El análisis termogravimétrico puede ser usado como medida preliminar para determinar la susceptibilidad de un carbón a la autocombustión.

En la ocurrencia de incendios en la región influyen en mayor proporción los aspectos mineros y geológicos, pero las propiedades intrínsecas del carbón y las previsiones acerca de la susceptibilidad de éste a la autooxidación, son útiles en el proceso de planeamiento de las explotaciones.

7. RECOMENDACIONES

Los trastornos geológicos aumentan el riesgo de autocombustión espontánea; por tanto deben tenerse como principales precauciones dejar el mínimo de carbón triturado en el piso y entibar con material incombustible aquellos lugares donde las fallas han generado trastornos.

BIBLIOGRAFÍA

Condiciones ambientales de la minería subterránea del carbón en la cuenca Amagá- Angelópolis. Centro del Carbón, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 1996.

**En su corregimiento, vereda o finca
YA PUEDE TENER
TELEFONIA INALAMBRICA FIJA***



**LA SOLUCION PARA LOS LUGARES ALEJADOS
A LAS CABECERAS MUNICIPALES**

\$ 950.000 Derechos de conexión, aparato
telefónico y equipo inalámbrico

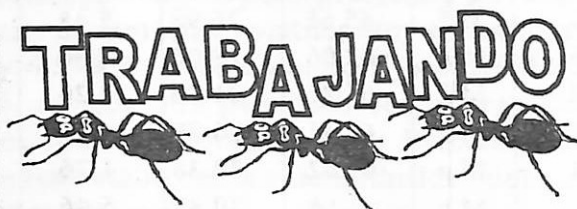
- ✓ Cargo fijo mensual de sólo \$9.332
- ✓ COSTO EN LLAMADAS IGUAL AL DE UN TELEFONO DE SU LOCALIDAD, SIN RECARGOS ADICIONALES
- ✓ Planes de financiación a 12, 24 y 36 meses

DILIGENCIE YA SU SOLICITUD

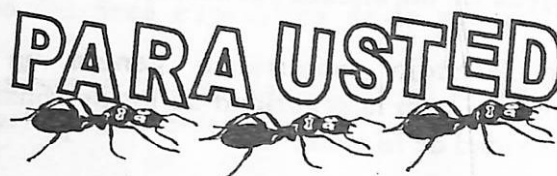
*Cobertura sujeta a pruebas de propagación previas
Valores con I.V.A

Mayores informes en la Central telefónica de su localidad,
en las oficinas de Servicio al Cliente en Medellín en
el teléfono 2622233, o en la línea GRATUITA 175
desde su municipio

Para mayor información marque el número 1 en el desprendible final



IDEA
INSTITUTO PARA EL DESARROLLO DE ANTIOQUIA



Para mayor información marque el número 2 en el desprendible final