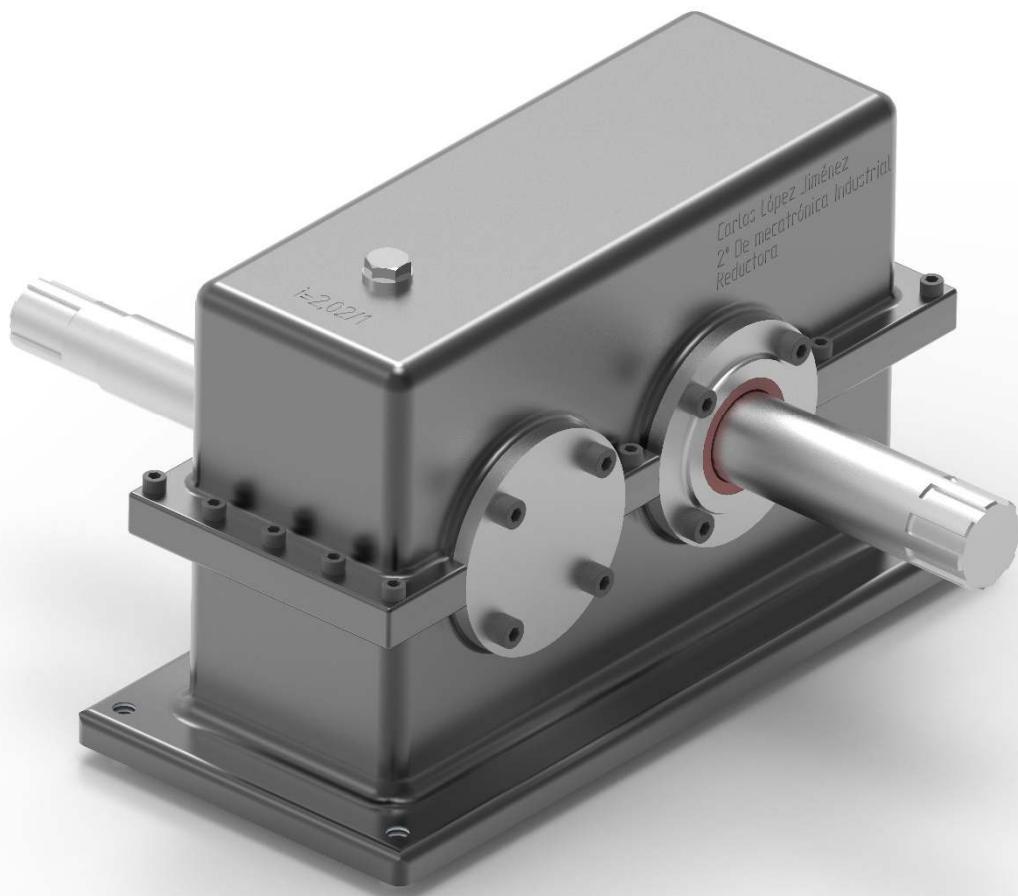


21 DE FEBRERO DE 2022



# PROYECTO REDUCTORA

## DOCUMENTO COMPLETO

CARLOS LÓPEZ JIMÉNEZ  
2º DE MECATRÓNICA INDUSTRIAL  
Salesianos San Ignacio Cádiz

## Índice general

<b>Memoria del proyecto.....</b>	2
<b>Presupuesto .....</b>	15
<b>Pliego de condiciones .....</b>	48
<b>Planos.....</b>	62
<b>Anexo Cálculos.....</b>	76

# Proyecto Reductora de velocidad por engranajes

## 2º de Mecatrónica Industrial.

---

Documento Nº1:

### Memoria del proyecto

Código PR-1



Autor: Carlos López Jiménez  
Fecha: 21/02/2022

# Índice

2.1.. Principios del documento.....	4
2.1.1. Antecedentes del proyecto.....	4
2.1.2. Objeto del presente proyecto.....	4
2.1.3. Soluciones adoptadas .....	4
2.1.3.1. Soluciones alternativas .....	4
2.1.3.1.1 Reducción de velocidad del motor eléctrico mediante variadores de frecuencia. .	4
2.1.3.1.2. Reducción de velocidad del motor mediante reductora de velocidad de engranajes rectos. ....	6
2.1.3.1.3 Reducción de velocidad del motor mediante reductora de velocidad de tornillo sin fin y corona. ....	7
2.1.3.1.4 Reducción de velocidad del motor mediante reductores planetarios.....	8
2.1.3.2 Justificación de la solución adoptada.....	9
2.1.4. Reglamentaciones y disposiciones oficiales particulares.....	10
2.1.4.1 Bibliografía .....	11
2.1.4.2 Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del proyecto.....	11
2.1.5 Requisitos de diseño .....	12
2.1.5.1 Legislación, reglamentación y normativas aplicables. ....	12
2.1.5.2 Estudios realizados encaminados a la definición de la solución adoptada.....	12
2.1.5.2.1 Árboles de transmisión .....	12
2.1.5.2.2 Ruedas dentadas. ....	13
2.1.5.2.3 Chavetas. ....	13
2.1.5.2.4 Rodamientos. ....	13
2.1.5.2.5 Retenes.....	13
2.1.5.2.6 Elementos de montaje. ....	13
2.1.5.2.7 Lubricación .....	13
2.1.6 Resultados finales.....	14
2.1.7 Planificación .....	14
2.1.8. Orden de prioridad entre los documentos básicos.....	14

## 2.1 Principios del documento

Código identificativo: PR-1

### 2.1.1 Antecedentes del proyecto.

El peticionario José Fuentes Macías con C.I.F. nº: B-12.432.654, y domicilio social en Avenida de la corte 43, 2º izquierda de la localidad de Marbella, Málaga. Posee en Avenida del Polígono Nave 32 de la localidad de Rota, Cádiz, una nave o local donde pretende instalar una actividad dedicada a automatizar la gestión de artículos / Paletizador de velocidad estable.

Se redacta el presente proyecto por el Ingeniero Mecatrónico, Javier González, colegiado en el Colegio oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Aragón con el número 1287.

### 2.1.2 Objeto del presente proyecto.

Se pretende con este proyecto describir la máquina que desea realizar, justificando y valorando cada una de las partes que componen esta máquina, a fin de recabar de los organismos competentes las oportunas autorizaciones que permitan su legalización y puesta en marcha. La finalidad de dicho proyecto se resume en reducir la velocidad de entrada del brazo mecánico "n" veces para que este trabaje a una adecuada velocidad sin producir riesgos.

### 2.1.3 Soluciones adoptadas.

#### 2.1.3.1 Soluciones alternativas.

Las soluciones alternativas a las necesidades del cliente son las siguientes:

1. Reducción de velocidad del motor eléctrico mediante variadores de frecuencia.
2. Reducción de velocidad del motor mediante reductora de velocidad de engranajes rectos.
3. Reducción de velocidad del motor mediante reductora de velocidad de tornillo sin fin y corona.
4. Reducción de velocidad del motor mediante reductores planetarios.

#### 2.1.3.1.1 Reducción de velocidad del motor eléctrico mediante variadores de frecuencia.

Descripción del elemento:

Este elemento varía la velocidad gracias a la tecnología electrónica, variando la frecuencia suministrada al motor se puede conseguir que este varíe de velocidad.

La reducción de velocidad del motor por este método puede llegar a ser acertada si el coste de la instalación de este elemento fuera el de un variador de gama baja, es decir en torno a unos 100-500 euros.

La causa de no elegir esta opción es por el simple hecho de que el consumo para el que está diseñado este no es superior al demandado por ello el variador terminaría dañado. Esta potencia que necesitamos es debido a la gran carga que se le quiere dar al paletizador.

Coste económico:

Las opciones de gama alta solucionarían el problema del consumo, pero no el del coste ya que estos rondan sobre los 1600 – 3000 Euros.

Límite tecnológico:

Esta opción como límite tecnológico tiene el problema de que la red eléctrica debe ser cuidada, existe el problema de la generación de ruido por las conmutaciones de los transistores del variador, por ello en este tipo de instalaciones se debe instalar un filtro para no perturbar la señal eléctrica de las demás redes, esto trae los siguientes problemas:

- Mantenimiento de la red eléctrica.
- Instalación del cuadro general de mando y protección dedicado al motor y a su variador.
- Posibles perturbaciones eléctricas en la instalación del emplazamiento e incluso llegando a poder afectar a otros emplazamientos.
- Costes de instalación caros (filtros, adecuación de instalación del circuito para el motor y el variador).

Como oportunidades para este elemento tenemos las siguientes:

- Puede ser una buena oportunidad para realizar una correcta instalación eléctrica de la nave.
- Una vez realizado los cambios el variador puede limitar el posible exceso de velocidad del motor.
- Los variadores de alta gama protegen a los motores de una forma eficiente.
- Ahorro del consumo del motor entorno a un 20-70%.

Como impacto visual o estético y medioambiental:

La instalación debe ser adecuada y deberá estudiarse la manera de colocar el subcuadro de protección para este instrumento y para la línea trifásica del motor. Por

su reducción de consumo mejora el impacto medioambiental que hubiera generado sin el variador.

Según lo permitido por las administraciones y normativas legales este instrumento es valido para las instalaciones dentro de España según la directiva de la UE 2011/65/UE y 2015/863.

#### 2.1.3.1.2 Reducción de velocidad del motor mediante reductora de velocidad de engranajes rectos.

Descripción del elemento:

La reductora de velocidad de engranajes rectos está formada por pares de ruedas que pueden ser de cualquier tipo, es decir, de dientes rectos, helicoidales, grupos cónicos, etc...

Coste económico:

El coste económico de este tipo de reductores de velocidad puede llegar a ser entre los 1000-1500 euros, en esto se tiene en cuenta la fabricación de estos ya que es para una relación de transmisión personalizada para así poder con la carga que se le dé al paletizador

Límite tecnológico:

En este aspecto tenemos un claro límite en el par o torque, los engranajes, los árboles y las chavetas serán los elementos claramente recibirán los esfuerzos demandados, por ello hay que tener muy claro cual va a ser la masa máxima a soportar con un límite de seguridad. Por otra parte, se enfrentan a otros problemas como pueden ser:

- Mantenimiento de la reductora (revisión del aceite, revisión de las ruedas, árboles y chavetas).
- Limitaciones de carga (estudiar las cargas).
- Tener en cuenta las condiciones del ambiente (temperatura, humedad...).
- Fabricación de piezas (tiempos de espera de la fabricación hasta obtener el producto).
- Revisar el sitio donde se situará la reductora y fijarla (Realizar una buena instalación).
- Si se estropea habría que volver a encargar las piezas, el plazo puede ser largo pudiendo aumentar la criticidad de producción de la empresa por inutilización del paletizador.

Como oportunidades para este elemento tenemos las siguientes:

- Si se diseña bien el conjunto puede tener una gran vida útil.
- Como la lubricación es un tipo de lubricación automática si esta no pierde aceite no será necesario un mantenimiento exhaustivo.

- Tamaño compacto.
- Instalación rápida.
- Ofrece una buena seguridad en la transmisión.

Como impacto visual o estético y medioambiental:

El impacto visual es muy reducido ya que el equipo es compacto. Para reducir el impacto medioambiental del aceite mineral deberá llevarse a contenedores específicos para ello.

Este elemento deberá seguir la norma UNE-EN 13463-6:2005 por la peligrosidad del aceite como fuente de ignición (en su estado gaseoso puede generarse una reacción química con el oxígeno que lo convierta en inflamable).

#### 2.1.3.1.3 Reducción de velocidad del motor mediante reductora de velocidad de tornillo sin fin y corona.

Descripción del elemento:

El mecanismo consiste en un tornillo sinfín montado en el eje motor haciendo girar la corona en el que estará fijado solidariamente el eje de salida, por transmisión de fuerza y movimiento entre estos ejes son capaces de resistir cargas muy elevadas.

Coste económico:

En cuanto al coste económico debemos tener en cuenta que se trata de un elemento que al igual que la reductora deberán de fabricarse las piezas del conjunto, teniendo en cuenta la dificultad de fabricación del tornillo sinfín y que por ello la forma de los dientes de la corona será más compleja que la de los dientes rectos puede llegar a ser más laborioso, por ello los costes podrían ascender a unos 2000-2600 euros.

Límite tecnológico:

Como límite tecnológico tenemos que por lo general no se puede realizar un cambio de entrada de transmisión ya que el sinfín es el que se suele usar para transmitir el movimiento al árbol motriz. Pueden existir otros problemas como:

- Si no se diseña correctamente y aparece un fallo repentino este no podrá ser sustituido con brevedad ya que se deberá fabricar de nuevo
- Una de las principales desventajas del sinfín es el bajo rendimiento que ofrecen estas etapas de reducción, que puede situarse en torno al 15% debido a los altos valores de fuerza de rozamiento y a los esfuerzos axiales asociados.

- El desgaste que sufre el sínfín se produce en las superficies de apoyo las cuales están sometidas a fricción, por ello es necesario que sean altamente resistentes y que estén perfectamente calibrados para que su vida útil sea larga.
- Existe un cierto riesgo de desgaste de los filetes si se produce fricción excesiva en la zona.

Como oportunidades para este elemento tenemos las siguientes:

- Tamaño compacto
- Si se diseña correctamente puede tener una larga vida útil.
- Poco mantenimiento ya que su lubricación es automática.

Como impacto visual o estético y medioambiental:

No perturba la visión estética ya que es un elemento compacto, pero con su aceite mineral se deberá cuidar su correcto reciclado.

Este elemento deberá seguir la norma UNE-EN 13463-6:2005 por la peligrosidad del aceite como fuente de ignición (en su estado gaseoso puede generarse una reacción química con el oxígeno que lo convierta en inflamable).

#### 2.1.3.1.4 Reducción de velocidad del motor mediante reductores planetarios.

Descripción del elemento:

Los reductores planetarios se caracterizan por un elevado grado de efectividad y, gracias a su forma de construcción compacta, ofrece una alta densidad de potencia en comparación con otros tipos de construcción de reductores. Especialmente la utilización de una rueda hueca reduce tanto el volumen como la masa de este tipo de reductor.

Coste económico:

Los costes de estos engranajes son muy costosos, el diseño puede llegar a ser complejo y su fabricación también lo es, por ello los costes pueden ascender a los 200-4000 euros si se requiere un buen par de fuerza en torno a los 400 Nm.

Límite tecnológico:

No se pueden hacer más silenciosos, y sin lubricante no podrán funcionar correctamente. Otros inconvenientes pueden ser:

- El engranaje debe ser preciso para asegurar el reparto de la carga

- Las elevadas cargas de los cojinetes pueden provocar un descaste prematuro en la construcción de muñones.
- Generalmente necesita lubricación con grasa, pero la lubricación de baño en aceite es mejor
- Relación alta de longitud a diámetro cuando se utilizan múltiples etapas (el reductor se vuelve muy largo).
- Alto costo

Como oportunidades para este elemento tenemos las siguientes:

Este se puede útil por su eficiencia, en ese aspecto cumpliría por encima las expectativas, así como su ligereza. También se pueden resaltar las siguientes características:

- Tamaño compacto y bajo peso hasta un 50 % de reducción con el mismo par de torsión
- Densidad de alta potencia
- Vida larga de los engranajes
- Muy preciso
- Etapas modulares, más planetarias pueden ser apiladas.

Como impacto visual o estético y medioambiental:

En este caso este tipo de reductora si crea un impacto visual y puede romper con la estética ya debido a la cantidad de etapas esta reductora termina siendo alargada y ocupando espacio quedando vistoso a simple vista. Hay que tener en cuenta que el aceite deberá ser correctamente reciclado.

Este elemento deberá seguir la norma UNE-EN 13463-6:2005 por la peligrosidad del aceite como fuente de ignición (en su estado gaseoso puede generarse una reacción química con el oxígeno que lo convierta en inflamable).

#### 2.1.3.2 Justificación de la solución adoptada.

Reuniendo las características de las cuatro opciones plantadas se ha llegado a una conclusión de que la mejor opción en términos de calidad es la reductora de velocidad de engranajes rectos.

Comparando esta opción con las demás consideramos que es la mejor opción por las siguientes características que resaltan respecto a los demás:

- Elemento compacto
- Poco vistoso
- Fabricación del conjunto relativamente simple respecto a los demás, exceptuando al variador.

- Si bien es verdad que este tipo de reductora no está pensada para cargas muy grandes el cliente especifica que no es necesario que en ese aspecto resalte tanto como por ejemplo la reductora con sínfin y corona, que si están pensados para esfuerzos muy grandes, concretamente por la función que desempeñará no tendrá que soportar la carga completa de la carga máxima permitida en cuestión
- La instalación es muy sencilla y por ello podemos evitar reducir la cantidad de instalaciones adicionales como ocurre en el caso del variador de frecuencia.
- En tema legislativo no es complejo, es mínimo, como ocurre con el caso del aceite.
- Económicamente se adapta al presupuesto máximo que se permite gastar el cliente.

#### 2.1.4. Reglamentaciones y disposiciones oficiales particulares.

Se redacta el presente proyecto para dar cumplimiento a las siguientes:

- Esta reductora cumple con la directiva europea 94/9/CE (ATEX-100) Real Decreto 400/1996 con temática para aparatos y sistemas de protección para usos en atmósferas explosivas.
- El lugar donde se instalará cumple con la directiva europea 99/92/CE (ATEX-137) Real Decreto 681/2003 con temática de protección de la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Esta reductora no debe instalarse en un emplazamiento en el que el ambiente sea potencialmente explosivo por precaución. Las mezclas de gas explosivas o concentraciones de polvo pueden causar graves daños en combinación con partes calientes en movimiento de los reductores.
- La instalación, conexión, puesta en marcha y tareas de mantenimiento o reparación de los reductores deberán ser efectuadas únicamente por técnicos cualificados.
- Este reductor estándar no puede utilizarse en entornos con una atmósfera potencialmente explosiva. Para dicho uso debe solicitarse la ejecución específica que satisface la directiva 94/9/CE (ATEX).
- Este reductor está destinado a ser incorporado y/o ensamblado con otras máquinas o componentes, se considera "componente", por lo que no puede ponerse en servicio antes de que la máquina a la que se va a incorporar se declare conforme a las disposiciones de la directiva de máquinas 2006/42/CE.
- Real Decreto 786/2001, de 6 de Julio, por el que se aprueba el reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales.
- NBE CPI-96 de Protección contra Incendios en los Edificios
- Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y peligrosas (Decreto 241461 de 3/11/61).

- Decreto 297/1995 de 19 de Diciembre (Boja nº3/11-01-96) por el que se aprueba el reglamento de Calificación Ambiental.
- Real Decreto 1435/92 por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la directiva del Consejo 89/92/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre máquinas.

#### 2.1.4.1 Bibliografía

Normativas usadas para la reductora:

<http://rodytrans.es/wp-content/uploads/Manual-instrucción-montaje-engranajes.pdf>

<http://www.atmosferasexplosivas.com/index.php/normativaatex>

Reductores de velocidad:

<https://clr.es/blog/es/reductores-velocidad-funcionamiento/>

[https://www.nord.com/es/productos/reductores-industriales/motorreductores\\_industriales.jsp;jsessionid=DECCDB9545F884C51F9605EBA068EC99?missing=/cms/es/product\\_catalogue/industrial\\_gear\\_unit/pgop\\_industrial\\_gear\\_unit\\_1.jsp](https://www.nord.com/es/productos/reductores-industriales/motorreductores_industriales.jsp;jsessionid=DECCDB9545F884C51F9605EBA068EC99?missing=/cms/es/product_catalogue/industrial_gear_unit/pgop_industrial_gear_unit_1.jsp)

Variadores de frecuencia:

<https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>

#### 2.1.4.2 Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del proyecto.

Se han asegurado los procesos de calidad correspondientes a la fabricación de la reductora estos son los descritos a continuación:

- Planificación de la fabricación y definir procesos.
- Planificación del montaje
- Distribución del trabajo.
- Evaluación de riesgos.
- Medidas de prevención de riesgos.
- Hoja de recopilación de datos
- Histograma
- Diagrama de dispersión
- Gráficos de control
- Mantenimiento productivo total (TPM)

## 2.1.5 Requisitos de diseño

En este proyecto el cliente facilita los datos de partida requeridos que son los descritos en la siguiente tabla:

Condiciones expuestas por el cliente	
<b>P (CV)</b>	7,5
<b>n (rpm)</b>	1440
<b>Par de salida (Kgf·m)</b>	7,5
<b>Factor de seguridad (S)</b>	3
<b>Vida útil</b>	15 años, 300 días laborables y 16 h/día de trabajo

El cliente solicita una reductora de engranajes de dientes rectos, en el de base tenemos que la potencia en Caballos de Vapor es de 7,5 a su vez determina que la velocidad del motor en revoluciones por minuto será de 1440.

Le preocupa que el par de salida sea inferior a 7,5 y superior a 8 Kilogramos fuerza por metro.

Determinamos un factor de seguridad de 3 para los elementos que serán sometidos a esfuerzos.

Al cliente le preocupa que la vida útil sea de la reductora sea inferior a 15 años, 300 días laborables y 16 h/día de trabajo.

### 2.1.5.1 Legislación, reglamentación y normativas aplicables.

Estas se han señalado en el apartado de **2.1.4 Normas y referencias**.

### 2.1.5.2 Estudios realizados encaminados a la definición de la solución adoptada.

En la reductora elegida según el apartado **2.1.3 Solución adoptada**, se refleja el por qué se ha decidido realizar el diseño de la reductora en concreto.

En este apartado se señalarán las decisiones de construcción de elementos adoptadas.

En la mayoría de los apartados siguientes se reflejó la justificación de elección en el **Anexo de Cálculos**, por ello los apartados que no estén explicados en dicho anexo serán justificados aquí.

#### 2.1.5.2.1 Árboles de transmisión

En esta reductora se ha elegido reducción de velocidad por 2 pares de ruedas, lo que conlleva a que existan 2 árboles, uno conductor y otro conducido.

En el **Anexo de Cálculos apartado 1.4** se refleja la elección de los árboles de diámetro 35 y 40 según el momento flector dado en cada uno de ellos y considerando el tamaño más reducido posible para obtener un tamaño compacto de la reductora.

#### 2.1.5.2.2 Ruedas dentadas.

El piñón y la corona son dos elementos esenciales, se decidió una transmisión con ruedas de dientes rectos en el apartado [2.1.3 Solución adoptada](#). Se ha determinado las dimensiones tendiendo a reducir el volumen de estas al máximo posible atendiendo también a obtener el par de fuerza acordado. Los detalles aparecerán en el [Anexo de Cálculos apartado 1.3](#)

#### 2.1.5.2.3 Chavetas.

Las chavetas elegidas han sido elegidas según el esfuerzo calculado al que se verán sometidas, a partir de estos datos se ha elegido una longitud de chaveta acorde a la superficie del chavetero siendo esta de largo inferior a la longitud de dicho chavetero, de este modo se ha atendido al catálogo del fabricante norelem mirando que cumpla las expectativas calculadas.

Más información referenciada en [Anexo de Cálculos apartado 1.5](#)

#### 2.1.5.2.4 Rodamientos.

Los rodamientos para carga radial son elegidos según la carga a las que son sometidos, se ha escogido al fabricante de rodamientos SKF donde en el anexo de cálculos en los que se puede observar que según la carga que se ha determinado estos son aptos para este conjunto.

Más información referenciada en el [Anexo de Cálculos apartado 1.6](#)

#### 2.1.5.2.5 Retenes

Los retenes elegidos han sido unos NBR (caucho de Acrilo nitrilo butadieno), en dimensiones nos hemos ceñido a la menor dimensión posible de su diámetro exterior, su diámetro interior atendiendo a el árbol de transmisión respectivo.

Elección aclarada en el [Anexo de Cálculos apartado 1.8](#)

#### 2.1.5.2.6 Elementos de montaje.

Todos los elementos de montaje tales como la carcasa, tapetas, casquillos y tornillos han sido elegidos con el enfoque de obtener una reductora lo más compacta posible, por ello se han determinado dimensiones lo más reducidas posibles pero que también aporten un acople entre estos.

Más información en el [Anexo de Cálculos apartado 1.9](#) donde se aclara el diseño geométrico de los distintos elementos constructivos.

#### 2.1.5.2.7 Lubricación

La lubricación es un factor muy importante donde exista rozamiento entre piezas, se puede alargar la vida útil de este, así como el rendimiento seleccionando un buen lubricante.

Se ha optado por realizar un baño en aceite ya que es el más adecuado para este caso ya que las propias ruedas serán la que se impregnen continuamente de aceite

teniendo una lubricación óptima en todo momento. En el [Anexo de Cálculos apartado 1.7.](#)

#### 2.1.6 Resultados finales.

Como se ha ido viendo según los pasos dados hemos obtenido una reductora de velocidad por 2 pares de engranajes rectos cuales son fijados gracias a sus chaveteros que se acoplarán con los chaveteros de los árboles de transmisión, el movimiento axial será limitado gracias a los casquillos separadores que harán tope con los rodamientos y estos a su vez con la tapeta que estará fijada a la carcasa. Esta reductora dispondrá de un tapón de llenado y de vaciado para obtener una lubricación automática, en pocas palabras obtendremos un reductor de velocidad compacto y simple ya que solo existe una sola etapa, este podrá ser fijado gracias a los orificios pasantes que se han facilitado en cada esquina de la reductora.

La transmisión de movimiento entre el motor y el árbol de transmisión se realizará mediante un acople de ejes con acanaladuras.

#### 2.1.7 Planificación.

En este proceso de fabricación de la reductora se han tenido diferentes etapas, se definirán a continuación:

- Etapa de replanteo y planificación: Se examinaron los datos solicitados por el cliente desde el departamento de administración, se pasaron los datos al departamento técnico que estudió las peticiones del cliente y en este se planificó la forma de en la que se iba a hacer.
- Etapa de estudio y desarrollo: Se finalizó el estudio completo de las posibilidades que se plantearon y se comenzó el desarrollo una vez establecido una comunicación con el cliente. Se desarrollaron los cálculos necesarios y los planos de los elementos una vez determinados.
- Etapa de estimación de tiempo de entrega y fabricación: Una vez terminado el estudio y la realización de planos se estimó el tiempo de fabricación, empaquetado y envío y se realizó un presupuesto completo, se le pidió al cliente una confirmación de este, una vez recibida la señal se inició la fabricación con las fechas de entrega asignadas.

#### 2.1.8. Orden de prioridad entre los documentos básicos.

Orden de documentos básicos:

- 1 Planos.
- 2 Pliego de condiciones.
- 3 Presupuesto.
- 4 Memoria.