



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica  
de Ingenieros de Minas

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA MINERA Y DE RECURSOS ENERGÉTICOS

## TRABAJO FIN DE MASTER

# INSTALACIÓN DE CEPILLO ELÉCTRICO EN CAPA ESTRECHA. ESTUDIO DE VIABILIDAD. TORRE DEL BIERZO (LEÓN)

León, JULIO 2014

Autor: Gonzalo Piñuelo Otero

Tutor: Daniel Vázquez Silva

El presente proyecto ha sido realizado por D./Dña. **Gonzalo Piñuelo Oteor**, alumno/a de la **Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas** de la **Universidad de León** para la obtención del título de **Máster en Ingeniería Minera y de Recursos Energéticos**.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D./Dña. **Daniel Vázquez Silva**, profesor/a del **Máster Universitario en Ingeniería Minera y de Recursos Energéticos**.

Visto Bueno

Fdo.: **D. Gonzalo Piñuelo Otero**  
El autor del Trabajo Fin de Máster

Fdo.: **D. Daniel Vázquez Silva**  
El Tutor del Trabajo Fin de Máster



## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETO.....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE ENSAYO.....</b>	<b>5</b>
3.1	Características morfológicas.....	5
3.2	Galería superior e inferior.....	6
3.3	Nichos de base y cabeza.....	7
3.4	Litología del carbón y hastiales.....	8
3.5	Panel objeto a ensayo.....	9
<b>4.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA “CEPILLO”.....</b>	<b>11</b>
4.1	Transportador blindado.....	11
4.2	Cepillo.....	15
4.2.1	Cuerpo del cepillo.....	16
4.2.2	Estación motriz.....	18
4.2.3	Estación de reenvío.....	22
4.3	Sistema de ripaje.....	23
4.4	Sistema eléctrico.....	27
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO TÉCNICO DE ESFUERZOS DE LA MÁQUINA.....</b>	<b>28</b>
5.1	Datos de Potencia y pares.....	29
<b>6.</b>	<b>ADAPTACIÓN DE LA MÁQUINA A LAS CONDICIONES DE TRABAJO.....</b>	<b>31</b>
6.1	Transportador blindado.....	31
6.2	Cadena tractora del cepillo.....	31
6.3	Reductor de la estación motriz.....	32
6.4	Cuerpo del cepillo.....	36
<b>7.</b>	<b>ORGANIGRAMA DE MONTAJE DEL CEPILLO.....</b>	<b>38</b>

<b>8.</b>	<b>ANALISIS Y PRESUPUESTO DE LA INVERSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>9.</b>	<b>LISTA DE REFERENCIAS.....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 0.- Localización de la explotación y coordenadas.....</b>	<b>1</b>
<b>Figura 2.- Detalle de explotación en capa 1.....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 3.2.- Ejemplo de galería de base o cabeza con 9 m<sup>2</sup> de sección.....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 3.5.- Macizo objeto del ensayo.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 4.2.- Alzado, perfil y planta del transportador blindado.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 4.2.- Detalle gráfico de transportador con chapas de realce y de protección montado.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4.2.1.- Croquis del cuerpo del cepillo.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4.2.1.- Cuerpo del cepillo en proceso de fabricación.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 4.2.2.- Detalle de estación motriz en proceso de fabricación.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 4.2.2.- Detalle de catalina y guía de cadena en proceso de fabricación.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4.2.2.- Detalle del reductor elegido.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4.2.2.- Croquis del reductor.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4.2.3.- Detalle de la estación motriz o cabezal del cepillo.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4.3.- Diseño de un empujador neumático.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6.3- Reductor en fase de construcción.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 6.4.- Cuerpo del cepillo.....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 6.3- Tabla del reductor elegido.....</b>	<b>34</b>
---	-----------

## 1. INTRODUCCIÓN

Alto Bierzo S.A. es titular y explotadora de varias concesiones en los ayuntamientos de Igüeña y Torre del Bierzo para el aprovechamiento de los recursos de la sección D.

La empresa, en la actualidad, mantiene cuatro explotaciones de carbón de interior y una a cielo abierto.

Alto Bierzo S.A. se dedica a la extracción y comercialización de mineral de antracita para abastecimiento a centrales térmicas y consumidores domésticos.

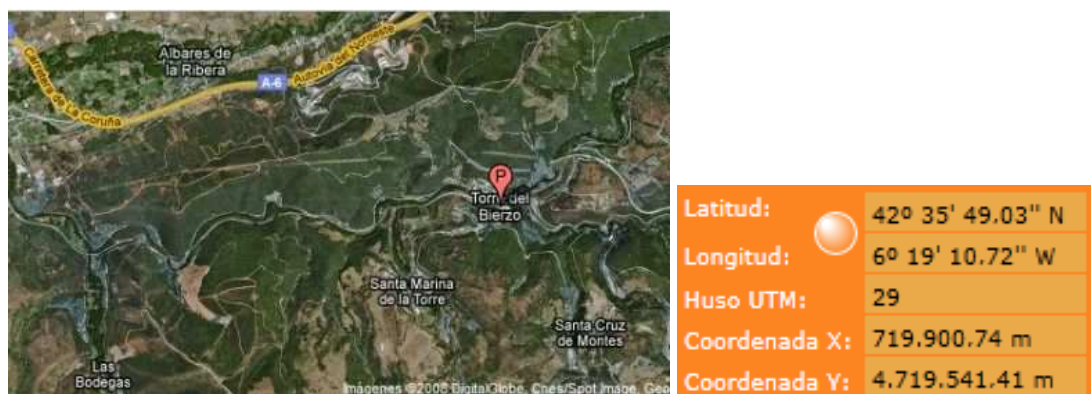


Figura 0.- Localización de la explotación y coordenadas.



## **2. OBJETO**

Desde la entrada en vigor del primer Plan Nacional de Reserva Estratégica de Carbón en el año 1998, y su posterior prórroga en el año 2006, ALTO BIERZO S.A. viene experimentando un descenso importante en el número de trabajadores debido a prejubilaciones de las plantillas. De esta manera, y aunque estos planes contemplaban la incorporación de personal nuevo en ratio de 4 a 11 por personal antiguo primeramente y de 4 a 9 en el último, la pérdida en recursos humanos con experiencia se está acusando desde el principio de forma importante. La derivada de este hecho implica un descenso notable en los rendimientos en todos los ámbitos de la empresa.

También asistimos a un cambio generacional de las plantillas, que se traduce en una variación significativa en los perfiles de los trabajadores de nuevo ingreso, constatando que, si bien éstos últimos han tenido acceso a una formación básica más intensa e incluso a la posibilidad de acceder a las nuevas tecnologías de la información, la capacidad de esfuerzo y sacrificio, frente a este tipo de trabajos se ha reducido notablemente.

En nuestro Departamento de Personal trabajamos con datos que indican que los procesos de baja laboral cada vez son más largos y frecuentes, de manera que los índices de absentismo lejos de reducirse, como sería de esperar en virtud de la disminución de

las plantillas, se han incrementado de forma notable, entendiendo este hecho como la resultante de varios factores no controlables por la empresa.

Debido a la problemática expuesta en los párrafos anteriores, nos hemos visto a buscar soluciones que detengan, de alguna manera, este descenso notable en rendimientos en el trabajo, llegando a la conclusión una vez más que debemos trabajar en la dirección de la consecución de una mecanización de aquellas tareas que resulten más onerosas para el trabajador, liberándole, en la medida de lo posible, de los esfuerzos físicos y creando unas condiciones de trabajo que puedan resultar atractivas para ellos, sin olvidar que, por definición, el trabajo en el interior de la mina es tanto o más exigente que en la mayoría de los trabajos.

Por consiguiente, hemos diseñado una máquina arrancadora, que posibilite el arranque mecanizado del carbón en aquellas capas estrechas en las que la tecnología existente en el mercado no ha aportado soluciones viables desde el punto de vista técnico y económico, y que evite que nuestros trabajadores tengan que realizar esta tarea, consiguiendo mayor comodidad y satisfacción en nuestra plantilla en la realización de sus trabajos.

En un principio, todo el diseño de la máquina se ha realizado considerando las condiciones de explotabilidad características de la capa 1 en el Grupo de Torre, de

manera que la implementación del proyecto se realizará en un panel próximo a preparar en este Grupo sobre la décima y la decimoprimera Planta del mismo.

Los ensayos tendrán una duración aproximada de seis meses entre montaje y explotación, de manera que al cabo de este período de tiempo, y después de un registro exhaustivo de datos, se realizará un informe detallado que muestre las conclusiones de la prueba y la posible mejora y adaptación de él a las nuevas condiciones de trabajo.



Figura 2.- Detalle de explotación en capa 1.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE ENSAYO

Como ya se ha anticipado anteriormente, el ensayo de la máquina arrancadora se ejecutará en la capa 1 del Grupo Torre. El motivo de la elección de este tajo experimental se fundamenta en la no existencia de mecanización alguna en la actualidad del arranque en este Grupo.

El panel que se pretende mecanizar se ubicará entre la undécima y décima Planta Este del Grupo, en un macizo de carbón que se proyecta preparar para la realización de este ensayo sobre capa 1, entre las cotas medias de 308 y 320 respectivamente.

A continuación vamos a describir pormenorizadamente las características principales del taller objeto del ensayo.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Los parámetros morfológicos que definen el taller son:

- Potencia capa 1: El espesor de la capa en el panel de ensayo se situará en el entorno de los 50 cm.

- Pendiente tajo: el ángulo medio que forma la capa con la horizontal es aproximadamente de 7°.
- Hastiales: Las rocas encajantes de capa 1 son pizarras finas con elevada esquistosidad, por lo tanto muy plásticas desde el punto de vista de la consistencia, hecho éste que deberemos tener en cuenta a la hora de diseñar el sostenimiento en el deshulle por pasadas con la máquina arrancadora.
- Longitud: El frente de explotación tendrá una longitud entre galería de base y cabeza aproximadamente de 100 metros.
- Buzamiento: La dirección del buzamiento es aproximadamente sur-norte.

### 3.2 GALERÍAS SUPERIOR E INFERIOR

Tanto la galería de base como la de cabeza se avanzarán en sección de 9 metros cuadrados.

Ambas se fortificarán con cuadro metálico perfil TH de 21 kg/m y distancia entre cada cuadro de 750 mm, con sus correspondientes rejillas metálicas entre ellos y bastones de madera para el revestimiento de la sección excavada. Estarán dotadas de tuberías para las redes de aire comprimido y agua.



Figura 3.2.- Ejemplo de galería de base o cabeza con 9 m<sup>2</sup> de sección

### 3.3 NICHOS DE BASE Y CABEZA

Con el objeto de garantizar el espacio necesario para alojar las cabezas motrices y las estaciones de reenvío tanto del cepillo como del transportador blindado, será imprescindible la realización de sendos nichos en los bordes de tajo superior e inferior. De esta manera, y como se describirá más adelante, en la galería de cabeza se ubicarán las estaciones de reenvío del transportador y del cepillo, quedando éste último alojado por detrás del transportador por el lado del hundimiento.

En el borde de tajo inferior de galería de base, se ubicará el cabezal motriz del cepillo por el lado del hundimiento y el cabezal motriz del transportador por el lado del carbón. Esta disposición de ambos motrices exige la realización mediante arranque manual con martillo picador de un nicho en el borde de galería, con el objeto de asegurar un volumen mínimo.

La dificultad más acusada para la ubicación de las motrices en el nicho es la altura, por lo tanto a la hora de realizar esta labor puede suceder que fuese necesaria la realización de un franqueo de techo si la capa no alcanzase la potencia mínima en este punto.

Como norma general, ambos nichos (base y cabeza) siempre asegurarán una potencia mínima de 80 cm, con una longitud, paralela al frente de explotación, aproximada de cuatro metros.

### **3.4 LITOLOGÍA DEL CARBÓN Y HASTIALES**

Como anteriormente hemos apuntado, la capa de carbón que pretendemos mecanizar en este Grupo se denomina "Capa 1". El carbón de la misma es una antracita con concentraciones bajas en cenizas.

En cuanto a sus propiedades más destacables a considerar en este proyecto destacan la resistencia mecánica a la compresión del carbón de capa 1, que más adelante nos permitirá evaluar el esfuerzo de corte necesario y por lo tanto la potencia eléctrica necesaria en el arranque.

Aunque no hemos realizado el ensayo a compresión del carbón, sí sabemos que en el caso más desfavorable no supera los 40-45 MPa, puesto que hemos rozado mediante Minador esta capa en guía y sus hastiales, y el límite de esta máquina, que se situaba en el entorno de los 50-60 MPa, nunca se alcanzó, por lo que partiremos en el supuesto más desfavorable de una resistencia a compresión de 40-45 MPa que también son los valores que obtuvimos con el penetrómetro Schmidt en los hastiales de la capa.

### **3.5 PANEL OBJETO DE ENSAYO**

El ensayo con la máquina arrancadora pretendemos realizarlo en la capa 1 del Grupo Torre entre las plantas 11ª y 10ª hacia el Este. Previamente, para ello, es preceptivo realizar unas labores de preparación en infraestructuras que nos permitan el acceso al mismo, para posteriormente proceder a comunicar ambas Plantas mediante una chimenea de monta que constituirá el frente de arranque una vez haya finalizado el montaje de los equipos de arranque, transporte y sostenimiento.



La fabricación de la máquina abarcará un período de tiempo de cuatro meses, período durante el cual deberemos realizar simultáneamente las labores de preparación extraordinaria de apertura de la guía Este en 11ª Planta y en la 10ª Planta.

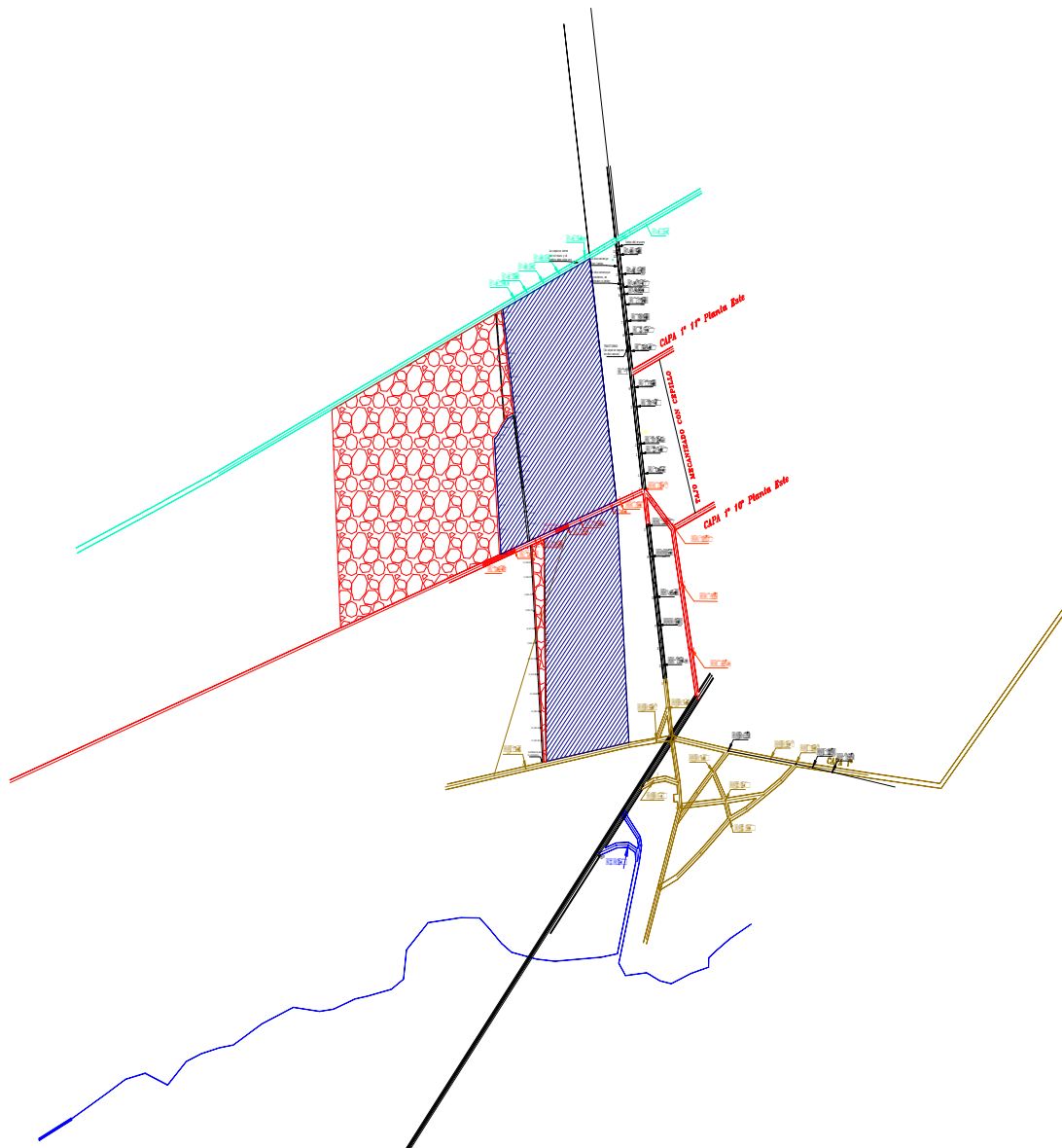


Figura 3.5.- Macizo objeto del ensayo

## **4. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA “CEPILLO”**

Esta máquina de arranque se compone de las siguientes partes que son: transportador blindado, cuerpo arrancador, sistema de ripaje y elementos de maniobra y control.

Todos estos elementos han tenido que experimentar un proceso de diseño específico con el objeto de poder adaptarse a las condiciones particulares de trabajo de nuestras capas, puesto que los talleres que pretendemos mecanizar pertenecen a capas de escasa potencia en los que la mecanización se hace especialmente difícil.

A continuación vamos a realizar una descripción detallada de cada una de las partes que configuran el conjunto.

### **4.1 TRANSPORTADOR BLINDADO**

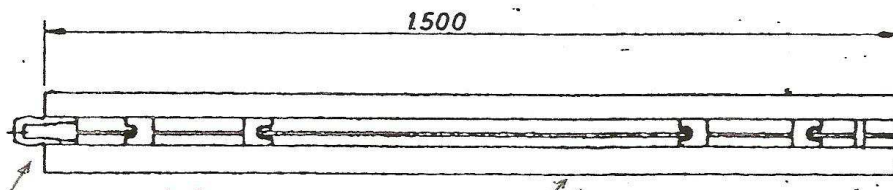
El sistema de transporte del carbón que vamos a utilizar es el transportador de tajo TAIM T-350 de doble cadena lateral para una longitud aproximada de 100 metros.

Hemos elegido este sistema de transporte en tajo debido a que constituye el mecanismo de evacuación del carbón que se utiliza en los talleres de arranque manual, y que históricamente ha representado una solución muy fiable y sencilla en el transporte del carbón en nuestras explotaciones.

Puesto que la filosofía del proyecto parte de la idea de diseñar una arrancadora de carbón que elimine la exigente tarea manual de arranque del carbón, hemos pretendido desde un primer momento mantener en lo posible los sistemas de transporte del mismo por entender que son idóneos y

eficaces y porque tenemos la experiencia del trabajo y mantenimiento con este tipo de maquinaria.

Este sistema va provisto de chapas de 448 mm de anchura, 1.500 mm de longitud y una altura de perfil de 135 mm cada una que van unidas entre sí. En las siguientes imágenes se puede comprobar el diseño de las chapas a utilizar:



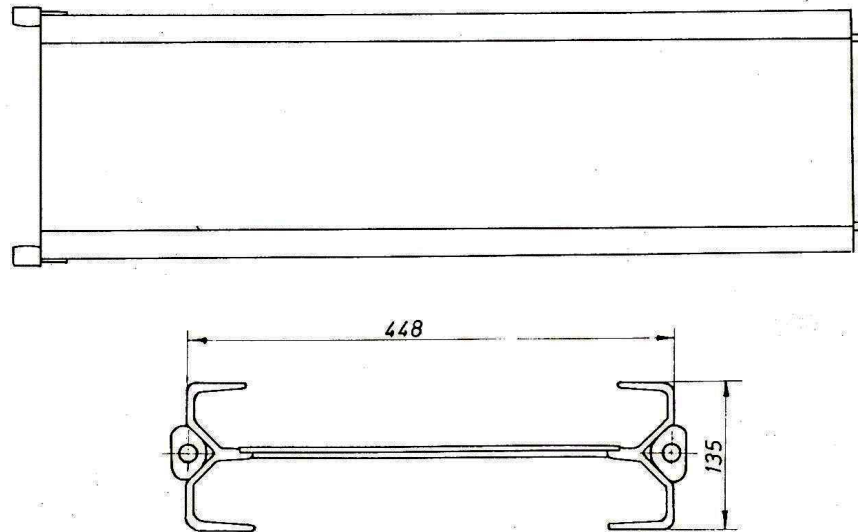


Figura 4.2.- Alzado, perfil y planta del transportador blindado

Como anteriormente informamos, este panzer tiene doble cadena lateral de 14 x 50 mm, que es movida mediante una estación motriz ubicada en la galería de base. El grupo motriz estará constituido de un motor de 22 Kilovatios y 1.500 rpm y un reductor con relación de reducción 1-26, que le confieren al transportador una velocidad aproximada de 0,5 metros por segundo.

Puesto que los chasis, tanto de la estación motriz como de la estación de reenvío, del transportador han de servir como soportes de las ruedas motrices de la cepillo, éstos han tenido que ser rediseñados para la consecución de este objetivo, teniendo que ser modificado sustancialmente el diseño original del fabricante de los mismos, para aportar una mayor rigidez de todo el conjunto.

Las chapas, por el lado del hundimiento, deben ir suplementadas con chapas de realce de 267 mm de perfil, que a su vez servirán de soporte a

los perfiles en U-240 mm que realizarán el sistema de protección de la cadena tractora del cuerpo de la cepillo. La siguiente imagen muestra perfectamente la disposición espacial de las chapas y la ubicación de la cadena por el lado del hundimiento, protegida en todo momento por los perfiles tipo-U para evitar un posible enganche con cualquier cuerpo:

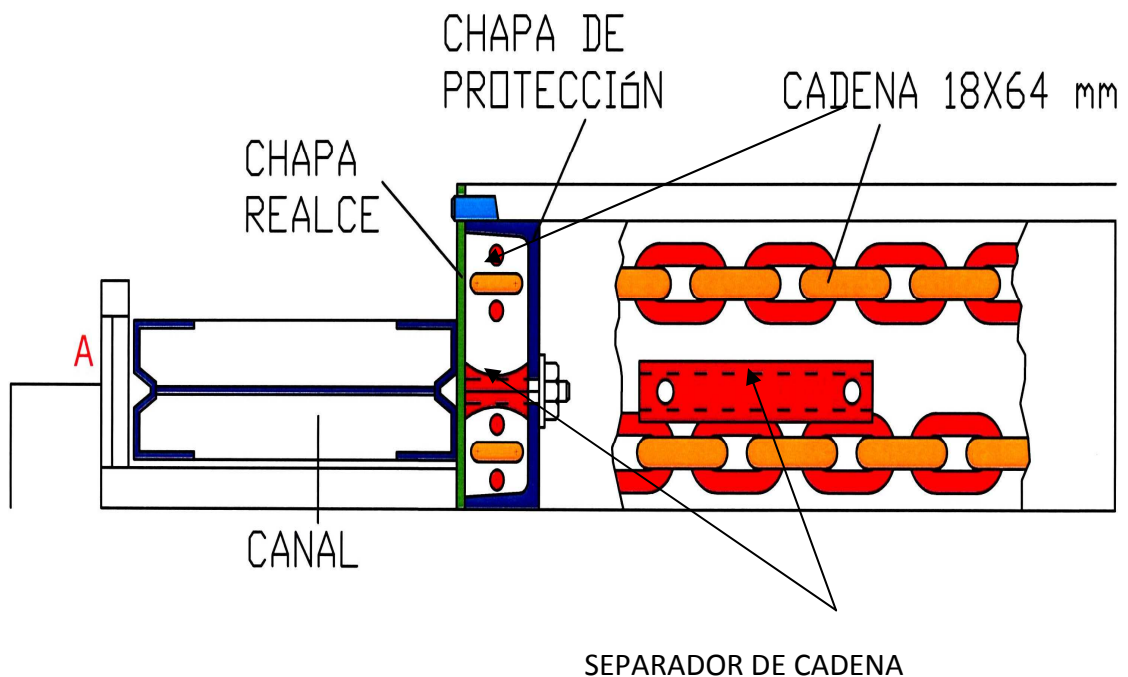


Figura 4.2.- Detalle gráfico de transportador con chapas de realce y de protección montado

En la imagen se puede apreciar que el conjunto transportador blindado-sistema de tracción del cuerpo del tiene un perfil aproximado de 270 mm.

Esta dimensión ha sido muy importante a la hora de realizar el diseño de la máquina, puesto que, como las capas que pretendemos mecanizar con este sistema son capas de espesores que oscilan entre 400-600 mm, el valor de la altura de perfil del conjunto que hemos conseguido aporta un margen suficiente de espacio para poder trabajar en condiciones óptimas de seguridad y movilidad.

## 4.2 CEPILLO

La máquina de arranque propiamente dicha consta de un cuerpo dotado de unas cuchillas que, en virtud de la reacción que ejerce el sistema de ripaje y que es derivada al techo de la capa, provoca el arranque del carbón a su paso por el frente de arranque. Las cuchillas se alojan en sendas bisagras lateralmente dispuestas llamadas “peines”, y en la parte superior del mismo también se alojan otras dos cuchillas iguales para conseguir el mayor perfil posible de arranque. En el extremo de las mismas llevan colocadas una plaqueta de un material muy duro (widia), que constituye el elemento de corte de la máquina.

#### **4.2.1 CUERPO DEL CEPILLO**

El cuerpo del cepillo va alojado inferiormente sobre una placa-base articulada para adaptarse a las irregularidades del terreno, de manera que esta placa se traslada linealmente a lo largo de toda la longitud del tajo por debajo de la chapas del transportador blindado.

En el lado del hundimiento y en ubicación extrema, la placa-base alberga dos dispositivos de amarre opuestos en la misma sobre los cuales se fija la cadena de 18x64 mm que transmitirá la potencia mecánica que le confiere la estación motriz del cepillo.

A medida que el cepillo va arrancando el mineral, el carbón arrancado es conducido al transportador mediante dos placas que se sitúan en los extremos del cuerpo del cepillo por el lado del carbón como es de suponer.

Las siguientes imágenes definen perfectamente la morfología del cuerpo:

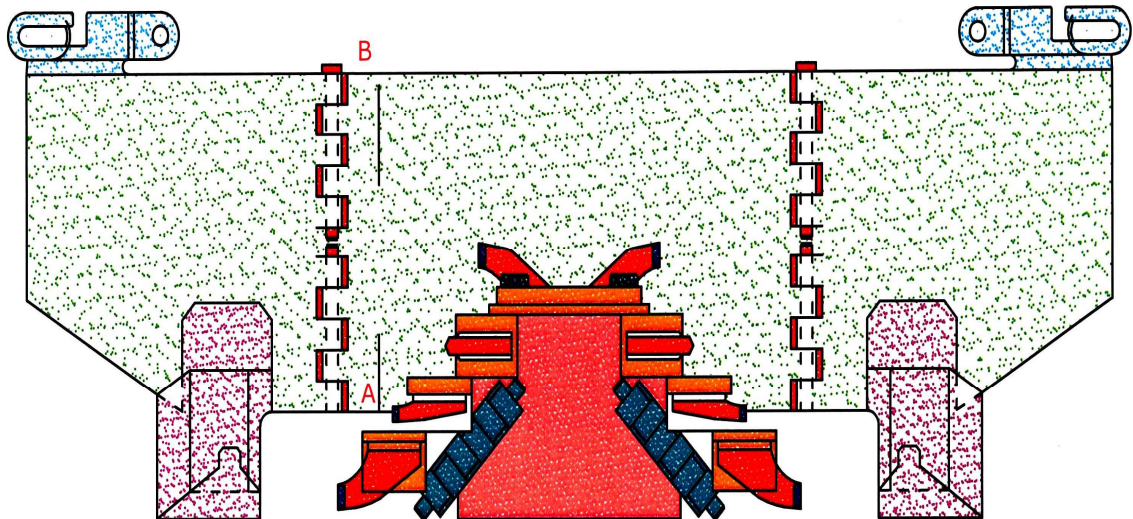


Figura 4.2.1.- Croquis del cuerpo del cepillo

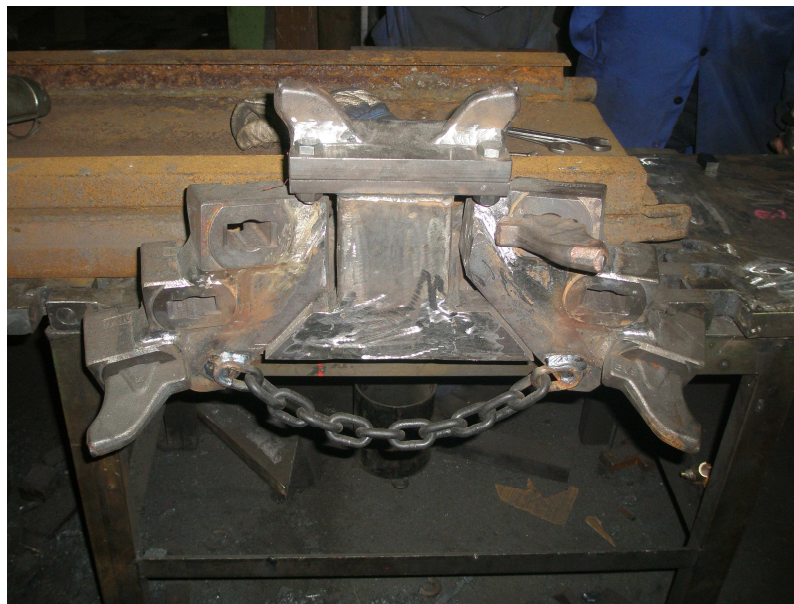


Figura 4.2.1.- Cuerpo del cepillo en proceso de fabricación

El perfil desde la placa-base hasta el extremo de las cuchillas de techo alcanza una altura aproximada de 333 mm, medida ésta que se adapta muy bien a las potencias de las capas estrechas de nuestro yacimiento. Sin embargo, y para enfrentarse a posibles



disminuciones de potencia se ha previsto la retirada de las cuchillas de techo al ir colocadas mediante placa atornillada, quedando de esta manera un perfil útil de cepillo de 270 mm que constituye la altura mínima de deshulle que deberemos procurar en el tajo.

Anteriormente ya se ha informado que el movimiento lineal del cuerpo del cepillo lo transmite una cadena, de dimensiones 18x64 mm, que engrana en una rueda motriz diseñada a tal efecto. Esta cadena se acopla al cuerpo en los dos extremos de la placa-base que se ubican del lado del hundimiento, mediante un eslabón que va seguido de un falso eslabón de cierre.

#### 4.2.2 ESTACIÓN MOTRIZ

La rueda motriz en la que engrana la cadena dispone de un perfil exterior para albergar a ésta en los dos planos perpendiculares, de manera que este conjunto se constituye en el sistema de transmisión de la rotación generada en el motor. Esta motora va alojada en una carcasa que va embridada en el chasis principal a partir del cual va montado todo el tren de canales, y dispone de un diámetro útil de 300 mm.

La siguiente fotografía muestra la rueda motriz:



Figura 4.2.2.- Detalle de estación motriz en proceso de fabricación

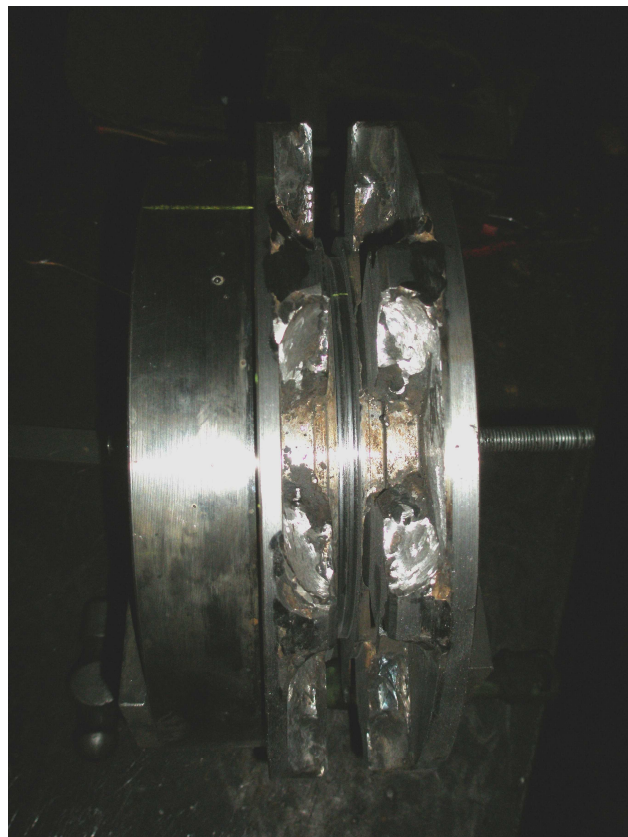


Figura 4.2.2.- Detalle de catalina y guía de cadena en proceso de fabricación

La rueda motriz engrana mediante un eje estriado macho de 120 mm de diámetro nominal en un reductor, que por motivos de reducción de espacio hemos elegido en la configuración de sistema de engranajes satélites. Este tipo de reductores ocupan poco espacio en las tres dimensiones y son muy fiables mecánicamente.

Este reductor ha sido elegido con relación de reducción de 64,8:1 con el objeto de conseguir una velocidad para el cepillo de 0,36 m/s aproximadamente, como posteriormente se demostrará. Esta relación de reducción se consigue mediante varias etapas de reducción.



Figura 4.2.2.- Detalle del reductor elegido

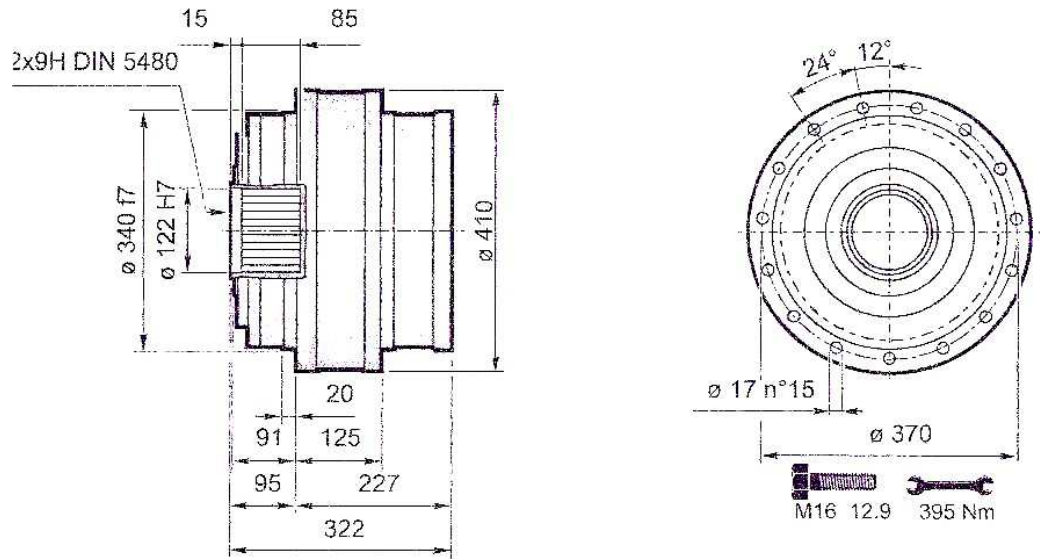


Figura 4.2.2.- Croquis del reductor

El reductor se acopla mediante un acoplamiento directo con chaveta a un motor eléctrico que embrida en el reductor mediante una campana. EL motor eléctrico de 4 polos alcanza una velocidad de rotación nominal de 1 500 revoluciones por minuto, entregando una potencia nominal de 45 kilovatios que estimamos suficiente.

La velocidad lineal de la máquina arrancadora conseguida con este reductor, como anteriormente habíamos informado, se sitúa en el entorno de 0,36 m/s :

$I = \text{relación de reducción} = 64,8:1$

Velocidad entrada reductor  $\sim 1480$  rpm

Velocidad salida reductor  $\sim 22,84$  rpm

Velocidad lineal máquina  $\sim 0,36$  m/s

#### 4.2.3 ESTACIÓN REENVÍO

La cadena que genera el movimiento del cepillo, como no podía ser de otra manera, tiene que tener un movimiento rotativo en el extremo del borde de tajo superior. De esta manera hemos elegido una estación de reenvío constituida por una rueda gemela a la motriz pero desprovista de tracción alguna, es decir, ésta tiene como misión guiar la cadena y completar el movimiento de la misma.

La geometría y disposición de la estación de reenvío es similar a la motriz, estando formada por una rueda que gira sobre un bastidor que se encuentra embridado al chasis del transportador blindado.

Hemos desestimado la posibilidad de que la estación de reenvío pudiera ser motora con el objeto de simplificar notablemente la construcción de la máquina. El hecho de dotar a la rueda de reenvío de funcionalidad desde el punto de vista de la tracción nos obligaría a realizar un enclavamiento eléctrico entre las dos estaciones motoras complicando enormemente el diseño de la máquina y la instalación de la misma. No



obstante, el diseño contempla la compatibilidad de su adaptación en el supuesto que fuere necesario.

En un principio, y en base a todos los cálculos teóricos y empíricos efectuados, podemos concluir que el cepillo puede perfectamente realizar el trabajo de arranque en todo el frente de carbón encontrándose solamente animada por la motriz de base, y dejando asumir a la estación de cabeza las funciones exclusivamente de elemento auxiliar de rotación.

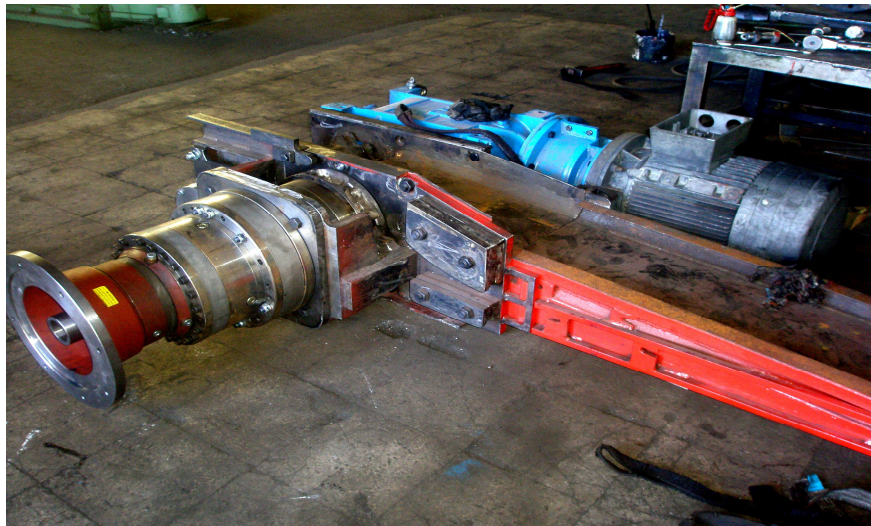


Figura 4.2.3.- Detalle de la estación motriz o cabezal del cepillo.

### 4.3 SISTEMA DE RIPAJE

El movimiento de traslación del cepillo en contacto con la capa de carbón provoca el arranque del mismo. Para que se produzca este fenómeno es necesario que el cuerpo del cepillo al recibir una presión del lado del hundimiento contra el frente del carbón,

tenga que rozar el carbón y se produzca en todo momento el contacto del cuerpo del cepillo con la veta de carbón.

Esto se consigue mediante la utilización de empujadores de transportador blindado que realizan esta misión en dos fases.

La primera fase se completa cuando, una vez la máquina arrancadora ha realizado el deshulle en una longitud aproximada de 6 metros de frente, se accionan los empujadores de manera que en este acto se ubica el transportador blindado en contacto con el carbón. La segunda fase implica que al volver a pasar el cepillo por este tramo, la reacción que ejerce el cuerpo arrancador en su avance debe transmitirse al techo de la capa para conseguir que la presión al frente se transmita en el arranque.

Para conseguir este ripaje del transportador de tajo, en primera aproximación se apostó por la utilización de empujadores neumáticos cada 6 metros acoplados a la red de aire comprimido de la explotación. Estos cilindros se accionarían con el aire comprimido de la red general de la mina, entendiéndose que las condiciones de presión de trabajo de los mismos se situarán en el entorno de las 4-5 atmósferas.



Figura 4.3.- diseño de un empujador neumático

El diámetro de este tipo de empujadores es de 125 mm, por lo tanto la fuerza que realizarán en el empuje será aproximadamente de 61,4 N.

El esfuerzo de rozamiento que deberemos vencer con cada empujador neumático se situará en el entorno de los 50 N. Cada empujador se sitúa a una distancia de 6 metros (cuatro canales de transportador), y tendrá que vencer la fuerza de rozamiento correspondiente al peso total existente en cada tramo de 6 metros, supuesto horizontal el movimiento.

El cilindro neumático tiene una capacidad de empuje que supera el esfuerzo de rozamiento teórico al que hacer frente, concretamente en un 25% adicional.



Con esto queda perfectamente demostrado que la utilización de los empujadores neumáticos podría constituir una opción adecuada y a tener en cuenta para esta aplicación y estas condiciones de trabajo.

Los cilindros llevarán en su extremo un puntal que transmitirá la reacción al techo de la capa de la presión ejercida del cuerpo arrancador sobre el panzer.

Aunque somos conscientes que el sistema neumático no es el de mayor rendimiento, se ha contemplado en este proyecto por la simplicidad en los equipos, puesto que en el interior de la mina disponemos de una red general de aire comprimido.

La utilización de esta energía en empujadores neumáticos requerirá acoplar a cada empujador válvulas reguladoras de caudal, puesto que la velocidad lineal del empujador deberá adaptarse a aquella que permita que la operación de ripaje se realice en condiciones de seguridad, dado que la velocidad del aire comprimido es alta debido a su baja viscosidad.

A pesar de lo anteriormente expuesto, finalmente se ha descartado la utilización del sistema neumático al asumir que el margen extra de potencia de utilización pudiera resultar escaso en algunos casos, y dada la fragilidad de los cilindros neumáticos al no

disponer éstos de una protección rígida que los proteja de las tensiones que se generan en el trabajo minero.

Por ello al final nos hemos decantado, para realizar las operaciones de ripaje del conjunto transportador-cepillo, por la utilización de una estación de presión de taladrina que accionará a los empujadores hidráulicos, puesto que este tipo de central hidráulica trabaja con mayores presiones que nuestra red de aire comprimido, y puesto que nos abre la posibilidad de su compatibilidad de cara a la utilización de mampostas hidráulicas de bomba colectiva en el taller, amén de utilizar unos cilindros hidráulicos de nuevo diseño que disponen de mayor robustez y protección frente a las necesidades derivadas de las condiciones de trabajo.

Queda, sin necesidad de realizar cálculo alguno y partiendo del realizado para el caso neumático, demostrada la idoneidad de la utilización del sistema hidráulico de presión para acometer las operaciones de ripaje del conjunto, al trabajar en un intervalo de presiones muy superior al caso anteriormente analizado.

#### **4.4 SISTEMA ELÉCTRICO**

Los grupos motrices del transportador blindado y del cepillo aprovechan la potencia eléctrica aportada por motores eléctricos acoplados a la red eléctrica de interior de mina de 380 V. De esta manera, y como más adelante demostraremos, apoyándonos en el cálculo teórico-práctico, el motor del cepillo dispondrá de una potencia nominal de 45 kilovatios y el motor del transportador blindado de una potencia de 22 kilovatios.

De acuerdo a las velocidades de diseño que serán respectivamente de 0,36 y 0,5 metros por segundo, las máquinas eléctricas anteriormente descritas aportan la fuerza para el trabajo de la máquina, con margen suficiente para que puedan hacer frente a cualquier esfuerzo aunque se encuentre por encima del régimen habitual de trabajo.

Los dos motores van acoplados en los reductores correspondientes, con un acoplamiento directo en el caso del motor del cepillo y con un acoplamiento hidráulico para el motor del transportador blindado.

Todas las operaciones de funcionamiento, maniobra y control de estos equipos eléctricos serán realizadas en una unidad de control eléctrica que dispondrá de un variador de frecuencia para el motor del cepillo. De esta manera será posible modificar las velocidades del elemento arrancador de carbón.

## **5. ESTUDIO DE ESFUERZOS DE LA MÁQUINA.**

Para proceder al diseño y dimensionamiento de las potencias nominales de los elementos que componen la máquina, es necesario realizar un análisis teórico y empírico sobre las fuerzas a las que va a hacer frente el cepillo en su trabajo de arranque y transporte del mineral. De esta manera y para la obtención de conclusiones, se va a abordar el problema desde dos vertientes que deben complementarse. Por consiguiente, los datos obtenidos tienen que informar acerca de los parámetros característicos a la hora de tener en cuenta el diseño de la máquina.

Estos dos frentes de estudio e interpretación de datos que abrimos, son aquellos que corresponden al análisis teórico de los esfuerzos de tracción de la arrancadora y al análisis de datos registrados en experiencias en otros equipos que podamos extrapolar a nuestra máquina.

## **5.1. DATOS DE POTENCIAS Y PARES**

Entendemos que el dato más relevante a definir en este apartado lo constituyen la potencia y el par necesario para la operación de arranque de carbón. Este registro es

función de una serie de variables entre las cuales la más decisiva es la velocidad de diseño de la máquina.

En base a la experiencia de nuestro departamento y gracias a la documentación examinada, creemos que una instalación mecanizada de estas características, como dato de partida de diseño, no debe exceder una velocidad de 0,40 metros por segundo.

En base también a nuestra experiencia entendemos que la fuerza de arranque necesaria que deberá aportar el grupo motriz del cepillo se deberá situar en un valor aproximado de 20 CV.

Esta potencia debemos incrementarla en un 50 % en origen, con el objeto de hacer frente al arranque de la máquina y al arrastre de todos los componentes de la máquina, por lo tanto teóricamente podemos concluir que la potencia eléctrica que vamos a necesitar se situará en una horquilla entre los 35-40 CV.

Con el objeto de prever situaciones punta y por lo tanto de sobredimensionar los equipos, creemos que con la instalación de un motor de 45 kilovatios de potencia nominal es suficiente para el trabajo a desarrollar.

## **6. ADAPTACIÓN DE LA MÁQUINA A LAS CONDICIONES DE TRABAJO**

En este apartado vamos a analizar si la elección de los equipos que componen la máquina es acertada o no, después de haber definido, de un modo teórico y experimental, las sollicitaciones mecánicas a las que va a ser sometida en su trabajo.

### **6.1 TRANSPORTADOR BLINDADO**

En principio, el transportador blindado no va a ser objeto de nuestro estudio puesto que ya conocemos perfectamente su funcionamiento y no vamos a introducir variable alguna en su régimen de trabajo.

### **6.2. CADENA TRACTORA DEL CEPILLO**

La transmisión del par de rotación desde la rueda motriz se realizará mediante una cadena de 18 x 64 mm que irá alojada en el interior de los perfiles U-240 por el lado del hundimiento. Esta cadena estará sometida a un esfuerzo de tracción determinado, por lo que en base a nuestra experiencia y la carga de rotura garantizada por el fabricante, estimamos que las características de fabricación de la misma son garantes de absorber los

esfuerzos de trabajo con coeficientes de seguridad aceptables, por la que la elección de este tipo de cadena se adapta perfectamente a las condiciones de trabajo de nuestra máquina.

### **6.3. REDUCTOR DE LA ESTACIÓN MOTRIZ**

A la hora de escoger un reductor para esta aplicación han primado fundamentalmente los criterios de fiabilidad y aprovechamiento del espacio.

La fiabilidad mecánica creemos que estará garantizada si somos capaces de elegir un reductor, de características de fabricación determinadas, que pueda hacer frente al trabajo con márgenes suficientes y mejorando las prestaciones del equipo.

Por otra parte, como ya hemos comentado con anterioridad, el espesor de las capas a mecanizar con este proyecto es reducido, por lo tanto este parámetro de la altura de esta máquina es muy importante a la hora de facilitar su instalación, manejo, mantenimiento, etc.

El reductor modifica la velocidad entre dos ejes, de manera que, conociendo la velocidad que queremos dotar al cepillo, debemos

ajustar la relación de reducción entre los ejes de entrada y salida al reductor. Es decir, la restricción la impone la velocidad del cepillo, que como hemos especificado anteriormente, queremos que se sitúe en el entorno de los 0,4 m/s.

De esta manera, acudimos a catálogos existentes en el mercado para elegir el reductor. Como queremos que éste ocupe poco espacio, hemos optado por el sistema de reducción de engranajes satélites, puesto que por construcción las dimensiones son mínimas.

Después de contemplar las diferentes ofertas de este tipo de reductores, nos hemos decidido por el siguiente reductor:

Tipo de reductor: Engranajes Satélites

Marca: Som

Tipo: PG 3503- Ejecución lineal

Relación de reducción: 64,8:1

$n_2$  = velocidad de salida  $\sim$  22,84 rpm



Tabla 6.3- Tabla del reductor elegido

	i	Mc [kNm]				n1max [min <sup>-1</sup> ]	Pt [kW]
		n2 x h	n2 x h	n2 x h	n2 x h		
		10.000	20.000	50.000	100.000		
<b>PG 3501</b>	4.00	42.37	37.50	31.91	28.25	1500	54
	4.71	36.11	31.96	27.20	24.07		
<b>PG 3502</b>	14.2	42.37	37.50	31.91	28.25	2000	34
	17.1	42.37	37.50	31.91	28.25		
	20.2	36.11	31.96	27.20	24.07		
	22.4	42.37	37.50	31.91	28.25		
	26.4	36.11	31.96	27.20	24.07		
	31.8	36.11	31.96	27.20	24.07		
	40.8	36.11	31.96	27.20	24.07		
<b>PG 3503</b>	53.7	42.37	37.50	31.91	28.25	2800	23
	58.7	42.37	37.50	31.91	28.25		
	64.8	42.37	37.50	31.91	28.25		
	70.7	42.37	37.50	31.91	28.25		
	83.2	36.11	31.96	27.20	24.07		
	88.6	42.37	37.50	31.91	28.25		
	99.6	36.11	31.96	27.20	24.07		
	108.7	36.11	31.96	27.20	24.07		
	121.0	36.11	31.96	27.20	24.07		
	134.0	36.11	31.96	27.20	24.07		



Figura 6.3- Reductor en fase de construcción

También y en base a la experiencia sabemos que los valores de potencias en uno de los cepillos en producción, oscilan en un entorno de 28-33,5 kilovatios para un régimen normal de funcionamiento. Debemos decir que estos registros corresponden a una máquina arrancadora que se encuentra sometida a mayores esfuerzos en origen que nuestro futuro cepillo debido a una serie de factores entre los cuales los más destacados son:

- Cadena tractora de 24x87,5 mm en vez de 18x64 mm.
- Cuerpo de cepillo más pesado y con diferentes dimensiones que el del cepillo de proyecto.
- Mayor superficie de corte en los peines del que en los peines del cepillo de proyecto.
- Mayores esfuerzos por sobredimensionamiento con respecto al ensayo a realizar.
- Longitud de explotación incrementada en un 25% con respecto al taller-piloto objeto del proyecto.

En base a lo argumentado, consideramos que la elección del reductor es la adecuada para las futuras condiciones de trabajo del mismo.

## 6.4 CUERPO DE CEPILLO

El diseño del elemento de arranque de la máquina se ha realizado sobre la base de una premisa fundamental, consistente en la minimización del volumen del mismo para poder adaptarse perfectamente a las capas que queremos mecanizar.

El objetivo, desde un primer momento, de este proyecto ha sido poder mecanizar las capas más estrechas de nuestro yacimiento, liberando a los mineros la difícil tarea del arranque del carbón mediante el método tradicional consistente en la utilización del martillo picador.

Hemos diseñado un cepillo con una altura de 30 centímetros aproximadamente, como ya hemos comentado con anterioridad, desde el suelo hasta el extremo de las cuchillas de techo, disponiendo de la posibilidad de poder retirar estas cuchillas de techo. El cuerpo del cepillo desprovisto de las picas de techo, alcanza una altura de 27 cm aproximadamente, pudiendo adaptarse a las posibles variaciones de potencia que sufren este tipo de capas.

Puesto que a veces los muros de estas capas son un tanto irregulares, la placa-base del cuerpo del cepillo se encuentra articulada con el objeto absorber y adaptarse, en la medida de lo posible, a estas discontinuidades de muro.

Sin embargo no hemos disminuido los espesores de las chapas, llantas, etc, al entender que es un órgano principal que va a estar sometido a un desgaste importante en su funcionamiento.

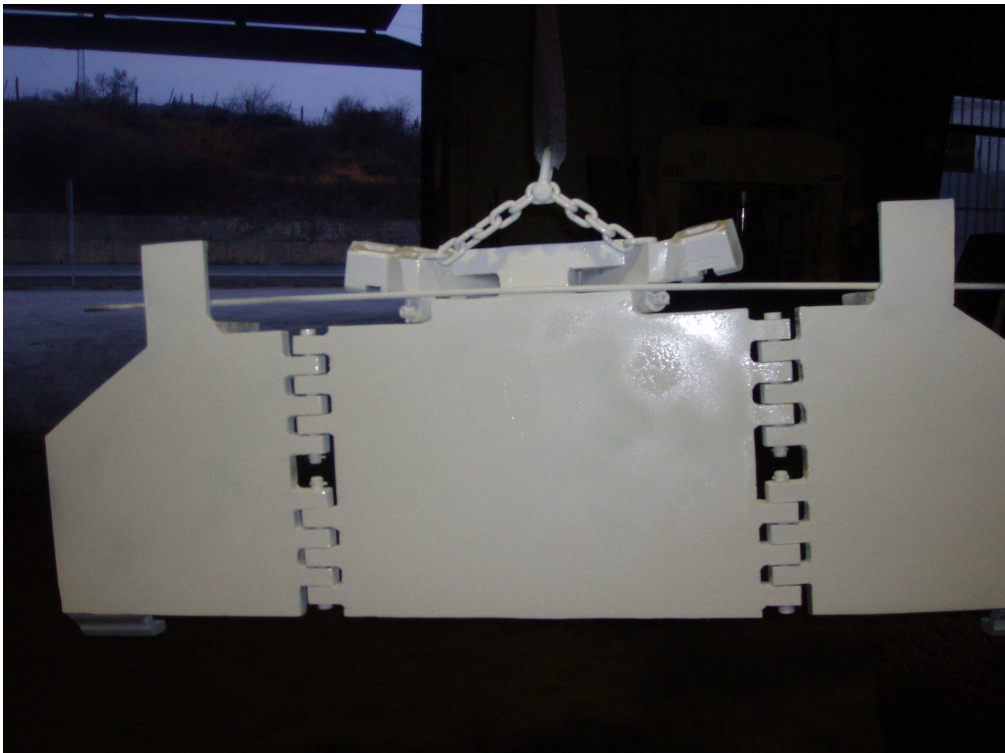


Figura 6.4.- Cuerpo del cepillo

## 7. ORGANIGRAMA DE MONTAJE DEL CEPILLO.

FECHA	Jornales de 9 horas				INSTALACIÓN CEPILLO .CAPA 1 TORRE
	Vigilantes	Mecánicos Eléctricos	Ayudantes	TOTAL	OBSERVACIONES
03/06/2012		2	3	5	Se instala la mesa de montaje y se montan 6 chapas.
04/06/2012		1	4	5	Se instalan 4 chapas en tres horas de trabajo solamente.
05/06/2012	2	2	4	8	Se instalan 17 chapas
05/06/2012	2	2	4	8	Se instalan 14 chapas
06/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 17 chapas
06/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 6 chapas solamente pues en el montaje tiraron el posteo que tuvieron que volver a entibar.
07/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 8 chapas
09/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 7 chapas + cuerpo cepillo
10/06/2012	1	2	2	5	Se instalan 2 chapas y se monta el reenvío. Se le da la vuelta al reductor y a la guitarra del reenvío.
11/06/2012	1	2	2	5	Se instala el reenvío dentro del taller. Se desmonta el cabezal para cambiar el sentido del eje del panzer.
12/06/2012	1	2	2	5	Se instala el cabezal y se conectan los flexibles a las centrales.
13/06/2012	1	2	2	5	Conexión de motores y instalación cable de 24 hilos, manjón de aire y se preparan centrales.
FECHA	Jornales de 9 horas				INSTALACIÓN CEPILLO .CAPA 1 TORRE
FECHA	Vigilantes	Mecánicos Eléctricos	Ayudantes	TOTAL	OBSERVACIONES
03/06/2012		2	3	5	Se instala la mesa de montaje y se montan 6 chapas.
04/06/2012		1	4	5	Se instalan 4 chapas en tres horas de trabajo solamente.
05/06/2012	2	2	4	8	Se instalan 17 chapas
05/06/2012	2	2	4	8	Se instalan 14 chapas
06/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 17 chapas
06/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 6 chapas solamente pues en el montaje tiraron el posteo que tuvieron que volver a entibar.
07/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 8 chapas
09/06/2012	1	2	5	8	Se instalan 7 chapas + cuerpo cepillo
10/06/2012	1	2	2	5	Se instalan 2 chapas y se monta el reenvío. Se le da la vuelta al reductor y a la guitarra del reenvío.
11/06/2012	1	2	2	5	Se instala el reenvío dentro del taller. Se desmonta el cabezal para cambiar el sentido del eje del panzer.
12/06/2012	1	2	2	5	Se instala el cabezal y se conectan los flexibles a las centrales.
13/06/2012	1	2	2	5	Conexión de motores y instalación cable de 24 hilos, manjón de aire y se preparan centrales.
16/06/2012	1	2	2	5	Se instalan las redes de presión y retorno en la explotación. Estamos a la espera de la instalación del armario eléctrico matriz que ha tenido que ser cableado completamente por deterioro del primitivo.
17/06/2012	1	2	2	5	Conexión de flexibles de empujadores. Se arranca el cepillo y panzer para su tensado y se instalan raquetas.
18/06/2008	1	2	3	6	Se termina de instalar raquetas. Se instalan los empujadores y se conectan.
19/06/2012	1	2	2	5	Instalación de los puntales telescópicos de los empujadores.
20/06/2012	1	2		3	Apoyo al electricista a terminar de conectar los equipos eléctricos.
<b>TOTAL</b>				<b>102</b>	<b>MONTAJE FINALIZADO</b>

## **8. ANÁLISIS Y PRESUPUESTO DE LA INVERSIÓN.**

Lógicamente y como no podría ser de otra manera, el estudio, diseño y fabricación de la máquina de este proyecto supone un coste importante que deberemos analizar si es o no viable.

El importe total de la inversión a realizar se compone de las siguientes partidas presupuestarias:

<b>Chapas de realce y Perfiles U-240 para 100 metros, Chasis Cabezal y reenvío, dos ruedas motrices, dos carcasas de accionamiento, cuerpo de cepillo, dos tambores motrices, acoplamientos y campanas de unión motoredutores</b>	<b>54.000 €</b>
Reductor SOM I:64,8:1	<b>6.037 €</b>
270 metros cadena 18x64 mm	<b>3.800 €</b>
20 empujadores y 20 puntales	<b>20.000 €</b>
1 Variador de frecuencia para un motor de 45 Kw	<b>3.833 €</b>
130 separadores de cadena	<b>3.250 €</b>
Armario eléctrico	<b>3.800 €</b>
Acondicionamiento canales de transportador	<b>7.000 €</b>
Imprevistos y varios	<b>10.000 €</b>

**IMPORTE TOTAL .....111.720 €**

La inversión total a realizar ascenderá a una cantidad aproximada de 111.720 euros, de manera que estimamos que ésta se amortizará en un período de 6 meses.

RAMPLA CON PICADORES	RAMPLA CON CEPILLO
<p>-GASTOS FIJOS -PRODUCCIÓN = 120t /dia -PRECIO TÉRMICA + SUBENCIÓN = 98 euros/t -1 MES = 2400 toneladas=235000 EUROS</p>	<p>-GASTOS FIJOS -PRODUCCIÓN = 130 t/dia -PRECIO TÉRMICA + SUBENCIÓN = 98 euros/t -1 MES = 2600 toneladas=254800 EUROS</p>

**DIFERENCIA MENSUAL DE 19800 euros**  
**6 MESES X 19800 euros = 118800euros**



## 9. LISTA DE REFERENCIA

Apuntes de Mecánica de Rocas

Atlas Copco Rock Drills

Diseño de Voladuras Dr. Calvin J. Konya

Guía de la Minería Subterránea Métodos y aplicaciones

Ingeniería Geológica

Manual General de Minería y Metalurgia

Manual de Perforación y voladuras de rocas Lopez Jimeno

<http://www.mackina-westfalia.com/>

[http://www.comerindustries.com/mediaObject/media/documentazione-tecnica/PG\\_PGA\\_2014\\_web/original/PG\\_PGA\\_2014\\_web.pdf](http://www.comerindustries.com/mediaObject/media/documentazione-tecnica/PG_PGA_2014_web/original/PG_PGA_2014_web.pdf)