

---

---

## PREFACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN FERROCARRIL MINERO DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA EMPRESA FRONTINO GOLD MINES

---

---

*Emilio J. Ochoa P., Diego A. Restrepo S., Ignacio J. Arbelaez R. y Jorge M. Molina E.*  
*Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín*  
*ejochoa@unalmed.edu.co, jmmolina@unal.edu.co*

Recibido para evaluación: 06 de Diciembre de 2005 / Aceptación: 13 de Mayo de 2006 / Recibida versión final: 30 de Mayo de 2006

### RESUMEN

La empresa Frontino Gold Mines (FGM) ubicada en el municipio de Segovia, en Antioquia, Colombia, realiza el transporte de minerales utilizando volquetas a lo largo de 6.5km por caminos en regular estado, con altas pendientes que se internan en el municipio en un proceso costoso e ineficiente. Por esto se buscan alternativas para un transporte eficiente y económico, por lo cual este artículo analiza la prefactibilidad técnica y económica de un sistema ferroviario para transportar mineral desde la mina Sandra-K hasta la planta de beneficio María Dama. Se propone un ferrocarril especializado en minería, transportando inicialmente 300t/día en 12 horas con dos trenes de locomotoras eléctricas arrastrando 14 vagones cada uno; con la posibilidad de aumentar gradualmente su capacidad de transporte a 800t/día. El diseño geométrico del ferrocarril comprende: velocidad máxima de 20km/h, radios mínimos de 20m, ancho de trocha de 600mm, pendiente predominante del 2% y la utilización de curvas de transición tipo clotoide. Se plantean dos alternativas.

La alternativa A presenta una longitud total de 4.4km, combina el ferrocarril con una banda transportadora subterránea de 150m de longitud con pendiente de 30° que hace conexión con la mina en su interior. La línea férrea presenta un tramo en túnel de 860m, sirviendo también como túnel guía para la explotación futura del material. La alternativa B presenta una longitud de 8km, es totalmente a cielo abierto. Se estimaron costos de construcción, inversión, operación y mantenimiento en 20 años. El costo unitario más favorable es de \$ 5.386/t dado en la alternativa A.

**PALABRAS CLAVES:** Estudios de Prefactibilidad, Transporte Minero; Ferrocarril; Banda Transportadora; Túnel Ferroviario, Modo de Transportate, Mina Sandra-K.

### ABSTRACT

The Frontino Gold Mines Company (FGM) is located in Segovia, in Antioquia, Colombia. The mineral transporting is made in an expensive and inefficient process where trucks are used to transport the material throughout 6.5km by ways in regulate condition, with high slopes and that go into the town of Segovia. It looks alternatives for an efficient and economical transporting process. For that, this article analyzes the technical and economic prefeasibility of a railway system to transport mineral from the Sandra-K mine to the benefit plant Maria Dama. A specialized railway system for mining characteristics is propose for transporting 300t/day within 12 hours initially with two trains of electrical locomotives dragging 14 wagons each one. At the mind time its cargo capacity increases gradually to 800t/day. The geometric railway design has a maximum speed of 20km/h, minimum radios of 20m, rail gauge of 600mm, predominant slope of 2% and the use of transition curves Clotoide type. Two alternatives are considered.

The alternative A has a length of 4.4km, combining the railway system with an underground conveyor belt of 150m of length with a slope of 30° connecting the mine in its interior. The railway system presents a tunnel of 860m of length which also serves as tunnel guide for the future material exploitation. The alternative B has a length of 8km. It is totally to open sky. Costs of construction, investment, operation and maintenance are considered in 20 years. The most favorable unit cost is \$ 5.386/t in the alternative A.

**KEY WORDS:** Viability Study, Railroad; Conveyor Belt; Railroad Tunnel, Mode of Transportation, "Sandra-K" Mine.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ferrocarril ha sido el transporte más común, eficiente y de bajo costo para el transporte de minerales y otros productos, desde finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX. En la actualidad el transporte por ferrocarril es uno de los ejes de mayor importancia para la economía de cualquier nación desarrollada, siendo el ferrocarril de amplia utilización en las grandes minas a nivel mundial.

La empresa Frontino Gold Mines en la actualidad utiliza para el transporte de mineral (oro y plata) desde sus minas hasta su planta de beneficio un sistema basado en volquetas, las cuales recorren caminos en mal estado, con pendientes altas mayores al 25% y que cruzan el municipio de Segovia, haciendo que este transporte sea costoso, inseguro e ineficiente.

Para una empresa con proyecciones de crecimiento y expectativas de mayor productividad debe ser indispensable el contar con un sistema de transporte óptimo, por lo cual surge el interés suscitado por la empresa con la colaboración de la Universidad Nacional de Colombia en su sede de Medellín para un análisis técnico y económico de un sistema de transporte adecuado en comparación con el actual transporte por camiones.

Por esto, se evalúa la prefactibilidad técnica y económica en el año de 2005 para la implantación de una línea férrea que transporte el mineral explotado en la mina Sandra K hasta la planta de beneficio María Dama de propiedad de la empresa Frontino Gold Mines. El estudio incluye adecuadas especificaciones técnicas en el diseño y costos óptimos teniendo en cuenta los inherentes a la construcción, a la inversión para la adquisición de equipos, a los de operación y a los de mantenimiento, evaluándolos bajo criterios financieros para obtener un costo certero del transporte de una tonelada de mineral. Se busca de esta forma, un aumento en las utilidades de la empresa al incrementar los beneficios con base en el mejoramiento de la producción, a partir de costos mínimos y con menor detrimento ambiental.

## 2. ÁREA DEL PROYECTO

El centro de explotación y tratamiento de la empresa Frontino Gold Mines se encuentra localizada en el distrito minero de Segovia – Remedios al nordeste del departamento de Antioquia en Colombia (Figura 1). El centro del área minera está a los 7° 04' 38" de latitud Norte y 74° 42' 00" de latitud Oeste.

El clima de la zona es tropical húmedo, su temperatura varía de 15° C hasta 32° C y la humedad relativa promedio es del 70%. El promedio anual de precipitaciones de 2670 mm. La vegetación se puede considerar como bosque húmedo tropical. La topografía en general es ondulada de colinas redondeadas debido a la alta meteorización de la región; y cerros, los cuales son frecuentemente cortados por pequeñas quebradas. Las pendientes son desde moderadas hasta bastante inclinadas, variando entre 20° y 40°, siendo en general una zona fisiográficamente madura; las elevaciones varían entre 500 y 825 msnm., siendo muy poco el terreno plano. El drenaje presenta un patrón dendrítico a rectilíneo, generado por las rocas ígneas intrusivas. Los drenajes se presentan alineados. (Macia, C. y Sejin, J. 2000).

## 3. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE DEL MATERIAL

Actualmente, el material que es explotado en la mina Sandra K hasta la planta de beneficio María Dama es transportado mediante un sistema que se divide en tres fases, las cuales son:

**Fase 1.** El mineral extraído directamente de las vetas se transporta dentro de la mina hasta su nivel “cero” por medio de vagonetas sobre elevadores dentro de túneles inclinados que recorre los distintos niveles. El material es depositado en una tolva interior de la mina.



**Figura 1.**  
Localización del Municipio de Segovia

**Fase 2.** El transporte del material desde la tolva interior de la mina se realiza a lo largo del nivel cero, dentro de Sandra K hasta la boca mina, donde el material es depositado en una tolva exterior. El transporte se realiza por medio de locomotoras eléctricas (Foto 1) y vagonetas metálicas (Foto 2) sobre un ferrocarril dentro del túnel. (Frontino Gold Mines, 2000)



**Foto 1.**  
Locomotora eléctrica del ferrocarril de Sandra K.



**Foto 2.**  
Vagones del ferrocarril de Sandra K.

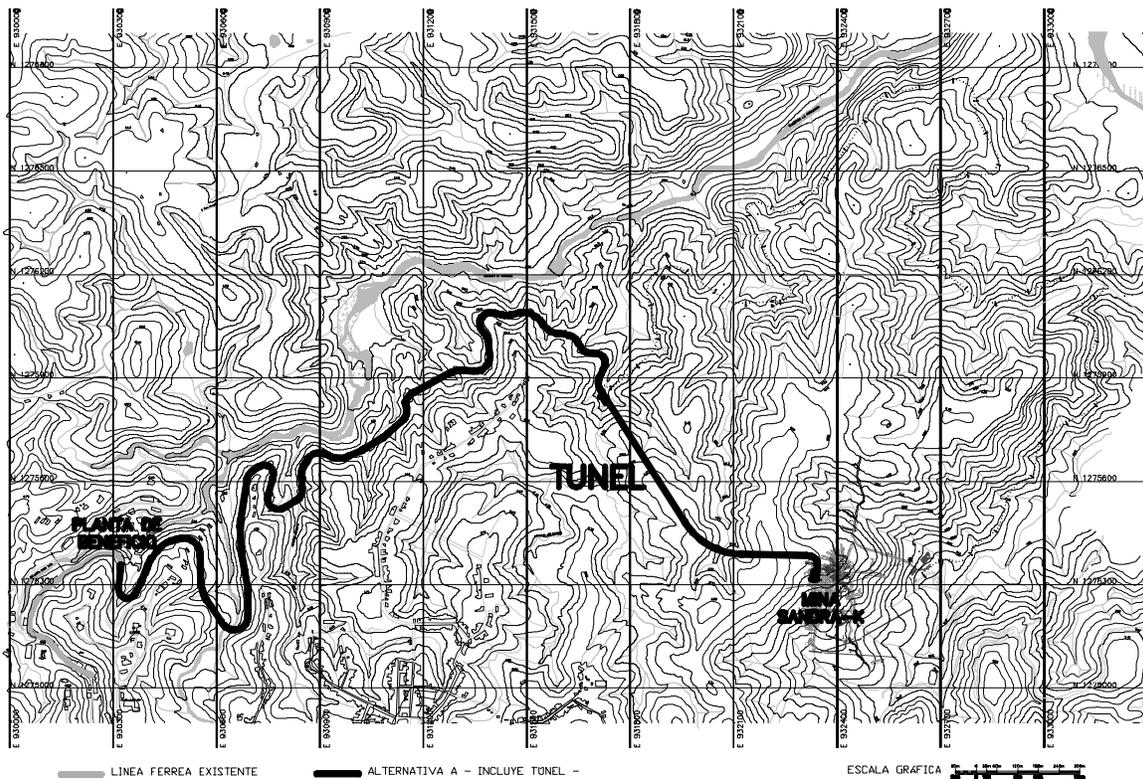
**Fase 3.** El material es transportado desde la tolva exterior de la mina Sandra K hasta la planta de beneficio María Dama por medio de camiones de llantas sobre una carretera parcialmente pavimentada con tramos de alta pendiente y cruzando una parte de la población de Segovia. El recorrido actual de los camiones es de 6.5km.

La situación del transporte por camiones genera sobrecostos innecesarios para la empresa, además proporciona problemas al municipio de Segovia, tanto en su calidad de vida, como en su seguridad y en la adecuada situación de su malla vial, por lo cual a continuación se plantea una mejor alternativa por sistema ferroviario para el transporte del mineral.

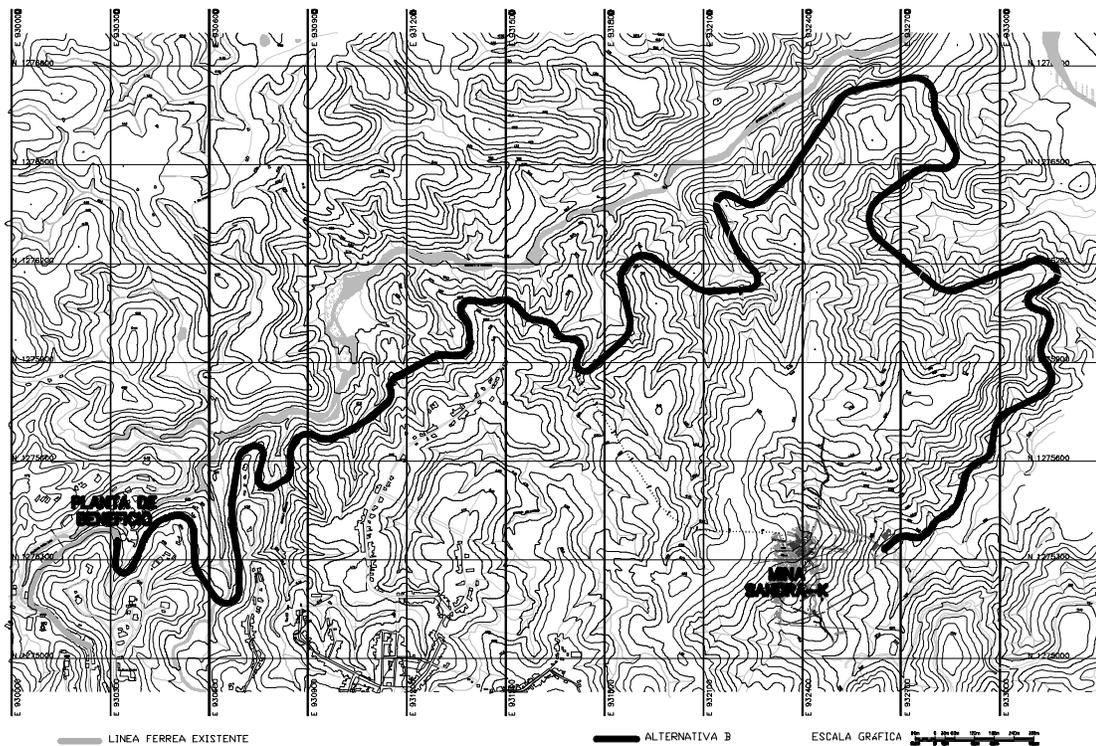
#### 4. DISEÑO DE LA LÍNEA FÉRREA

Se realizó el diseño geométrico de las dos alternativas. El trazado ferroviario de la alternativa A (Figura 2) parte a cielo abierto desde las tolvas de la planta de beneficio María Dama en una cota de 635 msnm; continuando en forma descendente con una pendiente predominante del -2% hasta la cota 580 msnm., donde comienza el túnel ferroviario con una longitud de 880m en dirección a la mina Sandra K con una pendiente de +0.5%. Este túnel bajo especificaciones similares a los túneles existentes en la mina, hace conexión con una banda transportadora subterránea, la cual irá desde la cota 590 msnm hasta la cota 522 msnm, lugar del nivel 0 donde se encuentran las tolvas interiores de la mina.

La alternativa B (Figura 3) sigue el mismo diseño geométrico a cielo abierto que se plantea en la alternativa A, pero en el punto donde en la alternativa A comienza el túnel, la alternativa B sigue con un diseño en superficie hacia Sandra K con una pendiente predominante del -1.5%. El trazado llega hasta la zona de descargue de las tolvas exteriores de la mina.



**Figura 2.**  
Alternativa A de Trazado Ferroviario (Topografía proporcionada por la FGM)



**Figura 3.**  
 Alternativa B de Trazado Ferroviario (Topografía proporcionada por la FGM)

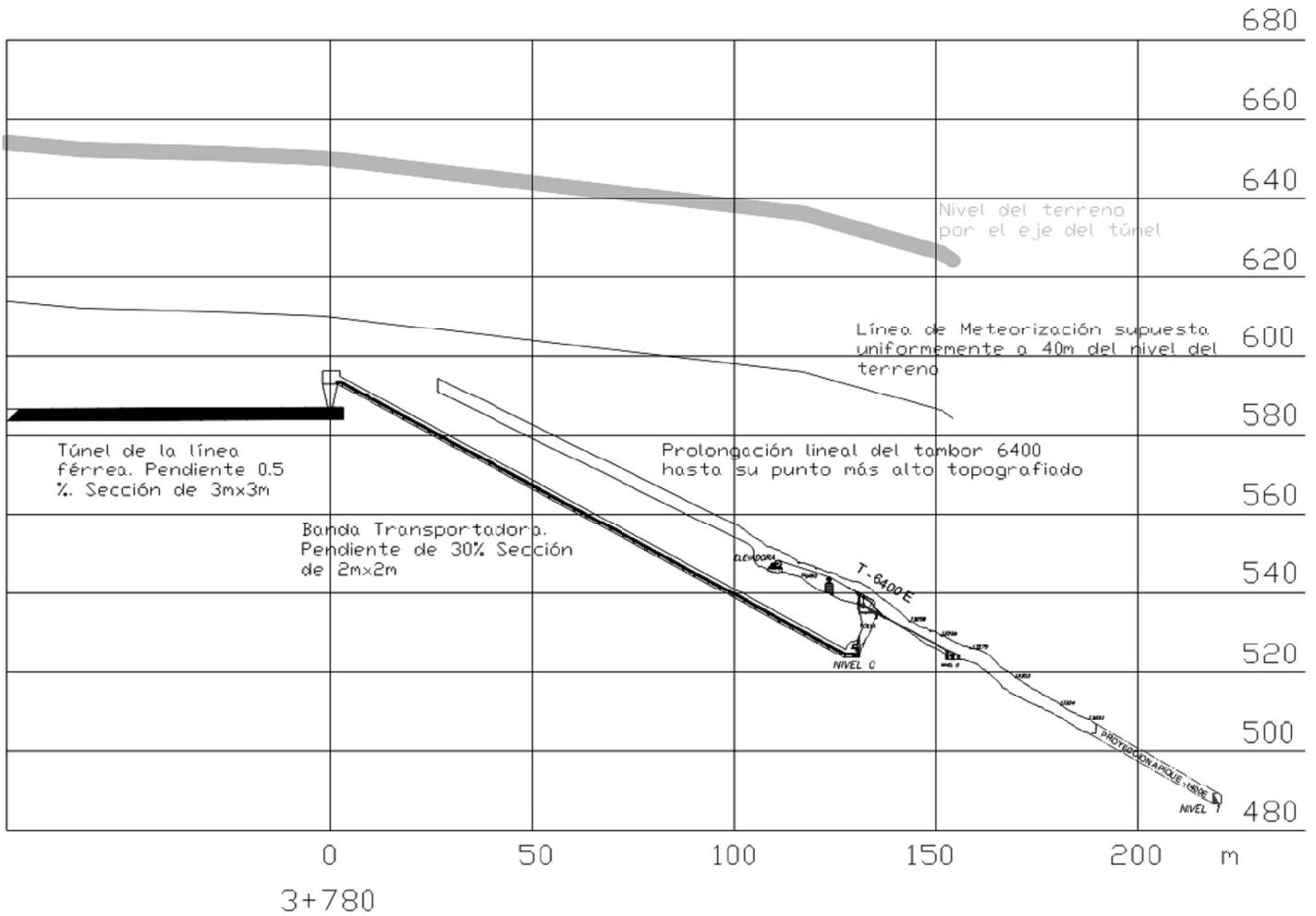
Un esquema del sistema propuesto al interior de la mina Sandra K, en la alternativa A, donde interactúan el túnel ferroviario, la banda transportadora y los elementos de la mina es visto a continuación. (Figura 4).

Además, el estudio plantea la rehabilitación de la red férrea existente pero discontinuada entre la mina El Silencio que es propiedad de la misma empresa y la planta de beneficio María Dama (Foto 3). Esta red tiene una longitud de 0.6 km.

El diseño se realizó bajo parámetros geométricos óptimos (Tabla 1) para un tren minero y contará con viaductos con viga metálica en “I” de alma llena con columnas metálicas sobre fundaciones de concreto (Foto 4).

**TABLA 1.**  
 Parámetros del diseño geométrico (Escobar y Fernández, 1993)

Ancho de la vía: 600 mm	Peralte máximo permitido: 66.67 mm
Velocidad de Diseño: 20 km/h	Radio horizontal mínimo: 20 m
Aceleración de la gravedad: 9.81 m/s <sup>2</sup>	Aceleración máxima: 0.545 m/s <sup>2</sup>
Máxima Sacudida Lateral: 0.4 m/s <sup>3</sup>	Longitud mínima de curvas verticales: 300 m
Ancho de explanación: 4 m	Tipo de curva utilizada: Curva Clotoide.



**Figura 4.**

Esquema de la relación del túnel ferroviario, la banda transportadora y el interior de la mina Sandra K.



**Foto 3.**

Red férrea existente. Hoy abandonada.



**Foto 4.**

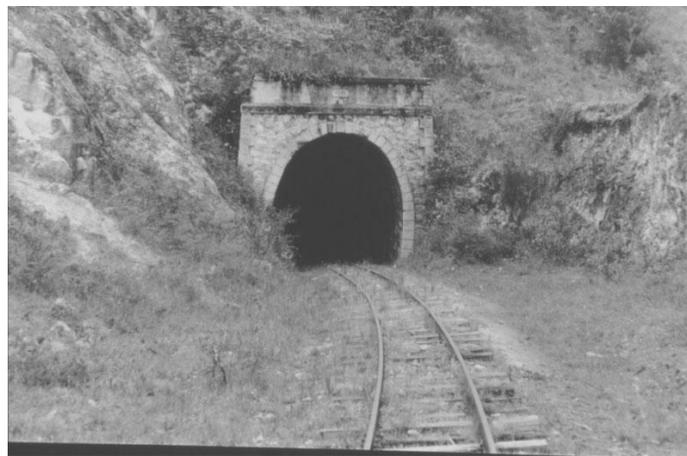
Modelo de un viaducto con viga metálica en "T"

## 5. TÚNEL FERROVIARIO

El túnel se plantea con sección de 3m x 3m y una longitud de 880m, contiene una estructura especial en el portal de entrada (Foto 5) que depende de la roca meteorizada para la estabilidad. El túnel presenta conexión con la banda transportadora en el interior de la mina que se basa en la gravedad para que el material caiga desde la banda a las vagonetas del tren, por lo cual el túnel está a una cota inferior que la cota más alta de la banda.

El túnel en principio debe ser construido bajo el sistema de explotación de cámaras y pilares irregulares usado en la empresa. Además el túnel servirá para la exploración de nuevos minerales en la zona ya que cruzará por varios filones, por lo cual ésta estructura representa un elemento para la expansión y el aumento en la explotación de la mina.

El diseño preciso del túnel corresponderá a un estudio geológico, de suelos y minero exhaustivo del lugar geográfico propuesto en el diseño geométrico de la línea férrea, sin embargo, en principio el túnel debe contar con un sistema de ventilación, de bombeo y de aire comprimido similar a lo existente hoy en día, además su excavación se debe realizar con los mismos criterios de perforación y voladura que se utilizan en la actualidad.



**Foto 5.**

Túnel ferroviario con su estructura para el portal de entrada

## 6. BANDA TRANSPORTADORA SUBTERRÁNEA

Se diseña la banda transportadora subterránea (Foto 6) para movilizar el material desde las tolvas interiores de la mina Sandra K a una cota de 522 msnm hasta la cota 590 msnm para que por gravedad pase el material desde la banda hasta cada una de las vagonetas del tren. La banda está hecha en un túnel con sección de 2m x 2m, longitud de 150m y pendiente de 30°. Además presenta características apropiadas para el transporte del material propio de la mina Sandra K. (Tabla 2).

**Tabla 2.**

Características de la Banda Transportadora. (Sánchez, 2004)

<b>Especificaciones del material a transportar</b>	
Tamaño de la partículas	127mm (5 pulgadas)
Densidad bruta	2.00 – 2.32 ton/m <sup>3</sup> (125-145 Lb./pie <sup>3</sup> )
Ángulo de reposo	20° - 29°
Ángulo de descarga	5° a 15°
<b>Determinación de la velocidad y anchos de la banda</b>	
Ancho de la banda	600mm (24 pulgadas)
Velocidad de la banda	2,3 m/seg.
<b>Capacidad de la Banda</b>	
Capacidad de la banda	138 ton/h.



**Foto 6.**  
Banda Transportadora Subterránea Inclínada.

## **7. MATERIAL RODANTE**

El material rodante está constituido por la locomotora y el material remolcado conformado a su vez por los vagones de carga y los vagones de pasajeros. Para este proyecto, los equipos son especialmente seleccionados para que se adapten a los trabajos en minas y para las características geométricas de la vía y de operación del ferrocarril. (Henaó, J. y Dávila, U. 2004)

Se escoge una locomotora adecuada entre las opciones existentes para un tren minero, por lo cual existen principalmente tres estilos de locomotoras: 1. locomotoras eléctricas tipo trole, las cuales necesitan una catenaria o un tercer riel para que les proporcione la electricidad, 2. locomotoras de batería, 3. locomotoras de combustible diesel.

La escogencia de los vagones de carga se basa en sus necesidades de cargue y descargue, según la misma capacidad de cargue que utilizan los vagones existentes en la mina hoy en día para disminuir los costos, por ésto se escogen vagones de 2 toneladas cada uno, de cargue por la parte superior y de descargue lateral. Los vagones de pasajeros son seleccionados para un cómodo movimiento del personal entre la mina y la planta de beneficio y viceversa.

## **8. OPERACIÓN DEL FERROCARRIL**

Para una adecuada operación del ferrocarril, ésta se hará con locomotoras eléctricas Clayton Trolley de 8 toneladas (Foto 7), las cuales tienen un arrastre de 14 vagones totalmente cargados en un movimiento ascendente por el trazado para este proyecto, combinando entre los vagones de carga (Foto 8) y los vagones de pasajeros.



**Foto 7.**  
Locomotora Clayton Trolley de 8 t.



**Foto 8.**  
Vagón de descarga lateral.

La capacidad de arrastre de una locomotora viene determinada por su potencia, velocidad, peso y geometría, además del peso y la capacidad de cargue de los vagones que mueve; pero adicional a esto, se ve limitado por la resistencia que se presenta a su movimiento. El cálculo de todos estos factores está dado por fórmulas matemáticas sencillas para obtener el número de vagones que puede arrastrar la locomotora. (Arbeláez, 2004).

### 8.1. Resistencia por rodadura y aire

$$R_r = \frac{4.7}{w^{1/2}} + \frac{6.25}{w} + \frac{JV}{3.2} + \frac{2.1KAV^2}{wn}$$

Donde:

R<sub>r</sub>: Resistencia por rodadura y aire (kg/t)  
 w: Peso por eje de la locomotora (t)  
 n: Número de ejes de la locomotora  
 V: Velocidad (km/h)  
 A: Área transversal de la locomotora (m<sup>2</sup>)  
 J, K: Constantes de la locomotora.

### 8.2. Resistencia por pendiente

$$R_p = 1000p$$

Donde:

R<sub>p</sub>: Resistencia por pendiente (kg/t)  
 p: pendiente (%)

### 8.3. Resistencia por curvatura

$$R_c = 0.4S$$

Donde:

R<sub>c</sub>: Resistencia por curvatura (kg/t)  
 S: Grado de curvatura máxima (en grados)

Con la suma algebraica de todas las resistencias, se obtiene la capacidad de arrastre de la locomotora en peso mediante la siguiente expresión:

$$\text{Peso que arrastra la locomotora (t)} = \frac{\text{Fuerza Tractiva (kg)}}{\text{Resistencia Total (kg/t)}} - \text{Peso de la locomotora (t)}$$

Por último, se obtiene el número de vagones que la locomotora puede arrastrar mediante la siguiente expresión:

$$\text{Número de vagones del tren} = \frac{\text{Peso que arrastra la locomotora (t)}}{\text{Peso de un vagón de carga totalmente cargado (t)}}$$

De esta forma, se obtiene la configuración (Tabla 3) y la capacidad de carga con los tiempos de recorrido (Tabla 4) de un solo tren para cada alternativa.

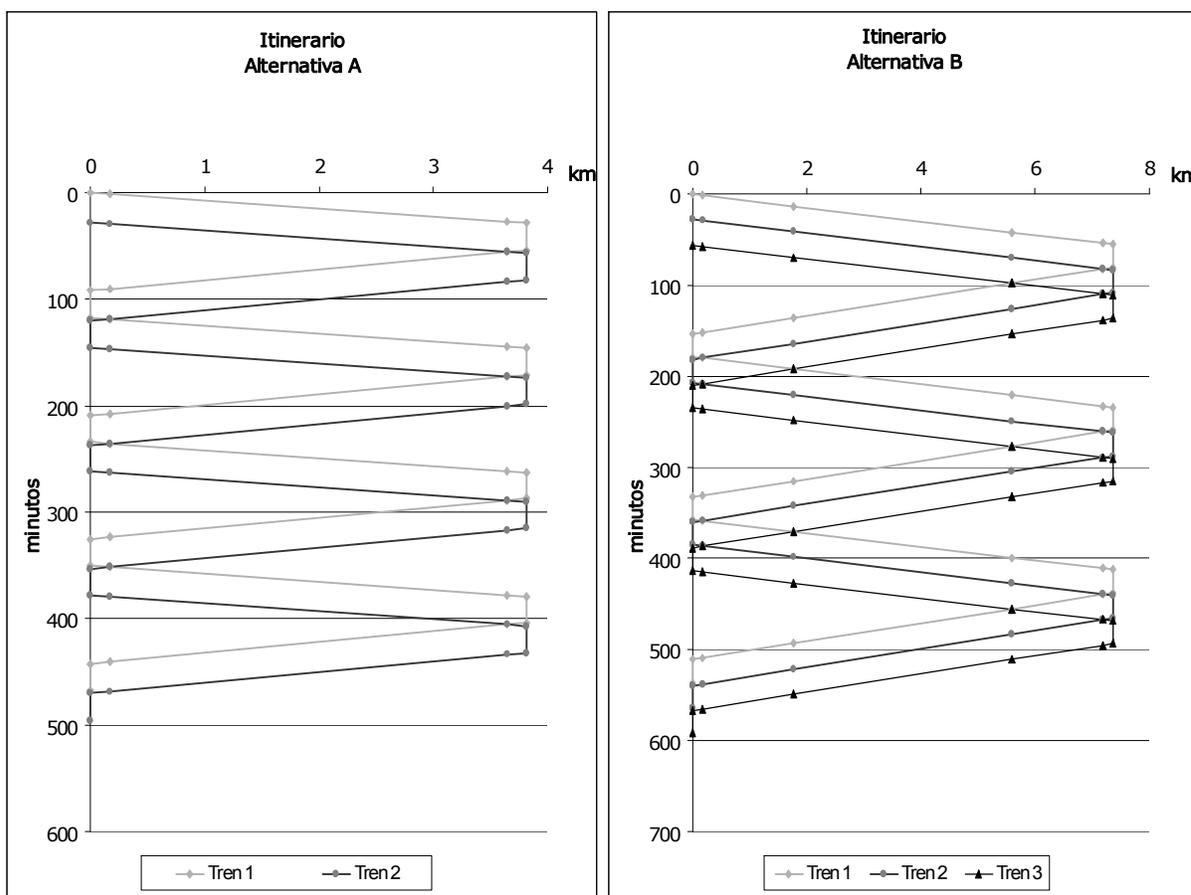
**Tabla 3.**  
Configuración del tren.

Vagones de Carga - Tara	0,6	t
Vagones de Carga - Carga	2,6	t
Resistencia por Rodadura	4,08	kg/t
Resistencia por Pendiente	20	kg/t
Resistencia por Curvatura	34,92	kg/t
Resistencia Total	59,00	kg/t
Peso que Arrastra la Locomotora	38,40	t
Número de Vagones de Carga	14	

**Tabla 4.**  
Capacidad de carga – Tiempos de recorrido.

	ALT. A	ALT. B	
Capacidad Nominal del tren	36,4	36,4	t
Carga efectiva/transportada (80% de la Capacidad Nominal)	29,12	29,12	t
Duración del Ciclo por tren	84	162	min
Tiempo de Cargue y Descargue	25	25	min
Duración del Ciclo Completo por tren	134	212	min
Capacidad de carga transportada por tren	101476	64193	t/año

El funcionamiento de un tren en el sistema para transportar todo el material explotado en la mina en un día es ineficiente, por lo cual se debe poner en funcionamiento dos ó más trenes en la red que funcionen en forma simultánea regidos bajo un itinerario, por lo cual se utiliza para la alternativa A dos trenes y para la alternativa B tres trenes bajo los criterios de itinerario de la Figura 5.



**Figura 5.**  
Itinerario de los trenes en las primeras horas.

De acuerdo a ésto, se obtiene el tiempo total de operación de todos los trenes de acuerdo a una cantidad de 300 toneladas por día para transportar (Tabla 5).

**Tabla 5.**  
Cantidad de Material total transportado – Tiempo total de Operación

	ALT. A	ALT. B	
Cantidad de trenes en operación	2	3	
Duración del Ciclo Completo por tren	134	212	min
Duración del Ciclo Completo de todos los trenes	145	235	min
Cantidad de Material transportado en el ciclo completo de todos los trenes	58,24	87,36	t
Demanda de transporte en un día	300	300	t
Tiempo de operación de todos los trenes en un día	12,4	13,4	h

Al momento de aumentar la producción, lo primero que aumenta es la frecuencia de viajes de cada tren. Cuando esto no baste, se deberá aumentar el número de trenes en circulación, los cuales utilizarán la misma vía existente, a la cual se le deberán hacer ajustes menores para resistir el nuevo número de trenes en el sistema. De esta forma, se puede alcanzar el transporte de 800 t/día bajo pocas adaptaciones y costos mínimos.

De trabajar los trenes las 24 horas del día en forma continua, el sistema según la alternativa A podría transportar 540 t/día con la utilización de dos trenes; para la alternativa B se podría transportar 515 t/día con la utilización de tres

trenes. Por ésto, se aumenta la cantidad de material transportado con la misma configuración de trenes utilizada al transportar las 300 t por día, por lo que no se presenta ninguna gran inversión, sólo se presentan muy pequeños aumentos por cuestión de mantenimiento y operación.

## 9. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se estimaron los costos de construcción, inversión, operación, y mantenimiento para el sistema ferroviario para cada alternativa con lo cual se realiza el flujo de caja (Figura 6) para obtener el costo anual equivalente del sistema en 20 años (Tabla 6) logrando así el costo por tonelada de material transportado, mostrando todo en una tabla-resumen (Tabla 7).

**Tabla 6.**  
Costos del proyecto – CAE

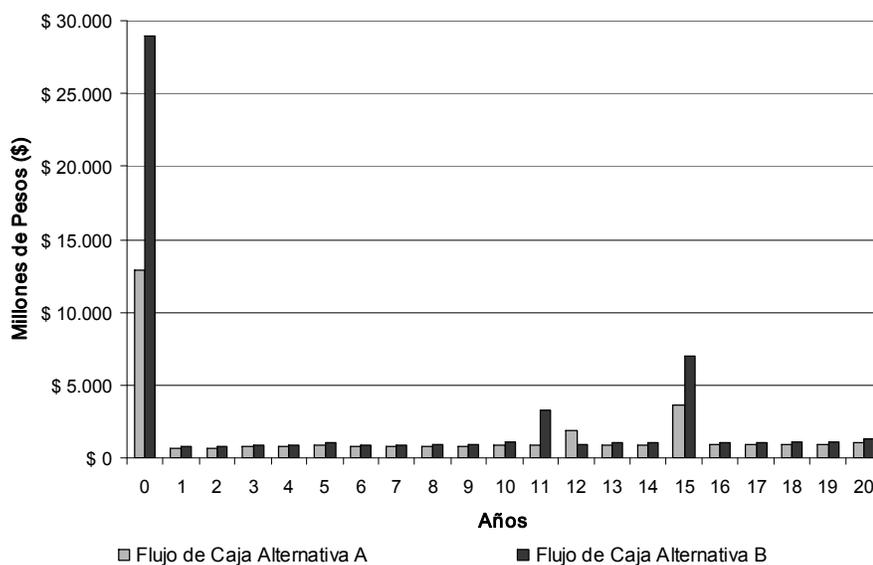
COSTOS	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B	
	Millones de \$	Millones de US\$	Millones de \$	Millones de US\$
Construcción	\$ 11.769	\$ 5,1	\$ 27.598	\$ 12,0
Inversión	\$ 1.168	\$ 0,5	\$ 1.390	\$ 0,6
Operación	\$ 646	\$ 0,3	\$ 704	\$ 0,3
Mantenimiento	\$ 129	\$ 0,1	\$ 262	\$ 0,1
Costo Total Equivalente (CAE) en 20 Años	\$ 20.776	\$ 9,0	\$ 39.099	\$ 17,0

\$ = Peso Colombiano US\$ = Dolar \$ 2.300 = 1 US\$

**Tabla 7.**  
Costos por tonelada de mineral transportado

COSTOS	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B	
	\$	US\$	\$	US\$
Costo por tonelada, con producción constante en los 20 años	\$ 9.618	\$ 4,2	\$ 18.101	\$ 7,9
Costo por tonelada, con aumento de la producción en 5% por año en los 20 años	\$ 5.386	\$ 2,3	\$ 10.135	\$ 4,4

\$ = Peso Colombiano US\$ = Dolar \$ 2.300 = 1 US\$



**Figura 6.**

Flujo de Caja de la evaluación financiera de las dos alternativas del sistema ferroviario.

## 10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema ferroviario, como principal ventaja, ofrece una mayor flexibilidad y adaptabilidad en el aumento de la producción al generar costos mínimos, ya que los trenes están hechos desde su concepción para trabajar en jornadas más largas a las propuestas, asimismo, los gastos por adaptaciones a la vía, incremento de personal y aumento en las labores de mantenimiento son muy bajos.

Además, la construcción del túnel resulta una opción desde el punto de vista minero muy positiva ya que a la vez en que se invierte en un sistema de transporte más rápido y eficiente, se invierte en la exploración y explotación de material.

Otras ventajas del ferrocarril son, que al utilizarse locomotoras eléctricas, se evita la compra de combustibles fósiles, los cuales, su precio, hoy en día está en constante crecimiento, adicional a ésto, el transporte del personal desde la planta de beneficio María Dama hacia la mina Sandra K y viceversa se vuelve más rápido y seguro.

Por otro lado, la principal desventaja que el sistema ferroviario ofrece es su gran inversión inicial por los conceptos de construcción del trazado, adquisición de equipos y acondicionamiento de talleres y bodegas, además la alteración del medio ambiente es evidente y las repercusiones sociales son inevitables, sin embargo, cada uno de estos factores se pueden mitigar a valores muy bajos debido a las consideraciones que se tuvieron a lo largo de la realización del estudio de este proyecto.

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La principal conclusión de este estudio es que la alternativa A del sistema ferroviario es la opción que ofrece los menores costos con una adecuada operación y unas aptas especificaciones técnicas, ya que ofrece unos costos por tonelada de transporte de mineral menores a los costos que actualmente se generan por el transporte en volquetas, que son de alrededor de \$ 12.000/t., lo cual hace que el sistema ferroviario sea una mejor alternativa a la ofrecida actualmente tanto en el aspecto económico, como en aspectos de eficiencia, producción y seguridad.

Por esto se hace necesario un estudio específico y detallado de ésta alternativa para conocer en profundidad sus ventajas y sus limitantes, tanto del sistema mismo como de su relación con el medio social y ambiental circundante, por lo cual el siguiente estudio debe estar enfocado inicialmente en mejorar el trazado, comprobar la estabilidad de los suelos basándose en las condiciones geológicas y geotécnicas de la región y en estudiar los aspectos sociales y ambientales del proyecto, con el fin de tener costos mejor ajustados y más representativos de cada aspecto del proyecto.

Además se debe tener en cuenta en el estudio de factibilidad de este proyecto factores tales como: Estudio detallado y asesorado del material rodante con el objetivo de valorar otras posibilidades y escoger la propuesta más viable según la producción de la mina y los gastos por mantenimiento y adecuación de los equipos, análisis de sensibilidad de los costos de inversión, de la productividad de la lámina y de los costos financieros; proyección de beneficios sociales para un próspero futuro tanto de la empresa como del municipio de Segovia.

## 12. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los ingenieros Carlos Mario Gómez y Carlos Hernández del departamento de planeación y minas de la Frontino Gold Mines.

## 13. BIBLIOGRAFÍA

Arbeláez, I., 2004. Ferrocarriles. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.

- Escobar, J. y Fernández, J., 1993. Curso General de Ferrocarriles. Empresa de transporte Masivo del Valle de Aburrá - El Metro y Asociación de ex-alumnos de la Facultad de Minas –ADEMINAS-. Medellín.
- Frontino Gold Mines, 2000. Plan de Manejo Ambiental. Proyecto Sandra K. Segovia.
- Henoa, J. y Dávila, U., 2004. Estudio Preliminar Técnico-Financiero para la Conexión Férrea entre las Minas Industrial Hullera, El Silencio, Carbones Nechí, San Fernando y Las Margaritas (Juan Velez) con la Trocha del Ferrocarril del Suroeste Tramo Envigado-Bolombolo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.
- Hurtado, D. y Giraldo, J., 2004. Aplicaciones del Programa Autocad Land Development Desktop al Diseño Geométrico de una Carretera y Obras Complementarias. Trabajo Dirigido de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.
- Macia, C. y Sejin, J., 2000. Aplicación de un Sistema de Relleno Hidráulico como Mitigación del Impacto Ambiental en la Mina El Silencio. Trabajo dirigido de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.
- Sánchez, L., 2004. Bandas Transportadoras. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.