

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA
TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA DE CARBÓN: MEMORIA

Por: César Núñez Chover

Tutor: Jose Enrique Tarancón Caro

INDICE:

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETO DEL PROYECTO	5
3. SOLUCION ADOPTADA	6
3.1 ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN MECÁNICA	6
3.1.1 Material de los engranajes	6
3.1.1.1 Piñón de la primera etapa	7
3.1.1.2 Rueda de la primera etapa	7
3.1.1.3 Piñón de la segunda etapa	7
3.1.1.4 Rueda de la segunda etapa	7
3.2 ÁRBOLES DEL REDUCTOR	7
3.2.1 Material utilizado	8
3.2.2 Árbol de entrada	9
3.2.3 Árbol intermedio	9
3.2.4 Árbol de salida	9
3.2.5 Deformaciones en los árboles	10
3.2.5.1 Rigidez torsional	10
3.2.5.2 Deflexiones	10
3.2.5.3 Vibraciones	10
3.3 RODAMIENTOS	11
3.3.1 Rodamientos del reductor	11
3.3.1.1 Rodamiento del árbol de entrada	11
3.3.1.2 Rodamiento del árbol intermedio	12
3.3.1.3 Rodamiento del árbol de salida	12
3.4 TIPO DE UNIÓN EMPLEADA	13
3.4.1 Árbol de entrada	13
3.4.2 Árbol intermedio	13
3.4.3 Árbol de salida	13
3.5 JUNTAS DE ESTANQUEIDAD	14
3.5.1 Características de las juntas	14
3.5.1.1 Retén en el árbol de entrada	14
3.5.1.2 Retén en el árbol de salida	15
3.6 ELEMENTOS PARA FIJACIÓN AXIAL DE ENGRANAJES	16
3.6.1 Casquillos en árbol de entrada	16
3.6.2 Casquillos en árbol intermedio	16
3.6.3 Casquillos en árbol de salida	16

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA
TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

3.7 CARCASA	17
3.7.1 Lubricación	18
3.7.1.1 Tipo de lubricación en el reductor	18
3.7.2 Tornillería	19
4. MONTAJE DEL REDUCTOR	19
5. SOLUCIONES ALTERNATIVAS	20
5.1 MATERIAL DE LA CARCASA	20
5.2 TIPOS DE ENGRANAJES	20
5.3 TIPOS DE UNIONES A TORSIÓN	20

1. INTRODUCCIÓN

El carbón es un combustible que ha sido usado para la producción de energía desde comienzos de la era industrial.

A día de hoy sigue siendo un recurso energético muy importante y muchas centrales térmicas suministran de energía eléctrica a partir de este.

A pesar de combustionar con mayor dificultad que el petróleo, e incluso a ser costosa su extracción, debido a evitar la dependencia de los países productores del petróleo y gas muchos países lo usan como fuente energética importante.

El problema de la combustión del carbón radica en que para quemarse tiene que prender por la parte superficial más externa, que es donde esta en contacto con el aire.

Para el facilitar la combustión, se muele y se tritura en polvo fino.

Otra problemática del carbón como combustible a día de hoy son las cenizas que genera.

El carbón recorre la cinta tratado y pulverizado donde se decanta en la tolva que precede al quemador. Allí se acumulará hasta que pase hacia el lecho del hogar (donde tendrá lugar la combustión) como el que se muestra en la figura siguiente:

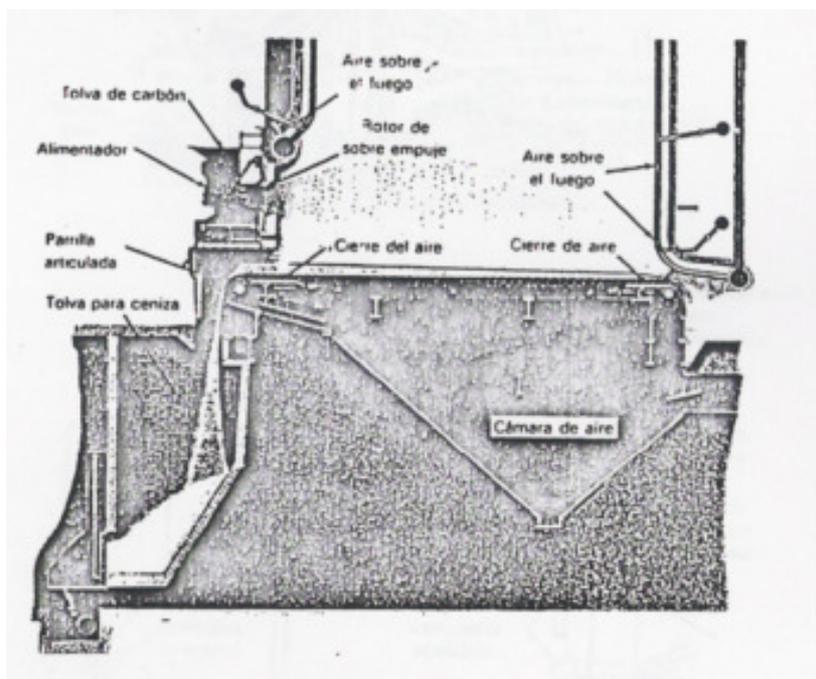


fig. 1- Hogar lecho fijo

2. OBJETO DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un reductor para el accionamiento de una cinta transportadora de carbón de una central térmica.

Se dispone de un motor eléctrico de:

- 55 KW
- 1500 rpm

para mover la cinta transportadora de carbón para la alimentación del hogar.

Características:

Transportadora de cinta fija GF1400x43

Ancho de la cinta: 1400 mm
Distancia entre ejes: 43 m
Potencia motriz: 55 kW
Velocidad de la cinta: 2,5 m/s
Carbón: 1200 t/h

Facilitados por FAM en:

www.fam.de

Para llenar la tolva la cinta transportadora requiere de una potencia de 55 KW que deberá mover el carbón a una velocidad lineal de 2.5 m/s.

La cinta tiene un tambor de 200 mm de diámetro que transmite el par permitiendo la transmisión del movimiento a la cinta.

Como se puede observar para la transmisión de la velocidad de la cinta el tambor debería girar a:

$$\omega = \frac{V}{\frac{D}{2}} = \frac{2.5}{\frac{0.2}{2}} = 25 \text{ rad/s} = 238.73 \text{ rpm}$$

La velocidad del tambor difiere de la del motor con lo cual no podrá ir directamente conectado, si no que se deberá acoplar un reductor como elemento intermedio transmitiendo la misma potencia pero reduciendo la velocidad a transmitir y aumentando el par.

La relación de transmisión a aportar del reductor es de:

$$i = \frac{1500}{238.73} = 6.28$$

3. SOLUCION ADOPTADA

Se ha optado por el diseño de un reductor de 2 etapas.

Cada una de las etapas tendrá una relación de:

$$i_{etapa} = \sqrt{i} = \sqrt{6.28} = 2.5$$

3.1 ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN MECÁNICA

Para este reductor de velocidad, se va a utilizar como elemento de transmisión el engrane de contacto directo, pues es la clase más utilizada, tanto entre árboles paralelos como entre árboles cruzados o que se cortan, y, además, sirve para una gama de potencias, velocidades y relaciones de transmisión muy amplia. Prácticamente cubre todas las aplicaciones donde se precisa una transmisión mecánica.

De las transmisiones por engrane se tiene como principal ventaja que la relación de transmisión permanece constante, independientemente de la carga aplicada. También ofrecen una elevada fiabilidad durante su funcionamiento, además de que poseen una larga duración en cuanto a vida se refiere.

Concretamente en este proyecto va a utilizarse transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos de perfil evolvente.

El rendimiento en cada etapa de transmisión está comprendido en el rango del 96 al 99 %.

3.1.1 Material de los engranajes.

Para la construcción de los engranajes que forman parte de este reductor de velocidad, se ha optado por emplear **acero de F1140 endurecido superficialmente por inducción** para ambas etapas.

3.1.1.1 Piñón de la primera etapa.

El piñón de la primera etapa de reducción irá labrado al árbol de entrada y tendrá las siguientes características:

Módulo (mm)	3
Número de dientes	27
Ancho del diente (mm)	57
Diametro primitivo (mm)	81
Angulo de presión	20°
Calidad ISO	5

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

3.1.1.2 Rueda de la primera etapa

La rueda de la primera etapa de reducción se unirá al mediante una chaveta al árbol de entrada y tendrá las siguientes características:

Módulo (mm)	3
Número de dientes	67
Ancho del diente (mm)	57
Diametro primitvo (mm)	201
Angulo de presión	20°
Calidad ISO	5

3.1.1.3 Piñón de la segunda etapa

El piñón de la primera etapa de reducción irá labrado al árbol intermedio y tendrá las siguientes características:

Módulo (mm)	4
Número de dientes	25
Ancho del diente (mm)	97
Diametro primitvo (mm)	100
Angulo de presión	20°
Calidad ISO	5

3.1.1.4 Rueda de la segunda etapa

La rueda de la segunda etapa de reducción se unirá al mediante una chaveta al árbol de salida y tendrá las siguientes características:

Módulo (mm)	4
Número de dientes	62
Ancho del diente (mm)	97
Diametro primitvo (mm)	248
Angulo de presión	20°
Calidad ISO	5

3.2 ÁRBOLES DEL REDUCTOR

Los árboles son componentes de máquinas cuya finalidad es la de transmitir potencia a una velocidad de giro determinada entre distintos elementos como poleas, engranajes, etc. En este proceso de transmisión de potencia a una velocidad de giro determinada en el árbol se generan tensiones por esfuerzo de corte o tensiones tangenciales producidas por un par torsor. Además, el árbol soporta componentes transmisores de potencia, como son los engranajes, los cuales ejercen fuerzas sobre el árbol siendo estas perpendiculares, lo que provoca la aparición de momentos de flexión en el mismo y la consiguiente tensión normal.

Para asegurar una larga vida a fatiga de los árboles éstos deben poseer una elevada rigidez, un buen apoyo fijo obtenido mediante rodamientos y un buen equilibrado ya

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

que si esto no se consigue, los problemas de fatiga aparecerán mucho antes de lo esperado.

Para evitar el fallo por fatiga en los cambios de sección y evitar la aparición de grietas que acaben destruyendo al árbol, se deberá optar por el mecanizado de radios de acuerdo en los cambios de sección.

Los árboles de este reductor han sido calculados según los siguientes pasos:

- Se ha estimado el diámetro mínimo necesario a rigidez torsional para garantizar la transmisión correcta de potencia sin deformaciones angulares en el árbol.
- Obtención de los momentos flectores y torsores en el árbol.
- Se ha comprobado que cumpla a fatiga (con un determinado coeficiente de seguridad).
- Se han comprobado las deflexiones para que no sobrepasen las máximas permitidas.
- Se han comprobado las vibraciones producidas en los árboles a través de la obtención de la velocidad crítica.

3.2.1 Material utilizado

El material empleado para la construcción de los árboles es acero templado y revenido, endurecido superficialmente por inducción, denominado **F 1140**. Se trata de un acero templado y revenido, cuya composición química (ver pliego de condiciones) es:

- C → 0.42 – 0.5 %
- Si → Máximo de 0.4 %
- Mn → 0.5 – 0.8 %
- P → Máximo de 0.045 %
- S → Máximo de 0.045 %
- Cr → Máximo 0.4 %
- Mo → 0.1 %
- Ni → 0.4 %

Sus características mecánicas se detallan a continuación:

- Límite de fluencia: $S_y = 700 \text{ MPa}$.
- Límite de rotura: $S_u = 900 \text{ MPa}$.
- Módulo elástico: $E = 2.1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
- Módulo de elasticidad transversal: $G = 81 \text{ GPa}$

3.2.2 Árbol de entrada

Se trata de uno de los elementos activos transmisores de potencia que compone el reductor de velocidad. Éste es el árbol que recibe el movimiento y, con ello, la potencia del motor eléctrico al que está acoplado.

Se han utilizado unos casquillos para fijar axialmente los rodamientos entre el piñón.

Además se ha efectuado sobre su superficie un chavetero para alojar la chaveta que tendrá como función acoplar el árbol con el eje del motor eléctrico.

Las dimensiones del árbol (tanto la longitud como los diámetros) se pueden contemplar en el anejo de cálculos, viéndose también en su totalidad en el apartado de planos.

3.2.3 Árbol intermedio

El árbol intermedio es el encargado de transmitir el par torsor y la velocidad angular, transmitidos por el árbol de entrada, al árbol de salida. El movimiento se le transmite al árbol intermedio por medio del piñón del árbol de entrada, el cual engrana con la rueda del árbol intermedio.

En este árbol se han practicado dos cambios de sección a ambos extremos del mismo, donde se colocarán los rodamientos en los que se apoya, que quedarán totalmente inmovilizados. Este cambio de diámetro se puede llevar a cabo porque en la zona en la que se colocan los rodamientos no hay par torsor, por lo que el diámetro se puede reducir para colocar rodamientos de diámetro inferior.

La rueda va fijada al árbol por medio de una chaveta, y mediante casquillo y apoyado en el rodamiento. El piñón de este árbol va labrado en el eje.

Las dimensiones del árbol (tanto la longitud como los diámetros) se pueden contemplar en el anejo de cálculos, viéndose también en su totalidad en el apartado de planos.

3.2.4 Árbol de salida

El árbol de salida es el encargado de transmitir la velocidad angular y el par torsor recibidos por el piñón del árbol intermedio, al tambor de accionamiento de la cinta transportadora.

La rueda irá unida al árbol por medio de una chaveta, y, al igual que el rodamiento del otro extremo axialmente se fijará mediante casquillos.

Este árbol lleva otra chaveta que es la encargada de transmitir el momento torsor al tambor de la cinta transportadora.

3.2.5 Deformaciones en los árboles

A continuación se detallan los aspectos que hay que controlar y evitar que aparezcan en los árboles de transmisión.

Todos ellos se han calculado en el anejo de cálculos.

3.2.5.1 Rigidez torsional

La rigidez torsional es un factor a considerar, ya que un árbol debe diseñarse para que sea capaz de transmitir la potencia de una forma uniforme. Los árboles en los que la rigidez torsional es baja pueden plantear problemas de vibraciones torsionales, con lo que se podría causar el fallo prematuro de los rodamientos o afectar el funcionamiento correcto de los engranajes.

La deflexión torsional es conveniente limitarla a 0.25 °/m de longitud del árbol en las transmisiones.

3.2.5.2 Deflexiones

Una rigidez lateral insuficiente provocará deflexiones excesivas, lo que puede dar lugar a un mal funcionamiento y, en consecuencia, a una reducción de la vida útil de los rodamientos y de los engranajes. Si la deflexión lateral en la posición donde está montado el engranaje es demasiado grande aumentará el juego existente entre los dientes produciéndose mayores cargas de impacto en el engrane, lo cual reduciría considerablemente su vida.

Para árboles de transmisión la deflexión lateral debe ser inferior a 1 mm/m de longitud.

3.2.5.3 Vibraciones

Los defectos que existen normalmente en la fabricación de los árboles y de los elementos que soportan y su montaje, hacen que el centro de masas no esté perfectamente posicionado en el eje de giro. Además, las deflexiones estáticas pueden causar una mayor separación del centro de masas con respecto al eje de giro. A medida que aumenta la velocidad de giro del árbol, la energía cinética de las masas involucradas aumentará. Cuando esta energía cinética, que depende de la velocidad de giro, tiene el mismo valor que la energía potencial causada por la deflexión estática, el árbol comienza a vibrar. La velocidad de rotación para la cual ocurre esta vibración se denomina frecuencia fundamental o velocidad crítica. Cuando esto ocurre las amplitudes de vibración transversal del árbol son importantes y pueden causar el fallo del propio árbol o de los elementos que soporta.

3.3 RODAMIENTOS

Los rodamientos tienen como función principal reducir la fricción de los árboles al girar.

Los rodamientos utilizan el movimiento de rodadura de un cierto número de elementos rodantes (bolas, rodillos cilíndricos...) situados entre dos anillos, a fin de reducir la fricción y prolongar sus vidas. Uno de los anillos se fija al árbol y gira con éste, mientras que el otro anillo se fija al soporte y permanece parado. Además de las bolas o rodillos y de las pistas de rodadura, por lo general se utilizan “jaulas” que consiguen mantener los elementos rodantes separados entre sí una cierta distancia.

Normalmente, la construcción de los rodamientos se efectúa con aceros de gran calidad, adecuados al trabajo que han de realizar, templándose y rectificándose para obtener unas superficies duras, alcanzando una elevada resistencia y conseguir un funcionamiento suave, para que el rozamiento existente sea mínimo.

Para este proyecto en concreto, se ha utilizado rodamientos de rodillos cilíndricos de una sola hilera, cuyas características se definen a continuación:

- **Rodamientos de rodillos cilíndricos de una sola hilera:** En estos rodamientos, los rodillos, que son cilíndricos, están en contacto lineal con las superficies de rodadura. El abombamiento de la periferia del rodillo cerca de cada extremo alivia el efecto de carga del borde causada por una desalineación del eje. Son rodamientos que presentan una gran capacidad de carga radial y son apropiados para operaciones en las que se trabaja a altas velocidades. Por último, cabe destacar que tienen movilidad axial, pero los hay con nervaduras laterales para impedir dicho movimiento, aunque este no es un método adecuado para soportar cargas axiales.

3.3.1 Rodamientos del reductor.

La marca comercial de los rodamientos empleados en este proyecto es SKF, aunque perfectamente se podría haber trabajado con otros de distinta marca, siempre y cuando cumplieran con las restricciones impuestas por el diseño.

3.3.1.1 Rodamiento del árbol de entrada

En este árbol se ha hecho uso del siguiente rodamiento:

Rodamiento de rodillos cilíndricos: SKF NJ 2212

Diámetro interior: 60 mm

Diámetro exterior: 110 mm

Ancho: 28 mm

Peso: 1.1 kg

Capacidad de carga dinámica: 128 kN

Capacidad de carga estática: 153 kN

Límite de revoluciones con grasa: 5300 min^{-1}

Límite de revoluciones con aceite: 6300 min^{-1}

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

El proceso que se ha seguido a la hora de seleccionar estos rodamientos se puede ver en el anejo de cálculos.

3.3.1.2 Rodamiento del árbol intermedio

En este árbol se han hecho uso de los siguientes rodamientos:

Rodamiento de rodillos cilíndricos: SKF NJ 2212 ECP

Diámetro interior: 60 mm
Diámetro exterior: 110 mm
Ancho: 28 mm
Peso: 1.1 kg
Capacidad de carga dinámica: 128 kN
Capacidad de carga estática: 153 kN
Límite de revoluciones con grasa: 5300 min^{-1}
Límite de revoluciones con aceite: 6300 min^{-1}

Rodamiento de rodillos cilíndricos: SKF NJ 2314 EC

Diámetro interior: 70 mm
Diámetro exterior: 150 mm
Ancho: 51 mm
Peso: 4.05 kg
Capacidad de carga dinámica: 315 kN
Capacidad de carga estática: 325 kN
Límite de revoluciones con grasa: 4800 min^{-1}
Límite de revoluciones con aceite: 5600 min^{-1}

El proceso que se ha seguido a la hora de seleccionar estos dos rodamientos se puede ver en el anejo de cálculos.

3.3.1.3 Rodamiento del árbol de salida

En este árbol se ha hecho uso del siguiente rodamiento:

Rodamiento de rodillos cilíndricos: SKF NJ 2218

Diámetro interior: 90 mm
Diámetro exterior: 160 mm
Ancho: 40 mm
Peso: 3.15 kg
Capacidad de carga dinámica: 242 kN
Capacidad de carga estática: 315 kN
Límite de revoluciones con grasa: 3600 min^{-1}
Límite de revoluciones con aceite: 4300 min^{-1}

El proceso que se ha seguido a la hora de seleccionar estos rodamientos se puede ver en el anejo de cálculos.

3.4 TIPO DE UNIÓN EMPLEADA

El método de unión de los engranajes con los árboles permite diversas variaciones, desde la más radical, que sería la soldadura, la cual es muy dañina en cuanto a que con ella aparecen discontinuidades sobre el material del árbol, hasta la más común, que sería la colocación de chaveteros, los cuales consisten en realizar unas agresiones mecánicas sobre el árbol introduciendo concentradores de tensiones.

Para este proyecto se utilizará este último modo, del cual se explicarán sus principales características a continuación.

3.4.1 Árbol de entrada

Como ya se ha dicho anteriormente, en este árbol se ha colocado una chaveta para acoplar el árbol con el eje del motor eléctrico.

La chaveta introducida será: “chaveta paralela B 18 x 11 x 77”

El acero empleado para su fabricación es F-114.

3.4.2 Árbol intermedio

Para este árbol se mecanizarán el chavetero que lo unirá a el engranaje que tiene acoplada la rueda de la primera etapa.

La chaveta introducida será: “chaveta paralela B 20 x 12 x 89”

El acero empleado para su fabricación es F-114

3.4.3 Árbol de salida

En este árbol se mecanizarán dos chaveteros para llevar a cabo la unión de la rueda de la segunda etapa con él mismo y, además, para poder acoplarlo al eje del tambor de la cinta transportadora.

Al colocarse ambas en la zona del árbol con el mismo diámetro (en la zona de diámetro diseñada a rigidez torsional), serán iguales, teniendo la designación: “chaveta paralela B 25 x 14 x 113”

El acero empleado para su fabricación es F-114

3.5 JUNTAS DE ESTANQUEIDAD

3.5.1 Características de las juntas

Estas juntas de estanqueidad, también llamadas retenes, tienen como función evitar las posibles fugas de lubricante desde el interior del cárter hacia el exterior y, además, evitar que puedan entrar elementos extraños desde el exterior.

Estas juntas de rozamiento radial están elaboradas a partir de una mezcla con una base de elastómero estudiado y concebido para ser resistente a la acción de los lubricantes más empleados.

Las dos zonas del reductor de velocidad por las cuales pueden entrar elementos extraños desde el exterior son los árboles de salida y de entrada, por lo que en ellos es donde se deberán situar los elementos de estanqueidad pertinentes.

Tal y como se señala en los planos de todo el conjunto, el retén ha de colocarse de manera que la ranura que tiene en uno de sus laterales quede orientada hacia dentro de la cámara que se desee que quede estanca, en este caso, el interior del cárter, porque de esta forma la presión del fluido aumenta la presión del retén sobre el árbol, asegurando la mejor estanqueidad.

Los retenes usados en este proyecto serán de la marca SKF.

3.5.1.1 Retén en el árbol de entrada.

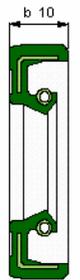
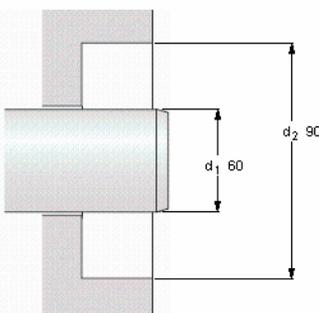
En la siguiente figura podemos ver el retén de entrada y sus características:

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

Obturaciones radiales de eje de SKF, diámetro exterior elastomérico

[Requisitos del eje](#)
[Requisitos del agujero del soporte](#)
[Permissible speeds](#)
[Chemical and thermal resistance](#)

Dimensiones			Diseño	Material del labio	Diferencial de presión	Designación	Número de artículo norteamericano	Notas
Eje	Agujero del soporte							
d ₁	d ₂	b			MPa			
mm	mm	mm						
60	90	10	HMS5	V	0,03	CR 60X90X10 HMS5 V	562726	Muelle toroidal de acero inoxidable

Temperatura de funcionamiento permisible [°C / °F]

mín	máx
-40 / -40	200 / 392
periodos de tiempo cortos	
220 / 428	

Diferencial de presión [MPa / psi]

0,03 / 4,35

Ver también "Velocidades permisibles" y "Resistencia química y térmica"

Rotational speed [r/min]

4456

at circumferential speed [m/s / ft/s]

14 / 45,92

fig. 2- Retén del árbol de entrada

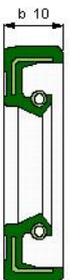
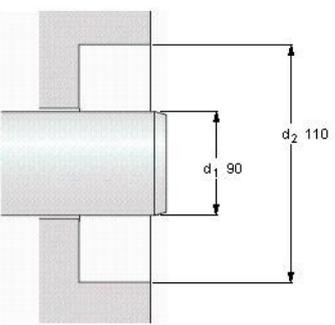
3.5.1.2 Retén en el árbol de salida.

En la siguiente figura podemos ver el retén de salida y sus características:

Obturaciones radiales de eje de SKF, diámetro exterior elastomérico

[Requisitos del eje](#)
[Requisitos del agujero del soporte](#)
[Permissible speeds](#)
[Chemical and thermal resistance](#)

Dimensiones			Diseño	Material del labio	Diferencial de presión	Designación	Número de artículo norteamericano	Notas
Eje	Agujero del soporte							
d ₁	d ₂	b			MPa			
mm	mm	mm						
90	110	10	HMS5	RG	0,03	CR 90X110X10 HMS5 RG	563447	

Temperatura de funcionamiento permisible [°C / °F]

mín	máx
-40 / -40	100 / 212
periodos de tiempo cortos	
120 / 248	

Diferencial de presión [MPa / psi]

0,03 / 4,35

Ver también "Velocidades permisibles" y "Resistencia química y térmica"

Rotational speed [r/min]

2971

at circumferential speed [m/s / ft/s]

14 / 45,92

fig 3 – Retén de árbol de salida

3.6 ELEMENTOS PARA FIJACIÓN AXIAL DE ENGRANAJES

En este reductor de velocidad, para posicionar axialmente todos los engranajes unidos por chavetas sobre los árboles se ha hecho uso de casquillos (para la rueda de la segunda etapa también se ha hecho un cambio de sección en el árbol de entrada para fijarlo por un lado).

Los casquillos son anillos metálicos los cuales envolverán a los árboles e irán situados en los espacios existentes entre engranajes y entre engranajes y rodamientos. La única condición que se ha de dar para poder colocarlos es que no toquen ni al elemento rodante de los rodamientos ni a la pista externa de los mismos.

Los casquillos presentan diversas ventajas frente a otros elementos o técnicas para efectuar esta misma operación, como por ejemplo las arandelas de retención, las cuales precisan de una mecanización en el árbol de su asiento correspondiente, causando un debilitamiento del mismo, o el método de efectuar el acoplamiento entre engranaje y árbol por medio de un ajuste por interferencia, que es una operación muy costosa y cara.

3.6.1 Casquillos en árbol de entrada

En este árbol se han usado el siguiente casquillo a ambos lados del engranaje entre los rodamientos:

- Diámetro interior: 60 mm
- Diámetro exterior: 68 mm
- Longitud: 14.5 mm

3.6.2 Casquillos en árbol intermedio

En este árbol se ha empleado un casquillo entre la rueda de entrada de la primera etapa y el piñón de la segunda etapa. Las características son:

- Diámetro interior: 71 mm
- Diámetro exterior: 81 mm
- Longitud: 124.5 mm

Se ha colocado otro casquillo para mantener el rodamiento cilíndrico en su posición equidistante del piñón de la segunda etapa. Las características son:

- Diámetro interior: 70 mm
- Diámetro exterior: 81 mm
- Longitud: 52.2 mm

3.6.3 Casquillos en árbol de salida

- Diámetro interior: 90 mm
- Diámetro exterior: 104 mm
- Longitud: 13.5 mm

3.7 CARCASA

El cárter o carcasa es un recipiente metálico que contiene todos los elementos del reductor de velocidad. Además de realizar la función de contención de éste, se encarga de proteger los elementos metálicos interiores de los diversos agentes externos que tanto pueden perjudicar a la vida útil de los mismos.

Puesto que existe una hermeticidad en el conjunto cárter – tapa, lograda con las juntas de estanqueidad colocadas (retenes), el cárter también almacena en su interior el lubricante que ayudará al buen funcionamiento de todos los elementos.

Por último, cabe destacar que otra de las funciones que desempeña el cárter es la de actuar como elemento resistente y de sustentación, pues absorbe las reacciones que provocan sobre él los rodamientos, que se apoyan sobre el mismo.

Para la correcta elección del material a emplear para la fabricación del cárter y de las tapas a colocar, se verán las condiciones necesarias que habrá de cumplir el mismo, pues no todos los materiales son capaces de realizar las mismas funciones de forma adecuada.

Las principales características a tener en cuenta son:

- El material ha de tener un coeficiente de dilatación bajo, para que no aparezcan tensiones, o en caso de aparecer, sean mínimas.

- El material ha de tener unas características mecánicas suficientes para resistir las cargas a las que va a estar expuesto durante el funcionamiento del reductor de velocidad.

- El material ha de ser apto para conformarlo por moldeo.

El material más adecuado para reunir esta serie de condiciones es la fundición. Además es un material recomendable desde el punto de vista económico. El cárter de fundición tiene también la capacidad de absorber las vibraciones que se puedan producir cuando el reductor de velocidad esté funcionando.

Concretamente, la fundición a emplear será de tipo gris y su denominación es EN-GJL-200. La composición química aproximada de la mismas la que se detalla a continuación:

C → 3.2 %
Si → 1.5 – 1.8 %
Mn → 0.4 – 1 %
P → Máximo de 0.25 %
S → Máximo de 0.1 %

Sus características resistentes aproximadas son:

- Dureza: HB 175 a 235.
- Tensión de rotura: 200 MPa.

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

El cálculo resistente de tanto el cárter como de las tapas no forma parte de este proyecto, pero están dimensionados de tal forma que cumplen los requisitos de diseño necesarios y soportan los esfuerzos existentes con facilidad.

La carcasa esta formada por dos mitades que van unidas por medio de una solapa del borde de la misma donde se juntarán las mitades, sujetas mediante tornillos por un lateral y tuercas por el otro.

3.7.1 Lubricación.

Los objetivos de la lubricación son: reducir el rozamiento y desgaste de los elementos del reductor de velocidad que se mueven unos respecto a otros, ayudar a distribuir y disipar el calor (actuar como refrigerante), prolongar la vida a fatiga de todos los componentes, evitar la corrosión y oxidación y eliminar materiales extraños.

La lubricación consiste en intercalar un lubricante entre dos superficies que friccionan entre sí, de tal forma que éste rellena los huecos existentes en las superficies de contacto y se adhieren a las mismas formando una capa fluida, con lo que se consigue que las pérdidas sean más pequeñas y que se desgasten en menor medida las piezas en contacto que en el caso de rozamiento seco.

La elección de la adecuada viscosidad que habrá de tener el lubricante empleado es muy importante, pues éste habrá de ser lo suficientemente viscoso como para resistir las presiones a las que está sometido entre ambas superficies sin ser expulsado al exterior, pero también se intentará que no sea demasiado viscoso, puesto que a mayor viscosidad del lubricante, mayor será el esfuerzo de rozamiento.

Además se intentará que el lubricante sea lo más inalterable posible al efecto de cambios de temperatura (se recuerda que cuanto menor es la temperatura, la viscosidad del lubricante aumenta), y al contacto con el aire, el agua y el material de las superficies que le rodean.

La lubricación puede efectuarse mediante aceite o grasa. En este reductor de velocidad se empleará aceite, pues presenta una serie de ventajas con respecto a la grasa:

- El enfriamiento es posible mediante circulación forzada
- La fluidez que presenta el aceite es mejor.
- La sustitución de este lubricante es fácil.
- La extracción de partículas se efectúa con facilidad.

3.7.1.1 Tipo de lubricación en el reductor

La lubricación tanto para engranajes como para rodamientos se llevará a cabo mediante un aceite SAE 70, seleccionado en el anejo de cálculos, cuya viscosidad a 40° C es de 444 mm² / s.

El sistema de lubricación en el interior del cárter será el de barboteo, consistente en que el aceite es continuamente salpicado por los engranajes a todos los componentes.

DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDADES PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA DE CARBÓN. Por: César Núñez Chover.

Tanto los engranajes como los rodamientos serán lubricados con el mismo tipo de aceite.

3.7.2 Tornillería.

Los tornillos son de todos los elementos de máquinas los que se utilizan con mayor frecuencia. Como principal aplicación tiene la de actuar como elemento de unión desmontable.

La carcasa tiene unidas las dos partes que la forman rodeando la carcasa con 18 tornillos de M 6 x 30 por un lado con sus respectivas 18 tuercas por el otro.

Finalmente se han dispuesto otros dos tornillos de mayor tamaño que los anteriores, uno en la parte superior y otro en la parte inferior del reductor para permitir las operaciones de llenado y vaciado de lubricante.

4. MONTAJE DEL REDUCTOR

Como se muestra en el pliego de condiciones, para el montaje del reductor de velocidad se han seguido los siguientes pasos que se detallan a continuación:

1. Comprobación de que todas las piezas estén sobre el banco de trabajo y este se encuentre limpio y espacioso para poder tener buena libertad de movimientos.
2. Colocación de los casquillos del árbol de entrada e introducirle los rodamientos de rodillos. Y apoyarlo en su alojamiento en la carcasa.
3. Colocar de la chaveta de la rueda de la segunda etapa y la misma rueda en el árbol de salida. Colocarle el casquillo e introducirle sus rodamientos, para posteriormente ubicarlo en su alojamiento en la carcasa.
4. Colocar los casquillos en el árbol intermedio. Colocarle la chaveta y la rueda de la primera etapa y posteriormente sus rodamientos.
5. Engranar el árbol intermedio con los árboles de entrada y de salida, e introducirlo rotando el conjunto hasta situarlo apoyado con sus respectivos rodamientos en su alojamiento correspondiente.
6. Cerrar con la otra mitad de la carcasa y abrazarla con los tornillos y tuercas correspondientes.
7. Colocar los retenes de entrada y de salida.
8. Roscar el tapón de vaciado y la mirilla de aceite.
9. Llenar el conjunto de aceite hasta el nivel indicado en la mirilla.
10. Roscar el tapón de llenado.

5. SOLUCIONES ALTERNATIVAS

A continuación se comentarán otras posibles soluciones que se podrían haber adoptado en el diseño de algunos de los componentes de este reductor.

5.1 MATERIAL DE LA CARCASA

Para la fabricación de la carcasa se podían haber utilizado otros materiales que también cumplen las especificaciones técnicas necesarias, como son las fundiciones maleables, de grafito esferoidal, aleaciones de aluminio para moldeo, aceros, etc.

Se han desechado, como ya se ha dicho anteriormente, principalmente por su mayor costo frente a las fundiciones grises, ya que, por ejemplo, las aleaciones de aluminio pesan bastante menos que las fundiciones grises, pero el peso es una magnitud poco importante en este reductor, ya que permanecerá inmóvil.

Hay aceros que también cumplirían con las especificaciones técnicas necesarias, pero por una parte, debido a su mayor precio y, por otra, debido a sus mayores temperaturas de colada y su menor colabilidad, no son tan aptos como la fundición gris.

5.2 TIPOS DE ENGRANAJES

Se podían haber utilizado engranajes helicoidales que son más silenciosos que los rectos, debido al contacto más suave y gradual entre las superficies anguladas de los dientes, cuando estos entran en contacto. En los engranes rectos, los dientes entran de inmediato en contacto sobre todo el ancho de cara, lo cual produce un impacto repentino de diente contra diente produciendo una vibración particular que se oye como un gemido.

5.3 TIPOS DE UNIONES A TORSIÓN

Otra de las formas de fijar elementos que trabajan a torsión a los árboles de transmisión es mediante pasadores o utilizando tornillos en el cubo para prevenir el movimiento relativo, mecanizándose en el eje como mínimo una superficie plana para posibilitar el desmontaje y posterior montaje.

Estas posibles soluciones no son consideradas como válidas debido a que son utilizadas para transmitir cargas ligeras, por lo tanto se considera más seguro el uso de chavetas, que son las uniones a torsión utilizadas en este proyecto.