

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BANDAS TRANSPORTADORAS PARA EL ACARREO DE ESTÉRIL EN EL ÁREA DE LA MINA PASO DIABLO SUR, CARBOZULIA S.A.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Bra. Fuenmayor F. Zuleidi M.  
Para optar al título de:  
Ingeniera de Minas

Caracas, junio 2014

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BANDAS TRANSPORTADORAS PARA EL ACARREO DE ESTÉRIL EN EL ÁREA DE LA MINA PASO DIABLO SUR, CARBOZULIA S.A.**

TUTORA ACADÉMICA: Profa. Aurora Piña  
TUTOR INDUSTRIAL: Msc. Donald Espinoza

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Bra. Fuenmayor F. Zuleidi M.  
Para optar al título de:  
Ingeniera de Minas

Caracas, junio 2014

Caracas, junio 2014

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Zuleidi Maile Fuenmayor Fuenmayor, titulado:

**“ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BANDAS TRANSPORTADORAS PARA EL ACARREO DE ESTÉRIL EN EL ÁREA DE LA MINA PASO DIABLO SUR, CARBOZULIA S.A.”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniera de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por la autora lo declaran APROBADO.

Prof. Alonzo Azócar  
Jurado

Profa. María Teresa Artiga  
Jurado

Profa. Aurora Piña  
Tutora Académica

## DEDICATORIA

*Este trabajo es dedicado a:*

*Mi hija, quién me ha dado la fuerza para salir adelante.*

*Mi madre por su apoyo incondicional, por su amor y por su fuerza y espíritu inagotable para salir adelante.*

*A mi padre, por apoyarme y guiarme para afrontar las adversidades y cumplir mis metas.*

*A mis hermanos por el apoyo incondicional.*

*A mi compañero y pareja Nestor Montiel, quien me brindo toda su ayuda, comprensión y dedicación, sin ti no lo hubiese logrado.*

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a DIOS sobre todas las cosas por haberme dado la oportunidad de estar hoy aquí realizando uno de mis más anhelados sueños.

A la Universidad Central de Venezuela por su valiosa contribución en mi formación.

A la Profesora Aurora Piña quien me brindo su invaluable colaboración, por su apoyo incondicional, paciencia y valioso tiempo, gracias por todo.

Al Magister Donald Espinosa, Tutor Industrial del presente trabajo por su apoyo, comprensión y confianza.

Al Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad Central de Venezuela, a sus profesores por brindarme los conocimientos y herramientas necesarios para formarme como profesional

A la empresa ahora Carbones del Zulia S.A, por haberme brindado su total apoyo como estudiante en esta ilustre casa de estudios UCV.

A mis padres quienes me infundieron la ética y el rigor que guía nuestro transitar por la vida.

Al Ingeniero Jhonny Khouri, por su valiosa colaboración.

A todo el personal de la Gerencia de Ingeniería de Mina, a la Superintendencia de Topografía y las Superintendencias de Geología y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

A todos mis compañeros de estudios.

Fuenmayor F. Zuleidi M.

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN  
DE UN SISTEMA DE BANDAS TRANSPORTADORAS PARA EL  
ACARREO DE ESTÉRIL EN EL ÁREA DE LA MINA PASO  
DIABLO SUR, CARBOZULIA S.A.**

**Tutora Académica: Profa. Aurora Piña. Tutor Industrial: Msc. Donald Espinoza**

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela  
Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Minas 2014, 160 páginas.**

**Palabras Claves:** Banda transportadora-Minería, acarreo, transporte-equipos, Mina Paso Diablo.

**RESUMEN**

En esta investigación se propone la alternativa de banda transportadora para el acarreo de material estéril, debido a la forma de acoplarse a distintas necesidades de trabajo y a las diferentes distancias recorridas por el progresivo cambio de frente de explotación que se lleva a cabo con el Plan de Minas. Motivado a esto se genera un estudio técnico-económico, con el propósito de comprender como ayudará en el mejoramiento del proceso de transporte de estéril, ya que de esa forma se ofrecerá un método controlado y eficaz en la producción.

Con la finalidad de entender cómo se llevará a cabo el desarrollo de la evaluación técnica-económica para el sistema de transporte más idóneo en el área Sur, conocida como Paso Diablo Sur, se toman en cuenta dos (2) alternativas: Primero, el sistema de transporte de banda transportadora y segundo, camiones.

Para ello se procede a una evaluación comparativa entre estas dos (2) alternativas mutuamente excluyentes, concluyendo a partir de la evaluación económica que la propuesta más favorable es la banda transportadora, representando un ahorro en la inversión, en vez de adquirir nuevos camiones para cubrir el incremento de la demanda. Se recomienda utilizar el sistema de banda transportadora para la extracción del material estéril en el área Sur de la Mina Paso Diablo.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	xiii
<b>ABREVIATURAS</b> .....	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	3
<b>IV. ALCANCES</b> .....	4
<b>V. LIMITACIONES</b> .....	4
<b>CAPÍTULO I</b> .....	5
<b>DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO Y MARCO TEÓRICO</b> .....	5
<b>1.1- CARBOZULIA S.A.</b> .....	6
1.1.1- Reseña histórica de la empresa .....	6
1.1.2- Estructura organizativa de Carbones del Zulia S.A. ....	7
<b>1.2- Mina Paso Diablo</b> .....	12
1.2.1- Ubicación geográfica general.....	12
1.2.2- Ubicación geográfica del área de estudio.....	13
1.2.3- Características físico natural de la Mina Paso Diablo.....	15
1.2.4- Geología .....	18
<b>Geología Regional</b> .....	18
<b>Geología Local</b> .....	21
1.2.5 Ciclo productivo .....	23
<b>1.3- Antecedentes</b> .....	24

<b>1.4- Bases Teóricas .....</b>	<b>25</b>
1.4.1.- Cintas Transportadoras .....	26
1.4.2.- Partes principales de una banda transportadora .....	27
1.4.3.- Parámetros de diseño de banda transportadora .....	31
1.4.4- Otro parámetro importante es la selección de la Banda Transportadora .....	58
1.4.5- Determinación de los espesores de la cubierta.....	62
1.4.6- Clasificación de los tipos de banda en función del material .....	63
1.4.7- Camiones en minería.....	64
1.4.7 Análisis Económico de los proyectos mineros.....	76
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>81</b>
<b>MARCO METODOLOGÍCO .....</b>	<b>81</b>
<b>2.1- Tipo de investigación .....</b>	<b>82</b>
<b>2.2- Diseño de la investigación .....</b>	<b>82</b>
<b>2.3- Población y Muestra .....</b>	<b>82</b>
<b>2.4- Medios, técnicas e instrumentos empleados en la recolección de datos de la investigación .....</b>	<b>82</b>
<b>2.5- Análisis de los Datos .....</b>	<b>82</b>
<b>2.6- Metodología utilizada en la investigación.....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>85</b>
<b>EXPOSICIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
<b>3.1- Diseño de la Banda Transportadora .....</b>	<b>86</b>
3.1.1- Características del diseño de la correa transportadora: .....	86
3.1.2 Diseño de la estructura de la banda transportadora.....	89
3.1.3-Trayectoria de la banda transportadora .....	91
3.1.4- Ancho de la banda.....	92
3.1.5- Velocidad de la banda .....	92
3.1.6- Capacidad máxima de transporte .....	92
3.1.7- Fuerzas en la banda .....	93
3.1.8- Potencias en la banda .....	94
3.1.9- Tensiones en la banda .....	94
3.1.10- Especificaciones teóricas de la banda transportadora .....	100



3.1.11-	Clasificación de los tipos de banda en función del material .....	100
3.1.12-	Especificaciones técnicas de los equipos requeridos en la banda .....	101
3.1.13-	Personal para la operación y mantenimiento de estos equipos. ....	102
<b>3.2-</b>	<b>Camiones .....</b>	<b>102</b>
3.2.1-	Cálculo del número de camiones .....	103
1.	<b>Tiempos fijos .....</b>	<b>103</b>
2.	<b>Tiempos variables .....</b>	<b>104</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>.....</b>	<b>108</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	<b>.....</b>	<b>108</b>
<b>4.1- Costos de inversión, operación y mantenimiento</b>	<b>.....</b>	<b>109</b>
4.1.1-	Banda transportadora .....	109
4.1.2-	Camiones.....	115
<b>4.2- Estudio comparativo</b>	<b>.....</b>	<b>119</b>
4.2.1-	Valor Presente de la banda transportadora.....	120
4.2.2-	Valor Presente de los camiones .....	121
4.2.3-	Costo Anual Equivalente de la banda transportadora .....	122
4.2.4-	Costo Anual Equivalente de los camiones .....	122
4.2.5-	Flujo Diferencial entre la banda y los camiones .....	123
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>.....</b>	<b>126</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>.....</b>	<b>127</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>.....</b>	<b>129</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>.....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Ángulos de sobrecarga, de reposo y fluidez del material. ....	33
<b>Tabla 2:</b> Anchos de banda mínimos recomendados.....	38
<b>Tabla 3:</b> Velocidad de banda máxima recomendada (m/s).....	40
<b>Tabla 4:</b> Coeficiente de fricción (f) de las partes giratorias.....	45
<b>Tabla 5:</b> Valores recomendados de espaciamiento entre rodillos.....	47
<b>Tabla 6:</b> Valores promedios del peso de los rodillos superiores y de retorno .....	48
<b>Tabla 7:</b> Valores promedios del peso de la banda transportadora .....	48
<b>Tabla 8:</b> Eficiencias mecánicas de equipos reductores de velocidad.....	52
<b>Tabla 9:</b> Coeficiente de fricción tambor-banda y ángulo de contacto. ....	54
<b>Tabla 10:</b> Valores recomendados de espesores de cobertura superior.....	62
<b>Tabla 11:</b> Valores recomendados de espesores de cobertura inferior.....	62
<b>Tabla 12:</b> Campo de aplicación de las bandas Roulunds, según el tipo de material..	63
<b>Tabla 13:</b> Características geomecánicas de los materiales estériles. ....	87
<b>Tabla 14:</b> Características del material a transportar y la cinta. ....	88
<b>Tabla 15:</b> Evaluación del área Paso Diablo Sur.....	88
<b>Tabla 16:</b> Cálculo de la productividad total a acarrear con banda transportadora. ....	88
<b>Tabla 17:</b> Longitudes de las cintas transportadoras. ....	89
<b>Tabla 18:</b> Cálculos de la banda transportadora tramo B-C.....	97
<b>Tabla 19:</b> Cálculos de la banda transportadora tramo C-D.....	98
<b>Tabla 20:</b> Cálculos de la banda transportadora tramo D-E.....	99
<b>Tabla 21:</b> Especificaciones de la banda transportadora. ....	100
<b>Tabla 22:</b> Tipos de banda en función del material. ....	100
<b>Tabla 23:</b> Especificaciones técnicas de los equipos.....	101
<b>Tabla 24:</b> Personal de operación y mantenimiento. ....	102
<b>Tabla 25:</b> Distancias y pendientes de acarreo con camiones. ....	103
<b>Tabla 26:</b> Tiempos variables de acarreo (camión cargado). ....	104
<b>Tabla 27:</b> Tiempos variables de acarreo (camión vacío). ....	104
<b>Tabla 28:</b> Tiempo teórico del ciclo de los camiones para la banda. ....	106
<b>Tabla 29:</b> Inversión inicial de la banda transportadora.....	110
<b>Tabla 30:</b> Inversión inicial de camiones necesarios para la alimentación de la BT. ....	111
<b>Tabla 31:</b> Inversión inicial de la trituradora.....	112
<b>Tabla 32:</b> Inversión inicial del cargador frontal.....	113
<b>Tabla 33:</b> Inversión inicial del apilador. ....	114
<b>Tabla 34:</b> Costo de adquisición de la banda transportadora.....	114
<b>Tabla 35:</b> Inversión inicial de los camiones.....	115
<b>Tabla 36:</b> Costos total de camiones Vs. banda transportadora .....	117
<b>Tabla 37:</b> Valor Presente de la banda y sus equipos.....	120
<b>Tabla 38:</b> Valor Presente de las alternativas.....	121

**Tabla 39:** Costo Anual Equivalente de camiones vs banda transportadora. .... 122  
**Tabla 40:** Flujo Diferencial entre la banda y los camiones..... 123

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

### FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Estructura Organizativa de Carbozulia S. A. ....	8
<b>Figura 2:</b> Ubicación geográfica de la empresa Carbozulia. ....	13
<b>Figura 3:</b> Ubicación geográfica del área de estudio. ....	14
<b>Figura 4:</b> Bosque característico de la zona. ....	16
<b>Figura 5:</b> Drenajes Principales que atraviesan la Mina Paso Diablo. ....	18
<b>Figura 6:</b> Secuencia estratigráfica presente en la Mina Paso Diablo. ....	22
<b>Figura 7:</b> Proceso productivo presente en la Mina Paso Diablo Carbozulia. ....	24
<b>Figura 8:</b> Esquema básico de una cinta transportadora. ....	27
<b>Figura 9:</b> Ángulo de reposo. ....	32
<b>Figura 10:</b> Ángulo de sobrecarga. ....	32
<b>Figura 11:</b> Ancho de banda. ....	37
<b>Figura 12:</b> Rodillo en terna. ....	41
<b>Figura 13:</b> Rodillos en bina. ....	42
<b>Figura 14:</b> Rodillo plano. ....	42
<b>Figura 15:</b> Banda transportadora. ....	44
<b>Figura 16:</b> Espaciamiento entre los rodillos superiores (S1) e inferiores (S2). ....	47
<b>Figura 17:</b> Tensión efectiva. ....	52
<b>Figura 18:</b> Camiones Caterpillar 793. ....	65
<b>Figura 19:</b> Palas P&H. ....	69
<b>Figura 20:</b> Cargador Frontal. ....	70
<b>Figura 21:</b> Trazado de la banda transportadora. ....	90

### GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfica 1:</b> Desempeño de la tracción. ....	73
<b>Gráfica 2:</b> Desempeño de freno. ....	73
<b>Gráfica 3:</b> Metodología utilizada en la realización del proyecto. ....	84
<b>Gráfica 4:</b> Valor Presente de la banda y sus equipos. ....	120
<b>Gráfica 5:</b> Valor Presente de los camiones vs banda transportadora. ....	121
<b>Gráfica 6:</b> Costos Anuales Equivalente de los camiones Vs banda. ....	123

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
<b>Ecuación 1:</b> Longitud total de la banda.....	35
<b>Ecuación 2:</b> Longitud de los tramos inclinados. ....	36
<b>Ecuación 3:</b> Ángulo de inclinación de la banda. ....	36
<b>Ecuación 4:</b> Longitud total de la banda con tramos inclinados.....	36
<b>Ecuación 5:</b> Velocidad de la banda transportadora.....	40
<b>Ecuación 6:</b> Área de la sección transversal con rodillos en terna. ....	42
<b>Ecuación 7:</b> Área de la sección transversal con rodillos en bina. ....	42
<b>Ecuación 8:</b> Área de la sección transversal con rodillos planos. ....	43
<b>Ecuación 9:</b> Capacidad volumétrica.....	43
<b>Ecuación 10:</b> Capacidad de transporte en t/h. ....	43
<b>Ecuación 11:</b> Coeficiente C.....	46
<b>Ecuación 12:</b> Peso de las partes móviles.....	46
<b>Ecuación 13:</b> Fuerza necesaria para mover la cinta y los componentes. ....	49
<b>Ecuación 14:</b> Fuerza necesaria para vencer la inercia.....	49
<b>Ecuación 15:</b> Fuerza para la elevación o descenso de la carga. ....	49
<b>Ecuación 16:</b> Potencia adicional por guía de carga.....	50
<b>Ecuación 17:</b> Potencia teórica. ....	51
<b>Ecuación 18:</b> Potencia del motor. ....	52
<b>Ecuación 19:</b> Tensión efectiva. ....	53
<b>Ecuación 20:</b> Tensión en el lado apretado. ....	53
<b>Ecuación 21:</b> Valores de m. ....	54
<b>Ecuación 22:</b> Tensión en el lado flojo.....	55
<b>Ecuación 23:</b> Tensión en el retorno.....	55
<b>Ecuación 24:</b> Tensión del contrapeso.....	56
<b>Ecuación 25:</b> Tensión de la banda en una pendiente. ....	57
<b>Ecuación 26:</b> Tensión mínima. ....	57
<b>Ecuación 27:</b> Carga del material por metro de banda. ....	58
<b>Ecuación 28:</b> Tensión de trabajo unitario. ....	58
<b>Ecuación 29:</b> Ciclo básico de transporte.....	68
<b>Ecuación 30:</b> Tiempos fijos. ....	68
<b>Ecuación 31:</b> Tiempos variables. ....	68
<b>Ecuación 32:</b> Número de pases del balde. ....	71
<b>Ecuación 33:</b> Tiempo de carga.....	71
<b>Ecuación 34:</b> Tiempo total del ciclo fijo.....	71
<b>Ecuación 35:</b> Tiempo total del ciclo. ....	74
<b>Ecuación 36:</b> Tiempo del ciclo ajustado. ....	74
<b>Ecuación 37:</b> Número de ciclos por hora. ....	74
<b>Ecuación 38:</b> Capacidad de producción del camión. ....	74
<b>Ecuación 39:</b> Número de camiones.....	74

<b>Ecuación 40:</b> Número de camiones ajustados.....	75
<b>Ecuación 41:</b> Número de camiones por pala.....	75
<b>Ecuación 42:</b> Número de palas. ....	75
<b>Ecuación 43:</b> Valor Presente Neto. ....	79
<b>Ecuación 44:</b> Costo Anual Equivalente. ....	80

## ABREVIATURAS

°	Grados
°C	Grados centígrados
”	Pulgadas
E-O	Este Oeste
h	Hora
kg	Kilogramo
kw	Kilowatt
lb	libras
m	Metro lineal
m/min	Metro por minuto
m/s	Metro por segundo
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
min	Minutos
mm	Milímetro
N	Newton
NE	Noreste
N-S	Norte Sur
Oz	Onzas
pul	Pulgadas
s	Segundo
s/f	sin fecha
t	toneladas métrica
t/h	Tonelada métrica
t/m <sup>3</sup>	Toneladas por metro cúbico
US\$	Dólares americanos
BT	Banda transportadora
VP	Valor presente
CAR	Costo Anual Equivalente
CAT	<i>Caterpillar</i>
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
DF	Disponibilidad Física
msnm	Metro sobre el nivel del mar
bs-t	Bosque seco tropical
f	Coefficiente de fricción
CEMA	<i>Conveyor Equipment Manufacturers Association</i>
MM	Millones
MCB	Metros cúbicos banco

## INTRODUCCIÓN

El origen de la investigación surge de la necesidad que tiene la Empresa Carbones del Zulia S.A. de hacer un estudio técnico-económico en la implementación de un sistema de cinta transportadora para el acarreo de material estéril en el área Sur de la Mina Paso Diablo, esto con el fin de reducir las longitudes de acarreo mayores a 4km con camiones, utilizando estos equipos en distancias cortas

Dicha investigación se limitará a la observación y el análisis en campo para la adquisición de datos en el diseño de Banda Transportadora (BT), costos de inversión, mantenimiento y comparación de la cinta transportadora con el sistema de transporte actual con camiones.

Teniendo en cuenta lo anterior el primer capítulo abarca las generalidades de la investigación, esta sección dará a conocer la reseña histórica, ubicación geográfica, descripción de la empresa, características del área, geología local y regional, ciclo productivo, entre otros, así como el marco teórico, donde se definirán los antecedentes de la investigación y bases teóricas, la cual incluye todo lo concerniente a la banda transportadora y a los camiones. El segundo capítulo trata sobre el marco metodológico, dónde se ubica el tipo de investigación, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos empleados en la recolección de datos, los análisis de los datos y la metodología empleada en la investigación. El capítulo III, exposición de los resultados; proporciona los parámetros de diseño de la banda; (características que debe tener tanto la banda como el material a transportar, el ancho, la velocidad, tensiones, potencias, entre otros), así como también los tiempos de acarreo de los camiones. El último capítulo trata del análisis de los resultados, donde se identificaron todos los factores que ocasionan costos en cada uno de los sistemas de transporte: costos de inversión, mantenimiento, costos operacionales, combustible y electricidad, luego se presenta un análisis comparativo entre estas dos alternativas mutuamente excluyentes, utilizando los criterios económicos: Valor Presente, el Costo Anual Equivalente y el Valor Presente del Flujo Diferencial, considerando el proyecto para 10 años de vida útil.



## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente la empresa Carbones del Zulia S.A. dispone del frente de explotación transición ubicado al Norte de la mina, el cual cuenta con una flota de camiones CAT 793D para el acarreo de estéril con ciclos continuo y variabilidad de longitud en su distancia de acarreo con respecto al frente de carga, debido al continuo avance de acuerdo al Plan establecido por el Departamento de Ingeniería de Minas.

La empresa plantea extraer la reserva ubicada en el área Sur, conocida como Paso Diablo Sur. Este yacimiento se encuentra alejado de la primera fosa (5) km, haciendo que las distancias de acarreo en camiones con estéril se incrementen de forma considerable, lo que trae como consecuencia una baja productividad en la flota y un mayor desgaste generando aumento en costos de mantenimiento y repuestos producto de las condiciones de trabajo.

Por tal razón conviene evaluar un sistema de ciclos continuos para el acarreo de material estéril en el Sector Sur, con el fin de seleccionar el sistema de transporte más adecuado para trabajar longitudes mayores a cuatro (4) km. Se estudiará el sistema de banda transportadora, las cuales desempeñan un rol muy importante en los procesos. Esto se debe a varias razones entre las que destacamos: las grandes distancias a las que se efectúa el transporte, su facilidad de adaptación al terreno, su gran capacidad de carga, la posibilidad de transferir diversos materiales con mayor rapidez y al menor costo posible mejorando los niveles de producción, todo esto con miras a mantener a la empresa en niveles competitivos dentro del mercado mundial.

## **II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **❖ OBJETIVO GENERAL**

Elaborar un estudio técnico-económico en la implementación de un sistema de Bandas Transportadoras para el acarreo de estéril en el área de la Mina Paso Diablo Sur, Carbones del Zulia S.A.

## ❖ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Analizar las condiciones del lugar donde se llevara a cabo la implementación del sistema de bandas transportadoras.
- 2.- Diseñar el sistema de banda transportadora para el acarreo de material de estéril en el área sur, como garantía en el ajuste a las condiciones del lugar y el material a transportar.
- 3.- Estimar la inversión total, así como los costos de operación y mantenimiento de la banda transportadora como insumo en la comparación cinta-camión.
- 4.- Comparar los costos del sistema de transporte con camiones y del sistema de banda transportadora, determinando cuál es el que tiene mayor beneficio-costos.
- 5.- Recomendar la alternativa de transporte más apropiada para trabajar longitudes mayores a cuatro (4) km, tomando en cuenta criterios técnicos, económicos y ambientales.

## III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El interés de llevar a cabo esta investigación, parte de la importancia que tiene para la empresa Carbozulía S.A. hacer un estudio técnico-económico para la implementación del sistema de banda transportadora para el acarreo de material estéril en el área sur de la Mina Paso Diablo.

Considerando esta necesidad se justifica dicho trabajo de la siguiente manera:

**Empresarial:** Se espera que la empresa Carbozulía S.A. al adquirir un sistema de transporte que permitirá un flujo continuo de material estéril hacia las escombreras, logre aumentar la producción disminuyendo las distancias, costos de operación y mantenimiento en los camiones.

**Técnico:** Las bandas son equipos que se adaptan al terreno y que permiten transportar el material a grandes distancias; además tienen una gran capacidad de transporte permitiendo que grandes volúmenes sean movidos rápidamente y aumentando la cantidad en la producción de las empresas.

**Económico:** Desde el punto de vista económico se busca disminuir los costos de mantenimiento de los camiones en la remoción de estéril.

**Social:** Un sistema de transporte con ciclos de acarreo continuos haría que la producción de la empresa aumente. Esto puede traer mayores beneficios económicos a las comunidades del municipio Mara. De igual manera se beneficiaran los operadores por disminución en las distancias de acarreo de estéril en vías con baches y embotellamiento; lo que ha visto afectada directamente la salud de los trabajadores.

**Ambiental:** Con la implementación de un sistema de cintas con recubrimiento, se quiere disminuir el polvo en suspensión aérea producido por el material estéril y las vías, así como también la emisión de dióxido de carbono, ruido, aceites y otros contaminantes, producidos por el acarreo con camiones.

**Seguridad:** La banda transportadora busca que los trabajadores se encuentren lo menos posible expuestos a accidentes, sin embargo cada operador debe hacerse responsables por su propia salud y seguridad. Esto se puede lograr a través de la toma de conciencia y compromiso por parte de los trabajadores.

#### **IV. ALCANCES**

Este trabajo de investigación se fundamentará en el estudio de una propuesta de sistema de transporte para el acarreo de estéril en el área Sur de la Mina Paso Diablo. Dicha investigación, se desarrollará con información obtenida a partir de visitas al campo e informes preliminares sobre el proyecto del área Sur elaborada por la Gerencia de Ingeniería de Minas, Carbones del Zulia S.A.

La investigación se basa en el diseño, la estimación de la inversión, comparación del sistema actual con camiones y el de banda transportadora, fundamentado en datos geológicos y topográficos recolectados en campo y en informes técnicos proporcionados por la empresa.

#### **V. LIMITACIONES**

La principal limitación de esta investigación fue: carencia de información por parte de los proveedores de las empresas fabricadoras de bandas transportadoras al proporcionar información detallada de los costos de las partes de la banda transportadora, debido que solo le proporcionan información generalizada a las empresas.

**CAPÍTULO I**  
**DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO Y MARCO TEÓRICO**

El siguiente capítulo muestra las generalidades de la investigación, el cual se encuentra estructurado por: Carbones del Zulia S.A., (CARBOZULIA) y la Mina Paso Diablo. El primer punto da a conocer la reseña histórica, descripción de la empresa y la estructura organizativa, Mina Paso Diablo se ubica el área de estudio, características físico natural, la geología y el ciclo productivo.

También se hará referencia a los estudios realizados anteriormente por otros autores sobre el tema de investigación, así como las bases teóricas que permitirán darle sentido al presente trabajo, como son: concepto de banda transportadora, partes, velocidad, ancho, tensiones, potencias, camiones, entre otros puntos indispensable para el entendimiento de la investigación.

**1.1- CARBOZULIA S.A.** (Departamento de Ingeniería de Mina Carbones del Zulia S.A, 2014).

### **1.1.1- Reseña histórica de la empresa**

En 1876 el Ingeniero Wenceslao Briceño Méndez, descubre los grandes afloramientos de carbón que existe en el Guasare; pero no fue hasta 1972 cuando el Ministerio de Energía y Minas, inicia los estudios geológicos certificando la existencia del carbón con una historia de 30 millones de años y a partir de 1973 otorga a la Corporación de Desarrollo del Zulia (CORPOZULIA), las concesiones por 70.000 hectáreas para la explotación de la cuenca carbonífera del Guasare.

En 1976 se crea Carbones del Zulia S.A. (CARBOZULIA), filial de la Corporación para el Desarrollo de la Región Zuliana (CORPOZULIA) y el Fondo de Inversiones de Venezuela (FIV). El 25 de abril de 1986, por decisión del Ejecutivo Nacional Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) adquiere las acciones que CORPOZULIA y el FVI tenía en CARBOZULIA y se firma el convenio de arrendamiento a PDVSA.

El 2 de agosto de 1988, concluyó la creación de Carbones del Guasare S.A. La empresa se dedica a partir de esa fecha a la exploración del yacimiento PASO DIABLO. En 1990 se inicia la exoneración de los impuestos sobre la renta otorgado por el Ejecutivo Nacional por un periodo de cinco (5) años. Tres (3) años más tarde, Carbones del

Guasare S.A, llega a ser una empresa mixta cuyos socios son CARBOZULIA, filial de PDVSA en un 49%, la empresa *AGIPCOAL* de Italia con un 48% y por SOFIMARA de Banco de Maracaibo con un 3%.

En 1999 la empresa Carbones del Guasare firma un contrato por cinco (5) años con la empresa *Morrison Knudse* (MK) perteneciente a la empresa *Washington Group*, la cual implemento mejoras en el proceso, reduciendo los costos y aumentando la eficiencia operacional de la mina. Para el año 2004 el Ejecutivo Nacional transfiere nuevamente a CORPOZULIA las acciones mineras que tenía PDVSA. [www.guasare.com](http://www.guasare.com) 28 de febrero 2014.

En el 2010 la empresa *PEABODY COAL VENEZUELA LIMITED*, vende sus acciones a CARBOZULIA, la cual represente el 2% del capital social suscrito y en circunstancia de CARBONES DEL GUASARE S.A, pasando a tener CARBOZULIA la propiedad del 51%, del capital suscrito. En consecuencia, la empresa CARBONES DEL GUASARE S.A, pasa a ser una empresa del Estado (Gaceta Oficial N-39.643). Para ese mismo año se ordena la transferencia a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) del 70% de las acciones comunes nominativas, no convertibles al portador que actualmente tiene CORPOZULIA, en la empresa del Estado CARBOZULIA (Gaceta Oficial N-39.982), haciéndose efectiva el 8 de octubre del año 2013, con el nombre de Carbones del Zulia S.A.

### **1.1.2- Estructura organizativa de Carbones del Zulia S.A.**

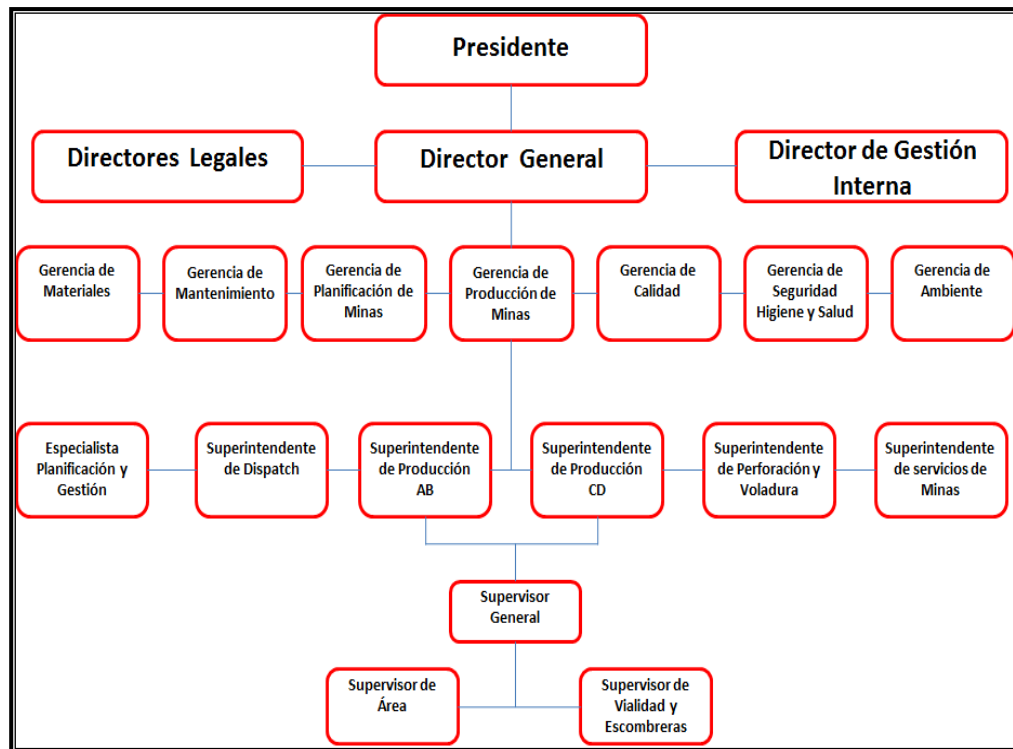
#### **❖ Descripción de la empresa**

Carbones del Zulia S.A. es una empresa que realiza labores de exploración, producción, transporte y comercialización de carbón mineral. Se encuentra constituida bajo la figura de una empresa Socialista, a cargo de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). Está cuenta con una Gerencia General, la cual se encarga de coordinar y ejercer las funciones de administrar los presupuestos a través de la asistencia ejecutiva; establece además, los lineamientos sobre los que se fundamentan la planificación a largo plazo mediante el Departamento de Soporte Técnico y Desarrollo; por último define las

estrategias a seguir en las operaciones de mina bajo los estatutos especificados en las legislaciones ambientales y laborales por medio del Departamento de Seguridad y Ambiente.

❖ **Estructura organizativa de la Gerencia General de la empresa**

La empresa cuenta con un organigrama de distribución vertical, presentando las unidades ramificadas de arriba abajo a partir del Presidente, en la parte superior y desagregan los diferentes niveles jerárquicos en forma escalonada general. (Figura 1).



**Figura 1:** Estructura Organizativa de Carbozulia S. A.

**Fuente:** Elaboración propia. Cortesía de la Gerencia de Ingeniería de Mina Carbozulia (2014).

De acuerdo a la Gerencia de Ingeniería de Mina Carbozulia (2014), la Gerencia General cuenta con los siguientes departamentos o subgerencias para el logro de sus objetivos:

➤ **Gerencia de Producción de Mina**

Se encarga de coordinar y definir las acciones operativas necesarias para llevar a cabo la secuencia de explotación en los frentes de acuerdo a lo establecido en la Planificación de Mina. Una de las responsabilidades de esta Gerencia, es la de garantizar las

condiciones necesarias para que las operaciones conserven niveles de estandarización permitiendo así, que las labores de mina sean lo más eficientes posible. Para el cumplimiento de la producción juega un papel muy importante el *Dispatch*, el cual es un sistema de administración minera a gran escala que utiliza los sistemas modernos de computación y comunicación de datos, junto con la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), con el propósito de proporcionar asignaciones óptimas en forma automática para los camiones de acarreo.

La Gerencia de Producción cuenta con un personal de Servicio de Mina, los cuales garantizan las condiciones de trabajo de la mina.

✓ Superintendencia de Servicio de Mina.

Este Departamento se encarga del bombeo de las aguas, construcción de alcantarillas, arrastre de cable eléctrico, colocación de plantas de iluminación, construcción de rampas, fabricación de señales de vialidad, entre otras.

➤ **Gerencia de Ingeniería de Mina**

Establece los lineamientos para las secuencias de explotación de mantos de carbón en plazos definidos a ser ejecutadas por la Gerencia de Producción. La información suministrada por la Gerencia de Ingeniería de Mina, la cual especifica las reservas minables a través del Departamento de Geología. Por otra parte, elabora los diseños y los planes de desarrollo de las escombreras, además de definir las estrategias que impliquen labores de construcciones nuevas o desmantelamientos de infraestructuras de mina.

Por otro lado la Gerencia de Ingeniería de Mina, además de coordinar las labores de exploración, elaboración del modelo geológico y efectuar los cálculos de las reservas mineras a través del Departamento de Geología y el Departamento de Topografía, también se encarga de llevar a cabo los trabajos de perforación y voladura de roca.



✓ Superintendencia de Geología

El Departamento de Geología, tiene como función principal la evaluación anual de las reservas del yacimiento, haciendo énfasis en la cuantificación actualizada de las reservas probadas para los futuros desarrollos mineros; la redefinición geométrica del yacimiento, así como también, realizar la evaluación estructural del mismo, proporcionando a la unidad de planificación la información necesaria para la elaboración mensual y trimestral de los planes de mina. Del mismo modo, elabora planes de las futuras perforaciones a través de un modelo geológico.

✓ Departamento de Topografía

Este Departamento es el encargado del levantamiento topográfico de toda la actividad productiva de la mina. Se basa en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), en donde las coordenadas utilizadas son las UTM (*Universal Transversal Mercator*).

El trabajo de topografía consiste en realizar levantamiento diario de cota de piso y frente de palas, pilas de remanejo, pilas de trituración, replanteamiento de puntos geológicos, levantamientos de avances de escombreras, replanteo de puntos de vías y todos aquellos puntos que sean importantes para la planificación de la mina.

✓ Superintendencia de Perforación y Voladura

Su función es realizar las operaciones correspondientes a la elaboración de barrenos la cual se lleva a cabo siguiendo un Plan de Mina, donde el primer paso es realizar las labores de perforación. Otra función es el de realizar los cálculos del patrón de voladura de los explosivos necesarios para cada barreno, de acuerdo al tipo de material que se desea volar.

➤ **Gerencia de Mantenimiento**

Su responsabilidad radica en garantizar la disponibilidad física (DF) de los equipos pesados y livianos para la ejecución de las labores de mina. De su desempeño depende que las estadísticas de DF de dicho inventario sea el más óptimo posible.

➤ **Gerencia de Control de Calidad y Laboratorio**

Su función es obtener y evaluar la calidad del carbón requerida por el Mercado Nacional e Internacional, garantizando que los cargamentos cumplan con los requerimientos de tonelaje y calidad que los clientes establecen para la compra, todo mediante el muestreo en las labores de perforación, en las actividades de exploración, trituración, embarque, entre otras. Además, el Departamento se encarga de codificar cada uno de los mantos, por medio de un número y una letra según su calidad y sus características. El mejor manto es aquel que posea alto poder calorífico, bajo contenido de cenizas, bajo porcentaje de humedad y bajo contenido de azufre.

✓ Departamento de Trituración

Control de Planta en donde se realiza la reducción de tamaño del carbón. Para ellos se utilizan dos (2) trituradoras y tres (3) apiladores que se encargan de almacenar el mineral según las especificaciones de control de calidad. Además, aquí se procede a cargar las gandolas que van hacia el puerto y en donde el carbón es transportado a su destino final.

➤ **Gerencia de Materiales**

Gestiona los procesos de adquisición y administración del inventario de repuestos de los equipos de minería y auxiliares, además de todos los implementos de seguridad requeridos para el personal de la mina para el ejercicio de sus funciones.

➤ **Gerencia de Seguridad, Higiene y Salud**

Tiene como papel principal verificar y hacer cumplir los estatutos de seguridad laboral tanto para el personal operativo como administrativo.

La seguridad inicia desde el momento en que el personal llega a la mina hasta la culminación de sus labores cotidianas. La vestimenta debe ser apropiado para cada labor, el calzado preferiblemente debe ir reforzado en la punta con una platina metálica, la protección auditiva, respiratoria y ocular depende del material y la máquina con que se esté laborando, los camiones y vehículos deben conducir por el lado contrario, es

decir por el lado izquierdo de la mina, se debe ceder el paso a los camiones cargados, entre otros. Los elementos básicos de protección son:

- Cascos de acuerdo a la norma.
- Botas punta de acero
- Guantes.
- Gafas requeridas.
- Elementos reflectivos.
- Tapa oídos de acuerdo a la norma.
- Protección respiratoria (tapa boca) si se requiere.

### ➤ **Gerencia de Ambiente**

Su objetivo fundamental es reforestar y condicionar las áreas que han sido afectadas por la explotación minera y así minimizar el impacto ambiental. Entre las actividades importantes realizadas por este Departamento encontramos: el monitoreo de aguas y aire procedentes de la mina, áreas verdes para deforestación, áreas verdes recuperadas, construcción de lagunas de sedimentación para el control de partículas en el agua, entre otras. Es el área encargada de controlar y coordinar la gestión ambiental de la mina bajo las leyes y normas del Estado venezolano.

## **1.2- Mina Paso Diablo**

### **1.2.1- Ubicación geográfica general** ([www.guasare.com](http://www.guasare.com)).

El yacimiento carbonífero del Guasare, depositario de la Mina Paso Diablo, donde la Carbones del Zulia S.A. realiza sus operaciones mineras “se encuentra ubicado en las coordenadas 797.137 (este) y 1.220.566 (norte) referidas al sistema *Universal Transversal Mercator* (UTM), localizado en el estado Zulia, Municipio Mara, Parroquia Luis de Vicente específicamente en la parte Sur (bloque Norte de Carichuano) de la mina Paso Diablo de CARBOZULIA. Geográficamente se ubica a unos 120 km al noroeste de la ciudad de Maracaibo en el pie de monte Oriental de La Sierra de Perijá y al Oeste del Sinclinal de Manuelote. La misma se encuentra enmarcada dentro de la cuenca del río Guasare. Dicha mina limita al Norte con el río Guasare y por el Sur con el Caño Norte. (Figura 2).

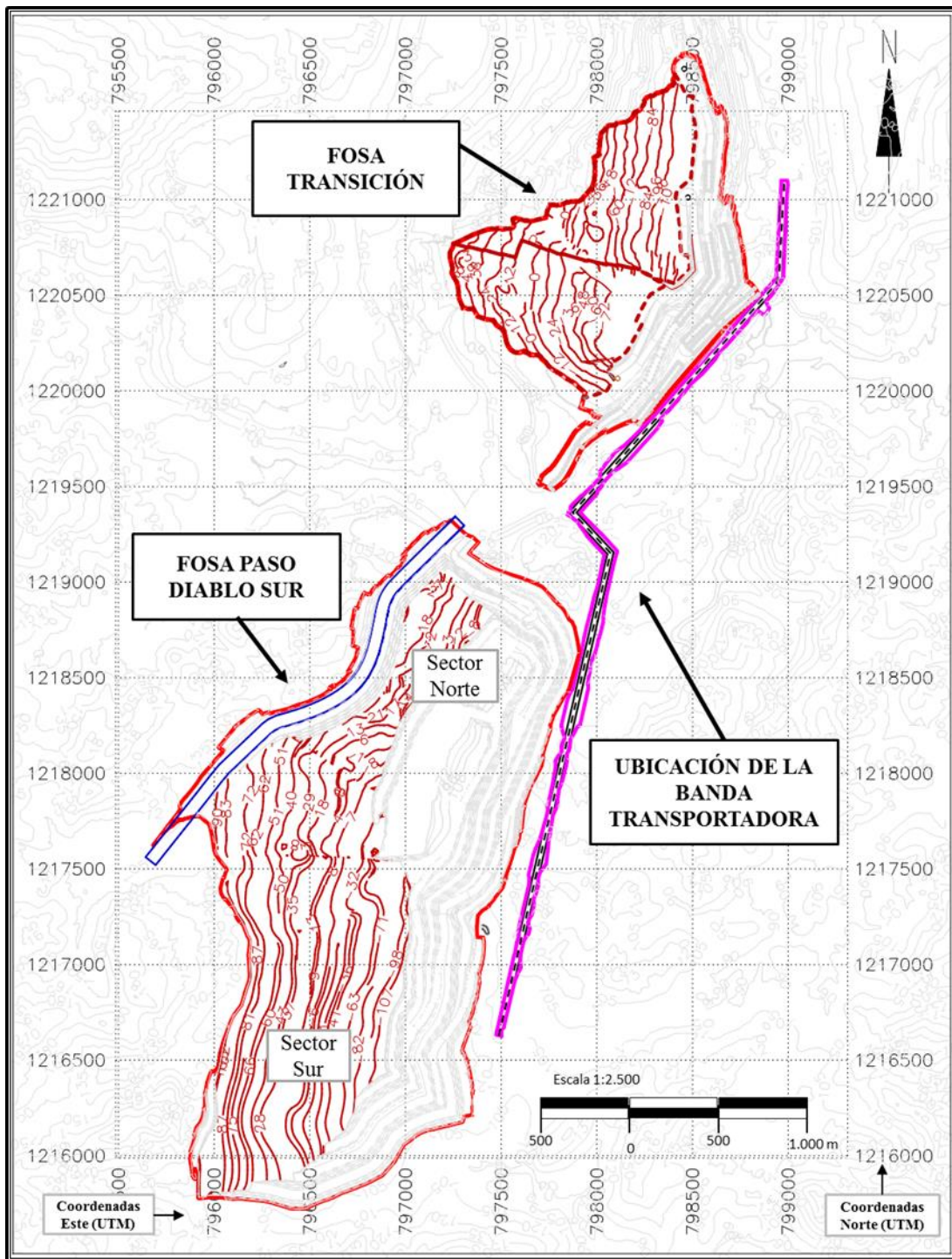


**Figura 2:** Ubicación geográfica de la empresa Carbozulia.  
**Fuente:** Gerencia de Ingeniería de Mina, Carbones del Zulia S.A. (2014).

### 1.2.2- Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se localiza en las concesiones de la explotación de la cuenca carbonífera del Guasare Municipio Mara Parroquia Luis de Vicente estado Zulia, específicamente al Sur (bloque Norte de Carichuano y Transición) de la Mina Paso Diablo, empresa Carbones del Zulia S.A. filial de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA).

El diseño de la banda transportadora se ubicará en el área Paso Diablo Sur y Transición, específicamente en el Sector Sur de Paso Diablo y Fosa Transición. (Figura 3)



**Figura 3:** Ubicación geográfica del área de estudio.  
**Fuente:** Gerencia de Ingeniería de Mina Carbones del Zulia S.A. (2014).

**1.2.3- Características físico natural de la Mina Paso Diablo** (Departamento de Ambiente Carbones del Zulia S.A, 2014).

➤ **Geomorfología**

El paisaje de montaña de la Mina Paso Diablo, fue modelado durante el Terciario y consiste de un conjunto montañoso perteneciente a la estribación final de la Sierra de Perijá (Monte de Oca, Sierra Majayura y Sierra del Indio).

El relieve de la mina Paso Diablo en general, se encuentra en el piedemonte de la Sierra de Perijá; es de tipo mixto y está conformado por un área de colinas y un área llana o de pendientes suaves. Las colinas representan más del 70% de la zona y se ubica de manera homogénea en todo el área; está compuesto principalmente por elevaciones asimétricas más o menos alargadas con una dirección preferencial de toda la sierra NE-SO; se observan desniveles de hasta 500m siendo los desniveles más frecuentes en el área de 100 a 200m los; las pendientes varían entre moderadamente abruptas (10-18°) y abruptas (18-30°); siendo las pendientes de 10 a 23° las más comunes. Las líneas de cresta presentan una geometría alineada con algunas curvas sinuosas, su tope es ancho y tienden a ser planos y redondeados, sus laderas son convexas y el drenaje es medianamente encajado dentro de las colinas y en sus adyacencias. Esta área presenta cotas de altitud máximas de 220msnm y mínimas de 50msnm respectivamente.

➤ **Clima**

Según el estudio técnico, ambiental e inventario forestal realizado en la ahora Carbones del Zulia S.A, en el 2005 el área estudiada presenta un clima semi-árido con exceso de agua en épocas de lluvia, mega térmico o cálido. La temperatura media anual oscila entre 26,7 y 29,5°C, y la evaporación promedio anual es de 2.052,7mm. El período de menor evaporación es de octubre a diciembre. La velocidad promedio de los vientos en la zona es de 3,2km/h a una altura de 10m de la superficie del suelo con dirección predominante norte-noroeste (datos tomados de la estación Carichuano por el Departamento de Ambiente 2005).

### ➤ Vegetación

La revegetación del área de estudio corresponde a bosque seco tropical (bs-t), como se observa en la figura 4; según la clasificación de Ewel y Madriz (1976). La vegetación está compuesta de árboles y arbustos de especies deciduas con mediana variabilidad y altura media.



**Figura 4:** Bosque característico de la zona.

**Fuente:** Departamento de Ambiente Carbones del Zulia S.A. (2014).

Las especies más abundantes y que se encuentran en los tres (3) estratos del bosque son principalmente: *Aspidosperma dugandii*, *Brosimum alicastrum*, *Cordia gerascanthoide* y *Astronium graveolens*.

Se observó que la mayoría de las especies vegetales que conforman el bosque seco tropical, se encuentran en los estratos inferiores en número considerable desde el sotobosque hasta los arbolitos con diámetro de 10 y 15cm otras especies como el *Spondias cytherea* se observa bastante cercano a los cursos de agua y en pendientes de difícil acceso.

Para el área Sur de Paso Diablo se encontraron varias especies de valor, con altura y diámetros para ser aprovechados como productos forestales primarios, algunas de estas

son: *Centrolobium paraense*, *Caesalpinia coriaria*, *Dracaena draco*, *Spondias cytherea*, *Caesalpinia ébano*, *Aspidosperma dugandii*, *Brosimum alicastrum*, *Cordia gerascanthoide* y *Astronium graveolens* entre otros.

#### ➤ **Suelos**

Los horizontes de suelo que constituyen el terreno, están conformados por la capa vegetal cuyo espesor es en promedio de 1m. El material subsiguiente está representado por un horizonte de un suelo residual de color rojizo. El mismo mantiene sus características principales hasta el límite con la roca del macizo hasta alcanzar una profundidad que oscila entre 1 y 2m. Por su parte la granulometría se encuentra entre 2 y 0,060mm, lo cual corresponde a un suelo de tamaño arena.

En el área de estudio, la litología consiste principalmente de arenisca, lutitas, calizas y abundantes mantos de carbón. Los suelos derivados de las areniscas son de poco espesor ya que son muy susceptibles de erosionarse, poco fértiles y bien drenados por el tamaño de los granos.

Los suelos provenientes de calizas poseen partículas de limo fino y arcilla, son de textura fina y su estructura le confiere una alta permeabilidad y buen drenado, a excepción en condiciones de saturación.

#### ➤ **Hidrografía**

El área donde Carbones del Zulia S.A. realiza sus actividades está dentro de la cuenca del río Guasare, el mismo lleva al Oeste una trayectoria casi SO-NE para cambiar su rumbo a partir del Cerro Los Manantiales a N-S; luego a partir del Cerro Cinco de Julio hacia el Este cambia de nuevo su rumbo a E-O, hasta que se une con el río Socuy para formar el río Limón.

Los principales drenajes presentes en la cuenca del río Guasare están representados por los ríos Cachirí y Socuy (Figura 5). Los cauces naturales intermitentes más importantes lo constituyen los caños denominados Baqueta, Carichuano, Paso Diablo, Tigre y



Norte. El resto del drenaje natural, está representado por pequeñas quebradas y canales de desagüe o drenajes naturales, configurados por la topografía natural de la zona.



**Figura 5:** Drenajes Principales que atraviesan la Mina Paso Diablo.  
**Fuente:** Tomado de *Google Earth*, 28 de febrero (2014).

#### 1.2.4- Geología

##### ➤ Geología Regional

Las unidades litológicas que constituyen la mina Paso Diablo y que se ubican en el sinclinal de Manuelote son las formaciones Guasare, Paso Diablo, Marcelina y Misoa, en donde la Formación Marcelina contiene los carbones que son económicamente explotables.

##### **Formación Marcelina (Paleoceno)**

El nombre de Formación Marcelina fue introducido y publicado originalmente por Sutton (1946), para designar la unidad denominada por Garner (1926) Paquete de Carbón de La Rosa. Tal como fue descrita por Sutton, la formación equivale a la parte inferior de la Formación Paso Diablo de Hedberg y Sass (1937). González de Juana (1951) comentó e ilustró esta equivalencia. Sutton (*op. cit.*) estableció la localidad tipo

en el río Guasare, desde el tope de una caliza maciza, 550m aguas arriba de la desembocadura del caño Colorado, hasta la base de una unidad de areniscas gruesas y masivas, a 50m bajo la boca del caño Santa Rosa, también afluente del Guasare. Las secciones de referencia establecidas por Miller y San Juan (1963), están respectivamente en el río Socuy, entre los caños Pedrú y La Arena, al oeste del embalse Socuy y en el río Cachirí, unos 700m aguas abajo de la confluencia con la quebrada La Cruz (caño del Norte).

Sutton (*op. cit.* 1947) describe la litología de la formación como una intercalación de areniscas, lutitas, lutitas arenosas y capas de carbón. En la base de la unidad, las areniscas son macizas, gruesas, de color gris claro y localmente calcáreas. Más arriba se hacen delgadas, están intercaladas con lutitas color gris y presentan planos de estratificación con mica y carbón. Las lutitas son de color gris oscuro a negro, con fractura concoidal o de lápices. Tanto en las areniscas como en las lutitas, se encuentran nódulos de arenisca y caliza arenosa de color gris azulado, de forma alargada y midiendo de 1,2 a 2,4m de largo por 0,6 a 1,2m de diámetro. El carbón es de tipo subbituminoso a bituminoso y se presenta principalmente hacia la base de la formación, en capas de dos (2) hasta diez (10) m de espesor. En el río Socuy, Miller y San Juan (*op. cit.*) mencionan además, capas de caliza y areniscas calcáreas con restos de moluscos. Las calizas son generalmente delgadas, aunque en la parte inferior de la sección señalan una capa de 3m. Ruíz (1983), describe en detalle la litología de la Formación Marcelina a partir de núcleos, en el área tipo, y señala areniscas gris claro a blancuzco, de grano muy fino a medio, subangulares, moderadamente escogidas, con pequeñas cantidades de mica y feldespatos; areniscas limosas gris oscuro, a veces micáceas; conglomerados oligomícticos (asperonoes) y polimícticos; lodolitos y lutitas gris oscuro a negro, arcilla gris y carbón. Dicho autor indica la existencia de 25 a 30 mantos importantes de carbón, con espesores entre uno (1) y 13 m.

En la Formación Marcelina se observa un conjunto de rocas alteradas por el calor de la oxidación (combustión) de mantos de carbón, las cuales fueron señaladas por Hedberg y Sass (*op. cit.* 1946) González de Juana (*op. cit.*) y Sutton (*op. cit.*). Interpretadas

erróneamente como de origen ígneo, fueron estudiadas en forma detallada por Moticska (1977), quien determinó tres tipos principales: porcelanitas producto de limolitas carbonáceas y en parte de areniscas finas, calizas y conglomerados; brechas soldadas y flujos de brechas formados por fragmentos líticos impregnados en roca fundida y lavas formadas por la fusión completa del material rocoso. Todas estas variedades presentan diversas tonalidades de rojo, marrón y ocre.

En la sección tipo, la Formación Marcelina tiene alrededor de 610m de espesor (Sutton, *op. cit.*). Los afloramientos de la Formación Marcelina abarcan unos 54km de largo, por no más de 4km de ancho, que va desde unos 3km al norte del río Guasare, hasta la confluencia del caño Colorado con el río Palma, al sur (Moticska, *op. cit.*), en el distrito Perijá. Miller y San Juan (*op. cit.*) señalan su extensión en la vertiente Occidental de La Sierra de Montes de Oca, en el valle del río Ranchería, Colombia. La formación desaparece hacia el este, en el Lago de Maracaibo, por erosión.

El contacto de la Formación Marcelina con la Formación Guasare infrayacente, es concordante y transicional. Hacia el sur del macizo de El Totumo, el contacto entre ambas formaciones se hace más difícil de determinar, al ir desapareciendo los rasgos característicos de cada una.

El contenido fosilífero de la formación es pobre y poco diagnóstico, Key (1960) menciona escasos ejemplares de *Miliammina fusca*, *Haplophragmoides sp.* y *Trochammina sp.* Mederos y Castro (1983) citan varias especies de polen en una muestra de lutita carbonosa de la Mina Paso Diablo, cerca del área tipo, siendo las más abundantes *Proxapertites operculatus*, *P. cursus* y *Palmacidites sp.* Ruíz (*op. cit.* 1983) cita gasterópodos como *Andícula thompsoni* y *Amaurellina cf. moroecana*.

Las evidencias palinológicas (Kuyl *et al.* 1955, Mederos, 1983) y su posición estratigráfica respecto a la Formación Guasare, dan una edad paleocena para la Formación Marcelina.

La Formación Marcelina correlaciona, hacia el sur, con la Formación Los Cuervos, del Grupo Orocué. Hacia el oeste, correlaciona estrechamente con la Formación Cerrejon del Paleoceno, en la Cuenca de Ranchería, al NE de Colombia (Caceres *et al.* 1980).

La Formación Marcelina representa un ambiente sedimentario de tipo paludal, originado por el avance deltáico del Paleoceno, sobre los ambientes de plataforma de la Formación Guasare, Ruíz (1983) al analizar el ambiente de la formación, indica la presencia de ciclotemas incompletos, relacionados con los grupos de carbón identificados en el área de la Mina Paso Diablo.

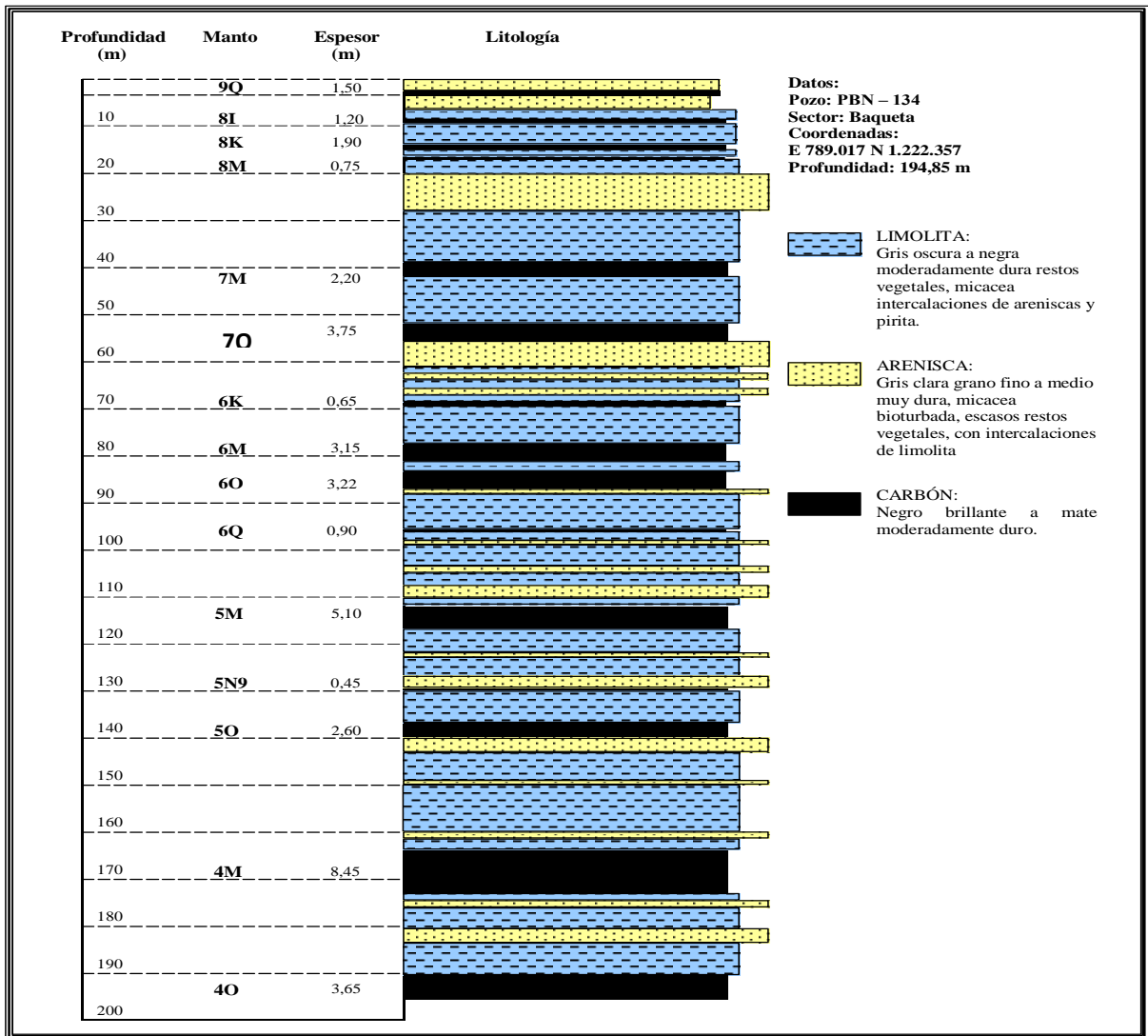
### ➤ **Geología Local**

Sutton (*op. cit.* 1947) describe la litología presente en la zona como una intercalación monótona de areniscas, lutitas, lutitas arenosas y capas de carbón. El carbón es de tipo subbituminoso a bituminoso y se presenta principalmente hacia la base de la formación, en capas de 2 hasta 10m de espesor

En el área Sur se encuentra el grupo de los mantos del uno (1) al nueve (9) estos a su vez presentan variación por cada número dependiendo de la continuidad de las capas. La figura 6 muestra los espesores de mantos de carbón correspondiente al grupo de los superiores (cuyos extremos son el 4O y el 9K).

Los mantos inferiores, correspondientes al grupo que van desde el 3 al 1, no es contemplado dentro de la extracción, estos afloran hacia el Oeste del área de concesión.

A continuación se muestra la columna estratigráfica del yacimiento extraído en la Mina Paso Diablo. Superintendencia de Geología (2014).



**Figura 6:** Secuencia estratigráfica presente en la Mina Paso Diablo.  
**Fuente:** Superintendencia de Geología, Carbones del Zulia S.A. (2014).

**1.2.5 Ciclo productivo.** (Gerencia de Ingeniería de Mina Carbones del Zulia S.A, 2014).

La actividad extractiva del carbón es a cielo abierto y contempla un conjunto de etapas y fases, las cuales son interdependientes. Las etapas principales son las siguientes:

Primero, se realizan estudios para conocer la cantidad de mineral presente en los estratos mediante perforaciones exploratorias.

Luego de obtener un valor rentable de las reservas en las fases de exploración inicia la remoción de la capa vegetal, con la finalidad de preparar el terreno para la etapa de explotación.

Una vez removida la capa vegetal entra en juego la perforación y voladura del macizo rocoso (arenisca, limolitas, lutitas y caliza); lo que conlleva a la carga y acarreo del material estéril fragmentado hacia las escombreras.

Luego de remover el material no económico, se inicia la etapa de obtención del carbón, la cual contempla las actividades de arranque, carga y acarreo del carbón hacia los patios de remanejo o trituradoras primarias (de acuerdo al inventario con que se cuenta).

Ya en las trituradoras el carbón es reducido de tamaño y se transporta por medio de cintas a los patios de apilamiento (tipo *Chevron*).

Luego se cargan las gandolas y se transporta el material hasta el Puerto de Embarque de Santa Cruz de Mara, donde nuevamente es apilado el carbón. La siguiente fase a continuación es el transporte por medio de cintas hasta las gabarras y la parte final es el embarque en buques, con lo cual se completa la venta de carbón. El proceso productivo de carbón efectuado por Carbozulia, es mostrado en la figura 7.

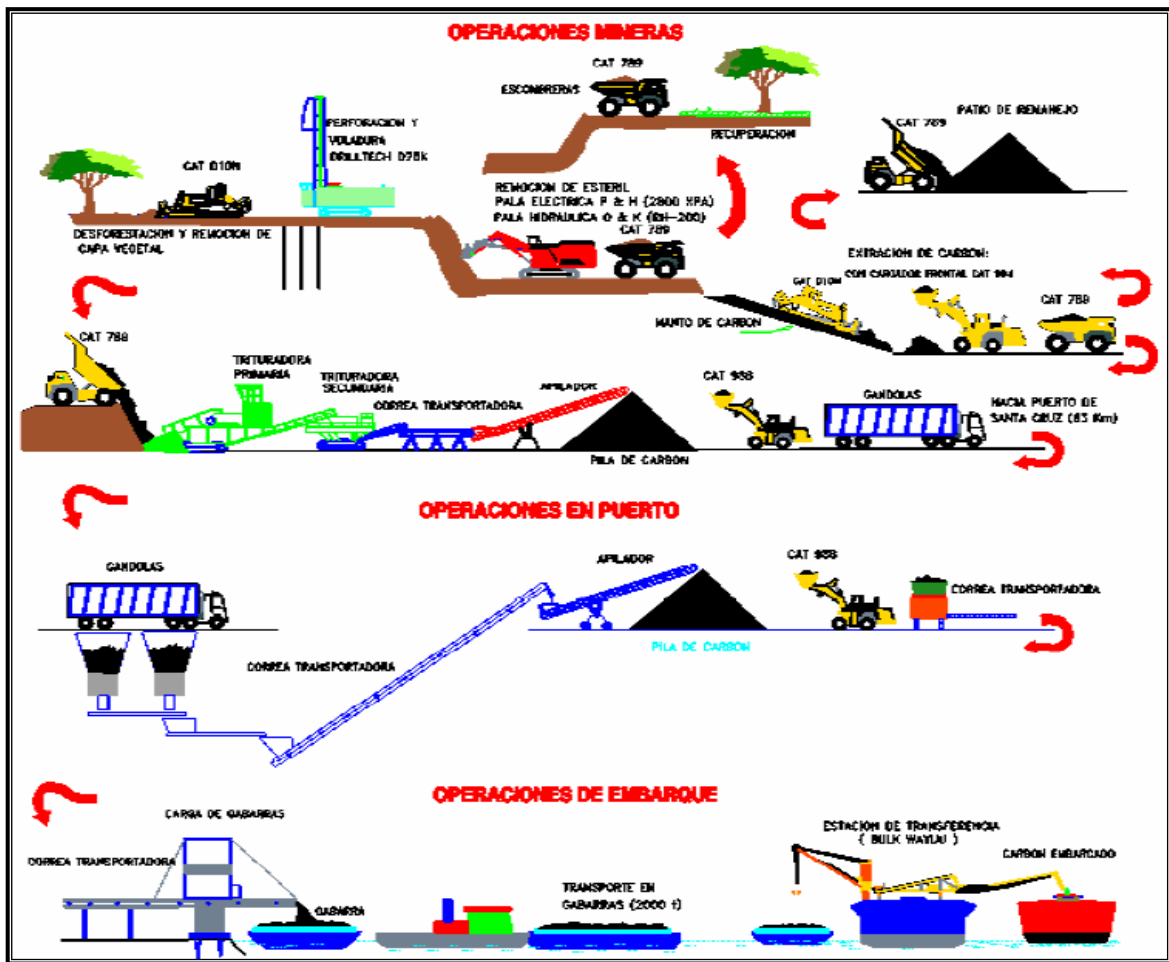


Figura 7: Proceso productivo presente en la Mina Paso Diablo Carbozulia.  
Fuente: Gerencia de Ingeniería de Mina, Carbones del Zulia S.A. (2014).

### 1.3- Antecedentes

De acuerdo al estudio que se lleva a cabo y a sus objetivos, se requiere la revisión de antecedentes relacionados al caso, como apoyo en el desarrollo del mismo. A continuación se muestran algunos de los antecedentes.

1.- Ochoa, L. (2007), Universidad Doctor Rafael Beloso Chacín, “Evaluar la factibilidad de utilización de bandas transportadoras como medio alternativo para el acarreo de escombros en la mina Carbones del Guasare S.A.”.

Con este sistema de transporte lo que se busca es reducir los costos de producción y aumentar la productividad de la empresa. Dicho sistema se basa en un conjunto de bandas transportadoras que permitan el acarreo de material de manera constante,

reduciendo el tiempo de inactividad por lluvia o por falta de operadores de los camiones y los altos costos de mantenimiento así como, otros factores que pudieran inferir en forma negativa con el acarreo del material estéril. Luego de evaluar la factibilidad del método propuesto, se refleja el ahorro de la inversión al implantar el sistema de bandas transportadoras en lugar de adquirir nuevos camiones para cubrir el incremento de la demanda, de la misma manera, se observó que el mantenimiento de la banda transportadora es más económico en comparación con los camiones.

**2.- Hernández, T. (2003), Universidad Central de Venezuela, “Análisis técnico-económico de sistemas de transporte de bauxita para la explotación de los bloques 5 al 10 del yacimiento del Cerro Páez de los Pijiguaos, estado Bolívar”.**

En su estudio nos presenta las alternativas de transporte más idóneo hacia la planta de tratamiento desde el punto de vista técnico y económico, para cubrir la distancia entre el nuevo centro de trituración en la mina; lo cual implicaría una disminución en los costos de operación, específicamente en los concernientes al acarreo de mineral. Dando como sistema más favorable para el transporte de bauxita para la explotación de los bloques 5 al 10 del yacimiento del Cerro Páez de Los Pijiguaos, es el de correas transportadoras convencionales (sobre rodillos), debido a que refleja el menor valor presente, menor inversión inicial, menor costo anual equivalente y menor costo unitario por toneladas.

**1.4- Bases Teóricas**

Para realizar el acarreo del material estéril desde los frentes de explotación hasta las distintas escombreras, tanto externas como internas, se requiere de un transporte con ciclos continuos, para garantizar el mantenimiento a largo plazo y los niveles de producción una vez se inicien las operaciones en la mina Paso Diablo Sur. Para ello se requiere el estudio sobre la implementación de una cinta transportadora para longitudes de acarreos mayores a cuatro (4) km y una flota de camiones para los recorridos cortos.



### **1.4.1.- Cintas Transportadoras**

Sanz (2011) el transporte de material mediante cintas transportadoras data del año 1795. La mayoría de estas instalaciones se realizaban sobre terrenos relativamente planos así como en cortas distancias. A partir del siglo xx, la compañía H.C. Frick, demuestra que los transportadores de cinta pueden trabajar sin ningún problema en largas distancias, mediante la creación de una instalación que se realizó desde una mina subterránea, recorriendo casi 8km.

Las BT son dispositivos para el transporte horizontal o inclinado de objetos sólidos o material a granel cuyas ventajas y desventajas se muestran a continuación:

#### **Ventajas**

- Gran velocidad.
- Grandes distancias (10km).
- Bajo consumo de energía y necesidades de mantenimiento.
- Gran capacidad de transporte.
- Bajo costo por tonelada de material manejado.
- Baja producción de ruidos.

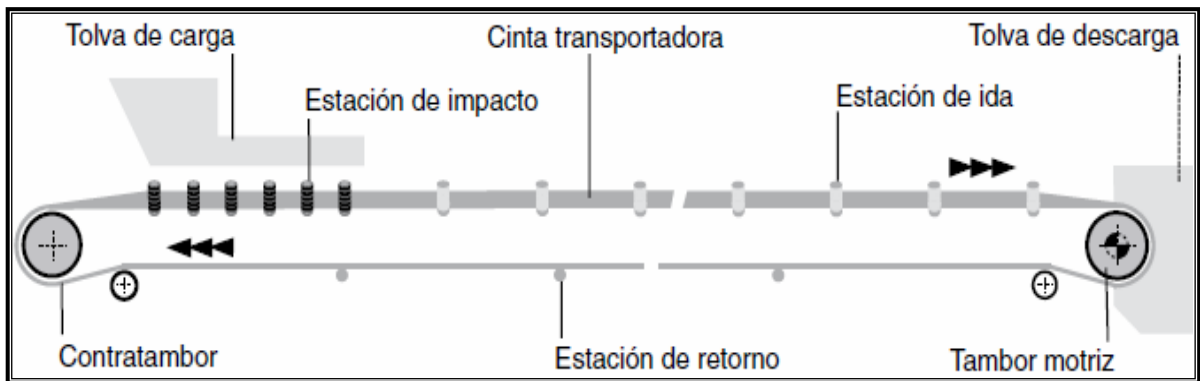
#### **Desventajas**

- Dificultad de transportar productos a elevada temperatura.
- Dificultad para el transporte en cámara cerrada.
- Limitación de transporte de productos según pendiente y características.
- Dificultad para transportar productos pulverulentos y muy fluidos.
- Cambios de dirección en el plano horizontal.
- Descarga en sentido perpendicular al eje del transportador.

#### **Ventajas ambientales y de seguridad**

Gusmeroli (2009) propone que al cubrir las cintas es posible evitar la dispersión del polvo producido durante el transporte de acarreo de estéril, contribuyendo a mantener una atmósfera limpia. En la actualidad se puede reducir por completo la emisión de polvo al exterior mediante la instalación de cintas tubulares, esto es importante si la cinta está próxima a núcleos urbanos.

La figura 8 ilustra un esquema general de una cinta transportadora en éste se puede ver los distintos elementos que la componen.



**Figura 8:** Esquema básico de una cinta transportadora.

**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág.17.

#### 1.4.2.- Partes principales de una banda transportadora (Gusmeroli, 2009)

##### A.- Banda

La función principal de la banda es soportar directamente el material a transportar y desplazarlo desde el punto de carga hasta el de descarga, razón por la cual se le puede considerar el componente principal de las BT; también en el aspecto económico es, en general, el componente de mayor precio. La banda deberá reunir los siguientes requisitos: alta resistencia mecánica, flexibilidad en direcciones longitudinal (en tambores) y transversal (en apoyo de rodillos) elevada resistencia al desgaste y a la destratificación a reiterados dobleces, poca elasticidad y alta resistencia a la humedad. Para cumplir con las exigencias anteriores, la BT debe estar formada por dos (2) componentes básicos:

1. **El tejido o carcasa** que transmite los esfuerzos.
2. **Los recubrimientos** que soportan los impactos y erosiones.

Dardo (2009) se puede llevar a cabo la siguiente clasificación de las bandas con respecto al tejido:

- **Según el tipo:** de algodón, tejidos sintéticos y cables de acero.
- **Según la disposición:** de varias telas o capas y tejido sólido.
- **Según el aspecto de la superficie portante de la carga:** lisas (aspecto más corriente), rugosas y con nervios, tacos o bordes laterales vulcanizados.

## **B. Rodillos y soportes.**

### **B.1. Generalidades de los rodillos**

Los rodillos son uno de los componentes principales de una cinta transportadora, y de su calidad depende en gran medida el buen funcionamiento de la misma. Si el giro de los mismos no es bueno, además de aumentar la fricción y por tanto el consumo de energía, también se producen desgastes de recubrimientos de la banda, con la consiguiente reducción de la vida útil de la misma.

La separación entre rodillos se establece en función de la anchura de la banda y de la densidad del material transportado. Mientras que el diámetro del rodillo se elige según sea el ancho de la cinta, su velocidad de movimiento, tipo de carga y en particular de las dimensiones de los trozos.

### **B.2. Tipos de rodillos**

Los más utilizados son:

- Rodillos de Alineación: sirven para alinear la banda dentro de la propia instalación.
- Rodillos de Impacto: recubiertos de discos de goma para absorber los golpes provocados por la caída de bloques en las tolvas de recepción.
- Rodillos de Retorno: los cuales están formados con discos de goma.
- Rodillo cilíndrico: con la superficie exterior lisa, tal como la obtenida mediante el empleo de tubos de acero.
- Rodillo cilíndrico con aros de goma: son adecuados para soportar los fuertes impactos del material en las zonas de carga, mientras que si se montan en los rodillos de retorno deben ser adecuados para facilitar la limpieza de la banda.

## **C. Tambores**

### **C.1. Definición**

Los tambores están constituidos por un eje de acero, siendo el material del envolvente acero suave y los discos, ya sea de acero suave o acero moldeado.

La determinación de los diámetros del tambor depende del tipo de banda empleado, el espesor de las bandas o el diámetro del cable de acero, según sea el caso; a su vez estos espesores o diámetros dependen de la tensión máxima en la banda.

## **C.2. Tipos de tambores y funciones que realizan**

**a.** Desde el punto de vista de las funciones a desempeñar, haremos dos (2) grandes grupos:

- Tambores motrices, que transmiten la fuerza tangencial a la banda.
- Tambores no motrices, los cuales realizan la función de cambio de trayectoria de la banda y las cuales pueden dividirse en tambores de reenvío, tensor, y tambor de presión.

**b.** Dependiendo de la magnitud de la tensión.

- Tambores Tipo A: motrices de alta tensión de la banda, con ángulo de contacto mayor de  $30^\circ$  (tambores motrices).
- Tambores Tipo B: zona de baja tensión con ángulo de contacto mayor de  $30^\circ$  (tambores de cola).
- Tambores Tipo C: con ángulo de contacto menor de  $30^\circ$  (tambores de desvío).

## **D. Tensores de banda**

### **D.1. Funciones principales**

Los dispositivos de tensado cumplen las siguientes funciones:

- Lograr el adecuado contacto entre la banda y el tambor motriz.
- Evitar derrames de material en las proximidades de los puntos de carga, motivados por falta de tensión en la banda.
- Compensar las variaciones de longitud producidas en la banda, estas variaciones son debidas a cambios de tensión en la banda.
- Mantener la tensión adecuada en el ramal de retorno durante el arranque.

## **E. Bastidores**

Los bastidores son estructuras metálicas que constituyen el soporte de la banda transportadora y demás elementos de la instalación entre el punto de alimentación y el de descarga del material. Estos son el componente más sencillo de las cintas; su función es soportar las cargas del material, banda, rodillos y las posibles cubiertas de protección contra el viento.

## **F. Tolvas de carga y descarga**

El área de carga proporciona apoyo extra a la correa a medida que el caudal de material es recibido por ésta. Ayuda a restringir el movimiento transversal del material, manteniéndolo en la cinta, hasta que se haya asentado y estabilizado. Mientras que el área de descarga contiene el aguilón de descarga y los caballetes especiales, siendo éstos similares a los caballetes standard. La correa continúa apoyada por pares de discos aisladores antes de pasar por un tambor que descarga la carga útil.

## **G. Dispositivos de limpieza**

### Motriz.

- Rascador pendular de contrapeso, con tiras de goma, rascador "principal" con láminas de rascado independientes y tensión por brazo de torsión.

### Tambores.

- Rascador en V: están previstos para extraer material adherido a la banda. Van situados delante del tambor de cola, evitando que pueda llegar algún objeto depositado sobre la banda hasta el tambor de retorno y dañar éste.

## **H. Acoplamientos**

Entre el motor eléctrico y el reductor se dispone de un acoplamiento que sirve para amortiguar las vibraciones y sobrecargas, así como asegurar un arranque progresivo. Existen acoplamientos de alta y baja velocidad.

## **I. Frenos y mecanismos antirretorno**

Los frenos más utilizados son de disco, situados en el eje del reductor. En algunos casos generalmente en cintas descendentes, se montan en el eje del tambor.

En las cintas de pendiente, además del freno se dispone de un sistema de antirretorno su función consiste en retener la carga en las cintas inclinadas ascendentes, estos sistemas antirretorno actúa como un elemento de seguridad.

### **1.4.3.- Parámetros de diseño de banda transportadora**

Ucar y Borges (1970) explican que la selección correcta de una BT es aquella que resulta en los costos más bajos por toneladas de material transportado. Un cálculo de esta naturaleza comprenderá la selección del tamaño y tipo de correa basándose en la capacidad horaria del transporte, tipo y características del material a acarrear, potencia necesaria, tensiones, selección de la estructura y los elementos auxiliares de acuerdo con las especificaciones de los modelos de fabricación normalizada, la consideración del perfil que tendrá la correa, características de alimentación y descarga del material, entre otros.

Por otra parte los fabricantes *Rulmeca* (s/f) indican que los factores principales que influyen en el dimensionado de una cinta transportadora son: la capacidad de transporte requerida, la granulometría, ancho de la cinta, las características fisicoquímicas del material a transportar y el perfil altimétrico del recorrido.

A continuación se ilustran los criterios utilizados para determinar los parámetros utilizados para el diseño de la BT.

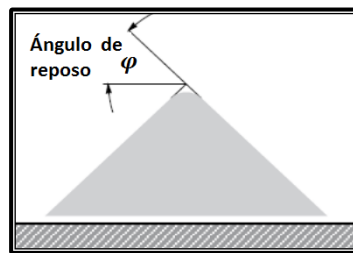
#### **1. Material a transportar**

El material que va a ser transportado es el parámetro más importante en el diseño y la selección de componentes para una banda, de hecho, es la razón de ser de la misma. Las características principales que deben considerar para el cálculo y diseño son las siguientes:

Hernández (2003) expone que el ángulo de reposo del material, ángulo de sobrecarga, tamaño, peso específico, ángulo máximo de inclinación, temperatura del material a transportar, abrasividad, entre otros. Estos parámetros determinan la calidad que se requiere en las BT, así como el espesor de las cubiertas y el cuerpo mínimo de la banda indispensable para resistir el impacto de la carga.

### 1.1- Ángulo de reposo ( $\varphi$ )

*Rulmeca* (s/f) define el ángulo de reposo de un material como el ángulo que la superficie de un amontonamiento forma libremente, respecto al plano horizontal.



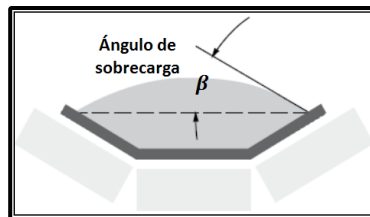
**Figura 9:** Ángulo de reposo.

**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág.18.

### 1.2- Ángulo de sobrecarga ( $\beta$ )

*Rulmeca* (s/f) define el ángulo de sobrecarga es aquel que forma la superficie del material respecto al plano horizontal sobre la banda en movimiento.

Este ángulo normalmente es de  $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$  (para algunos materiales puede llegar hasta  $20^{\circ}$ ) inferior al ángulo de reposo.








**Figura 10:** Ángulo de sobrecarga.

**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág. 18.

La Tabla 1 muestra los ángulos de sobrecarga, de reposo y fluidez, de acuerdo a las características del material a transportar.

**Tabla 1: Ángulos de sobrecarga, de reposo y fluidez del material.**

Fluidez				
Muy elevada	Elevada	Media		Baja
Ángulos de sobrecarga				
5°	10°	20°	25°	30°
				
Ángulos de reposo				
0-19	20-29	30-34	35-39	40 y más
Características del material				
Dimensión uniforme, partículas redondas muy pequeñas, muy húmedas, o muy secas como arena silíceaseca, cemento y hormigón húmedo, entre otros.	Partículas redondas, secas y lisas, con peso medio como, por ejemplo, semillas de cereales trigo y judías.	Material irregular, granular en tamaño de peso medio, como, por ejemplo, carbón de antracita, harina de semilla de algodón, arcilla, entre otros.	Materiales típicos comunes, como, por ejemplo, carbón bituminoso, grava, la mayor parte de los minerales, entre otros.	Material irregular, bituminoso, fibroso y que tiende a entrelazarse (virutas de madera, bagazos exprimidos), arena de fundición, entre otros.

**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), Pág. 19.

Hinojosa (2002) define los siguientes parámetros considerados para el cálculo y diseño de la banda de la siguiente manera:

### 1.3- Peso específico ( $\gamma$ )

Puede ser expresado en toneladas por metro cúbico en el Sistema Internacional o en libras por pie cúbico en el Sistema Inglés. En muchos materiales el peso unitario es sujeto de variaciones debido al tamaño del material, a su grado de humedad, en el caso de los minerales a su formación natural, entre otras. Sin embargo, donde sea posible el peso específico, para el tamaño y el tipo de material involucrado, debería ser exactamente determinado.

### 1.4- Ángulo máximo de inclinación ( $\lambda$ )

Es el ángulo bajo en el cual el material puede ser transportado sobre la banda sin necesidad de bandas especiales como por ejemplo cintas con nervios para evitar el deslizamiento del material en la cinta. Este ángulo máximo de inclinación está



determinado por la fricción entre el material y la banda, a diferencia del ángulo de talud que depende de la fricción interna del material.

### **1.5- Máximo tamaño de grano a transportar:**

Es la dimensión del bloque más grande del material que se transporta obtenido por pruebas de granulometría efectuadas en el laboratorio. Este valor es importante en la selección del ancho apropiado de banda, del tipo de rodillos para la zona de impacto de carga, de la forma y dimensiones de la guía de carga; también es importante conocer el porcentaje relativo del volumen conformado por finos y gruesos.

### **1.6- Características de flujo**

Es decir si el material es de flujo bajo, medio, elevado o muy elevado.

### **1.7- Abrasividad del material**

Esta característica es muy importante en la selección de la cinta, en el espesor y el número de capas de la cubierta de la misma; los materiales pueden ser moderadamente abrasivos (carbón vegetal, granos, cal y virutas de madera), abrasivos (sal, bórax y cemento), muy abrasivo (bauxita mineral, fosfato en piedra, arena aguda, cobre mineral, piedra caliza, escoria, coque y dolomita) o extremadamente abrasivo (granito y minerales de cuarzo).

### **1.8- Temperatura del material transportado (T)**

Determina el tipo y calidad de la cinta transportadora, así como también influye en la vida de los rodillos.

## **2. Capacidad requerida**

La capacidad deberá ser expresada en toneladas por hora (de 2.200lb. o 1.000kg.), es el valor máximo de capacidad requerida por el proceso (no el valor promedio). Esta capacidad requerida se emplea en los cálculos de las tensiones en la banda y la potencia requerida para accionar la BT. La capacidad máxima calculada dependerá del ancho de la cinta que se seleccione, la velocidad de la banda, el ángulo de inclinación de los rodillos transportadores y la densidad del material que se transporta. Esta capacidad

máxima calculada deberá ser mayor que la capacidad requerida para que la banda opere sin problemas.

### 3. Trayectoria de la banda transportadora

Para el cálculo y diseño del transportador de banda es necesario definir la trayectoria de recorrido de la BT desde el lugar de alimentación del material hasta el punto de descarga del mismo, el cual en la mayoría de los casos corresponde al cabezal motriz o de accionamiento. La trayectoria puede definirse de la siguiente manera:

#### 3.1- Proyección horizontal de la longitud total de la banda (L).

Es la distancia en metros medida a lo largo del transportador entre centros de las poleas terminales pero en su proyección horizontal. Se define con la Ecuación 1:

$$L = \sum L_h + \sum L_p$$

**Ecuación 1:** Longitud total de la banda.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Es decir el sumatorio de todos los tramos horizontales más todos los tramos inclinados.

#### A) Longitud de los tramos horizontales ( $L_h$ )

Es la distancia en metros de todos los tramos horizontales que componen el perfil de la banda.

#### B) Proyección horizontal de los tramos inclinados ( $L_p$ )

Es la longitud de la proyección horizontal de todos los tramos inclinados que componen el perfil.

#### 3.2- Altura (H)

Es la diferencia de altura, en metros, entre los puntos de carga del material sobre la banda y el de descarga, la cual es requerida para calcular la tensión necesaria para bajar o levantar dicha carga. Esta diferencia es aproximadamente la distancia vertical entre centros de poleas terminales, la cual se usa cuando se desconoce la elevación exacta entre los puntos de carga y descarga. Si el recorrido es descendente este valor tendrá signo negativo.

### 3.3- Longitud de los tramos inclinados ( $L_i$ )

Es la distancia en metros de todos los tramos inclinados de la banda medida a lo largo de la trayectoria de la cinta se calcula mediante la Ecuación 2:

$$L_i = \sqrt{H^2 + L_p^2}$$

**Ecuación 2:** Longitud de los tramos inclinados.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

### 3.4- Ángulo de inclinación de la banda ( $\theta$ )

El mismo que está determinado por el tipo de material a transportar y por el ángulo máximo de inclinación del material sin que ocurra deslizamiento del mismo en la banda. Ecuación 3:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L_p}\right)$$

**Ecuación 3:** Ángulo de inclinación de la banda.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

### 3.5- Longitud total de la trayectoria de la banda ( $L_t$ )

Es la longitud total de la banda transportadora desde el punto de alimentación hasta el punto de descarga medida a lo largo de la trayectoria de la misma. Se puede calcular con la Ecuación 4:

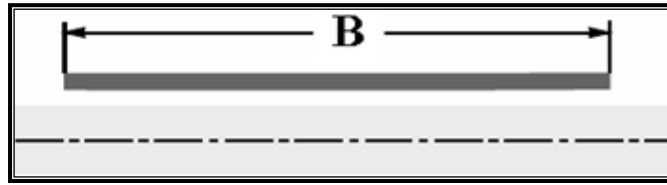
$$L_t = \sum L_h + \sum L_i$$

**Ecuación 4:** Longitud total de la banda con tramos inclinados.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

## 4. Ancho de la banda

Ucar y Borges (1970) explican que el ancho de la BT es indispensable para determinar la capacidad del transportador así como el peso de las partes móviles, que son los factores básicos para calcular la potencia (HP) y la tensión. Figura 11.



**Figura 11:** Ancho de banda.

**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág. 24.

Por otra parte Hinojosa (2002) indica que conocido el tonelaje horario a transportar y las características del material, el primer paso a llevar a cabo es determinar el ancho de la banda. En la selección tiene una gran importancia el tamaño de los mayores trozos; un material de granulometría reducida requerirá una banda más estrecha que otro que esté constituida por trozos grandes. Como regla general, el ancho de la banda no debe ser menor de tres (3) veces la dimensión más grande del mayor trozo de material a transportar.

El ancho de banda requerido para un material con granulometría elevada es afectado de dos (2) maneras por el tamaño de grano. Primero, el área de la sección transversal de la carga es reducida debido a que la carga inicialmente debería mantener una consideración distancia desde el punto fijo de la cinta. Segundo, el chute y la guía de carga deben ser lo suficientemente anchos para permitir el paso de cualquier probable combinación de gruesos y finos, lo cual restringe a un mínimo el ancho de la banda, independiente de la capacidad requerida. Ocasionalmente sucede que el ancho de banda requerido para manejar el tamaño de roca es más grande que el requerido para la capacidad de transporte. Esta condición puede ser evitada únicamente por trituración o molienda de la roca grande antes de ser alimentados a la BT.

Por lo tanto, para decidir un valor *a priori* del ancho mínimo de banda se debe tomar en consideración el tipo de material y el tamaño de roca a transportar. La Tabla 2 indica los valores mínimos sugeridos de ancho de la cinta en función del tamaño de trozo máximo del material.

**Tabla 2: Anchos de banda mínimos recomendados**

Ancho de Banda		Tamaño de roca máximo			
		Tamaños uniformes		mezclado con 90% finos	
mm	Pul	Mm	Pul	mm	Pul
350	14	50	2	100	4
400	16	50	2	125	5
450	18	75	3	150	6
500	20	100	4	150	6
600	24	125	5	175	7
650	26	125	5	200	8
750	30	150	6	250	10
800	32	175	7	300	12
900	36	175	7	300	12
1.000	40	200	8	350	14
1.050	42	250	10	400	16
1.200	48	275	11	400	16
1.350	54	350	14	450	18
1.400	56	400	16	500	20
1.500	60	400	16	500	20
1.600	64	450	18	650	26
1.650	66	450	18	650	26
1.800	72	550	22	700	28
1.950	78	600	24	700	28
2.000	80	600	24	750	30
2.200	88	600	24	750	30
2.250	90	600	24	750	30
2.400	96	600	24	750	30
2.550	102	600	24	750	30
2.700	108	600	24	750	30
2.850	114	600	24	750	30
3.000	120	600	24	750	30

**Fuente:** Goodyear (1975) *Handbook of Conveyor and Elevator Belt*, pág. 5-7.  
 Roulunds(s/f) Catálogo de banda transportadora, pág. 11.

## 5. Velocidad de la banda transportadora

Hinojosa (2002) señala que el siguiente paso es la selección de la velocidad de la banda, la misma es función, por un lado, de las características físicas del material o limitaciones en la naturaleza del material transportado; estas limitaciones pueden ser la degradación de materiales friables, pérdidas de material muy liviano o pulverizado, impacto de los terrones en los rodillos de carga, entre otras; por ejemplo, un material friable no puede transportarse a gran velocidad, porque en las transferencias se disgregaría a consecuencia del impacto, disminuyendo su precio, como sucede con el

carbón. Otros factores que influyen en la selección de la velocidad apropiada son: la capacidad requerida, la tensión resultante en la banda y la potencia requerida.

Hasta donde la capacidad lo requiera, es deseable seleccionar una velocidad de banda que resulte en una banda llena al máximo posible. Esto produce un mejor patrón de desgaste de la cubierta de la cinta. Sin embargo, es necesario a veces llegar a un compromiso a este respecto en favor de la tensión de la banda. Esto se logra incrementando la velocidad de la banda, lo cual reduce la sección transversal de la carga (manteniendo la alimentación constante) y en consecuencia se reduce la tensión, permitiendo una banda más liviana. El ahorro conseguido de esta manera en cuanto a un mejor acanalamiento y costo inicial a menudo es compensado por el desgaste de la cubierta producido por una banda que no está completamente cargada.

La velocidad tiene también un efecto sobre la potencia requerida, particularmente en bandas con poca o ninguna inclinación. Con un tonelaje horario constante, la potencia requerida disminuye a medida que la velocidad decrece. Esto se debe a que la potencia para operar la banda varía directamente con la velocidad, mientras que la potencia para mover la carga esta fija. El grado en que la velocidad afecta la potencia requerida depende de la relación entre la carga útil y la carga total.

Mientras más grande sea el porcentaje de carga útil, menor será el efecto que tendrá la velocidad en la potencia requerida. En el caso de una banda horizontal con un peso de la carga sobre la banda igual al peso de todas las otras partes móviles, un 10% de cambio en la velocidad tendría un 5% de efecto en la potencia. En bandas inclinadas, el efecto sería menor. Tomando en consideración la densidad del material, el tamaño de la roca, altura de la caída y ancho de la banda, la Tabla 3 muestra los valores recomendados de máxima velocidad de banda.

**Tabla 3: Velocidad de banda máxima recomendada (m/s)**

Ancho de Banda		Material		
		ligero (<0,8 ton/m <sup>3</sup> )	mediano (0,8-1,6 ton/m <sup>3</sup> )	pesado (>1,6 ton/m <sup>3</sup> )
mm	Pul	grano fino	Abrasivo	muy abrasivo
350	14	2,00	1,50	1,50
400	16	2,50	1,60	1,25
450	18	2,50	2,00	1,60
500	20	3,15	2,00	1,60
600	24	3,15	2,50	1,80
650	26	3,15	2,50	1,80
750	30	3,55	2,50	1,80
800	32	3,55	2,50	1,80
900	36	4,00	3,15	2,24
1.000	40	4,00	3,15	2,24
1.050	42	4,00	3,15	2,24
1.200	48	4,00	3,15	2,24
1.350	54	4,00	3,15	2,24
1.400	56	4,00	3,15	2,24
1.500	60	4,00	3,15	2,50
1.600	64	4,00	3,55	2,50
1.650	66	4,00	3,55	2,50
1.800	72	4,50	3,55	2,50
2.000	80	4,50	3,55	2,50
2.200	88	4,50	3,55	2,50
2.400	94	4,50	3,55	2,50
2.600	102	4,50	3,55	2,50
2.800	110	4,50	3,55	2,50

**Fuente:** Goodyear (1975) *Handbook of Conveyor and Elevator Belt*, pág. 5-8.  
 Roulunds(s/f) Catálogo de banda transportadora, pág. 11.

Por otra parte Hernández (2003) explica que establecido el ancho de la banda y la capacidad requerida se procede a calcular la velocidad de esta a través de la Ecuación 5:

$$V = \frac{T}{3.600 * A * \gamma}$$

**Ecuación 5:** Velocidad de la banda transportadora.  
**Fuente:** Hernández (2002).

Donde:

V: velocidad de la correa en m/seg.

T: producción requerida en t/h.

A: área de la sección transversal de material.

$\gamma$ : densidad del mineral.

## 6. Capacidad máxima de transporte

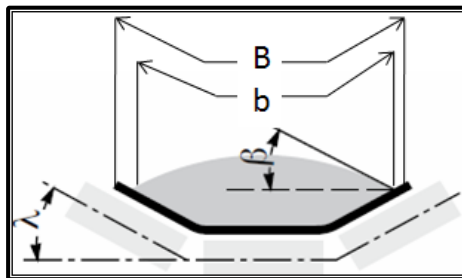
Hinojosa (2002) explica que la capacidad volumétrica de una BT está determinada por el área de la sección transversal de la carga, que puede ser colocada encima de la cinta sin ocasionar derrame del material excesivo en los puntos de carga o subsecuentemente debido a pequeñas ondulaciones de la banda en su paso sobre los rodillos. Esta área de la sección transversal es afectada por la granulometría del material, su contenido de humedad, la forma de las partículas, todo lo cual influye en la pendiente a la cual el material reposa sobre la banda, o sea el ángulo de sobrecarga.

Debido a que resulta usualmente impráctico evaluar cada uno de estos factores específicamente para predecir sus efectos sobre el área de la sección transversal de la carga, las ecuaciones que se detallan a continuación son lo suficientemente conservativas para aceptar cualquier combinación de las condiciones arriba mencionadas.

En el cálculo de la capacidad real de la banda deben manejarse los siguientes aspectos a utilizar:

El área de la sección transversal de la carga sobre la banda viene determinada por las siguientes ecuaciones, de acuerdo a la forma de los rodillos portantes:

### 6.1- Rodillos en terna Ecuación 6, Figura 12:



**Figura 12:** Rodillo en terna.

**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág.29.

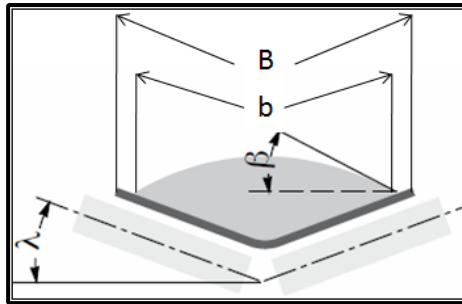


$$b = (0,90 * B) - 0,05$$

$$A = \frac{1}{4} * b^2 [\tan\varphi + 0,75\tan\lambda]$$

**Ecuación 6:** Área de la sección transversal con rodillos en terna.  
**Fuente:** Hinojosa (2002).

### 6.2- Rodillos en bina Ecuación 7, Figura 13:



**Figura 13:** Rodillos en bina.

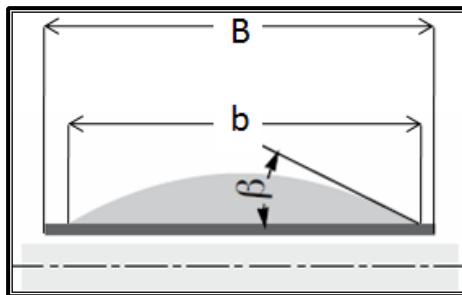
**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág. 27.

$$b = 0,90 * B - 0,05$$

$$A = \frac{1}{4} * b^2 [\tan\varphi + 0,88\tan\lambda]$$

**Ecuación 7:** Área de la sección transversal con rodillos en bina.  
**Fuente:** Hinojosa (2002).

### 6.3- Rodillo plano Ecuación 8, Figura 14:



**Figura 14:** Rodillo plano.

**Fuente:** Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág. 26.

$$b = 0,90 * B - 0,05$$

$$A = \frac{1}{4} * b^2 [\tan\varphi]$$

**Ecuación 8:** Área de la sección transversal con rodillos planos.  
**Fuente:** Hinojosa (2002).

Capacidad volumétrica de la carga de la BT, conocida el área de la sección transversal del material y la velocidad de transporte, puede ser calculada mediante la ecuación 9:

$$Q_v = 3.600 * A * V$$

**Ecuación 9:** Capacidad volumétrica  
**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$Q_v$ = capacidad volumétrica de la banda ( $m^3/h$ ).

$A$ = área de la sección transversal del material ( $m^2$ ).

$V$ = velocidad de la banda ( $m/s$ ).

La capacidad de transporte en toneladas por hora, se obtiene multiplicando la capacidad volumétrica por el peso específico del material transportado. Ecuación 10:

$$Q_t = \gamma * Q_v$$

**Ecuación 10:** Capacidad de transporte en t/h.  
**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

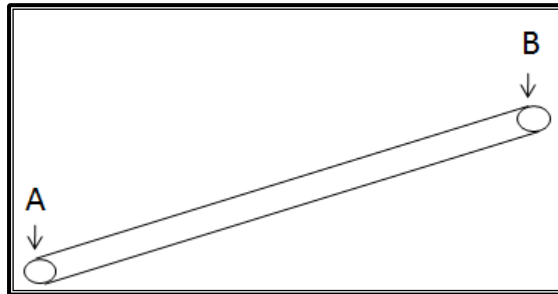
$Q_t$ = capacidad de la banda en toneladas por hora.

$Q_v$ = capacidad de la banda en  $m^3$  por hora.

$\gamma$  = peso específico del material ( $ton/m^3$ ).

## 7. Fuerzas en la banda

Hinojosa (2002) explica que una banda transportadora es simplemente un medio para trasladar el material desde un punto inicial A hasta un punto B. Figura 15.



**Figura 15:** Banda transportadora.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Para ejecutar este trabajo la banda requiere una potencia que es suministrada por un motor que acciona a un tambor conductor o motriz. El torque del motor se transmite en la forma de una fuerza tangencial en la superficie del tambor motriz. Este es el empuje o fuerza requerida por la banda para mover el material desde el punto A al punto B y está compuesta de la suma de las siguientes fuerzas componentes:

- a) Fuerza necesaria para mover la banda vacía y los componentes que giran por ella.
- b) Fuerza necesaria para desplazar la carga horizontalmente.
- c) Fuerza necesaria para elevar o bajar la carga.

La contribución relativa de cada uno de estos componentes en la fuerza total varía ampliamente dependiendo de la inclinación del transportador y de la carga sobre la banda de la siguiente manera:

1. En una banda vacía (horizontal o inclinada) se tiene una carga compuesta únicamente por la fuerza del ítem a.
2. En una banda cargada horizontal se tendrá una carga compuesta por las fuerzas de los ítem a + b.
3. En una banda cargada inclinada se tendrá una carga compuesta por las fuerzas de los ítem a + b + c. Esta última, la fuerza para elevar o bajar la carga, tendrá signo positivo cuando la carga este siendo elevada y tendrá signo negativo cuando la carga este descendiendo.

Estas son las fuerzas producidas únicamente para desplazar el material desde el punto de alimentación al de descarga; para calcular las tensiones en la banda y la potencia que se requerirá se deben considerar las pérdidas mecánicas por fricción del sistema completo de accionamiento, las cuales involucran el arrastre debido a las guías de carga, rascadores y cualquier tipo de desalineamiento de los tambores o rodillos, estas pérdidas las detallaremos más adelante.

### 7.1- Factores por fricción y por longitud en el cálculo de las fuerzas en la banda.

Hinojosa (2002) manifiesta que estas fuerzas componentes mencionadas anteriormente se deben básicamente a la fricción generada por el peso de la banda, peso de las partes móviles de los rodillos y tambores, arrastre debido a las guías de carga, rascadores fijos, rascadores pendulares y por desalineamiento.

Adicionalmente, el peso del material sobre la banda y la fricción interna que el material genera a medida que pasa una y otra vez sobre los rodillos incrementan la fricción en el sistema. El cálculo de estas fuerzas de fricción depende de la asunción de un factor llamado coeficiente de fricción de las partes móviles (f), el cual varía en función del tipo de rodillo empleado, la estructura del transportador y el mantenimiento del sistema. El valor estándar de este coeficiente es de 0,020 pero puede incrementarse según las siguientes condiciones:

- Debido a una alta fricción interna del material.
- Por el uso de rodillo portantes menores a 108 mm.
- Cuando la velocidad de la banda es mayor a 5 m/s.
- Cuando la temperatura de operación es menor a 20°C.
- A bajas tensiones de banda.
- En bandas flexibles y con grandes espesores de cubierta.

La Tabla 4 representa los valores recomendados de coeficiente de fricción de las partes móviles en función del tipo de transportador, condiciones de operación, mantenimiento y estanqueidad.

**Tabla 4: Coeficiente de fricción (f) de las partes giratorias.**

Condición	Coeficiente (f)
Buenos transportadores con rodillos de marcha Suave y pequeña fricción interna en el material.	0,017
Valores standard para bandas transportadoras con ambiente normal de trabajo.	0,020
Para condiciones de marcha desfavorables operación polvosa, sobrecargas periódicas.	0,023-0,030
Transportadores descendentes que requieren frenado por medio de motor.	0,012

**Fuente:** Roulunds(s/f) Catálogo de banda transportadora, pág. 13.

Por otro lado, muchos de los componentes de las fuerzas de fricción en las bandas como la fricción en los cojinetes de los tambores, fricción de los rascadores, inercia de los tambores, entre otros. Se agrupan en lo que se denominan resistencias secundarias; es por esto que según la norma DIN 22.101, se debe emplear un coeficiente (C) variable con la longitud de la cinta (proyección horizontal si la banda es inclinada); para cintas de poca longitud dicho coeficiente es grande, porque la proporción de las resistencias secundarias en el total es grande, y por el contrario, tiende a la unidad para cintas largas (arriba de los 2.000m). La ecuación 11 relaciona el coeficiente (C) con la longitud de la cinta:

$$C = 15,90 * L^{-0,61} + 0,77$$

**Ecuación 11:** Coeficiente C.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

## 7.2- Calculo del peso de las partes móviles de la banda

Llamaremos G al peso de las partes móviles del sistema completo de transportador de banda el cual comprende el peso de la cinta y el peso de los rodillos transportadores y de retorno. Se expresa en kilogramos por metros de longitud entre centros de tambores de la banda. (Hinojosa, 2002).

Este valor puede ser calculado por la Ecuación 12:

$$G = 2 G_b + \frac{G_{ro}}{S_1} + \frac{G_{ru}}{S_2}$$

**Ecuación 12:** Peso de las partes móviles

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

G = peso de las partes móviles (Kg/m).

G<sub>b</sub>= peso de la banda (Kg/m).

G<sub>ro</sub>= peso de los rodillos superiores (Kg).

S<sub>1</sub>= espaciamento entre rodillos superiores (m).

G<sub>ru</sub>= peso de los rodillos inferiores (Kg).

S<sub>2</sub>= espaciamento entre rodillos inferiores (m).

Existen tablas proporcionadas por los fabricantes que muestran los valores promedio de G en función del ancho de la banda y del peso específico del material a ser transportado. Para un diseño preliminar se pueden usar estos valores para el cálculo

posterior de las tensiones en la banda, sin embargo, se recomienda calcular exactamente este valor en función de la banda y del tipo de rodillos superiores y de retorno una vez seleccionados y recalcular las fuerzas en la banda.

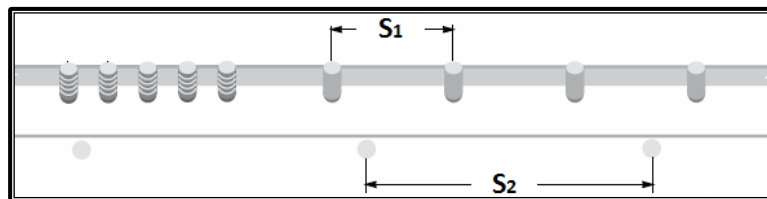
La Tabla 5 muestra los valores recomendados de espaciamientos entre rodillos superiores e inferiores en función del ancho de banda y la capacidad transportada, mientras que la Figura 16 da un ejemplo de los espaciamientos.

**Tabla 5: Valores recomendados de espaciamiento entre rodillos superiores e inferiores.**

Ancho de banda (mm)	Espaciamiento rodillos superiores S1 (m)						Espaciamiento rodillos S2 Inferior (m)
	Peso específico del material (kg/m <sup>3</sup> )						
	500	800	1.200	1.600	2.400	3.200	
450	1,70	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	3,00
600	1,50	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	3,00
750	1,50	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	3,00
900	1,50	1,40	1,20	1,20	1,00	1,00	3,00
1.050	1,40	1,40	1,20	1,00	0,90	0,90	3,00
1.200	1,40	1,40	1,20	1,00	0,90	0,90	3,00
1.350	1,40	1,20	1,00	1,00	0,90	0,90	3,00
1.500	1,20	1,20	1,00	1,00	0,90	0,90	3,00
1.650	1,20	1,00	1,00	0,90	0,75	0,75	2,40
1.800	1,20	1,00	1,00	0,90	0,75	0,75	2,40
2.100	1,00	1,00	0,90	0,75	0,75	0,60	2,40
2.400	1,00	1,00	0,90	0,75	0,60	0,60	2,40

Fuente: CEMA (s/f) Handbook 2<sup>o</sup> Edición, pág. 68.

### 7.3- Espaciamiento en los rodillos superiores e inferiores



**Figura 16:** Espaciamiento entre los rodillos superiores (S1) e inferiores (S2).

Fuente: Catálogo sobre criterios de diseño de las cintas transportadoras *Rulmeca* (s/f), pág. 34

La Tabla 6 muestra los valores promedios de los pesos de los rodillos superiores y de retorno en función del ancho de la banda y del peso específico del material.

**Tabla 6: Valores promedios del peso de los rodillos superiores y de retorno**

Ancho Banda (mm)	Servicio liviano peso específico < 1,5 ton/m <sup>3</sup>		Servicio pesado peso específico > 1,5 ton/m <sup>3</sup>	
	Gro (kg)	Gru (kg)	Gro (kg)	Gru (kg)
300	2,50	2,50	3,50	3,50
400	3,00	3,00	4,00	4,00
500	3,50	3,50	5,50	5,50
650	5,50	5,50	10,00	10,00
800	11,00	11,00	14,00	14,00
1.000	13,00	13,00	18,00	18,00
1.200	15,00	15,00	20,00	20,00
1.400	55,00	55,00	31,00	31,00
1.600	25,00	25,00	35,00	35,00
1.800	39,00	39,00	47,00	47,00
2.000	43,00	43,00	52,00	52,00
2.200	47,00	47,00	56,00	56,00

Fuente: *Rulmeca (s/f)*, Catálogo de banda transportadora, pág. 12.

Finalmente la Tabla 7 muestra los valores promedio del peso de la cinta en función del ancho de la banda y de la capacidad de transporte.

**Tabla 7: Valores promedios del peso de la banda transportadora**

Ancho Banda (mm)	Servicio liviano peso específico < 0,8 ton/m <sup>3</sup>	Servicio mediano peso específico 0,8 a 1,6 ton/m <sup>3</sup>	Servicio pesado peso específico > 1,6 ton/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la cinta transportadora Gb (kg/m)</b>			
350	1,50	3,00	4,50
400	3,00	4,50	6,00
450	4,50	6,00	7,50
500	6,00	7,50	9,00
600	7,50	9,00	10,50
750	9,00	10,50	12,00
900	10,50	13,50	16,50
1.050	13,50	16,50	21,00
1.200	18,00	22,50	27,00
1.350	21,00	27,00	33,00
1.500	25,50	31,50	40,50
1.650	30,00	36,00	48,00
1.800	33,00	42,00	54,00

Fuente: *Goodyear (1975) Handbook of Conveyor and Elevator Belt* pág. 6.2.

#### 7.4- Fuerzas para mover la banda en vacío y sus componentes

La fuerza necesaria para mover la cinta y los componentes móviles que giran por ella, sin material o carga, puede ser calculada mediante la Ecuación 13:

$$F_1 = [C * f * L * G] * g$$

**Ecuación 13:** Fuerza necesaria para mover la cinta y los componentes.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

F<sub>1</sub>= fuerza para mover la banda en vacío (N).

C= factor de fricción por longitud de banda.

f= factor de fricción de las partes móviles.

L= longitud total de la banda (proyección horizontal) (m).

G= peso de las partes móviles (Kg/m).

g= aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

#### 7.5- Fuerza para desplazar el material horizontalmente

Esta es la fuerza necesaria para vencer la inercia del material y desplazarlo en dirección horizontal desde el punto de alimentación hasta el de descarga, se puede calcular con la Ecuación 14:

$$F_2 = \left[ \frac{C * f * L * Q_t}{3,60 * v} \right] * g$$

**Ecuación 14:** Fuerza necesaria para vencer la inercia.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

F<sub>2</sub>= fuerza para desplazar el material horizontalmente (N).

Q<sub>t</sub>= capacidad máxima de transporte (ton/h).

v= velocidad de la banda (m/s).

g= aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

#### 7.6- Fuerza para elevar o bajar el material

Es la fuerza correspondiente a la elevación o descenso de la carga, se determina mediante la Ecuación 15:

$$F_3 = \left[ \frac{H * Q_t}{3,60 * v} \right] * g$$

**Ecuación 15:** Fuerza para la elevación o descenso de la carga.

**Fuente:** Hinojosa (2002).



Donde:

$F_3$ = fuerza para desplazar verticalmente el material (N).

H= elevación neta de la carga (m).

g= aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

Esta componente de la tensión en la banda puede tener signo negativo si la banda es descendente, o sea, cuando en la banda transporta el material va hacia abajo; si la banda es ascendente, la tensión tendrá signo positivo.

## 8. Potencias en la banda

Hinojosa (2002) explica que la potencia requerida para accionar la banda transportadora está compuesta por la potencia necesaria para desplazar el material, más las potencias adicionales debido a la fricción de las guías de carga y por el uso de carro descargadores o *trippers*. Las ecuaciones que a continuación se describen, sirven para determinar el valor de estas potencias adicionales. Son ecuaciones empíricas que los fabricantes de bandas proporcionan en sus catálogos como un medio para estimar estas pérdidas mecánicas, se han obtenido en base a pruebas y ensayos experimentales producto de la larga experiencia en el campo industrial de la aplicación de las BT.

### 8.1- Potencia adicional por guía de carga

En instalaciones grandes, la longitud de la guía de carga y la fricción entre el caucho y la banda, generan resistencias adicionales que deben ser consideradas y deben sumarse a la potencia nominal. Esta resistencia adicional puede determinarse por la Ecuación 16:

$$P_s = 0,08 * v * l$$

**Ecuación 16:** Potencia adicional por guía de carga.

**Fuente:** Roulunds (s/f) Catálogo de banda transportadora.

Donde:

$P_s$ = potencia adicional por guía de carga (kw).

v= velocidad de la banda (m/s).

l= longitud total de guía de carga (m).

## 8.2- Potencia teórica

La potencia teórica es la suma de la potencia para desplazar el material, más las potencias adicionales debido a las guías de carga y a los carros transportadores, por lo tanto se obtiene la Ecuación 17:

$$P = \frac{[F_1 + F_2 + F_3] * v}{1.000} + P_s$$

**Ecuación 17:** Potencia teórica.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

P= potencia teórica (kw).

F<sub>1</sub>= fuerza para mover la banda en vacío (N).

F<sub>2</sub>= fuerza para mover la carga horizontalmente (N).

F<sub>3</sub>= fuerza para elevar o bajar la carga (N).

V= velocidad de la banda (m/s).

P<sub>s</sub>= potencia adicional por guías de carga (kw).

Esta es la potencia que se debe aplicar al tambor motriz para que se genere una fuerza tangencial en el mismo, llamada tensión efectiva, la cual será capaz de mover la banda y desplazar el material desde el punto de alimentación al de descarga.

## 8.3- Potencia del motor

Hinojosa (2002) manifiesta que en el cálculo de las tensiones de la banda, solo se ha considerado la potencia requerida en el tambor motriz. Las pérdidas por fricción de los demás tambores han sido incluidas en el factor de fricción por longitud C.

Los métodos para conectar el motor con el tambor motriz son numerosos. La velocidad puede ser reducida a través del uso de bandas-poleas, cadenas-catalinas, engranajes, cajas reductoras, o alguna combinación de estas. Estas transmisiones generan pérdidas mecánicas que deben ser consideradas para determinar la potencia real del motor, que comprenden: pérdidas por el tipo de transmisión, eficiencia del motor y eficiencia del tipo de acople si lo hubiere.

La eficiencia del motor se puede estimar en un rango entre 85% y 95%. Las pérdidas mecánicas debido al tipo de transmisión se pueden determinar de la Tabla 8, eficiencias mecánicas de equipos reductores de velocidad.

**Tabla 8: Eficiencias mecánicas de equipos reductores de velocidad.**

Tipo de reducción	Eficiencia (%)
Poleas y bandas en V	94%
Catalina y cadena de rodillos	93%
Catalina y cadena de rodillos, lubricados en aceite.	95%
Reductor de engranes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tornillo sin-fin (ratio 20:1)	90%
Reductor de tornillo sin-fin (ratio de 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tornillo sin-fin (ratio de 60:1 a 100:1)	50%
Reductor de engranes rectos (maquinados)	90%
Reductor de engranes rectos (fundidos)	85%

Fuente: *Belt Conveyor CEMA Handbook* 2da Edición (s/f), pág 70

Por lo tanto la potencia del motor se determina con la Ecuación 18:

$$P_m = \frac{P}{\eta * \epsilon}$$

**Ecuación 18:** Potencia del motor.

Fuente: Hinojosa (2002).

Donde:

$P_m$ = potencia del motor (kw).

$P$ = potencia teórica (kw).

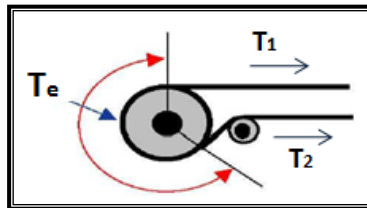
$\eta$  = eficiencia del motor.

$\epsilon$  = eficiencia mecánica de la transmisión.

## 9. Tensiones en la banda

### 9.1- Tensión efectiva

Hinojosa (2002) en cualquier accionamiento por bandas, sea este para transmisión de potencia, transporte o elevación, debe existir una diferencia de tensiones en la banda a ambos lados del tambor conductor para que se produzca el movimiento, la Figura 17 muestra las tensiones.



**Figura 17:** Tensión efectiva.

Fuente: Hinojosa (2002).

La tensión más grande es llamada tensión del lado apretado  $T_1$  y la tensión más pequeña es llamada tensión del lado flojo  $T_2$ . Sin la tensión del lado flojo para prevenir el deslizamiento, la banda no puede transmitir el movimiento. La diferencia entre la tensión del lado apretado y la tensión del lado flojo se conoce como tensión efectiva  $T_e$ , debido a que es esta tensión la que realmente ejecuta el trabajo: como hemos dicho antes ésta tensión es la suma algebraica de las fuerzas que ya hemos considerado: fuerza para elevar la carga, para desplazarla horizontalmente, para mover la banda en vacío y los componentes móviles y las pérdidas debido a guías de carga.

Conocida la potencia total que se debe aplicar al tambor motriz, la tensión efectiva puede ser determinada por la Ecuación 19:

$$T_e = \frac{1.000 * P}{v}$$

**Ecuación 19:** Tensión efectiva.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$T_e$ = tensión efectiva (N).

$P$ = potencia teórica (kw).

$v$ = velocidad de la banda (m/s).

## 9.2- Tensión en lado apretado $T_1$ .

La cantidad de tensión necesaria en el lado apretado se determina mediante la Ecuación 20, multiplicando la tensión efectiva por un factor llamado coeficiente de accionamiento ( $m$ ). Ecuación 21:

$$T_1 = T_e * m$$

**Ecuación 20:** Tensión en el lado apretado.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$T_1$ = tensión en el lado apretado (N).

$T_e$ = tensión efectiva (N).

$m$ = coeficiente de accionamiento.

Los valores de  $m$  se determinan mediante la siguiente ecuación, depende del arco de contacto entre la banda y el tambor motriz, el tipo de contrapeso y si el tambor es revestido o desnudo.

$$m = 1 + \left[ \frac{1}{e^{\mu \cdot \theta \cdot \frac{\pi}{180}} - 1} \right]$$

**Ecuación 21:** Valores de m.

**Fuente:** Hinojosa 2002.

Donde:

m= coeficiente de accionamiento.

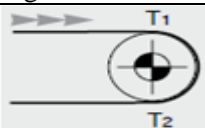
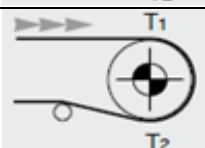

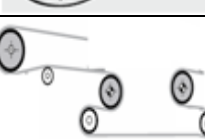
e= base de logaritmo neperiano.

$\mu$ = coeficiente de fricción entre el tambor y la banda.

$\theta$  = ángulo de contacto entre banda y tambor (°).

La Tabla 9 muestra los valores del coeficiente de fricción entre el tambor y la banda  $\mu$ , y los valores del ángulo de contacto dependiendo de la disposición del tambor motriz y el o los tambores adicionales según el arreglo.

**Tabla 9: Coeficiente de fricción tambor-banda y ángulo de contacto.**

Coeficiente $\mu$	Tambor motriz			
	Revestido		Desnudo	
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
	0,40	0,35	0,35	0,20
Arreglo cabezal motriz	Ángulo de contacto			
	120 150 180			
	210 220 230 240			
	360 380 400			
	420 440 450			

**Fuente:** Roulonds (s/f). Catálogo de banda transportadora, pág. 13.

### 9.3- Tensión en el lado flojo $T_2$ .

Hinojosa (2002) define que la tensión en el lado flojo es obtenida por un contrapeso de gravedad o por un tensor de husillo. Es preferiblemente emplear contrapesos de gravedad dado que mantienen una tensión constante automáticamente en especial en bandas largas (mayores a 50m). Para el caso de tensor manual o de husillo, los valores del factor de accionamiento  $m$  deberán ser incrementados de tal manera que se produzca un aumento del 20% en la tensión en el lado apretado  $T_1$  que cuando se emplea tensor de gravedad o automático. Esto se hace con el fin de suministrar una reserva de tensión debido a alguna diferencia real en las fricciones entre tambor y la banda.

La Ecuación 22 muestra la tensión  $T_2$ , la cual se puede obtener de dos (2) maneras:

$$T_2 = T_e * \left[ \frac{1}{e^{\mu * \theta} - 1} \right]$$

$$T_2 = T_1 - T_e$$

**Ecuación 22:** Tensión en el lado flojo.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$T_2$ = tensión en el lado flojo (N).

$T_e$ = tensión efectiva (N).

### 9.4- Tensión en el retorno de la banda $T_3$ .

La tensión  $T_3$  se conoce como tensión en el retorno y se puede determinar mediante la Ecuación 23:

$$T_3 = C * f * L \left( G_b + \frac{G_{ru}}{S_2} \right) * g + T_2$$

**Ecuación 23:** Tensión en el retorno.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$T_3$ = tensión en el retorno (N).

$C$ = factor de fricción por longitud.

$f$ = factor de fricción de las partes móviles.

$G_b$ = peso de la banda (kg/m).

$G_{ru}$ = peso de los rodillos inferiores (kg).

$S_2$ = espaciamiento de los rodillos inferiores (m).

$g$ = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

$T_2$ = tensión en el lado flojo (N).

### 9.5- Tensión del contrapeso $T_{cp}$ .

Hinojosa (2002) señala que el dispositivo de contrapeso puede ser ubicado en cualquier lugar conveniente a lo largo del ramal de retorno.

Dos (2) consideraciones principales gobiernan la ubicación del contrapeso en la mayoría de los casos. Primero está la geometría de la BT. Frecuentemente, el cabezal motriz termina en un nivel mucho más alto que el cabezal de alimentación lo que proporciona suficiente altura para ubicar un contrapeso vertical. Segundo es la distribución de las tensiones alrededor de la banda. Si un análisis de las tensiones en la banda muestra algún punto donde la tensión es baja, como en el pie de una pendiente, el contrapeso puede ser ubicado allí con un mínimo de tensión requerida.

Dependiendo de la ubicación del dispositivo tensor de contrapeso en la trayectoria de la banda transportadora el valor de la tensión del contrapeso. Ecuación 24:

$$T_{cp} = 2T_2 \text{ (si se coloca cerca del grupo motriz)}$$

$$T_{cp} = 2T_3 \text{ (si se coloca cerca de la cola)}$$

**Ecuación 24:** Tensión del contrapeso.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$T_{cp}$ = tensión del contrapeso (N).

$T_3$ = tensión en el retorno (N).

$T_2$ = tensión del lado flojo (N).

### 9.6- Tensión debido al peso de la banda en una pendiente

En todas las BT inclinadas, el peso de la banda en el trayecto inclinado provoca una tensión en la parte superior de la pendiente. Esta fuerza se obtiene con la Ecuación 25:

$$F_{banda} = G_b * H * g$$

**Ecuación 25:** Tensión de la banda en una pendiente.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$F_{banda}$ = tensión por el peso de la banda en pendiente (N).

$G_b$ = peso de la banda (kg/m).

H= altura neta de elevación o descenso del tramo inclinado (m).

g= aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

Esta tensión deberá sumarse o restarse en el cálculo de las tensiones en la banda, dependiendo de si la pendiente de la banda favorece o no al transporte del material, es decir si la banda asciende la tensión debido al peso de la misma aumenta y deberá tener signo positivo, si la banda desciende, la tensión debido al peso de la misma favorece el transporte y deberá restarse en el cómputo total.

### 9.7- Tensión mínima $T_0$

Sucede a veces que la tensión  $T_2$ , aun cuando es suficiente para lograr la adherencia de la banda al tambor motriz, es insuficiente para evitar el pandeo excesivo de la banda sobre los rodillos que pudieran provocar el derrame del material. (Hinojosa, 2002)

Para evitar esta flecha excesiva se debe procurar que ningún punto de la banda se obtenga una tensión inferior a la tensión mínima  $T_0$ , la misma que puede ser calculada con la Ecuación 26:

$$T_0 = \frac{s(G_b + M_{pm})}{8 * (q/s)} * g$$

**Ecuación 26:** Tensión mínima.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$T_0$ = tensión mínima.

s= espaciamiento de los rodillos (m).

$G_b$ = peso de la banda (Kg/m).

$M_{pm}$ = carga del material por metro de banda (kg/m).

q/s= flecha permisible (entre 0.005 y 0.02).

g= aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

La carga del producto por metro de banda puede ser calculada por la Ecuación 27:



$$M_{pm} = \frac{Q_t}{3,60 * v}$$

**Ecuación 27:** Carga del material por metro de banda.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$Q_t$ = capacidad máxima de la banda (ton/h).

$v$ = velocidad de la banda (m/s).

### **9.8- Tensión de trabajo unitaria $T_u$ .**

Hinojosa (2002) define la tensión de trabajo unitaria como la máxima tensión a la que estará sometida la cinta transportadora por mm de ancho de banda. Con este valor se procede a seleccionar el tipo de cinta transportadora en función del tipo de material y sus características como abrasividad, friabilidad, temperatura, peso específico, tamaño de material, entre otros. Según los tipos de bandas transportadoras proporcionadas por el fabricante en sus catálogos.

La tensión de trabajo unitaria se determina mediante la Ecuación 28.

$$T_u = \frac{T_1}{1.000 * B}$$

**Ecuación 28:** Tensión de trabajo unitario.

**Fuente:** Hinojosa (2002).

Donde:

$T_u$ = tensión de trabajo unitaria (N/mm).

$T_1$ = tensión en el lado apretado (N).

$B$ = ancho de la banda (m).

### **1.4.4- Otro parámetro importante es la selección de la Banda Transportadora (Hinojosa, 2002).**

La cinta es el elemento más importante del sistema pues puede representar hasta el 60% del costo total del transportador. La BT de caucho se construyen en base a dos (2) componentes fundamentales: la carcasa y la cobertura.

### ➤ **Carcasa**

La carcasa es el esqueleto o alma de la banda y es quien resiste las tensiones; puede construirse con varias capas, según la necesidad. La función de la carcasa es la de transmitir y absorber las fuerzas que actúan en la banda.

A continuación describiremos los materiales más comunes para la fabricación de la carcasa de las bandas transportadoras.

#### **a) Algodón (B)**

Entre los tejidos naturales, el algodón es aquel que ampliamente se ha venido empleándose durante muchos años, pero en la actualidad está siendo desplazado por los tejidos sintéticos.

La designación universalmente adoptada para los tejidos de algodón, es el peso en onzas de un trozo de tejido de 36 pulgadas de largo en el sentido de la urdimbre y 42 pulgadas de largo en el sentido de la trama; un trozo de estas medidas es lo que se llama un *duck*. Según la designación D-181-42 de la ASTM estos valores están normalizados en 28, 32, 36 y 48 Oz.

#### **b) Poliéster (E)**

Entre este tipo de fibras sintéticas encontramos al *terylene*, *trevira*, *diolen* y *tetoron*. Los tejidos de *poliéster* tienen la característica de que no son influenciados por la humedad o por los micro-organismos. Son muy flexibles, son estables en su longitud y son resistentes a los ácidos.

#### **c) Poliamida (P)**

Son fibras sintéticas conocidas como *nylon* y *perlon*. Ahora que las características de alta- electricidad del *nylon* pueden ser controladas, los tejidos de este material están siendo extensamente usados en bandas para transporte y elevación. Tienen una buena resistencia a la humedad además de una excelente resistencia al abuso y al impacto, haciendo de este un material muy apropiado para todo tipo de servicio.

#### **d) Algodón-nylon**

Este tipo de tejidos combinan diferentes materiales en su manufactura, las fibras de la urdimbre son hechas de algodón, que en algunos casos se refuerzan con *nylon*, mientras que las fibras de la trama son hechas de éste mismo material o de una combinación de *nylon* y algodón. Con *nylon* en la trama, la resistencia transversal es mucho más grande que en los tejidos de algodón y a menudo incrementan también la resistencia longitudinal.

#### **e) Poliéster-poliamida (EP)**

Los tejidos EP están constituidos por poliéster en la urdimbre y poliamida en la trama. Esta combinación produce las mejores características posibles en la cinta con las siguientes ventajas:

- Alta resistencia en proporción al peso.
- Alta resistencia al impacto.
- Elongación despreciable.
- Gran flexibilidad, excelente adaptación a la artesa (acanalamiento).
- No son susceptibles a la humedad y al micro-organismo.

#### **➤ Cobertura**

Explica que la cobertura protege a la carcasa de la banda de la abrasión y cualquier otra condición local que contribuya al deterioro de la BT. En pocos casos, estas condiciones pueden ser un poco moderadas de tal forma que no se requiere protección ni cobertura para la banda. En otros, la abrasión y el corte pueden ser tan severos que se requiera una cobertura superior tan gruesa como de ½” o más. En cualquier caso, el propósito de la selección de la cobertura es proveer suficiente cubierta para proteger la carcasa hasta el límite de su vida útil.

La cobertura inferior y/o superior protege la carcasa, provee adherencia con los tambores y resiste las influencias externas del material y los rodillos. También es la encargada de proveer la fricción necesaria entre la banda y el tambor motriz, así como entre la banda y el material. Como la cobertura debe resistir las influencias externas tanto del material que se transporta como del medio externo, se requieren tipos de

cubierta que resistan el desgaste, resistente al calor y/o a los aceites, o alguna combinación de dos o más de estas propiedades.

A continuación *Goodyear* (2003) describe la composición de la cobertura de banda en función de la resistencia y abrasión, de la siguiente manera:

- i. **Stacker:** Presentan excelente resistencia a los cortes y a la abrasión. Óptimo desempeño al transporte de material como: mineral de hierro, manganeso, estaño, cuarzo, entre otros. Resiste a materiales con temperatura hasta 65°C.
- ii. **Grado A:** Presenta mayor resistencia a la abrasión dentro de la composición actualmente disponible, manteniendo resistencia a cortes y arrancamiento de cobertura.
- iii. **B:** Es un componente con óptimas características de resistencia a la abrasión y flexibilidad. Recomendado para transporte de material abrasivo, tales como: Escorias, granitos británicos, piedra caliza, arenas bauxita, cal, cemento, entre otros materiales.
- iv. **C:** Es un componente de alta resistencia para transportar material abrasivo a temperatura de hasta 95°C. Excelente para utilizar en fábricas de fertilizantes, fundidos, siderúrgicas, y cementeras, entre otras.
- v. **W:** Indicado para servicios leves, donde no existe un factor de abrasión. Puede ser utilizada como cobertura corrugada para transportar material liviano.

Una buena construcción de la cinta transportadora significa determinar la combinación adecuada de carcasa y cobertura.

Para decidir la construcción apropiada de la banda se debe tener en consideración la potencia necesaria, el tipo de material, el tamaño de roca, la altura de caída del material, el peso específico, entre otras características. Más aún la carcasa debe proporcionar estabilidad a la cinta, para que sea fácil guiarla sobre el transportador. Aumentar la resistencia de la carcasa es normalmente seguido por un incremento en el grosor y la

calidad de la cobertura para asegurar un balance entre la vida útil de la carcasa y la cobertura.

#### 1.4.5- Determinación de los espesores de la cubierta

Como se explicó anteriormente, la cubierta de la cinta transportadora es la encargada de soportar el desgaste producido debido al tipo de material, el tamaño, altura de la caída en la alimentación, abrasividad y velocidad. Las Tablas 10 y 11 muestran las recomendaciones de espesores para cubiertas.

**Tabla 10: Valores recomendados de espesores de cobertura superior**

Granulometría (mm)	Tipo de cobertura	Ciclo de correa 2 L/S (min.)	Espesores de cubiertas (mm) para material							
			Poco Abrasivo	Abrasivo		Muy abrasivo		extremadamente Abrasivo		
<25	TIPO B	< 0,5	3,0	5,0	3,0	7,0	4,0	10,0	6,0	12,0
		0,5 -1,0	1,5	4,0	2,0	6,0	3,0	8,0	5,0	10,0
		> 1,0	1,5	3,0	1,5	4,0	3,0	6,0	4,0	8,0
	STACKER	< 0,5	2,0	4,0	2,0	6,0	3,0	7,0	4,0	10,0
		0,5 -1,0	1,5	3,0	1,5	4,0	3,0	6,0	3,0	8,0
		> 1,0	1,5	2,0	1,5	3,0	3,0	5,0	3,0	6,0
25-125	TIPO B	< 0,5	3,0	6,0	3,0	10,0	5,0	10,0	7,0	14,0
		0,5 -1,0	3,0	5,0	3,0	8,0	4,0	10,0	6,0	12,0
		> 1,0	1,5	4,0	3,0	6,0	3,0	8,0	5,0	10,0
	STACKER	< 0,5	3,0	5,0	3,0	8,0	4,0	8,0	5,0	12,0
		0,5 -1,0	3,0	4,0	3,0	6,0	3,0	7,0	4,0	10,0
		> 1,0	1,5	3,0	3,0	5,0	3,0	6,0	3,0	8,0
>125	TIPO B	< 0,5	5,0	8,0	6,0	12,0	8,0	14,0	10,0	16,0
		0,5 -1,0	3,0	7,0	5,0	10,0	6,0	12,0	8,0	14,0
		> 1,0	3,0	6,0	5,0	8,0	6,0	10,0	6,0	12,0
	STACKER	< 0,5	4,0	7,0	5,0	10,0	6,0	12,0	7,0	14,0
		0,5 -1,0	3,0	6,0	4,0	8,0	5,0	10,0	6,0	12,0
		> 1,0	3,0	5,0	3,0	6,0	5,0	8,0	5,0	10,0

Fuente: Goodyear (2003) Catálogo de correa transportadora, pág. 15.

L= distancia entre centros de polea (m).

S= velocidad de la correa (m/min.).

**Tabla 11: Valores recomendados de espesores de cobertura inferior**

Ancho de la correa	Espesor del lado de las poleas
< 1.000 mm	1,0-3,0 (mm)
> 1.000 mm	1,5-4,0 (mm)
< 42 pul	1/32-1/8 (pul)
> 42 pul	1/16-5/32 (pul)

Fuente: Goodyear (2003) Catálogo de correa transportadora, pág. 15.

#### 1.4.6- Clasificación de los tipos de banda en función del material

Hinojosa (2002) detalla que durante el proceso de selección de la BT, el primer parámetro que se requiere conocer es que clase de material se desea transportar. En base a este dato se selecciona el o los tipos de bandas que pueden ser empleados según las recomendaciones de fabricante de cintas, ya que la calidad de la carcasa y de la cobertura, así como su resistencia varían de acuerdo al tipo de banda y a la combinación de espesores tanto de la carcasa como de la cobertura.

Para realizar esta selección se emplea la Tabla 12 que muestra los campos de aplicación de los diferentes tipos de banda *Roulunds* según las características físico químicas del material a transportar.

**Tabla 12: Campo de aplicación de las bandas *Roulunds*, según el tipo de material.**

<b>Campo de aplicación</b>	<b>Tipo de material</b>	<b>Tipo de banda</b>
Materiales abrasivos	Cemento, carbón, coque, tierra piedra, granos, granito, escoria piedra caliza, grava, minerales.	RO-PLY banda de 2 capas Múltiples capa tipo A, B Y BW
Materiales abrasivos calientes	Alto horno Clinker Escoria	Múltiples capas tipo K Y N Múltiples capas tipo TCC
Materiales calientes con aceites	Abono Forrajes Basura	RO-PLY GWF banda de 2 capas Múltiples capas tipos GW Y GWF
Materiales con contenido moderado de aceite	Granos Forrajes Basura	RO-PLY GWM banda de 2 capas Múltiples capas tipos GWM Y GWS
Entre otros	Equipaje, paquetes, papas, sacos, piedra caliza, coque, aserrín, entre otros.	RO-PLY Grip 4 banda de 2 capas Múltiples capas con patrones Bandas especiales para industrias de madera, Bandas Nervadas.

**Fuente:** *Roulunds (s/f)* Catálogo de bandas transportadoras pág. 23.

#### **1.4.7- Camiones en minería** (Ríos, 1995).

Las operaciones realizadas en Carbones del Zulia S.A, para la extracción de carbón y remoción de la capa vegetal se dividen en dos (2) fases, las que influyen de forma directa en extracción de mineral conocidas como Operaciones unitarias; y las necesarias para mantener en buen funcionamiento la mina llamadas operaciones Auxiliares, para efecto de este trabajo se mencionaran solo las operaciones unitarias las cuales abarcan:

Arranque + Carga → Acarreo → Descarga

**Arranque:** El arranque es por necesidad la primera de las operaciones previas al movimiento del material. Esta consiste en fragmentar el material hasta un tamaño pertinente para que los equipos de fases subsiguientes puedan manipularlo.

**Carga:** La carga consiste en la recogida de material ya fragmentado para depositarlo seguidamente, en la mayoría de los casos, sobre otro equipo o instalación adyacente.

Esta actividad se realiza en lo que se denomina frente de trabajo. Este es el área con material fragmentado donde se encuentran los equipos de carga.

**Acarreo:** Es la operación basada en el transporte de los diferentes materiales extraídos de la mina, bien sea de los minerales económicamente rentables hasta las plantas de procesamiento, o del material estéril para sus respectivos vertederos.

De acuerdo al tipo de acarreo que se lleve a cabo se puede hablar de transporte interno o externo, en referencia a si esta operación se realiza dentro de los límites de la mina o fuera de sus instalaciones.

**Descarga:** Es la operación posterior al acarreo y la que concierne al vertido de los materiales, bien sea en las plantas de tratamiento o en los vertederos o escombreras. Normalmente estas operaciones son realizadas por los equipos que efectúan el transporte, con la ayuda de equipos auxiliares.

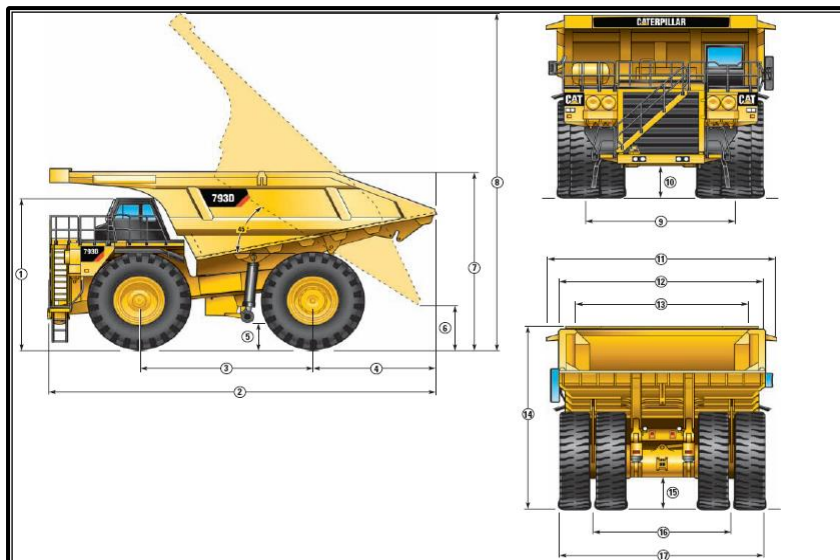
Existe una gran variedad de equipos aplicados en minería algunos de los más utilizados son:

- **Camiones**

Este equipo está constituido por una caja que se apoya sobre un chasis y con sistemas hidráulicos de levantamiento de la caja y dirección, con descarga hacia atrás.

Es el tipo de camión más usado en el movimiento de tierra, agregados, mineral, carbón y otros materiales, fundamentalmente, en la minería a cielo abierto. Son unidades de acarreo que debido a sus altas velocidades al transitar por caminos adecuados, su gran capacidad proporciona costo de acarreo relativamente bajos. Suministran un alto grado de comodidad, ya que el número de camiones en servicio pueden aumentarse o disminuirse para permitir modificaciones en la capacidad total de acarreo de la flota. La mayoría de los camiones pueden operarse sobre cualquier camino de acarreo cuya superficie sea lo suficientemente firme y raso, y en el que las pendientes no sean demasiado fuertes. Los camiones roqueros están diseñados para trabajar sobre caminos de acarreo, ya que sus tamaños y cargas totales son mayores de las que permiten las carreteras. Estos camiones se utilizan para acarrear materiales en obras grandes, en donde se justifica su tamaño y su costo. (Hernández, 2003).

La empresa Carbones del Zulia S.A. desarrolla sus operaciones de acarreo de material estéril con camiones modelo *Caterpillar 793D*, Figura 18.



**Figura 18:** Camiones Caterpillar 793.  
**Fuente:** *Caterpillar, 793D Mining Truck. (2008).*



Mercado (2008) menciona que los equipos de transporte o de acarreo deben ser seleccionados de acuerdo a su uso, las principales limitantes de estos equipos de acarreo son: el espacio de maniobrabilidad, posibles restricciones en la existencia de puentes y/o caminos angostos, los grados de compatibilidad entre los equipos a utilizar en la producción de la mina, los efectos extremos de carga y descarga; entre otros.

Existen varios tipos de camiones, de los cuales se pueden nombrar:

**Tipo convencional (volteo):** el cual tiene la batea montada encima del chasis del camión, y los hay de dos ejes y tres ejes.

**Tipo tractor-tráiler (*rockers*):** en el cual la batea va separada del tractor y los hay con tractores de un eje y dos ejes.

**Descarga lateral (tipo tractor-tráiler).**

**Descarga inferior o de fondo:** este consiste de un tractor acoplado a una batea con compuertas de piso o en el fondo de la misma.

Para la escogencia del camión deben considerarse los siguientes factores:

- ✓ Manejo del material.
- ✓ Tipo y naturaleza del material.
- ✓ Peso del material y capacidad real.
- ✓ Porcentaje de engrosamiento o compactación.
- ✓ Rutas: longitud del camino a recorrer así como las pendientes.
- ✓ Radios de giros de las curvas del camino.
- ✓ Amplitud de los caminos.
- ✓ Tipo de superficie.
- ✓ Localización de paradas.
- ✓ Descarga del material:
- ✓ Puntos de descarga.
- ✓ Tamaños y tipos de trituradores
- ✓ Capacidad por hora de los trituradores.
- ✓ Sitios de apilamiento de material.
- ✓ Condiciones atmosféricas:
- ✓ Rango de temperatura del aire ambiental.
- ✓ Condiciones de andes y/o lluvia.
- ✓ Condiciones de humedad.
- ✓ • Altitud.
- ✓ • Velocidades límites de los equipos de carga.
- ✓ • Facilidades en las operaciones de carga:
- ✓ • Tipo y poder de los cargadores frontales, dragalinas, palas, entre otros.

- ✓ • Tiempos de carga, capacidad de carga.
- ✓ • Producción que se requiere.
- ✓ • Tiempo: números de días operativos por año. Números de turno y horas por día operativas.

➤ **Características y especificaciones de los camiones**

Hernández (2003) expone que dentro de las características y especificaciones más importantes para su eficiencia y operación se encuentran: tipo de motor y frenos, tipo de caja, potencia bruta, peso bruto del equipo, capacidad, altura, longitud y ancho del camión, velocidad máxima cargado, círculo de espacio libre para viraje.

➤ **Selección del tamaño óptimo de una flota de camiones**

El número de camiones necesarios para ejecutar cierto trabajo es función de la capacidad productiva de un camión individualmente considerado y del tonelaje total necesario. La capacidad productiva por hora de un camión es el producto de los viajes o ciclos, por hora de operación y la carga útil efectiva. Un ciclo operativo abarca los tiempos de carga, descarga y tiempo recorrido, suma que representa el tiempo teórico total del ciclo.

Este tiempo es afectado por un factor de eficiencia, dando un promedio del tiempo del ciclo efectivo, el cual, es usado al calcular el número de ciclos por hora. La carga útil nominal está calculada por el tonelaje teórico de los camiones y la carga útil efectiva es la cantidad promedio que está siendo realmente acarreada. Los fabricantes, en cuanto a la capacidad de los camiones, producen varios tamaños de equipos calculados para materiales a cargar de diferentes densidades. De cualquier modo, no es posible acarrear la carga útil nominal, porque el material puede ser más ligero que lo esperado, porque el tamaño requerido no puede ser fabricado o porque el sitio de descarga tiene una pendiente muy fuerte. (Hinojosa, 2002).

➤ **Estimación de los ciclos de un camión.**

Ortiz *et al.* (2001) especifica que el cálculo del ciclo básico de transporte se realiza con dos (2) fines:

1) Poder calcular las producciones para una flota de camiones y un número de palas ya existentes, pero en unas nuevas y diferentes condiciones de la operación minera, por algún cambio de los circuitos o de la organización del trabajo.

2) Para la determinación del número de camiones necesarios que conseguirán los objetivos de producción más económicos. Tanto el ciclo básico de un camión como el representativo para una flota se subdividen en varios tiempos separados por cualquier cambio de la aceleración, geometría o actividad.

El tiempo de carga del camión normalmente incluye maniobrabilidad en el área de carga, espera en la cola y el tiempo actual de carga. La combinación entre el equipo de carga y el de acarreo es la consideración más importante en la selección de una flota de camiones, las Ecuaciones 29; 30 y 31 muestra el tiempo total del ciclo el cual se divide en: tiempos fijos y variables.

$$\text{Ciclo básico del Transporte} = \text{Tiempos fijos} + \text{Tiempos variables.}$$

**Ecuación 29:** Ciclo básico de transporte.

$$\text{Tiempos fijos} = \text{tiempos de (carga + maniobras + descarga).}$$

**Ecuación 30:** Tiempos fijos.

$$\text{Tiempos variables} = \text{tiempo de (ida + vuelta + esperas).}$$

**Ecuación 31:** Tiempos variables.

**Fuente:** Ortiz *et al.* (2001).

**Tiempo de carga:** inicia cuando existe suficiente espacio para que el camión en espera se pueda acomodar para ser cargado y termina cuando el operador de la pala da la señal al camión para indicar que el cargado terminó. (Escamilla, 2005).

**Tiempo de maniobra:** intervalo de tiempo que tarda un camión en acomodarse para recibir el primer pase. (Ortiz *et al.* 2001).

**Ciclo de un pase:** inicia cuando el balde de la pala incrusta sus dientes en el frente fragmentado y lo llena, termina cuando el balde abre y el material estéril cae al camión. (Escamilla, 2005).

**Tiempo de viaje:** intervalo de tiempo que toma un camión, finalizada la carga, en ir hacia la escombrera, realizar la descarga y regresar a la pala. (Ortiz *et al.* 2001).

**Tiempo de descarga:** tiempo de ciclo estimado para la maniobra de parada, giro y descarga en el punto de destino. (Ortiz *et al.* 2001).

**Tiempos de esperas:** tanto en el ciclo propio del transporte como en el de carga se producen, con frecuencia, tiempos de retraso por diferentes factores que deben ser estimados y valorados en el momento de efectuar el cálculo de la flota de camiones. (Ortiz *et al.* 2001)

- **Palas y Cargadores**

Corresponde a los equipos de carga y su diferencia radica en la forma de operación y en el tamaño del equipo. Dentro de estos equipos se tiene: las palas eléctricas, las palas hidráulicas, las retroexcavadoras y los cargadores frontales.

- **Palas P&H**

Son equipos de grandes producción muy utilizados en minería metálica y de carbón. Posee cables para la extensión y elevación del balde ver Figura 19. Su capacidad en general es mayor a la de las palas mecánicas, pero su sistema de cableado las hace un poco menos versátiles. Son equipos de alta disponibilidad mecánica y buena penetración en roca.



**Figura 19:** Palas P&H.

**Fuente:** <https://www.google.co.ve/search?q=palas+ph+caterpillar>, recuperada el 20 de mayo 2014.

➤ **Palas hidráulicas**

Las palas hidráulicas no varían significativamente en cuanto a estructura. Para las palas O&K, la máquina se puede dividir en tres (3) grandes partes:

Estructura inferior: la cual permite el movimiento de traslación de la máquina.

Estructura superior: en la cual se encuentra el motor y los equipos generadores de potencia.

Equipo de trabajo: corresponde a la pluma.

**Retroexcavadora:** Su funcionamiento es igual al de la pala retro pero su capacidad es menor y adicionalmente dispone de otra pala más pequeña. Es usada con frecuencia en obras subterráneas.

• **Cargadores frontales**

Son equipos de carga muy versátiles, debido a que su sistema de rodamiento puede ser de neumáticos. Sus capacidades son variadas, e incluso los más grandes tienen la misma capacidad de las palas hidráulicas tipo RH 200. (Figura 20).



**Figura 20:** Cargador Frontal.

**Fuente:** [http://www.cat.com/es\\_MX/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders.html](http://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders.html), recuperado el 20 de mayo de 2014.

➤ **Cálculo de los tiempos fijos y variables para un camión:**

**Tiempos fijos** (Hernández, 2003).

Estos tiempos comprenden el tiempo de maniobra de carga, carga, maniobra de descarga y descarga, que a su vez dependen de otros cálculos:

**La Ecuación 32 muestra el cálculo del número de pases:**

$$N^{\circ}pases = \frac{\text{Capacidad del camión}}{B_c * F}$$

**Ecuación 32:** Número de pases del balde.

**Fuente:** Hernández (2003).

Donde:

$B_c$ = capacidad del balde del cargador.

$F$ = factor de llenado del balde (%), es un ajuste de la capacidad de llenado del equipos de carguío, se expresa como fracción decimal y corrige la capacidad al volumen que realmente puede mover, dependiendo de las características del material y su ángulo de reposo, y la habilidad del operador del equipo para efectuar la maniobra de llenado.

**Tiempo de carga (Ecuación 33).**

$$Tiempo\ de\ carga = N^{\circ}pases * tiempo\ de\ ciclo * f$$

**Ecuación 33:** Tiempo de carga.

**Fuente:** Hernández (2003).

Donde:

$f$ = factor de operación.

**Tiempo total del ciclo fijo (Ecuación 34)**

$$Tt\ del\ ciclo\ fijo = Tm\ carga + T\ carga + Tm\ descarga + T\ descarga$$

**Ecuación 34:** Tiempo total del ciclo fijo.

**Fuente:** Hernández (2003).

Donde:

$T$ = tiempo

**Tiempos variables** ([www.educarchile.cl](http://www.educarchile.cl), recuperado el 24 de enero de 2014).

Está determinado por los tiempos de acarreo (camión cargado) y tiempo de retorno (camión vacío), por el peso del equipo y las condiciones de la vía. La velocidad de

transporte dependerá de la calidad y pendiente del camino y del peso del equipo de transporte y su carga.

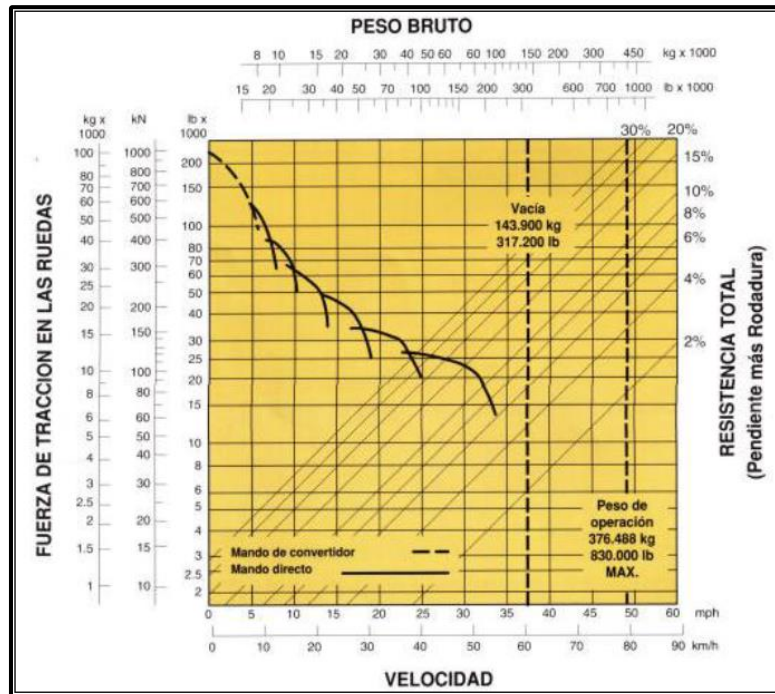
Una característica en la operación de estos vehículos es que deben moderar la velocidad de manera de que los frenos funcionen sin superar la capacidad de enfriamiento del sistema. El cálculo de velocidades de estos camiones depende entonces de la pendiente de bajada.

Además se debe tomar en consideración:

RD%: Resistencia a la rodadura del equipo de transporte (%), que corresponde al esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse al efecto retardatorio entre los neumáticos y la vía. A modo de ejemplo, para un camino bien mantenido y seco de tierra y grava, la resistencia es de 2% del peso movilizado.

P%: Resistencia por pendientes máximas a vencer por el equipo de transporte (%), corresponde al esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse a la gravedad y permitir el ascenso del vehículo en una vía con pendiente positiva (es decir, una vía que asciende). Corresponde a 1% del peso del vehículo por cada 1% de pendiente. Por ejemplo, un camino con 5% de pendiente tiene una resistencia por pendiente de un 5% del peso total movilizado (peso del camión más el peso de la carga).

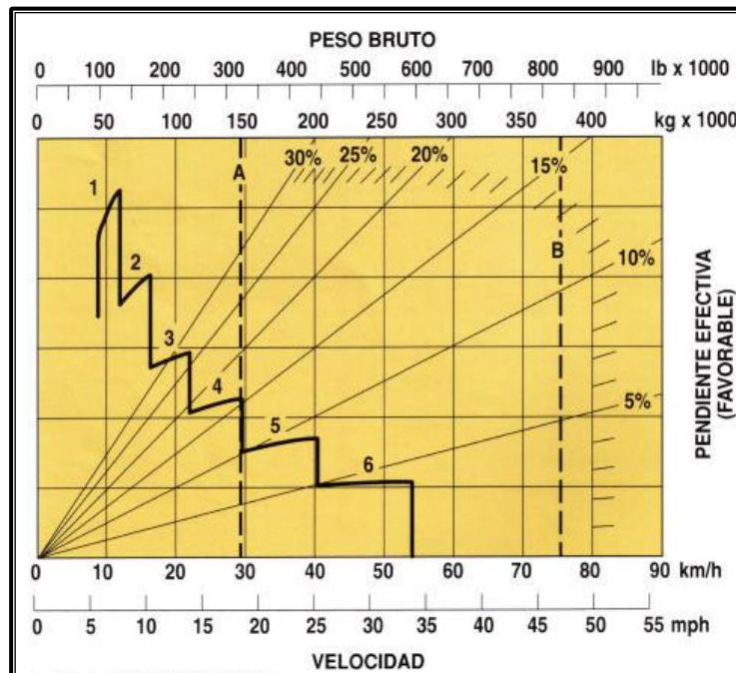
Para el cálculo de la velocidad a la que el vehículo, cargado o descargado, puede enfrentar los distintos recorridos de transporte, se utilizan los Gráficos 1 y 2:



**Gráfica 1:** Desempeño de la tracción.

**Fuente:** www. Educarchile.cl. tomado el 24 de enero (2014).

Gráfico para determinar la velocidad máxima en pendiente en función del peso del camión y la carga



**Gráfica 2:** Desempeño de freno.

**Fuente:** Fuente: www. Educarchile.cl. tomado el 24 de enero (2014).



Gráfico para determinar la velocidad máxima en bajada en función del peso del camión y su carga.

### Ecuación 35 tiempo total del ciclo

$$T_{tciclo} = T_{t \text{ ciclo fijo}} + T_{t \text{ ciclo variable}}$$

**Ecuación 35:** Tiempo total del ciclo.

**Fuente:** Hernández (2003).

### Ecuación 36 tiempo ajustado

$$T_{tiempocicloajustado} = \frac{T_{tciclo}}{F_e}$$

**Ecuación 36:** Tiempo del ciclo ajustado.

**Fuente:** Hernández (2003).

Donde

$F_e$  = factor de eficiencia operativa.

### Ecuación 37 número de ciclos por hora

$$N^{\circ} \frac{\text{ciclo}}{h} = \frac{60 \text{ min}}{T \text{ ciclo ajustado}}$$

**Ecuación 37:** Número de ciclos por hora.

**Fuente:** Hernández (2003).

### Ecuación 38 capacidad de producción

$$Q_{cr} = N^{\circ} \text{ ciclo} / h * \text{capacidad}$$

**Ecuación 38:** Capacidad de producción del camión.

**Fuente:** Hernández (2003).

Donde:

$Q_{cr}$  = capacidad de producción del camión

### Ecuación 39 número de camiones requeridos

$$N^{\circ} \text{ camiones} = \frac{\text{toneladas requeridas} + \text{holgadura (10\%)}}{Q_{cr}}$$

**Ecuación 39:** Número de camiones.

**Fuente:** Hernández (2003).

#### **Ecuación 40 número de camiones ajustado**

$$N^{\circ} \text{ camiones}_{\text{ajustado}} = \frac{N^{\circ} \text{ camiones}}{D_m}$$

**Ecuación 40:** Número de camiones ajustados.

**Fuente:** Hernández (2003).

Donde:

$D_m$  = disponibilidad mecánica.

#### **Ecuación 41 número de camiones por pala**

$$\text{Camiones/pala} = \frac{TC_{\text{camión}}}{TC_{\text{pala}}}$$

**Ecuación 41:** Número de camiones por pala.

**Fuente:** Hernández (2003).

#### **Ecuación 42 número de palas requeridas**

$$N^{\circ} \text{ palas} = \frac{\text{producción requerida} + \text{holgadura (10\%)}}{Q_{cf}}$$

**Ecuación 42:** Número de palas.

**Fuente:** Hernández (2003).

#### **➤ Consideraciones esenciales en el tiempo de viaje de los camiones.**

Hernández (2003) manifiesta que la vía para la circulación de los camiones de acarreo podría ser dividida en segmentos y cada sección tendrá una única pendiente, longitud, resistencia al rodamiento y limitaciones máximas de velocidad, por tanto se debe considerar:

##### **a) Tracción**

La habilidad de un vehículo para superar una pendiente dada, la cual, incluye factores de resistencia a la pendiente y al rodamiento. La resistencia al rodamiento es siempre positiva y la resistencia a la pendiente es positiva cuando el vehículo sube una cuesta y negativa en caso contrario. Cuando se combinan factores ante mencionados se obtiene la “resistencia total efectiva”.

### **b) Anchos de vía e inclinaciones transversales (bombeos)**

El ancho de la porción transitada de la vía es calculada usualmente como un múltiplo del ancho del vehículo más grande que transita por la vía. En muchos casos, un tramo recto de la vía es de 3 a 4 veces el ancho del camión más grande. En las curvas, el ancho debe ser mayor que en los tramos rectos para permitir la proyección del vehículo. Las inclinaciones transversales (bombeo) debe ser aproximadamente 1:25 para asegurar un drenaje efectivo (1%).

### **c) Deterioro de las vías**

Da como resultado baches, surcos, embotellamientos y charcos de lodos. El daño es causado principalmente por la precipitación/escurrimiento, alto volumen de tráfico pesado y mala compactación.

- **Otras consideraciones a tomar en cuenta en los equipos roqueros son:** (Hernández, 2003).
- ✓ Aspectos externos que limitan la habilidad del conductor para operar el camión y que afecta la tasa de producción, incluyendo días de fiestas, eficiencia del cargador, entre otras.
  - ✓ Disponibilidad del camión al ponerlo a trabajar, incluyendo, eficiencia mecánica y utilización.
  - ✓ Productividad, la cual envuelve al elemento humano y condiciones atmosféricas.
  - ✓ Lluvias tormentas, neblina densa o severos extremos de temperatura no solamente pueden alterar el tiempo del ciclo, sino la habilidad de operar.
  - ✓ Elemento humano, depende de las condiciones físicas y estado de ánimo del operador y varia de tiempo en tiempo y de área en área.

### **1.4.7 Análisis Económico de los proyectos mineros (Hernández, 2003).**

El análisis económico de un proyecto de inversión tiene por objeto el estudio de la evolución de los resultados de la empresa y la rentabilidad de los capitales empleados.

La evolución económica constituye una herramienta muy importante para la toma de dediciones, aunque no exclusiva, ya esta debe considerar los aspectos técnicos, de mercado, de riesgo y ambientales.

El análisis económico se efectúa manejando el modelo económico del proyecto, que está constituido por la sujeción temporal de flojos de fondos (positivos o negativos) que determinan el posible atractivo económico del proyecto. Para que el análisis económico sea completo es preciso considerar el valor temporal del dinero, dada la ocurrencia de flujos de caja en distintos períodos.

El marco teórico está estructurado en dos (2) áreas principales de la minería: la economía minera y el estudio de proyectos.

#### ➤ **Economía minera**

Es la aplicación de los conceptos y principios económicos a la extracción minera. Las condiciones de aplicación de las dichas teorías se ven particularizadas debido a que los proyectos mineros presentan características especiales, las cuales son:

- Los recursos minerales son del tipo no renovable, por lo cual tienen una vida establecida en función de las reservas y ritmo de producción.
- La ubicación aleatoria de los depósitos con respecto a la infraestructura básica y servicios. En otras palabras, el desarrollo de la mina debe realizarse en el lugar donde se encuentra el mineral.
- El capital a invertir para el inicio del proyecto es elevado.

#### ➤ **Estudio de proyectos**

Para llevar a cabo la valoración económica de los proyectos existen diferentes métodos que pueden clasificarse en dos (2) grandes grupos, según tengan en cuenta o no el valor temporal del dinero.

#### ➤ **Comparación entre alternativas**

Para la toma de decisiones de forma correcta, es necesario considerar todas las alternativas posibles y capaces de alcanzar el objetivo deseado y asociar a cada una de

ellas el flujo monetario que ocurre durante su periodo de vida. Una vez realizado se requiere la utilización de un índice de evaluación o base de comparación que facilite la elección entre ellas.

En ingeniería económica se usa una diversidad de métodos para evaluar las alternativas de inversión. En relación con cada una, hay una cifra de comparación y una regla de decisión que se usan para jerarquizar las alternativas.

Para efectuar la comparación de alternativas económicas de inversión en proyectos que realizan la misma función, generalmente, se realizan los siguientes pasos:

- Definir el conjunto de alternativas mutuamente excluyente y económicamente factibles.
- Definir el horizonte temporal y los perfiles de flujo efectivos de cada una de las alternativas.
- Especificar el valor del dinero en el tiempo que se va a utilizar.
- Comparar las alternativas.
- Elegir la mejor alternativa.

Los indicadores más comúnmente utilizados para la toma de decisiones en la comparación de alternativas, que determinan la factibilidad económica y eficiencia financiera son:

- ✓ El Valor Presente (VP).
- ✓ El Valor Futuro (VF).
- ✓ El Costo Anual Equivalente (CAE).
- ✓ La Tasa Interna de Retorno (TIR).
- ✓ El Periodo de Recuperación de Capital.
- ✓ La Relación Beneficio/Costo.
- ✓ El Valor Presente Neto, etc.

Siendo los primeros tres (3) utilizados en la evaluación económica de proyectos que generan servicios, y los últimos cuatro (4) utilizados en la evaluación de proyectos que generan ingresos.

En todo proyecto se encuentra que existen dos (2) corrientes de dinero bastante importantes como lo son los costos y los ingresos. Para efectos de realizar el presente Análisis Comparativo de las Inversiones, solo se tomará la corriente de adquisición de bienes (costos) que implica la inmovilización de fondos durante un período de tiempo, permitiendo hallar la inversión inicial y cuál sería el monto uniforme que se tendría que ir invirtiendo cada año, durante toda la vida útil. Siendo así, utilizar para la Evaluación Económica dos (2) métodos: Valor Presente (VP) y Costo Anual Equivalente (CAE), siendo definidos a continuación.

### Valor Presente (VP)

En este caso el punto de referencia es el instante cero, por lo tanto será necesario trasladar allí todos los costos anuales de cada una de las alternativas, a objeto de compararlas. El referido traslado debe hacerse tomando el momento de ocurrencia de los costos anuales y usando desde luego el criterio de valorización del dinero en el tiempo.

Se usa ampliamente en los trabajos de Ingeniería Económica. Es el equivalente al valor actual de los costos durante un intervalo de tiempo específico (horizonte de planeación “n”) con el descuento a una tasa de interés “i” establecida.

Una de las varias expresiones algebraicas para el valor presente se muestra en la Ecuación 43:

$$VP = \sum_{j=0}^n A_j * \frac{1}{(1+i)^j} = \sum_{j=0}^n A_j * FVA_{i,n}$$

**Ecuación 43:** Valor Presente Neto.

**Fuente:** Hernández (2003).

Donde:

VP= valor presente.

A<sub>j</sub>= pago (costo) en el año j.

i = tasa de interés.

n = número de período.

FVA= factor de valor actualizado de un solo pago =  $\frac{1}{(1+i)^n}$

### Costos Anuales Equivalentes (CAE)

Es la serie uniforme de “n” pagos periódicos, equivalentes al valor presente a la tasa de interés “i”.

Para llevar a cabo este análisis se debe obtener todos los costos anuales de cada una de las alternativas, a fin de poder comparar entre ellas, se puede expresar de la siguiente forma (Ecuación 44).

$$CAE = VP * frc_{i,n}$$

**Ecuación 44:** Costo Anual Equivalente.  
**Fuente:** Hernández (2003).

Donde:

CAE= costo anual equivalente

VP= valor presente.

i= tasa de interés.

n= número de períodos.

frc= factor de recuperación de capital =  $\frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

Los métodos que se tomaron en cuenta son importantes para evaluar proyectos que generen inversión o costos. Estos ayudan a tomar una decisión sobre cuál es la alternativa en la que se debe invertir.

El método de Valor Presente (VP) de los costos es un indicador que permite traer al Valor Presente los costos de las alternativas para analizarlos se debe considerar un costo de oportunidades (tasa de interés), la empresa Carbones del Zulia S.A. utiliza una tasa de interés de 15%. La alternativa que presente menor VP debe seleccionarse, mientras que los Costos Anuales Equivalente CAE es un indicador que solo involucra los costos del proyecto, realizar los cálculo a partir del VP, la tasa de interés y el número de periodos. Se debe escoger la alternativa de menor CAE.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO METODOLÓGICO**



El presente capítulo tiene como objetivo fundamental, definir el tipo de investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnica e instrumentos en la recolección de los datos, análisis, así como la metodología empleada para poder ejecutar y llevar a cabo dicho trabajo.

### **2.1- Tipo de investigación**

La investigación por su naturaleza es de campo y explicativa, esta busca estudiar la implementación del sistema de BT para el acarreo de material estéril, así como comparar el sistema actual camiones con la BT.

### **2.2- Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, debido que éste se realiza sin manipular los datos. Es decir, se trata de estudios donde no se varían en forma intencional el rendimiento, la disponibilidad y la capacidad que tiene el sistema de BT con respecto a los camiones. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar, explicar y comparar dichos sistemas para después analizarlos.

### **2.3- Población y Muestra**

La población de estudio está comprendida por la Mina Paso Diablo, la cual se encuentra limitada por el río Guasare al Norte y el Caño Norte al Sur. La muestra está representada por Paso Diablo Sur y el Sector “Transición” al Norte de dicha mina.

### **2.4- Medios, técnicas e instrumentos empleados en la recolección de datos de la investigación**

La técnica de recolección de datos utilizada es: la observación directa y herramientas matemáticas. Los instrumentos para analizar y procesar los datos son: programas como hoja de cálculo y *Mincon*®.

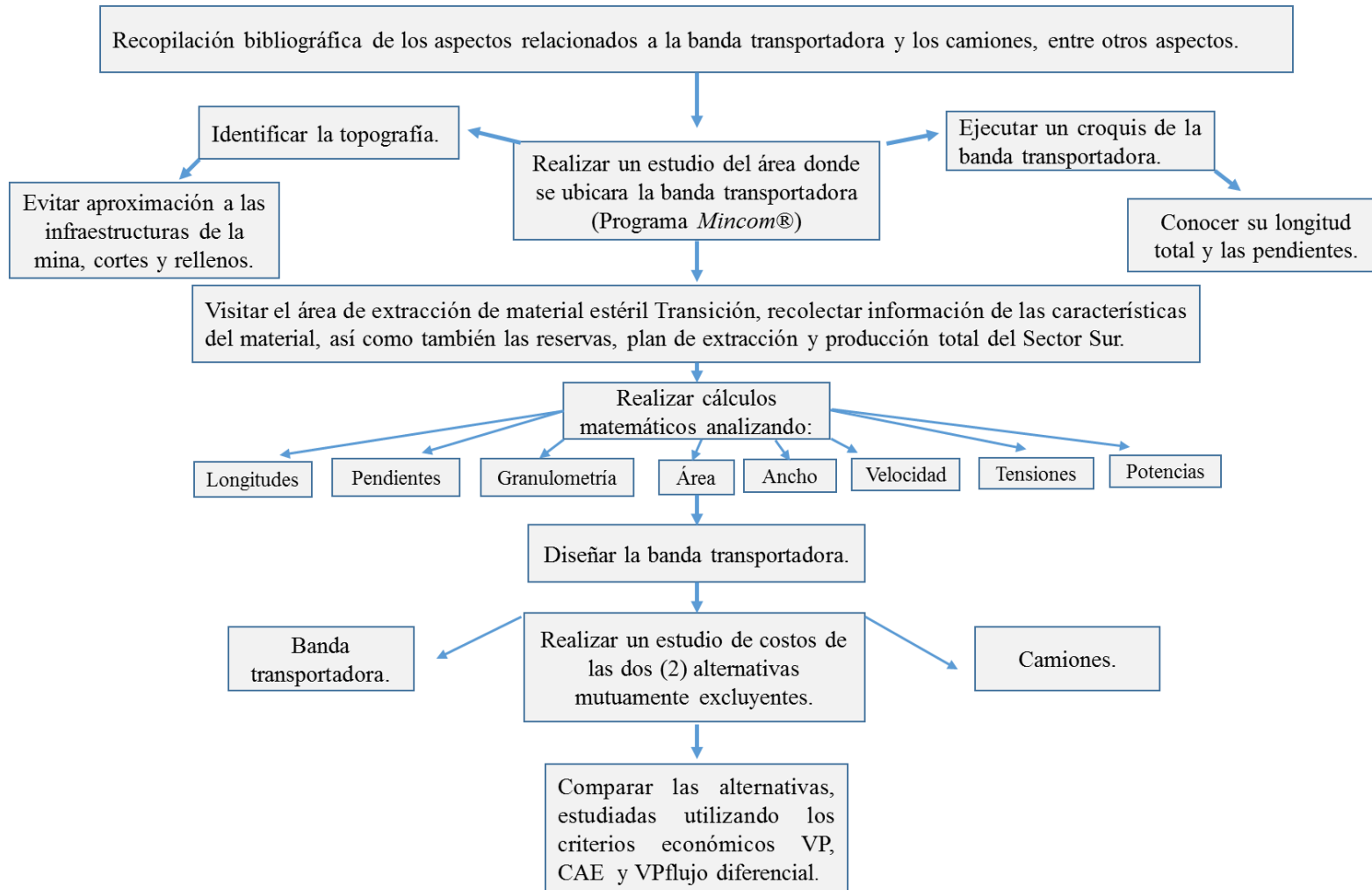
### **2.5- Análisis de los Datos**

Para analizar los datos recopilados mediante la observación, puntos topográficos, estudios geológicos, diseño de la cinta transportadora y costos de equipos; se emplearán hojas de cálculo, fórmulas matemáticas y el programa *MineScape*®, con la finalidad

de realizar un croquis del diseño, conocer longitudes, pendientes, peso específico del material, ángulo de reposo, entre otras características que permitirán elaborar cálculos pertinentes la selección y diseño de la banda transportadora. Todos estos cálculos y diseño de la banda, camiones, costos de inversión, mantenimiento y costos anuales, así como la comparación realizada con el VP, CAE y Flujo Diferencial fueron validados por la Gerencia de Ingeniería de Mina de la empresa Carbones del Zulia S.A.

## **2.6- Metodología utilizada en la investigación**

Para lograr los objetivos planteados, se llevó a cabo la siguiente metodología, Gráfico 3.



**Gráfica 3:** Metodología utilizada en la investigación.

**Fuente:** Elaboración propia

**CAPÍTULO III**  
**EXPOSICIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se determinan los resultados obtenidos en el cálculo y diseño de los parámetros de la banda transportadora y el número de camiones. Para ello se darán a conocer todos los elementos que intervienen en ellos con la finalidad de realizar un análisis de cada uno de los mecanismos que componen la banda y los camiones.

### **3.1- Diseño de la Banda Transportadora**

Para el diseño de la banda utilizada en la operación de acarreo de estéril en el área Sur de la Mina Paso Diablo, se emplean las fórmulas matemáticas encontradas en el Capítulo I.

Para el desarrollo de los resultados es conveniente alcanzar la metodología planteada en el capítulo anterior:

A continuación se presentan las características del material estéril proveniente de la actividad extractiva del área de Transición.

#### **3.1.1- Características del diseño de la correa transportadora:**

Para lograr el diseño correcto de una cinta transportadora se comienza con evaluar las características del material a transportar: densidad del material ( $\gamma$ ), ángulo de reposo ( $\varphi$ ), ángulo de sobrecarga ( $\beta$ ), ángulo máximo de inclinación ( $\alpha$ ), temperatura, entre otros.

#### **Material a transportar**

El material estéril proveniente de Transición, generalmente posee una litología diversa, es decir, intercalaciones monótonas de areniscas, limolitas, lutitas arenosas y lentes de calizas como consecuencia del mezclado que se efectúa durante las labores de arranque en los frentes de mina. La granulometría puede llegar a ser muy heterogénea, sobre todo en los sectores donde se ejecutan actividades de perforación y voladura, que pueden generar bloques de grandes dimensiones, los cuales se recomienda reducir de tamaño, a una granulometría máxima de 600mm, a ser acarreados por BT.

### Propiedades físicas de los estériles

Dichas propiedades se determinaron a partir de estudios efectuados sobre los estériles generados en los desarrollo del sector Norte de Mina Paso Diablo. En función de los criterios establecidos por la Gerencia de Ingeniería de Mina, a través de la Superintendencia de Geología; se considera que las propiedades del material estéril que será extraído en el Sector Sur no presentarán discrepancias significativas que requieran de la realización de nuevos estudios con este. La Tabla 13, ilustra las características geomecánicas del material estéril.

**Tabla 13: Características geomecánicas de los materiales estériles.**

Densidad banco (t/m <sup>3</sup> )	Densidad Suelto (t/m <sup>3</sup> )	Factor de esponjamiento	Factor de compactación	Ángulo de reposo	Temperatura (°C)	Abrasividad del material
2,40	1,66	1,45	1,30	32°	40	muy abrasivo

Fuente: *Golder Associates* (1997).

### Ángulo de reposo ( $\varphi$ ), ángulo de sobrecarga ( $\beta$ ) y fluidez del material.

De acuerdo a las características del material a transportar, el ángulo de reposo ( $\varphi$ ) se encuentra en el rango entre 30°–34°; sin embargo, el ángulo de reposo empleado por la empresa, para transportar el carbón con cinta es de 32° por un factor de seguridad de 0,85; dando un ángulo de reposo ( $\varphi$ ) de 27°. Valor que se encuentra dentro de la información técnicas, tomándolo como referencia para los cálculos del diseño de la banda; mientras que el ángulo de sobrecarga y la fluidez del material se extraen de la Tabla 1 pág.33 Capítulo I Marco teórico. Dentro del rango 30°-34° ángulo de reposo sin factor de seguridad, ángulo de sobrecarga 20°, fluidez del material media y características del material (irregular y tamaño de peso medio).

### Ángulo máximo de inclinación( $\alpha$ ).

El ángulo de inclinación a utilizar para los rodillos es de 35°, de acuerdo a la capacidad de carga y para ganar un mayor control sobre el derrame del material especialmente de grueso, este se encuentra en el rango entre 300-600mm.

### Máximo tamaño de grano a transportar

Por ser este valor importante para la selección del ancho de la banda se realizar un estudio en campo del tamaño máximo del material a acarrear, resultando ser de

aproximadamente un (1) m de largo, valor que sobrepasa las dimensiones de una cinta transportadora, por lo que se recomendaría reducir de tamaño y llevar a una salida máxima de 600mm. Para ello se estima colocar una trituradora que pueda manejar una alimentación de unas 17.000ton/h, de un (1) m de apertura de boca y como se dijo antes una salida de 600mm como máximo. La Tabla 14 da un resumen sobre las características del material a transportar y la cinta.

**Tabla 14: Características del material a transportar y la cinta.**

Ángulo de reposo	Ángulo de Sobrecarga	Ángulo máximo de los rodillos	Fluidez del Material	Tamaño máximo del material (mm)
27°	20°	35°	Media	600

Fuente: Elaboración propia.

### Capacidad de carga

La secuencia de explotación se define, mediante niveles pre-establecidos en intervalos de 15m por encima de la cota 60 e intervalos de 12m por debajo de ésta. Mediante datos proporcionados por la Gerencia de Ingeniería de Mina de Carbozulia, el área Sur de la Mina Paso Diablo tiene un requerimiento de remoción de estéril de 470.836 MM MCB, éste se divide en dos (2) sectores, al Norte del yacimiento y el que se ubica más hacia el Sur.

El diseño de la BT se centra en el área Sur, donde se debe remover un total de 324.475 MM MCB. En la Tabla 15 se observa el crecimiento de la demanda por año, comenzando la extracción en el 2015.

**Tabla 15: Evaluación del área Paso Diablo Sur.**

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
MM MCB	8.462	13.300	25.450	33.050	33.050	33.050	33.050	179.412

Fuente: Elaboración propia.

Del cual se tiene previsto acarrear con la cinta transportadora un total de 179.412 MM MCB, ver Tabla 16:

**Tabla 16: Cálculo de la productividad total a acarrear con banda transportadora.**

Producción total (MCB)	Producción anual (MCB)	Horas totales al año (h)
179.412.000	33.050.000	4828,69

Fuente: Elaboración propia.

Conocida las características del material y la producción total a acarrear con la banda, se procede a realizar un diseño de ésta para conocer las longitudes.

### 3.1.2 Diseño de la estructura de la banda transportadora.

El diseño de la banda transportadora se inicia con un modelo preliminar para posteriormente por medio de los cálculos reafirmar que el diseño propuesto cumpla con las condiciones requeridas por la empresa.

#### Trazado

Para el estudio de la alternativa se ha tomado como base un trazado que resulta paralelo a la vía de acceso a la mina (Figura 21 pág. siguiente). Este recorrido consta de cuatro (4) tramos que, sumadas sus longitudes resultan un total de 5.023,75m, comenzando desde la cota 100, lugar de alimentación del material y finalizando en la cota 90, punto de descarga.

Las longitudes y diferencias de cota de cada tramo se muestran en la Tabla 17:

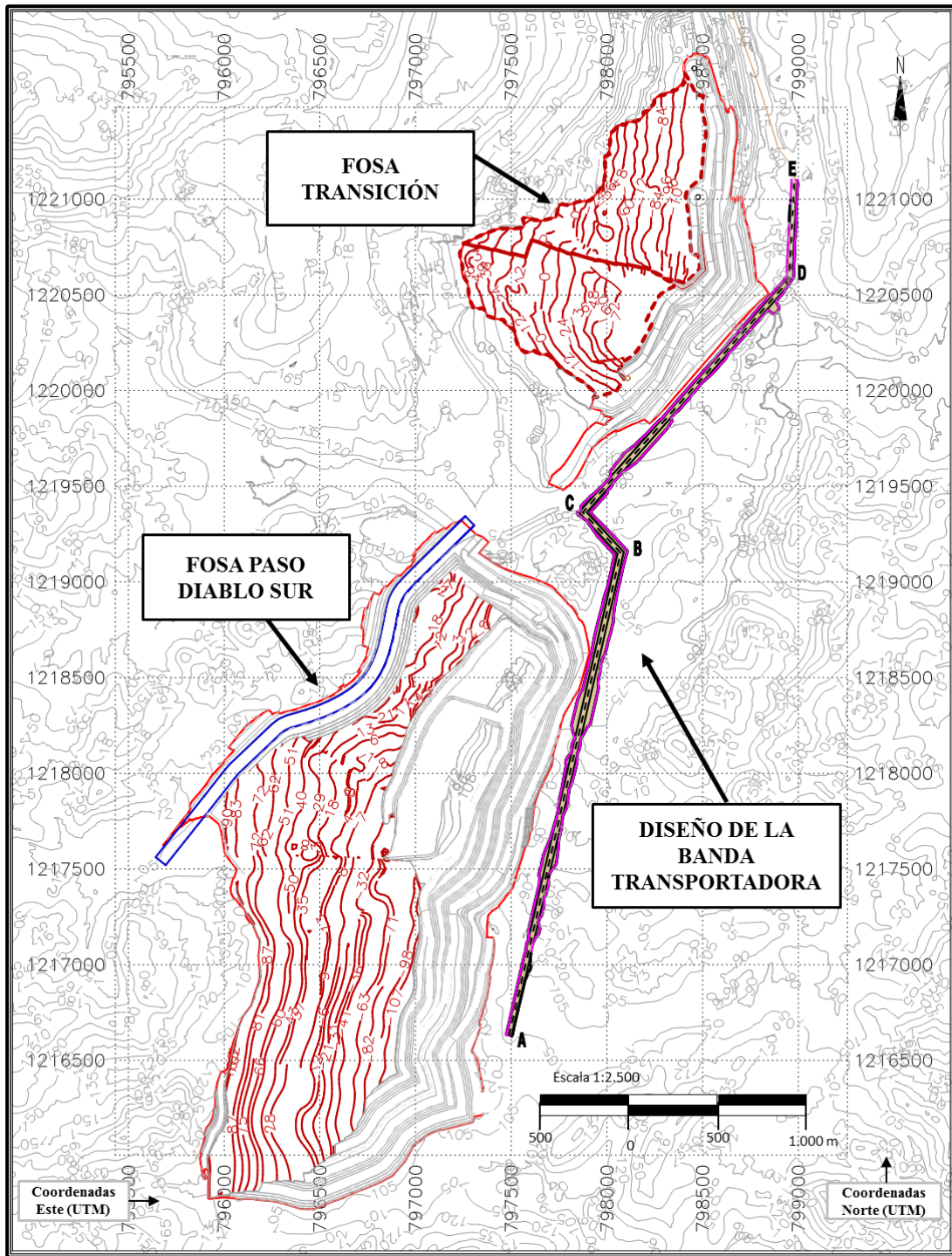
**Tabla 17: Longitudes de las cintas transportadoras.**

Tramo inclinado (L <sub>p</sub> )	Tramo horizontal (L <sub>h</sub> )	Cota Inicial (m)	Cota Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
A-B	-	100	90	2.589,20	7
-	B-C	90	90	289,70	0
-	C-D	90	90	1.596,50	0
-	D-E	90	90	548,30	0

Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de los tramos de la cinta estará vinculado por medio de estaciones de transferencia, por lo cual se requieren cuatro (4) estaciones en total. Para la instalación de la BT se requiere cortar o rellenar tierra en alguno de los tramos, de modo de preparar el acceso a las instalaciones y facilitar el posterior mantenimiento.





Tramos de la Banda Transportadora			
A-B	B-C	C-D	D-E
2.589,20m	289,70m	1.596,50m	548,30m

**Figura 21:** Trazado de la banda transportadora.

**Fuente:** Elaboración propia.

Obtenido el diseño de la BT y sus longitudes con el *Mincom*® se definió la trayectoria total, longitud de los tramos inclinados y ángulo de inclinación por medio de las ecuaciones matemáticas propuestas por (Hinojosa, 2002) en el Capítulo I Marco Teórico. A continuación se muestran estos resultados:

### 3.1.3-Trayectoria de la banda transportadora

Para el cálculo de la proyección horizontal de la longitud total de la banda (L), se utiliza la Ecuación 1 pág.35, compuesta por la sumatoria de todos los tramos horizontales más la proyección horizontal de la totalidad de tramos inclinados; es decir, A-B proyección horizontal del tramo inclinado; B-C, C-D y D-E tramos horizontales.

$$L = \sum (289,70 + 1.596,70 + 548,30)m + \sum 2.589,20m$$

$$L = 2.434,50m + 2.589,20m = 5.023,70m$$

#### Longitud de los tramos inclinados ( $L_i$ )

Para obtener esta longitud se debe conocer la altura de elevación de los tramos inclinados, la cual es de 10m en el tramo A-B. Utilizando la Ecuación 2 pág.36, se obtuvo el siguiente resultado:

$$L_i = \sqrt{(-10,00m)^2 + (2.589,20m)^2}$$

$$L_i = \sqrt{6.704.052,64m^2} = 2.589,20 m$$

#### Ángulo de inclinación de la banda ( $\varphi$ )

Es el ángulo que se requiere para evitar que deslice el material en la banda, se puede adquirir con la Ecuación 3 pág.36:

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{10,00m}{2.589,20m} \right) = 12^\circ$$

Los siguientes resultados darán a conocer los parámetros de la BT para acarrear el estéril del área Sur; de acuerdo a los cálculos antes mencionados.

### 3.1.4- Ancho de la banda

Para determinar el ancho de la banda transportadora se tomará en cuenta la Tabla 2 pág. 38, Catálogo de *Goodyear* (1975) para fragmentos de un tamaño máximo de 600mm (24”) resultando un ancho de banda de 2400mm (95”).

### 3.1.5- Velocidad de la banda

Para obtener la velocidad requerida por la banda se utilizó la Tabla 3 pág. 40, tomando en cuenta la densidad del material y el ancho de la misma. De acuerdo a estos parámetros la velocidad recomendada por *Goodyear* (1975), es de 2,50m/s.

### 3.1.6- Capacidad máxima de transporte

La capacidad real de la cinta debe calcularse de la siguiente manera:

- Área de la sección transversal carga sobre la banda, para rodillos en terna, se obtiene por medio de la Ecuación 6 pág.42:

$$b = (0,90 * 2,40m) - 0,05 = 2,11m$$

$$A = \frac{1}{4} * (2,11m)^2 [\tan(27^\circ) + 0,75 \tan(35^\circ)] = 1,15m^2$$

- Conocida el área y la velocidad se procede a calcular la capacidad volumétrica con la Ecuación 9 pág.43.

$$Q_v = 3.600 * 1,15 (m^2) * 2,50(m/s) = 7.148,02 m^3/h$$

- Para la capacidad de transporte en ton/h se utilizó la Ecuación 10 pág.43.

$$Q_t = 2,40 \text{ ton}/m^3 * 7.148,02 m^3/h = 17.155,20 \text{ ton}/h$$

Dado que hay varios tramos en el diseño de la cinta transportadora a partir de los siguientes resultados solo es desarrollado el cálculo del tramo A-B y los tramos restantes se resumen en la Tabla 18, 19 y 20, pág.97, 98 y 99.

### 3.1.7- Fuerzas en la banda

Estas fuerzas dependen a su vez de un factor llamado coeficiente de fricción de las partes móviles “f”, siendo el valor estándar de 0,02.

$$f = 0,02$$

Según las normas DIN 22101 (ver Anexos), se emplea un coeficiente “C” variable con la longitud de la cinta, el cual se puede obtener con la Ecuación 11 pág.46:

$$C = 15,90 * 2.589,2^{-0,61} + 0,77 = 0,90$$

### Peso de las partes móviles de la banda

Este valor puede ser calculado con la Ecuación 12 pág.46, comprende espaciamiento entre los rodillos, peso de los rodillos superiores y de retorno, así como el peso de la cinta Tablas 5 pág.47 y 6, 7 pág.48.

$$G = 2,00 * 40,50 \text{ kg/m} + \frac{33,00 \text{ kg}}{1,00 \text{ m}} + \frac{33,00 \text{ kg}}{3,00 \text{ m}} = 125,00 \text{ kg/m}$$

### Fuerzas para mover la banda en vacío y sus componentes

La fuerza necesaria para mover la cinta y los componentes móviles que giran por ella, sin material o carga, se obtiene con la Ecuación 13 pág.49:

$$F_1 = [0,90 * 0,02 * 2.589,20 \text{ m} * 125,00 \text{ kg/m}] * 9,80 \text{ m/s}^2 = 57.195,48 \text{ N}$$

### Fuerza para desplazar el material horizontalmente

Esta fuerza se puede adquirir con la Ecuación 14 pág.49:

$$F_2 = \left[ \frac{0,90 * 0,02 * 2.589,20 \text{ m} * 17.155,24 \text{ t/h}}{3,60 * 2,50 \text{ m/s}} \right] * 9,80 \text{ m/s}^2 = 872.179,71 \text{ N}$$

### Fuerza para elevar o bajar el material

Se determina mediante la Ecuación 15 pág.49:

$$F_3 = \left[ \frac{10,00 \text{ m} * 17.155,24 \text{ t/h}}{3,60 * 2,50 \text{ m/s}} \right] * 9,80 \text{ m/s}^2 = 186.801,51 \text{ N}$$

### 3.1.8- Potencias en la banda

La potencia requerida para accionar la banda transportadora está compuesta por las siguientes potencias:

#### Potencia adicional por guía de carga

Esta potencia adicional se adquirió por medio de la Ecuación 16 pág.50:

$$P_s = 0,08 * 2,50 \text{ m/s} * 2.589,20\text{m} = 517,84\text{kw}$$

#### Potencia teórica

La potencia teórica es la suma de las fuerzas necesarias para transportar el material, se obtiene con la Ecuación 17 pág.51:

$$P = \frac{[57.195,48 + 872.179,71 + 186.801,51]\text{N} * 2,50 \text{ m/s}}{1.000,00} + 517,84\text{kw} = 3.308,28\text{kw}$$

#### Potencia del motor

La potencia del motor requerida se obtuvo con la Ecuación 18 pág.52:

$$P_m = \frac{3.308,28\text{kw}}{0,95 * 0,93} = 3.744,52\text{kw}$$

### 3.1.9- Tensiones en la banda

#### Tensión efectiva

Conocida la potencia total que se debe aplicar al tambor motriz, la tensión efectiva puede calcularse con la Ecuación 19 pág.53:

$$T_e = \frac{1.000 * 3.308,28\text{kw}}{2,50 \text{ m/s}} = 1.323.312,70\text{N}$$

#### Tensión en lado apretado T<sub>1</sub>

Para precisar la cantidad de tensión necesaria en el lado apretado se utiliza la Ecuación 20, la cual a su vez requiere de la Ecuación 21:

El valor de “m” se puede estimar con la Ecuación 21 pág.54 y la Tabla 9 pág.54.

$$m = 1,00 + \left[ \frac{1,00}{e^{0,40 * 440 * \frac{\pi}{180,00}} - 1,00} \right] = 1,05$$

Luego se desarrolla la Ecuación 20 pág.53

$$T_1 = 1.323.312,70N * 1,05 = 1.389.478,34N$$

### **Tensión en el lado flojo T<sub>2</sub>**

La tensión T<sub>2</sub> se resuelve por medio de la Ecuación 22 pág.55:

$$T_2 = 1.389.478,34N - 1.323.312,70N = 66.165,64N$$

### **Tensión en el retorno de la banda T<sub>3</sub>**

La tensión T<sub>3</sub> se conoce como tensión en el retorno y se puede determinarse por medio de la Ecuación 23 pág.55:

$$T_3 = 0,90 * 0,02 * 2.589,20m \left( 40,50 \frac{kg}{m} + \frac{33,00kg}{3,00m} \right) * 9,80 \frac{m}{s^2} + 66.165,64N \rightarrow$$

$$T_3 = 89.730,17N$$

### **Tensión del contrapeso T<sub>cp</sub>**

El valor de la tensión del contrapeso puede proponerse de acuerdo a la ubicación del dispositivo tensor del mismo, para ello se procede a utilizar la Ecuación 24 pág.56 que indica el lugar donde se encuentra el contrapeso.

$$T_{cp} = 2,00 * 66.165,64N = 132.331,27N$$

### **Tensión debido al peso de la banda en una pendiente**

El peso de la banda transportadora inclinada provoca una tensión en la parte superior de la pendiente. Esta fuerza se obtiene con la Ecuación 25 pág.57 así:

$$F_{banda} = 40,50 \frac{kg}{m} * 10,00m * 9,80 \frac{m}{s^2} = 3.969,00N$$

### **Tensión mínima T<sub>0</sub>**

Para evitar ondulaciones en la banda se procura que en ningún punto de la banda se obtenga una tensión inferior a la tensión mínima T<sub>0</sub>, la misma es estimada por la Ecuación 26 pág.57 en conjunto con la Ecuación 27 pág.58 como se muestra:

Donde:

$M_{pm}$  es la carga del material por metro de banda y es determinado con la Ecuación 27:

$$M_{pm} = \frac{17.155,24 \text{ t/h}}{3,60 * 2,50 \text{ m/s}} = 1.906,14 \text{ kg/m}$$

Ecuación 26:

$$T_0 = \frac{1,00m (40,50 \text{ kg/m} + 1.906,14 \text{ kg/m})}{8,00 * 0,02} * 9,80 \text{ m/s}^2 = 119.231,57 \text{ N}$$

### Tensión de trabajo unitaria $T_u$

La tensión de trabajo unitaria es la máxima tensión a la que estará sometida la cinta transportadora por mm de ancho de banda. Esta se determina mediante la Ecuación 28 pág.58:

$$T_u = \frac{1.389.478,34 \text{ N}}{1.000,00 * 2,40 \text{ m}} = 578,95 \text{ N/mm}$$

Para los tramos restantes se procedió a realizar los mismos cálculos, obteniendo como resultado los datos mostrados en las tablas 18, 19 y 20 pág. 97, 98 y 99:

## Tramo B-C

**Tabla 18: Cálculos de la banda transportadora tramo B-C.**

Parámetros calculados	Nomenclaturas	Resultados
Densidad del material (ton/m <sup>3</sup> )	g	2,40
Ángulo de reposo (°)	$\varphi$	27,00
Ángulo de inclinación de los rodillos (°)	$\alpha$	35,00
Temperatura (°C)	T	40,00
Trayectoria en la banda transportadora tramo (m)	L	289,70
Peso de la banda (kg/m)	G <sub>b</sub>	40,50
Espaciamiento entre los rodillos superiores (m)	S <sub>1</sub>	1,00
Espaciamiento entre los rodillos inferiores (m)	S <sub>2</sub>	3,00
Ancho de banda (m)	B	2,40
Área de la sección	b	2,11
Área de la sección (m <sup>2</sup> )	A	1,15
Capacidad volumétrica (MCB/h)	Q <sub>v</sub>	7.148,02
Capacidad de transporte (ton/h)	Q <sub>t</sub>	17.155,24
Velocidad (m/s)	v	2,50
Coefficiente de fricción	f	0,02
Coefficiente variable con la longitud de la cinta	C	1,27
Peso de las partes móviles (kg/m)	G	125,00
Fuerza para mover la banda y sus componentes (N)	F <sub>1</sub>	9.019,24
fuerza para desplazar el material horizontalmente (N)	F <sub>2</sub>	137.535,28
Potencia adicional por guía de carga (Kw)	P <sub>s</sub>	57,94
Potencia teórica (Kw)	P	424,33
Potencia del motor (Kw)	P <sub>m</sub>	480,28
Tensión efectiva (N)	T <sub>e</sub>	169.730,52
Coefficiente de accionamiento	m	1,05
Tensión en el lado apretado (N)	T <sub>1</sub>	178.217,04
Tensión en el lado flojo (N)	T <sub>2</sub>	8.486,53
Tensión en el retorno de la banda (N)	T <sub>3</sub>	12.202,45
Tensión del contrapeso (N)	T <sub>cp</sub>	16.973,05
Carga del material por metro de banda (Kg/m)	M <sub>pm</sub>	1.906,14
Tensión mínima (N)	T <sub>o</sub>	119.231,57
Tensión de trabajo unitaria (N/mm)	T <sub>u</sub>	74,26

**Fuente:** Elaboración propia.



## Tramo C-D

**Tabla 19: Cálculos de la banda transportadora tramo C-D.**

Parámetros calculados	Nomenclaturas	Resultados
Densidad del material (t/m <sup>3</sup> )	G	2,40
Ángulo de reposo (°)	$\varphi$	27,00
Ángulo de inclinación de los rodillos (°)	A	35,00
Temperatura (°C)	T	40,00
Trayectoria en la banda transportadora tramo (m)	L	1.596,50
Peso de la banda (kg/m)	Gb	40,50
Espaciamiento entre los rodillos superiores (m)	S1	1,00
Espaciamiento entre los rodillos inferiores (m)	S2	3,00
Ancho de banda (m)	B	2,40
Área de la sección	B	2,11
Área de la sección (m <sup>2</sup> )	A	1,15
Capacidad volumétrica (MCB/h)	Qv	7.148,02
Capacidad de transporte (t/h)	Qt	17.155,24
Velocidad (m/s)	V	2,50
Coefficiente de fricción	F	0,02
Coefficiente variable con la longitud de la cinta	C	0,95
Peso de las partes móviles (kg/m)	G	125,00
Fuerza para mover la banda y sus componentes (N)	F1	37.033,08
fuerza para desplazar el material horizontalmente (N)	F2	564.721,30
Potencia adicional por guía de carga (Kw)	Ps	319,30
Potencia teórica (Kw)	P	1823,69
Potencia del motor (Kw)	Pm	2.064,16
Tensión efectiva (N)	Te	729.474,38
Coefficiente de accionamiento	M	1,05
Tensión en el lado apretado (N)	T1	765.948,10
Tensión en el lado flojo (N)	T2	36.473,72
Tensión en el retorno de la banda (N)	T3	51.731,35
Tensión del contrapeso (N)	Tcp	72.947,44
Carga del material por metro de banda (Kg/m)	Mpm	1.906,14
Tensión mínima (N)	To	119.231,57
Tensión de trabajo unitaria (N/mm)	Tu	319,15

**Fuente:** Elaboración propia.

## Tramo D-E

**Tabla 20: Cálculos de la banda transportadora tramo D-E.**

Parámetros calculados	Nomenclaturas	Resultados
Densidad del material (t/m <sup>3</sup> )	G	2,40
Ángulo de reposo (°)	$\varphi$	27,00
Ángulo de inclinación de los rodillos (°)	$\alpha$	35,00
Temperatura (°C)	T	40,00
Trayectoria en la banda transportadora tramo (m)	L	548,30
Peso de la banda (Kg/m)	G <sub>b</sub>	40,50
Espaciamiento entre los rodillos superiores (m)	S1	1,00
Espaciamiento entre los rodillos inferiores (m)	S2	3,00
Ancho de banda (m)	B	2,40
Área de la sección	B	2,11
Área de la sección (m <sup>2</sup> )	A	1,15
Capacidad volumétrica (MCB/h)	Q <sub>v</sub>	7.148,02
Capacidad de transporte (t/h)	Q <sub>t</sub>	17.155,24
Velocidad (m/s)	V	2,50
Coefficiente de fricción	F	0,02
Coefficiente variable con la longitud de la cinta	C	1,11
Peso de las partes móviles (kg/m)	G	125,00
Fuerza para mover la banda y sus componentes (N)	F1	14.901,74
fuerza para desplazar el material horizontalmente (N)	F2	227.238,21
Potencia adicional por guía de carga (Kw)	P <sub>s</sub>	109,66
Potencia teórica (Kw)	P	715,01
Potencia del motor (Kw)	P <sub>m</sub>	809,29
Tensión efectiva (N)	T <sub>e</sub>	286.003,95
Coefficiente de accionamiento	M	1,05
Tensión en el lado apretado (N)	T1	300.304,15
Tensión en el lado flojo (N)	T2	14.300,20
Tensión en el retorno de la banda (N)	T3	20.439,72
Tensión del contrapeso (N)	T <sub>cp</sub>	28.600,40
Carga del material por metro de banda (Kg/m)	M <sub>pm</sub>	1.906,14
Tensión mínima (N)	T <sub>o</sub>	119.231,57
Tensión de trabajo unitaria (N/mm)	T <sub>u</sub>	125,13

**Fuente:** Elaboración propia.

Las tablas 21 y 22 mostradas en la página siguiente resumen las especificaciones técnicas y el tipo de banda transportadora en función del material.

La Tabla 21 expresa los resultados obtenidos en el diseño de la BT de forma general:

### 3.1.10- Especificaciones teóricas de la banda transportadora

**Tabla 21: Especificaciones de la banda transportadora.**

<b>Material transportado</b>	Material estéril (arenisca, limolitas duras y lutitas )			
Intervalo de temperatura	40°C			
Tamaño máximo de partícula	600mm			
Distribución del tamaño de partícula	70% de fino y 30% de grueso			
Densidad del material	2,40t/m <sup>3</sup>			
Abrasividad del material	Muy abrasivo			
<b>Área de la sección</b>	1,15m <sup>2</sup>			
<b>Capacidad</b>	17.155,24t/h			
<b>Velocidad</b>	2,50m/s			
<b>Distancia total</b>	5.023,70m			
<b>Longitud por tramo</b>	A-B: 2.589.20m	B-C: 289.70m	C-D: 1.596.50m	D-E: 548.30m
<b>Altura de elevación tramo A-B, H</b>	10m			
<b>Ancho de banda</b>	2,40m			
<b>Distancia entre los rodillos</b>	Superior: 1,00m		Inferior: 3,00m	
<b>Ángulo de inclinación tramo A-B</b>	12°			
<b>Peso de la cinta</b>	40,50kg/m			
<b>Potencia instalada</b>	A-B:3.744,50kw	B-C:480,30kw	C-D:2.064,20kw	D-E:809,30kw
<b>Tensión requerida</b>	A-B:578,00N/mm	B-C:74,00N/mm	C-D:319,00N/mm	D-E:125,00N/mm

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 se especifica qué tipo de banda se requiere, el número de capas, cobertura inferior y superior, resistencia entre otros elementos.

### 3.1.11-. Clasificación de los tipos de banda en función del material

**Tabla 22: Tipos de banda en función del material.**

Banda transportadora	3/8 – 5/32 EP 800/4 tipo B x 95”
Tipo de banda	tipo B
Ancho de banda	95” = 2.400 mm
Tipo de carcasa	EP (poliéster-poliamida)
Resistencia de la banda (N/mm)	800
Número de capas de la carcasa	4 capas
Cobertura superior (mm)	3/8” = 10 mm
Cobertura inferior (mm)	5/32” = 4 mm

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar con la evaluación realizada en la BT se ilustra mediante las tablas 23 y 24 páginas siguientes, un resumen de la cantidad de equipos y personal de operación y mantenimiento

### 3.1.12- Especificaciones técnicas de los equipos requeridos en la banda

En la Tabla 23 se muestran las especificaciones técnicas de la banda componentes y equipos, entre los cuales encontraremos cantidad de cinta a adquirirse para cubrir la longitud total que esta ejecute multiplicado por dos (2) recorrido de ida y vuelta; se debe conocer la cantidad de estaciones de carga, retorno e impacto y la separación de estas para obtener: el número de rodillos, identificar el sistema motriz, las tolvas, contrapesos, poleas entre otros componentes, también como los equipos necesarios para cumplir toda la operación de carga y acarreo de estéril en el área Paso Diablo Sur.

**Tabla 23: Especificaciones técnicas de los equipos**

<b>Equipos</b>	<b>N° de Componentes</b>
Banda transportadora	Tiene una longitud total de 5.023,75 m, se requieren 10.500m de banda como mínimo.
Estaciones de carga	La separación entre estaciones es de 1m, es necesario 5.025 estaciones con un total de 15.000 rodillos.
Estaciones de retorno	La separación entre estos es de 3m, es preciso tener 1.675 estaciones, lo que es igual al número de rodillos.
Estaciones de impacto	Sirven para absorber los golpes provocados por la caída de bloques en las tolvas de recepción, no hay separación en estas estaciones, se deben colocar 150 estaciones y se utilizan tres (3) rodillos por estación.
Sistema motriz	Para que el sistema motriz funcione se necesitan cuatro (4) Motores eléctricos, cuatro (4) acoples hidráulicos y cuatro (4) cajas reductoras, uno por tramo.
Poleas	Una polea de cabeza, una (1) polea de cola, una (1) polea motriz y ocho (8) poleas de quiebre para cada tramo sumando un total de cuatro (4) poleas de cola, cuatro (4) motriz y 32 de quiebre.
Tolva	Las tolvas deben ser resistentes, es preciso cuatro (4) tolvas de recepción y cuatro (4) tolvas de descarga, una para cada tramo
Carro tensor	Cuatro (4) carros tensores, uno por cada tramo.
Contrapeso	Para darle tensión a la cinta se necesitan cuatro (4) contrapeso, uno para cada tramo.
Sensores	Cuatro (4) sensores de velocidad cero, 24 sensores de desalineación y 40 paradas de emergencia por guaya.
Estaciones	Se debe contar con 16 estaciones de carga autoalineante y 16 estaciones de retorno autoalineante.
Camiones	Hacen falta trece (13) camiones de capacidad 240 toneladas como mínimo de acuerdo a las especificaciones de <i>Caterpillar</i>
Trituradora	Para llevar el material a una granulometría de 600mm máximo para alimentar las cintas, se requiere una trituradora de 17.000 ton/h.
Cargador frontal	1 cargador frontal.
Apilador	1 apilador.

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 24 en ella se observa el número de operadores por grupos de trabajos para la operación y mantenimiento de la banda transportadora y sus equipos, cumpliendo con las condiciones de trabajo utilizadas por la empresa Carbozulia. La misma cuenta con cuatro (4) grupos, cada uno trabaja cuatro (4) días, dos (2) en el turno diurno y dos (2) turno nocturno, descansando cuatro (4) días a la semana.

### 3.1.13- Personal para la operación y mantenimiento de estos equipos.

**Tabla 24: Personal de operación y mantenimiento.**

<b>Equipos</b>	<b>N° Operadores</b>			
Banda	(1) Supervisor de Operaciones	(1) Operador de Sala de Control	(3) Electricistas	(3) Mecánicos
Trituradora	(1) Operador de Sala de Control	(1) Supervisor de Mantenimiento	(1) Electricista	(1) Mecánico
Camiones	Para alimentar la banda se hace necesario la participación de trece (13) Operadores por cada grupo de trabajo.			
Cargador frontal	Se debe adquirir cuatro (4) Operadores uno (1) por cada grupo de trabajo.			
Apilador	El Apilador requiere un (1) operador por cada grupo.			

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2- Camiones

Primero, se procede a identificar el trazado de la vía por donde deben pasar los camiones, desde el área de la Mina Paso Diablo Sur y finalizando en el lugar donde se construirá la escombrera (Fosa Transición). Con el esquema de la vía se identifica las pendientes, distancias de subida, bajada y horizontal.

La suma de los tiempos de las maniobras que realiza un camión para completar un ciclo está compuesto por: tiempos fijos y tiempos variables, los cuales a su vez dependen de otros factores: Numero de pases, tiempo de carga, maniobra, posicionamiento y condiciones de la vía. La velocidad de transporte dependerá de la calidad, pendiente del camino y del peso del equipo de transporte y su carga, utilice Gráficos 1 pág.73 Desempeño de la tracción y Gráfica 2 Desempeño de freno pág.73.

A continuación medidas de longitudes de la vía de acceso de los camiones y cálculo de las pendientes, Tabla 25.

**Tabla 25: Distancias y pendientes de acarreo con camiones.**

Distancia en subida (m)	Pendiente (%)	Distancia en horizonte (m)	Pendiente (%)	Distancia en bajada (m)	Pendiente (%)	Distancia Total (m)
1.788,00	8,00	3.663,00	0,00	1.449,00	7,70	6.900,00

Fuente: Elaboración propia.

Calculo de los tiempos fijos y variables tanto para camiones como palas, a fin de determinar el número de equipos necesarios para la ejecución de carga y descarga en el área Sur.

### 3.2.1- Cálculo del número de camiones

En esta sección el cálculo de los camiones se realiza con CAT-793D con una capacidad de 92,99 m<sup>3</sup>B (240 toneladas *Caterpillar*), modelo utilizados actualmente la empresa Carbones del Zulia S.A.

#### 1. Tiempos fijos (Ortiz *et al.* 2001)

Este comprende:

- ✓ Tiempo de maniobra de carga: 0,80 min.
- ✓ Tiempo de maniobra de descarga: 0,40 min.
- ✓ Tiempo de descarga: 0,80 min.
- ✓ Tiempo de carga: El tiempo de carga depende del número de pases necesarios para llenar la capacidad del camión. Se puede calcular con la Ecuación 32 pág.71:

$$N^{\circ} \text{ pases} = \frac{92,99 \text{ m}^3 B}{28,00 \text{ m}^3 B / \text{pase} * 0,90} = 3,69 \approx 3,00 \text{ pases}$$

Luego se procede a calcular el tiempo de carga con la Ecuación 33 pág.71:

$$\text{Tiempo de carga} = 3,00 \text{ pases} * 0,56 \text{ min} * 0,80 = 1,34 \text{ min}$$

Ahora se determina el tiempo total del ciclo con la Ecuación 34 pág.71:

$$T \text{ total del ciclo fijo} = (1,34 + 0,80 + 0,40 + 0,80) \text{ min} = 3,34 \text{ min}$$

## 2. Tiempos variables (Hernández, 2003)

Estos tiempos están compuestos por los tiempos de acarreo (camión cargado) y tiempo de retorno (camión vacío), Tablas 26 y 27. Para adquirir estos tiempos se emplea el Gráfico 1 Desempeño de la tracción pág.73 y Gráfico 2 Desempeño de freno pág.73, suministrados por [www.educarchile.cl](http://www.educarchile.cl).

Con las pendientes obtenidas en el programa *Mincom*® y el peso del camión cargado se determinan las velocidades con los gráficos de Desempeño de la tracción y del freno, en el caso que sobrepasen los 50km/h se asume la máxima permisible en la mina por normas de seguridad (*Caterpillar*): 45km/h para el camión vacío y 35km/h para el camión cargado. Sin embargo las políticas de la empresa Carbozulia, establecen que las velocidades obtenidas por estos camiones desde su adquisición 2008 hasta el 2014 se promedian: cargados en un rango de 15-24km/h (250-400m/min) subida, en bajada y horizontal 42km/h (700m/min), por otra parte vacío en subida 36km/h (600m/min), bajada y horizontal 42km/h (700m/min), comparando estas velocidades con los gráficos antes mencionado se estableció que dichas velocidades se encuentran dentro de los límites establecidos por el fabricante (*Caterpillar*), valores que se tomaron para adquirir los tiempos.

**Tabla 26: Tiempos variables de acarreo (camión cargado).**

	<b>Distancia (m)</b>	<b>Resistencia Pendiente (%)</b>	<b>Velocidad (m/min)</b>	<b>Tiempo total (min)</b>
Subida	1.788,00	8,00	250,00	7,15
Plano	3.663,00	0,00	700,00	5,23
Bajada	1.449,00	7,70	700,00	2,07
			<b>Tiempo total</b>	14,45

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 27: Tiempos variables de acarreo (camión vacío).**

	<b>Distancia (m)</b>	<b>Resistencia Pendiente (%)</b>	<b>Velocidad (m/min)</b>	<b>Tiempo total (min)</b>
Subida	1.449,00	8,00	600,00	2,42
Plano	3.663,00	0,00	700,00	5,23
Bajada	1.788,00	7,70	700,00	2,55
			<b>Tiempo total</b>	10,20

Fuente: Elaboración propia.

Sumatoria de los tiempos del ciclo variables antes calculado.

$$Tt \text{ ciclo variable} = (14,45+10,20)min = 24,66 \text{ min}$$

Con los tiempos fijos y variables alcanzados se determina el tiempo total del ciclo con la Ecuación 35 pág.74:

$$Tt \text{ ciclo} = (24,66+3,34)min = 28,00 \text{ min}$$

Con la Ecuación 36 pág.74, se ajusta el tiempo total del ciclo con el factor de eficiencia operativa:

$$\text{Tiempo ciclo ajustado} = \frac{28,00min}{0,80} = 35,00 \text{ min}$$

El número de ciclos por hora se obtiene con la Ecuación 37 pág.74:

$$N^{\circ} \frac{\text{ciclo}}{h} = \frac{60,00 \text{ min}}{35,00min} = 1,70 \text{ ciclo/h}$$

Con el número de ciclos por hora y la capacidad del camión se alcanza la producción Ecuación 38 pág.74:

$$Q_{cr} = 240,00 \text{ t/h} * 1,70 \text{ ciclo/h} = 411,41 \text{ t/h}$$

Número de camiones requeridos Ecuación 39 pág.74:

$$N^{\circ} \text{camiones} = \frac{7.148,02 \text{ m}^3/h + 0,10}{411,41 \text{ t/h}} = 17,00 \text{ camiones}$$

Luego con este resultado y la disponibilidad mecánica ( $D_m$ ) 80%, suministrada por Carbozulia, el número de camiones ajustado se establece en la Ecuación 40 pág.75:

$$N^{\circ} \text{camiones}_{\text{ajustado}} = \frac{17,00 \text{ camiones}}{0,80} = 21,72 \approx 22 \text{ camiones}$$

Con la Ecuación 41 pág.75 es calculado el número de camiones por pala.

$$\text{Camiones/pala} = \frac{28,00}{3,34} = 8,4 \approx 8 \text{ Camiones/pala}$$



Por último con la ecuación 42 pág.75 se conoce el número de palas.

$$N^{\circ}palas = \frac{7.148,02 + 0,10}{2.100,00} = 3,1 \approx 3palas$$

Para determinar el número de camiones y palas necesarios para el acarreo del material que transportara la BT se emplearon los mismos cálculos que en la parte anterior expresados en la Tabla 28:

**Tabla 28: Tiempo teórico del ciclo de los camiones para la banda.**

**Tiempo fijo**

Tiempo de maniobra en el sitio de carga	0,80
Tiempo de carga	1,34
Tiempo de maniobra en la descarga	0,40
Tiempo de descarga	0,80

<b>N° de pases de la pala</b>	3,00
Capacidad del camión (m3)	92,99
Capacidad del balde (m3/pase)	28,00
Factor de llenado	0,90

<b>Tiempo de carga (min)</b>	1,34
Tiempo de ciclo	0,56
Factor de operación	0,80

<b>Tiempo total del ciclo fijo</b>	3,34
------------------------------------	------

**Tiempo variable**

**Tiempos variables de acarreo (camión cargado)**

	<b>Distancia (m)</b>	<b>Resistencia Pendiente (%)</b>	<b>Velocidad (m/min)</b>	<b>Tiempo total (min)</b>
Subida	1.160,00	7,86	250,00	4,64
Horizontal	1.500,00	0,00	700,00	2,14
			<b>Total</b>	6,78

**Tiempos variables de acarreo (camión vacío)**

	<b>Distancia (m)</b>	<b>Resistencia Pendiente (%)</b>	<b>Velocidad (m/min)</b>	<b>Tiempo total (min)</b>
Horizontal	1.500,00	0,00	700,00	2,14
Bajada	1.160,00	7,86	700,00	1,66
			<b>Total</b>	3,80

<b>Tiempo total del ciclo variable</b>	10,58
<b>Tiempo total del ciclo (min)</b>	13,93
<b>Tiempo de ciclo ajustado (min)</b>	17,41
<b>Tiempo de ciclos por hora (ciclo/h)</b>	3,45
<b>Capacidad productiva de un camión (ton/h)</b>	827,18
Capacidad del camión en ton/ciclo	240,00
<b>N° de camiones</b>	8,64
Toneladas requeridas por horas	7.148,02
Holgura (10%)	0,10
<b>N° de camiones ajustados</b>	10,00
Disponibilidad mecánica	0,85
<b>Estimación de ciclos de un camión</b>	
Número de camiones por pala	3,00
<b>N° de cargadores</b>	3,00
MCB por hora	7.148,02
Productividad del equipo m <sup>3</sup> /h	2.100,00
Holgura (10%)	0,10

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Personal requerido**

Para llevar a cabo las operaciones de acarreo de estéril desde el área Paso Diablo Sur hasta Transición, se requieren 22 operadores en cada turno, mientras que para alimentar y descargar la banda son 13 operadores.

Para éste estudio no se tomará en cuenta el cálculo de los cotos del personal de operación y el del equipo de carga (pala), se requiere la misma cantidad tanto para los camiones como para la alimentación de la BT.

**CAPÍTULO VI**  
**ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Este capítulo, tiene como finalidad mostrar el análisis de los resultados obtenidos en la presente investigación, tales como: la estimación de la inversión inicial de la banda transportadora al mismo tiempo que la de los camiones. Para ello, se dividen los costos: inversión inicial, costos anuales y costos de mantenimiento (preventivo y correctivo).

Después de obtener los costos se realiza un estudio comparativo entre los sistemas de transporte: camión versus banda transportadora; se toma en consideración los criterios económicos de Valor Presente, Costo Anual Equivalente y Flujo Diferencial entre las alternativas.

#### **4.1- Costos de inversión, operación y mantenimiento**

##### **4.1.1- Banda transportadora**

Dentro de los costos de inversión inicial se encuentran: los costos de adquisición e instalación de la banda (sistema motriz, poleas, rodillos, estructura, sistema de protección y seguridad, entre otros).


Mientras que, los costos anuales están representados por: costos de energía y/o combustible más personal de operación.

Por último, costos de mantenimiento dentro de los cuales entran: mantenimiento preventivo, correctivo y algunos otros componentes.

##### **Inversión inicial**

El costo por metro lineal de la banda transportadora abril 2014 es de US\$ 21.770.000 el cual incluye: banda, rodillos de carga, rodillos de retorno, rodillos de impacto, sistema motriz (motor, acople hidráulico y una caja reductora), polea de cabeza, polea de cola, polea motriz, polea de quiebre, tolva de recepción, tolva de descarga, carro tensor, contrapeso, sistemas de protección y seguridad (paradas de emergencia), estaciones de carga autoalineante, estaciones de retorno autoalineante y estructura (soporte, cubierta); entre otros. (Tabla 29).

**Tabla 29: Inversión inicial de la banda transportadora.**

					
ESTIMADO DE COSTOS					
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE BANDAS TRANSPORTADORAS MINA PASO DIABLO					
No.	DESCRIPCION	UNID	CANT	P.U.	MONTO (US\$)
1	S/I de banda transportadora, la cual incluye: banda, estaciones de carga, retorno e impacto, poleas de cabeza, cola, quiebre y motriz, sensores de desalineamiento, velocidad cero y paradas por guaya, sistema motriz (motor eléctrico, acople hidráulico y caja reductora).	ML	4.185,50	4.000,00	16.742.000,00
2	S/I de banda transportadora, la cual incluye: banda, estaciones de carga, retorno e impacto, poleas de cabeza, cola, quiebre y motriz, sensores de desalineamiento, velocidad cero y paradas por guaya, sistema motriz (motor eléctrico, acople hidráulico y caja reductora).	ML	838,00	6.000,00	5.028.000,00
<b>TOTAL (US\$):</b>					<b>21.770.000,00</b>

<b>Leyenda</b>
S/I: Suministro e Instalación
ML: Metros lineales
P.U: Peso unitario

**Fuente:** Proporcionado por Carbones del Zulia S.A. (2014).

### Costos anuales

Los costos de operación son de US\$ 32.000 por cada operador. Para el mantenimiento de la cinta se necesitan ocho (8) operadores por cuatro (4) grupo de trabajo, sumando un total de US\$ 1.024.000.

Costos de energía, tiene un total de US\$ 26.000 al año.

### Costos de mantenimiento

Este costo se divide en:

**Preventivos:** incluye lubricantes por un total de US\$ 5.396,20 años.

**Correctivos:** mantenimiento de máquinas, combustible, soldadura de mano de obra y materiales; el costo se estima en US\$ 193.416,19. Sin embargo, existen otros componentes que se remplazan cada dos (2), cuatro (4) y ocho (8) años, con unos costos considerados (Tabla 36 pág.117).


## Equipos requeridos para el acarreo de material de alimentación de la cinta

### ❖ CAMIONES

#### Inversión inicial

El costo unitario de las unidades de acarreo es de US\$ 4.500.000 y se calculó el requerimiento de 13 camiones, lo que suman un total de US\$ 69.030.000 (Tabla 30).

**Tabla 30: Inversión inicial de camiones necesarios para la alimentación de la BT**

					
ESTIMADO DE COSTOS					
SUMINISTRO Y ARMADO DE CAMIONES					
No.	DESCRIPCION	UNID	CANT	P.U.	MONTO (US\$)
1	Camión (Capacidad 240 Ton)	EQUIPO	13	5.310.000,00	69.030.000,00
<b>TOTAL (US\$):</b>					<b>69.030.000,00</b>

**Fuente:** proporcionado por Carbones del Zulia S.A (2014).

#### Costos anuales

**Combustible:** por año se espera requerir un monto de US\$ 26.416,13 en combustible por camión y siendo una flota de 13 camiones se hace un total de US\$ 343.357,69 en el mencionado periodo.

**Personal de operación:** se necesitan 52 operadores, los cuales individualmente representan un desembolso anual de US\$ 32.000, siendo por todo el grupo de US\$ 1.664.000.

#### Costos de mantenimiento

**Preventivo:** este incluye aceites, filtros, refrigerantes y cauchos. Se requieren US\$ 329.909,55 para cada camión y en total de US\$ 4.288.824,15 por año.

**Correctivo:** contempla mantenimientos de la maquinaria, soldadura, mano de obra, consumible, materiales de soldadura, refrigerante, materiales eléctricos y componentes. Lo que representa US\$ 2.983.003,01 y a partir del segundo se incrementa el costo por la compra de otros componentes.

## ❖ TRITURADORA

### Inversión inicial

La trituradora constituye una inversión inicial de US\$ 10.000.000, incluida la instalación. (Tabla 31).

**Tabla 31: Inversión inicial de la trituradora.**

					
ESTIMADO DE COSTOS					
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TRITURADORA					
No.	DESCRIPCION	UNID	CANT	P.U.	MONTO (US\$)
1	Trituradora ( Capacidad 17.000 t / h )	EQUIPO	1	10.000.000,00	10.000.000,00
<b>TOTAL (US\$):</b>					<b>10.000.000,00</b>

**Fuente:** Proporcionado por Carbones del Zulia S.A (2014).

### Costos anuales

**Energía:** US\$ 26.000,00 por año.

**Personal de operación:** requiere cuatro (4) operadores en la trituradora, costo total US\$ 128.000,00 al año.

### Costos de mantenimiento

**Preventivo:** prevé cambio de lubricantes y filtros: US\$ 22.279,60 por año.


**Correctivo:** incluye mantenimiento de maquinaria, materiales eléctricos, soldadura, mano de obra, consumible, materiales de soldadura, entre otros, con costo de US\$ 246.603,81 en el primer año, mientras que para el año dos (2) y tres (3) se le agrega el costos de otros componentes.

## ❖ CARGADOR FRONTAL

### Costo inicial

El cargador tiene un costo de inversión e instalación de US\$ 2.500.000. (Tabla 32).

**Tabla 32: Inversión inicial del cargador frontal.**

					
ESTIMADO DE COSTOS					
SUMINISTRO Y ARMADO DE CARGADOR FRONTAL					
No.	DESCRIPCION	UNID	CANT	P.U.	MONTO (US\$)
1	Cargador frontal	EQUIPO	1	2.500.000,00	2.500.000,00
TOTAL (US\$):					<b>2.500.000,00</b>

**Fuente:** Proporcionado por Carbones del Zulia S.A, (2014).

### **Costos anuales**

El costo total por año de combustible es de US\$ 16.462,32, mientras que para el operador es US\$ 32.000 y se requieren cuatro (4) operadores, lo que da un total de US\$ 128.000,00.

### **Costos de mantenimiento**

**Preventivo:** lubricantes, filtros, refrigerantes y cauchos; total US\$ 128.907,32.

**Correctivo:** mantenimiento de maquinaria, soldadura, consumibles, refrigerantes, materiales eléctricos y componentes. El primer año tiene un costo US\$ 230.478, en el segundo, cuarto y año ocho se agrega el costo de otros componentes.

### **❖ APILADOR**

#### **Costo inicial**

El apilador tiene una inversión inicial de US\$ 420.000. Estos costos se encuentran reflejado en la Tabla 33.



**Tabla 33: Inversión inicial del apilador.**

Gobierno Bolivariano De Venezuela		Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería		Petróleos de Venezuela, S.A.		Corporación de Desarrollo de la Región Zulia		Carbones del Zulia, S.A.	
<b>ESTIMADO DE COSTOS</b>									
<b>SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE APILADOR</b>									
No.	DESCRIPCION	UNID	CANT	P.U.	MONTO (US\$)				
1	Apilador radial	EQUIPO	1	420.000,00	420.000,00				
<b>TOTAL (US\$):</b>									<b>420.000,00</b>

**Fuente:** Proporcionado por Carbones del Zulia S.A, (2014).

### Costos anuales

Energía US\$ 13.000 por año.

Cuatro (4) operadores representan un desembolso anual de US\$ 128.000.

### Costo de mantenimiento

**Preventivo:** cambio de lubricantes y filtros US\$ 8.143 por año.

**Correctivo:** mantenimiento de maquinaria, soldadura y componentes. En los primeros cuatro (4) años US\$ 148.896,00 y en el año cinco (5) y ocho (8) se le suman otros componentes.

La Tabla 34 resume los costos de adquisición de la banda transportadora así, como todos los equipos que se requieren para llevar a cabo el suministro del material.

**Tabla 34: Costo de adquisición de la banda transportadora.**

Sistema de transporte	US\$ (dólares americanos)
Banda	21.770.000
Camiones	69.030.000
Trituradora	10.000.000
Cargador frontal	2.500.000
Apilador	420.000
<b>TOTAL</b>	<b>103.720.000</b>

**Fuente:** Elaboración propia, Cortesía de la empresa Carbones del Zulia S.A, (2014).


#### 4.1.2- Camiones

La inversión inicial está comprendida por costos de adquisición y armado, los costos anuales lo integran los rubros de combustible y personal de operación y los de mantenimiento lo componen: mantenimiento preventivo y correctivo.

#### Inversión inicial

Los camiones tienen un precio internacional de US\$ 4.500.000 por unidad, dado que se requiere una flota de 22 máquinas para el circuito de acarreo, con un total de US\$ 116.820.000. Éstos incluyen accesorios, traslado a la mina y armado, Tabla 35.

**Tabla 35: Inversión inicial de los camiones.**

					
ESTIMADO DE COSTOS					
SUMINISTRO Y ARMADO DE CAMIONES					
No.	DESCRIPCION	UNID	CANT	P.U.	MONTO (US\$)
1	Camión tipo tolva de 240 Ton	EQUIPO	22	5.310.000,00	116.820.000,00
TOTAL (US\$):					<b>116.820.000,00</b>

Fuente: Proporcionado por Carbones del Zulia S.A. (2014).

#### Costos anuales

**Combustible:** el combustible tiene un costo por camión de US\$ 26.416,13/año, el consumo anual de 22 camiones requeridos tiene un total de US\$ 581.066,86/año.

**Personal de operación:** 22 operadores representan un desembolso individualmente de US\$ 32.000 por año, siendo por todo el grupo US\$ 2.816.000.

#### Costo de mantenimiento

**Preventivo:** prevé cambios de aceites, filtros, refrigerantes y cauchos US\$ 329.909,55/año, dado que se requiere una flota de 22 camiones el costo total para el circuito de acarreo es US\$ 7.258.010,10 por año.

**Correctivo:** mantenimiento de maquinarias, materiales de soldaduras consumibles, refrigerantes y materiales eléctricos, el costo se estima en US\$ 5.048.158,94. Sin embargo, existen otros componentes que se remplazaran el segundo y sexto año

A continuación la Tabla 36 representa todos los costos totales de camiones versus banda transportadora, así como: VP, CAE y Flujo Diferencial de cada una de las alternativas estudiadas.

**Tabla 36: Costos total de camiones vs. Banda transportadora**

CAMIONES	AÑOS										TOTAL	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024		
COSTO DE ADQUISICIÓN	116.820.000,00											116.820.000,00
COSTO DE MANO DE OBRA	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	2.816.000,00	28.160.000,00
COSTOS COMBUSTIBLE	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	581.066,86	5.810.668,60
MTTO. PREVENTIVO	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	7.258.010,10	72.580.101,00
MTTO. CORRECTIVO	5.048.158,94	13.848.158,94	13.848.158,94	13.848.158,94	13.848.158,94	27.036.520,94	13.848.158,94	13.848.158,94	13.848.158,94	13.848.158,94	13.848.158,94	142.869.951,40
DEPRECIACIÓN	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	11.682.000,00	116.820.000,00
<b>Sub - Total (US\$)</b>	<b>120.841.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>26.009.597,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>12.821.235,90</b>	<b>366.240.721,00</b>

VP: **163.978.944,10**

CAE: **32672804,61**

BANDA TRANSPORTADORA	AÑOS										TOTAL	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024		
COSTO DE ADQUISICIÓN	21.770.000,00											21.770.000,00
COSTO MANO DE OBRA	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	1.024.000,00	10.240.000,00
COSTOS ENERGIA ELÉCTRICA	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	260.000,00
MTTO. PREVENTIVO	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	5.396,20	53.962,00
MTTO. CORRECTIVO	193.416,19	329.416,19	193.416,19	356.916,19	193.416,19	329.416,19	193.416,19	356.916,19	193.416,19	329.416,19	329.416,19	2.669.161,90
DEPRECIACIÓN	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	2.177.000,00	21.770.000,00
<b>Sub - Total (US\$)</b>	<b>20.841.812,39</b>	<b>792.187,61</b>	<b>928.187,61</b>	<b>764.687,61</b>	<b>928.187,61</b>	<b>792.187,61</b>	<b>928.187,61</b>	<b>764.687,61</b>	<b>928.187,61</b>	<b>792.187,61</b>	<b>792.187,61</b>	<b>34.993.123,90</b>
<b>CAMIONES</b>												
COSTO DE ADQUISICIÓN	69.030.000,00											69.030.000,00
COSTO DE MANO DE OBRA	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	1.664.000,00	16.640.000,00
COSTOS COMBUSTIBLE	343.357,69	343.357,69	343.357,69	343.357,69	343.357,69	343.357,69	343.357,69	343.357,69	343.357,69		343.357,69	3.090.219,21
MTTO. PREVENTIVO	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	4.288.824,15	42.888.241,50
MTTO. CORRECTIVO	2.983.003,01	5.843.003,01	5.843.003,01	5.843.003,01	5.843.003,01	13.636.126,01	5.843.003,01	5.843.003,01	5.843.003,01	5.843.003,01	5.843.003,01	63.363.153,10
DEPRECIACIÓN	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	6.903.000,00	69.030.000,00
<b>Sub - Total (US\$)</b>	<b>71.406.184,85</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>13.029.307,85</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>4.892.827,16</b>	<b>5.236.184,85</b>	<b>195.011.613,81</b>

	AÑOS										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	TOTAL
<b>TRITURADORA</b>											
COSTO DE ADQUISICIÓN	10.000.000,00										10.000.000,00
COSTO MANO DE OBRA	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	1.280.000,00
COSTOS ENERGIA ELÉCTRICA	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	26.000,00	260.000,00
MTTO.PREVENTIVO	22.279,60	22.279,60	22.279,60	22.279,60	22.279,60	22.279,60	22.279,60	22.279,60	22.279,60	22.279,60	222.796,00
MTTO. CORRECTIVO	246.603,81	327.203,81	423.203,81	327.203,81	327.203,81	423.203,81	327.203,81	327.203,81	423.203,81	327.203,81	3.479.438,10
DEPRECIACIÓN	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	10.000.000,00
<b>Sub - Total (US\$)</b>	<b>9.422.883,41</b>	<b>503.483,41</b>	<b>599.483,41</b>	<b>503.483,41</b>	<b>503.483,41</b>	<b>599.483,41</b>	<b>503.483,41</b>	<b>503.483,41</b>	<b>599.483,41</b>	<b>503.483,41</b>	<b>15.242.234,10</b>
<b>CARGADOR FRONTAL</b>											
COSTO DE ADQUISICIÓN	2.500.000,00										2.500.000,00
COSTO MANO DE OBRA	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	1.280.000,00
COSTO DE COMBUSTIBLE	16.462,32	16.462,32	16.462,32	16.462,32	16.462,32	16.462,32	16.462,32	16.462,32	16.462,32	16.462,32	164.623,20
MTTO.PREVENTIVO	128.907,32	128.907,32	128.907,32	128.907,32	128.907,32	128.907,32	128.907,32	128.907,32	128.907,32	128.907,32	1.289.073,20
MTTO. CORRECTIVO	230.478,00	367.205,00	367.205,00	715.205,00	367.205,00	747.605,00	367.205,00	715.205,00	367.205,00	367.205,00	4.611.723,00
DEPRECIACIÓN	250.000,00	250.000,00	250.000,00	250.000,00	250.000,00	250.000,00	250.000,00	250.000,00	250.000,00	250.000,00	2.500.000,00
<b>Sub - Total (US\$)</b>	<b>2.753.847,64</b>	<b>390.574,64</b>	<b>390.574,64</b>	<b>738.574,64</b>	<b>390.574,64</b>	<b>770.974,64</b>	<b>390.574,64</b>	<b>738.574,64</b>	<b>390.574,64</b>	<b>390.574,64</b>	<b>9.845.419,40</b>
<b>APILADOR</b>											
COSTO DE ADQUISICIÓN	420.000,00										420.000,00
COSTO MANO DE OBRA	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	128.000,00	1.280.000,00
COSTOS ENERGIA ELÉCTRICA	13.000,00	13.000,00	13.000,00	13.000,00	13.000,00	13.000,00	13.000,00	13.000,00	13.000,00	13.000,00	130.000,00
MTTO.PREVENTIVO	8.143,00	8.143,00	8.143,00	8.143,00	8.143,00	8.143,00	8.143,00	8.143,00	8.143,00	8.143,00	81.430,00
MTTO. CORRECTIVO	148.896,00	148.896,00	148.896,00	148.896,00	184.896,00	148.896,00	148.896,00	184.896,00	148.896,00	148.896,00	1.560.960,00
DEPRECIACIÓN	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	420.000,00
<b>Sub - Total (US\$)</b>	<b>676.039,00</b>	<b>256.039,00</b>	<b>256.039,00</b>	<b>256.039,00</b>	<b>292.039,00</b>	<b>256.039,00</b>	<b>256.039,00</b>	<b>292.039,00</b>	<b>256.039,00</b>	<b>256.039,00</b>	<b>3.472.390,00</b>
<b>TOTAL (US\$):</b>	<b>105.100.767,29</b>	<b>5.594.094,29</b>	<b>5.554.094,29</b>	<b>5.969.594,29</b>	<b>5.494.094,29</b>	<b>13.863.617,29</b>	<b>5.458.094,29</b>	<b>6.005.594,29</b>	<b>5.210.736,60</b>	<b>5.594.094,29</b>	<b>258.564.781,21</b>

VP: **118.291.243,13**  
CAE: **23569530,19**

<b>FLUJO DIFERENCIAL</b>	<b>15.740.468,61</b>	<b>7.227.141,61</b>	<b>7.267.141,61</b>	<b>6.851.641,61</b>	<b>7.327.141,61</b>	<b>12.145.980,61</b>	<b>7.363.141,61</b>	<b>6.815.641,61</b>	<b>7.610.499,30</b>	<b>7.227.141,61</b>	<b>107.675.939,79</b>
<b>VP (FLUJO DIFERENCIAL):</b>	<b>50.808.324,72</b>										

Fuente: Proporcionado por Carbones del Zulia S.A. (2014)

Las tablas mostradas en las páginas anteriores ilustran todos los cálculos desarrollados para conocer los costos de adquisición, anuales y de mantenimiento, así como los costos de la depreciación que no son más que los insumos de adquisición de los equipos divididos por el periodo de vida útil (10 años). A los montos totales expresados en las tablas se deben agregar un 20% adicional para imprevistos, componentes adicionales y contingencias, entre otros.

Se puede observar que los costos de adquisición de las alternativas estudiadas en este trabajo solo se tomaron en cuenta para el primer año, debido que estos equipos se compran una sola vez y luego se le realiza los respectivos mantenimientos o remplazo de componentes.

En el año uno (1) se evalúa los insumos de la adquisición, mano de obra, combustible, mantenimientos: preventivo, correctivo y la depreciación, mientras que para los años restantes se toman todos estos parámetros menos el costo de adquisición y se le agregan otros insumos por la compra de componentes, los cuales se hacen en algunos años como se muestra en las tablas anteriores, empleado todos los cálculos se determina el Valor Presente (VP), el Costo Anual Equivalente (CAE), el Flujo Diferencial y el  $VP_{\text{Flujo Diferencial}}$ , los cuales se disponen a continuación.

#### **4.2- Estudio comparativo**

Para esta comparación se consideran aquellos factores que generan gastos o costos, excluyéndose los comunes para ambas alternativas.

Se tomó en consideración un periodo de diez (10) años para el estudio económico con el fin de remover 179.412 MM MCB de estéril ubicado en Paso Diablo Sur, los montos se ajustaron lo máximo posible a la realidad, se acude a la empresa Carbones del Zulia S.A, la cual cuenta con amplia experiencia en este sistema de transporte.

Los costos de inversión, costos anuales y costos de mantenimiento fueron calculados para el camión y la banda transportadora como se ilustra en la Tabla 36 pág.117; la suma algebraica de estos valores fueron multiplicados por la Tasa de Interés 15%

utilizada por la empresa Carbozulia, para obtener el Valor Presente (VP). Por tanto el VP de cada alternativa:

#### 4.2.1- Valor Presente de la banda transportadora

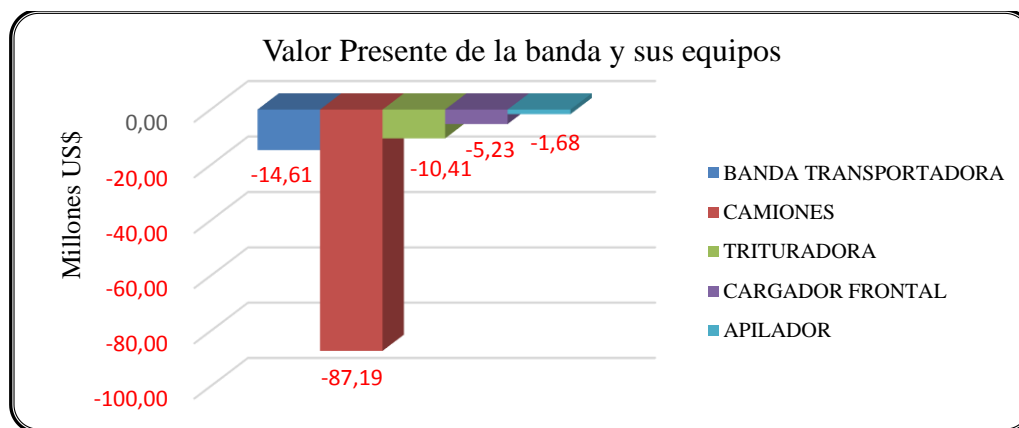
La Tabla 37 contiene el Valor Presente de los equipos solicitados en la alternativa de banda transportadora, así como el VP total. (Gráfico 4).

**Tabla 37: Valor Presente de la banda y sus equipos.**

EQUIPOS	VP (US\$)
Banda Transportadora	-14.614.255,23
Camión	-87.187.512,81
Trituradora	-10.414.780,94
Cargador frontal	-4.492.413,11
Apilador	-1.679.884,72
<b>Total de la Banda</b>	<b>-118.388.846,82</b>

Fuente: Elaboración propia.

El Valor Presente de la banda y sus equipos expresa los resultados con signo negativo, debido que el estudio se hizo en base a los costos de inversión, anuales y de mantenimiento generando solo gastos. Estos valores se obtuvieron al traer al Valor Presente los costos de inversión, mantenimiento, costos anuales y depreciación del equipo, con una tasa de interés de 15%. El equipo que presenta menor Valor Presente es la banda y el que representa mayor VP son los camiones, sin embargo en este análisis se está tomando en cuenta es el valor presente de la banda y sus equipos el cual incluye: banda transportadora, camiones, trituradora, cargador frontal y apilador, reflejando este sistema un VP de US\$ -119 MM.



**Gráfica 4:** Valor Presente de la banda y sus equipos.

Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 4 muestra el comportamiento de esta alternativa, se observar que el equipo que tiene mayor VP son los camiones analizando la Tabla 36 mostrada en el capítulo anterior, siendo este equipo el que presenta un mayor mantenimiento lo que hace que sus costos aumenten, por tanto su VP.

#### 4.2.2- Valor Presente de los camiones

Este valor fue obtenido con una Tasa de Interés de 15% y la suma de los costos adquiridos durante el periodo de diez (10) años.

VP camiones= US\$ -163.978.944,10

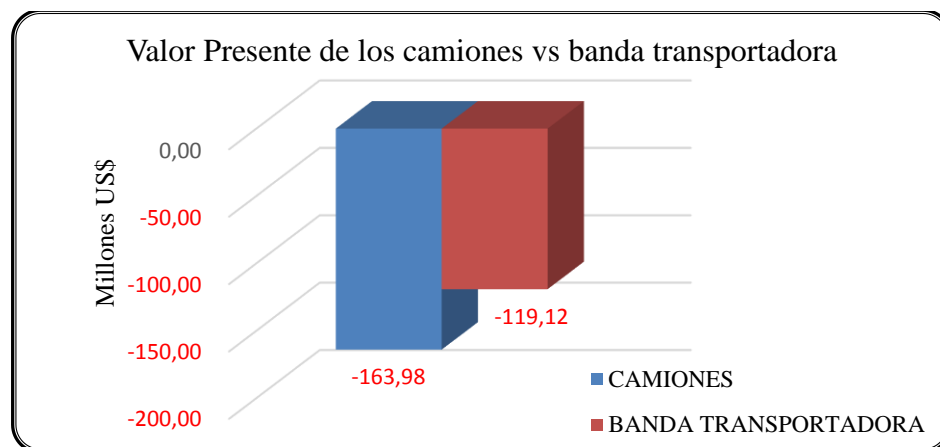
La Tabla 38 resume los resultados del Valor Presente para ambas alternativas estudiadas en este trabajo y representados visualmente en el Gráfico 5.

**Tabla 38: Valor Presente de las alternativas.**

Sistema de transporte	Valor Presente (US\$)
Camión	<b>-163.978.944,10</b>
Banda transportadora	<b>-118.388.846,82</b>

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 38 representa los Valores Presente de las dos (2) alternativas, comparando estos valores se concluye que el VP de la alternativa de los camiones es mayor que la de la Banda transportadora y sus equipos, lo que significa que los costos de adquisición, anuales y mantenimientos representan un mayor costo.



**Gráfico 5:** Valor Presente de los camiones vs banda transportadora.

Fuente: Elaboración propia.



El Grafico 5 ilustra la diferencia de costos entre las alternativas, siendo esta de US\$ - 46 MM o lo que es igual a un 39%, lo que indicando que es mejor invertir en la alternativa banda transportadora y no adquirir nuevos camiones.

Luego de obtenido el Valor Presente de las alternativas estudiadas, se procede al cálculo del Costo Anual Equivalente (CAE) con un factor de recuperación de capital en una serie uniforme de pagos con una Tasa de Interés de 15% y un periodo de 10 años como se representa  $frc_{15\%,10} = 0,19925$  (ver Anexo) obteniéndose los siguientes resultados.

#### 4.2.3- Costo Anual Equivalente de la banda transportadora

Valor presente = US\$ -118.388.846,82

$frc_{15\%,10} = 0,19925$

El CAE se calcula con la Ecuación 41 pág.80 Capítulo I Marco Teórico.

$$CAE_{banda} = US\$ - 118.388.846,82 * 0,19925 = US\$ - 23.588.977,73$$

#### 4.2.4- Costo Anual Equivalente de los camiones

Valor presente = US\$ -163.978.944,10

$frc_{15\%,10} = 0,19925$

$$CAE_{camión} = US\$ - 163.978.944,10 * 0,19925 = US\$ - 32.672.804,61$$

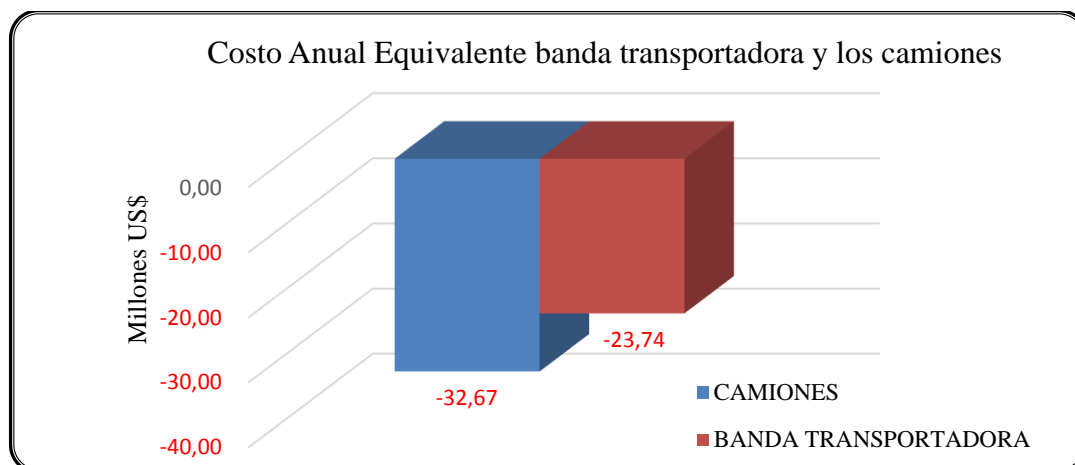
La Tabla 39 muestra el Costo Anual Equivalente de camiones y banda transportadora, representados en el Gráfico 6.

**Tabla 39: Costo Anual Equivalente de camiones vs banda transportadora.**

Sistema de transporte	CAE (US\$)
Camiones	-32.672.804,61
Banda	-23.588.977,73

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la Tabla 39 se observa que el Costo Anual Equivalente de los camiones es mayor en comparación a la alternativa banda transportadora, esto se debe a que el Valor Presente de los camiones fue el que reflejó mayor costo.



**Gráfica 6:** Costos Anuales Equivalente de los camiones Vs banda.

**Fuente:** Elaboración propia.

La diferencia entre estas dos (2) alternativas evaluadas con el Costo Anual Equivalente registra un valor de US\$-9 MM que representa un 39% de la inversión.

#### 4.2.5- Flujo Diferencial entre la banda y los camiones

La Tabla 40 muestra el Flujo Diferencial, así como su VP, los cuales fueron obtenidos en el cálculo de los costos de las alternativas estudiadas.

**Tabla 40: Flujo Diferencial entre la banda y los camiones.**

Periodo (AÑOS)	Flujo Diferencial US\$
2015	-15.740.468
2016	-7.227.141
2017	-7.267.141
2018	-6.851.641
2019	-7.327.141
2020	-12.145.980
2021	-7.363.141
2022	-6.815.641
2023	-7.610.499
2024	-7.227.141
<b>TOTAL</b>	<b>-107.675.939</b>
<b>VP/Flujo diferencial</b>	<b>-50.808.324</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El desarrollo de esta tabla está expresado como la diferencia entre los costos de la banda transportadora y los camiones, para determinar cuál es el ahorro obtenido en la inversión total de la compra de estos equipos, produciéndose un ahorro del 50%, el cual

se puede emplear en la rehabilitación de suelos, trabajos sociales y nuevos proyectos mineros.

**CONCLUSIONES**  
**RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

Tras la obtención, estudio y comprensión de los resultados finales, se llega a las siguientes conclusiones:

- La topografía donde se ubique la banda transportadora debe ser lo más horizontal posible, para evitar que el diseño tenga pendientes o curvatura.
- Se debe realizar un esquema preliminar de BT para garantizar que éste se coloque fuera de las Instalaciones de la Mina.
- El material a transportar tiene que tener una granulometría como máximo de 600mm.
- Total de material estéril a acarrear con la cinta en un periodo de siete (7) años es de 179.412 MM MCB.
- La longitud total de la banda es de 5.023,75m empezando desde la cota 100 lugar de alimentación del material y finalizando en la cota 90 punto de descarga.
- El trazado de la banda consta de cuatro (4) tramos vinculados por estaciones de transferencia.
- El ancho de la banda transportadora para este diseño es de 2,4m.
- Las potencias requeridas por cada tramo son: A-B: 3.744,50kw; B-C: 480,30kw; C-D: 2.064,20kw; D-E: 809,30kw.
- Las tensiones necesarias para que la cinta permanezca tensada sin producir ondulaciones o quiebres tienen que ser: A-B: 578,00N/mm; B-C: 74,00N/mm; C-D: 319,00N/mm; D-E: 125,00N/mm.
- Para la implementación de la BT se debe emplear el uso de 13 camiones, una trituradora, un (1) cargador frontal y un (1) apilador. Mientras que para la alternativa camiones se requieren 22 equipos.
- La comparación de estas dos (2) alternativas por medio de un Estudio Económico refleja que la banda transportadora presenta menor VP US\$ 119 MM representando una ventaja con respecto a los camiones, los cuales tienen un VP US\$ 164 MM, con una diferencia de un 39%, indicando que la alternativa más favorable es la BT.
- El CAE presento igualmente una diferencia entre las propuestas de un 39% mostrando que la alternativa que tiene menor CAE es la cinta, mientras que el

VPFlujo diferencial fue 50% con respecto a los camiones, el estudio económico expresa que la inversión de la BT es rentable.

## **RECOMENDACIONES**

Realizado un estudio técnico–económico en un sistema de transporte con ciclos continuos de acarreo de estéril para el área Sur de la Mina Paso Diablo, se procede a recomendar lo siguiente:

- El ancho de la banda no debe ser menor de tres (3) veces la dimensión más grande del tamaño de material a transportar.
- Se recomienda considerar la densidad del material, el tamaño de la roca, capacidad requerida y el ancho de la banda para determinar la velocidad de la banda transportadora, la cual influye sobre la potencia requerida. La potencia para operar la banda varía directamente con la velocidad, mientras que la potencia para mover la carga tiene que estar fija.
- Se recomienda que la banda transportadora no posea más de tres (3) tramos, debido a que el sistema pierde eficiencia aumentando los costos de adquisición y mantenimiento.
- La fuerza requerida por la banda para mover el material desde el punto A al punto B debe estar compuesta por la suma de otras fuerzas componentes.
- Si la inversión de estas alternativas no se lleva a cabo en un periodo máximo de un (1) años, se deben ejecutar nuevamente los cálculos de inversión.
- Se recomienda realizar nuevamente los costos de inversión, anuales y de mantenimiento, así como el diseño de la banda transportadora, ya que estos cálculos son determinados para este trabajo de investigación en particular.
- Aplicar un Método Económico para establecer cuándo se puede recuperar la inversión de las alternativas.
- A la hora de realizar un estudio relacionado al diseño o adquisición de equipos mineros, se debe verificar la información suministrada en cada capítulo más otras adicionales para analizar los pro y los contra de la implementación de estos sistemas de transporte, con la finalidad de recomendar la alternativa mutuamente excluyente

que genere no solo menor inversión, sino menores daños al ambiente y a los trabajadores.

## BIBLIOGRAFÍA

### Consultas Bibliográfica:

- Carbones del Zulia S.A. (2014) Departamento de Ingeniería de Mina.
- Carbones del Zulia S.A. (2014). Estudio técnico ambiental e inventario forestal. Departamento de Ambiente.
- Carbones del Zulia (2014) Manuales de mantenimiento para bandas transportadoras Mina Paso Diablo.
- Carbones del Zulia S.A. (2014). Manual de mantenimientos para camiones Caterpillar y costos de los equipos pesados. 26 pág.
- C.E.M.A. (1996). Belt conveyor for Bulk Materials. Cahner Publishing Company, Inc. Massachusetts.
- C.E.M.A. (Conveyor Equipment Manufacturerers Association) (s/f), *Handbook 2<sup>da</sup>* Edición. pág. 68.
- Decreto N° 8.116. (2011, marzo 10). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N-39.643 (Extraordinario), febrero 26, 2014.
- Decreto N° 9.131. Artículo 1°. (2012, agosto 4). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N-39.982 (Extraordinario), febrero 26, 2014.
- Espinoza D. (2013) Plan de Explotación Mina Paso Diablo Sur. Departamento de Ingeniería de Mina. Carbones del Zulia S.A.
- Ewel y Madriz (1976) Zonas de Vida de Venezuela. Estudio Técnico Ambiental e Inventario Forestal realizado en Carbones del Guasare en 2005. 295 pág.
- Goodyear (1975) Handbook of Conveyor and Elevator belt, pág. (5-8).
- Goodyear (2003) Revista de Correas Transportadoras y Elevadores EP. Carbones del Zulia S.A.
- Goodyear y Bridgestone H. S.A. (s/f). Manual para la selección de Bandas Transportadoras.
- Goodrich Euzcadi, (s/f). Manual de cómo seleccionar correctamente una banda transportadora. Proveedor principal de banda transportadora y accesorios de la Empresa C.V.G Bauxilum–Mina, Estado Bolívar. 22 pág.



- Hernández T. (2003). Análisis Técnico – Económico de Sistemas de Transportes de Bauxita para la Explotación de los Bloques 5 al 10 del Yacimiento de los Pijiguaos, Estado Bolívar. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- López C. (1997). Manual de Evaluación Técnico-Económico de Proyectos Mineros de Inversión 2<sup>da</sup> edición. Madrid. 415 pág.
- Mercado D. (2008). Estudio de factibilidad de Pre-Explotación del Sector Sur, área Sur de Carichuano de la Mina Paso Diablo, Carbones del Guasare S.A., Estado Zulia. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Paredes J. (2014). Introducción a la Geología local. Superintendencia de Geología Carbones del Zulia, S.A.
- Ríos, R. (1995). Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto. 2<sup>da</sup> edición Madrid: ITGE (Instituto Tecnológico Geominero de España). 581 pág.
- Roulunds (s/f), Catálogo de Bandas Transportadoras, pág. (11-13, 23).
- Ucar R. y Borges R (1970). Análisis de los Posibles Sistemas de Transporte para la Explotación de Mineral de Hierro en el Cerro San Isidro, Estado Bolívar. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- United States Rubbers (1957). All about belting. Practical conveyor belt engineering. Handbook. M 6314–B–17. 56 pág.

Consultas de Internet:

- Carbones del Guasare S.A. Disponible en Web: <http://www.guasare.com/guasare/guasare.htm> [Tomado: 2014, febrero 28]
- Caterpillar (s/f). Disponible en la página web: <https://www.google.co.ve/search?q=palas+ph+caterpillar> [Recuperado: 2014, mayo 20]

- Gusmeroli D. (2009). Máquinas de Elevación y transporte. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia. Argentina. Disponible en la página web: <http://es.scribd.com/doc/129969324/24729435-Maquinas-de-Elevacion-y-Transporte-pdf> [Recuperado: 2013, diciembre 18]
- Hinojosa, H. (2002). Software para diseño de transportadores de banda [Resumen en línea] trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil – Ecuador. Disponible: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4477> [Consulta: 2014, febrero 22]
- Lauhoff, H. Alemania (s/f). Disponible: [http://www.synergy-eng.com/spanish/pdf/lauhoff\\_Sp.pdf](http://www.synergy-eng.com/spanish/pdf/lauhoff_Sp.pdf) [Consulta: 2014, mayo 17]
- Ortiz *et al.* (2001). Curso de Evaluación y Planificación Minera. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Disponible: <http://es.scribd.com/doc/215940614/Evaluacion-y-Planificacion-Minera> [Recuperado: 2014, febrero 22]
- Principales drenajes que atraviesan la Mina Paso Diablo. Disponible en la página web: <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html> [Consulta: 2014, febrero 22]
- Productividad de los equipos de transportes. Técnico profesional. Disponible: [http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS\\_TP/Materiales\\_para\\_odas\\_2012/5%20Mineria/ODA%2027\\_descarga%20de%20material/Productividad%20transporte.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_odas_2012/5%20Mineria/ODA%2027_descarga%20de%20material/Productividad%20transporte.pdf) [Recuperado: 2014, enero 24]
- Sutton, F. (1947). Formación Marcelina. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico/m21w.htm> [Consulta: 2014, marzo 4]

## GLOSARIO

**Cinta transportadora:** Una cinta, correa o banda transportadora es un sistema de transporte continuo formado básicamente por dos (2) poleas que mueven una banda continua. Las poleas son movidas por motores, haciendo girar la cinta transportadora y así lograr transportar el material depositado en ella.

**CEMA:** Conveyor Equipment Manufacturers Association, compañías que representan a los principales diseñadores, fabricantes e instaladores de cintas transportadoras, componentes del transportador, y sistemas de manejo de materiales.

**Mincom:** proveedor líder global de compañías de software y servicios de suministro de software empresarial para las industrias tales como la minería, la infraestructura pública, la defensa, petróleo y gas en más de 40 países a través de América del Norte, América del Sur, Australia, el sudeste de Asia, África y Europa

**Minescape:** Modulo de Mincom que proporciona nuevas mejoras, incluyendo la capacidad de integrar de terceros plug-ins, nueva dimensión CAD y herramientas de medición, las mejoras en el trazado de las capacidades para hacer el tiempo de diseño más rápido e intuitivo, y soporte para Microsoft Windows XP / 7 64-sistemas operativos bits entre otros.

**Roulunds:** Compañía proveedora de correas de transmisión para los mercados industriales y automotriz

**Rulmeca:** Industrias Rulmeca S.A, es un grupo de compañías a nivel mundial, especializadas en la producción de rodillos/contratambores, fabricando tambores motrices y otros componentes para toda la industria mundial de la manipulación a granel.

**Urdimbre:** Conjunto de hilos paralelos que soportan la tensión en una banda transportadora, perpendiculares a los hilos de la trama.