



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de una reductora de relación de transmisión variable y doble etapa de reducción con dientes rectos para el mecanismo agitador de un depósito de mezcla

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERIA MECANICA



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: Enrique Yarza Muñoz
Director: Miguel Lucas Rodríguez

Cartagena, 20 de marzo de 2017



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

DOCUMENTO N°1

MEMORIA



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

DOCUMENTO N° 1

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETO DEL PROYECTO	1
3. UBICACIÓN	1
4. NORMATIVA	2
5. FACTORES A CONSIDERAR	3
6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	4
7. MANTENIMIENTO	8
8. PRESUPUESTO	9
9. BIBLIOGRAFÍA	10
10. AGRADECIMIENTOS	11
11. CONCLUSIÓN A LA MEMORIA	11



1. Antecedentes

A petición del departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena, para la realización del Trabajo de final de Grado dirigido a la obtención del título de graduado en Ingeniería Mecánica, se realiza el presente proyecto dirigido y supervisado por Don Miguel Lucas Rodríguez, director de proyectos del Departamento de Ingeniería Mecánica.

2. Objeto del Proyecto

El correspondiente proyecto tiene como objeto definir completamente tanto el diseño como la fabricación de una reductora de relación de transmisión variable y doble etapa de reducción con dientes rectos para el mecanismo agitador de un depósito de mezcla de una panificadora industrial que en sus dos etapas requiere, 42kW de potencia a 90 revoluciones por minuto y 20kW a 250 revoluciones por minuto, respectivamente, en el eje de salida.

3. Ubicación

Al ser un proyecto docente, la ubicación es ficticia y sólo al objeto de cumplimentar el presente apartado la instalación se ubicará en la Calle Paraguay 8, Polígono Industrial Oeste, 30820 Alcantarilla (Murcia), España.





4. Normativa

La normativa industrial aplicable y las recomendaciones de la Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes (AGMA) vienen recogidas a continuación:

- **AGMA 6001-D97:** Design and Selection of Components for Enclosed Gear Drives
- **AGMA 933-B03:** Basic Gear Geometry
- **AGMA 6113-A06:** Standard for Industrial Enclosed Gear Drives
- **AGMA 9005-E02:** Industrial Gear Lubrication
- **AGMA 2101-D04:** Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth (Metric Edition)
- **AGMA 908-B89:** Geometry Factors for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth
- **AGMA 927-A01:** Load Distribution Factors. Analytical Methods for Cylindrical Gears
- **ANSI/AGMA ISO 6336-6-A08:** Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears
- **AGMA 2004-B89:** Gear Materials, Heat Treatment and Processing Manual
- **AGMA 218.01**
- Orden Consejería De Industria, Trabajo y Turismo, 14 Julio 1997 4/8/1997
Contenido de proyectos. Contenido mínimo de los proyectos técnicos de determinados tipos de instalaciones industriales. Ley de contenidos mínimos de la región de Murcia.
- Reglamento de Seguridad en Máquinas (RSM).
- Ordenanza general de la seguridad e higiene en el trabajo.
- Ley de prevención de riesgos laborales.
- Estatuto de los trabajadores.
- Ley de medio-ambiente de la Región de Murcia.
- **ISO 14-1982:** Straight sided splines for cylindrical shafts with internal centering.
- **DIN 5480:** Splined connections with involute splines based on reference diameters.



5. Factores a considerar

Con el propósito de diseñar la reductora se consideran los siguientes factores:

- La disposición de los ejes debe ser con ejes paralelos al ser la más extendida y recomendada por su simplicidad y al no haber limitación de espacio.
- La orientación debe ser vertical, siendo los elementos en orden descendente: Motor, acoplamiento de entrada de potencia, reductora, acoplamiento de salida de potencia, eje de la agitadora, tanque de mezcla.



- Se prestará especial atención a la posibilidad de aparición de fugas para evitar la contaminación del contenido del tanque debido a que el lugar de la instalación es una industria alimenticia.
- Así mismo, el cambio de velocidades será manual por el especial interés en mantener bajo control el régimen de giro en dos velocidades para conseguir un mezclado en el tanque eficiente.



6. Descripción de la instalación

En el siguiente apartado se justificarán los planteamientos de las soluciones adoptadas.

6.1 Engranajes

Para el diseño del tipo de engranaje, se usarán engranajes cilíndricos de dientes rectos al no requerirse solicitaciones especiales de carga que condicionen el tipo de engranaje. Además es una opción económica y con mayor número de posibilidades de diseño del cambio de marchas frente a los engranajes helicoidales, por ejemplo, que sólo admiten un cambio de marchas por sincronizador externo y además producen fuerzas axiales al conjunto mecánico. Como se comprobará más adelante, finalmente no se aprovechará esta mayor variedad de opciones para el cambio de marchas pues se ha optado por un cambio mediante un sincronizador, al ser la alternativa más fiable.

Los engranajes se han diseñado con una serie de rebajes para aligerar el conjunto mecánico y reducir los efectos de la inercia en el momento de la sincronización.

6.2 Ejes

Todos los ejes irán apoyados en rodamientos de bolas y de rodillos cilíndricos para soportar el peso de los ejes en posición vertical y las cargas del sistema, los engranajes acoplados en el eje intermedio girarán locos mediante unos casquillos de bronce entre el eje y los engranajes. En cambio, los engranajes del eje de entrada y de salida serán solidarios al movimiento de los mismos con la sujeción mediante chavetas.

El eje intermedio contará con un estriado para alojar el sincronizador, que será el responsable del cambio de marchas de la reductora.

6.3 Cambio de marchas

Frente a las posibles alternativas de cambio de marchas para los engranajes cilíndricos de dientes rectos, se ha optado por un sincronizador externo. Para este tipo de mecanismos existen diferentes modelos que difieren entre sí en la manera de acoplar el sincronizador con los engranajes. Los más extendidos son del tipo Borg-Wagner, aunque existen otros modelos como el Renault, el Porsche y el PSA. Se usará un sincronizador tipo Borg-Wagner, a elección del diseñador, por ser, como se ha mencionado anteriormente, el tipo más extendido.

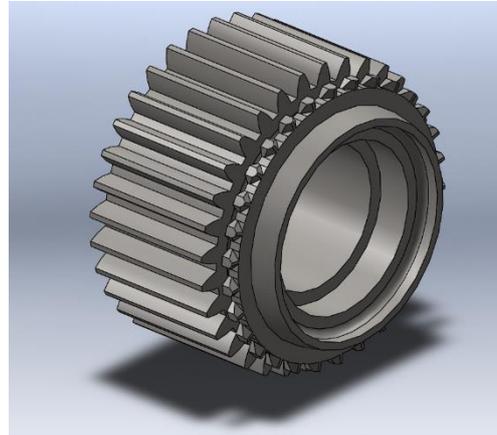
El funcionamiento resumido del mecanismo sincronizador es el siguiente:

El mecanismo se ubicará en el eje intermedio con su buje girando solidario al eje mediante un estriado. El buje aloja en su parte exterior a las tres chavetas que tienen como función empujar el anillo de fricción contra el engranaje y así sincronizar sus velocidades de giro. Este empuje a las chavetas se realiza a través de la corona del sincronizador, que a su vez recibe la fuerza de la horquilla del sincronizador.

Una vez conseguida la sincronización de velocidades entre el engranaje y el sincronizador se realiza el acoplamiento. Para ello, la corona debe seguir desplazándose hacia el engranaje hasta que sus dientes interiores deslicen sobre los dientes exteriores del engranaje seleccionado.

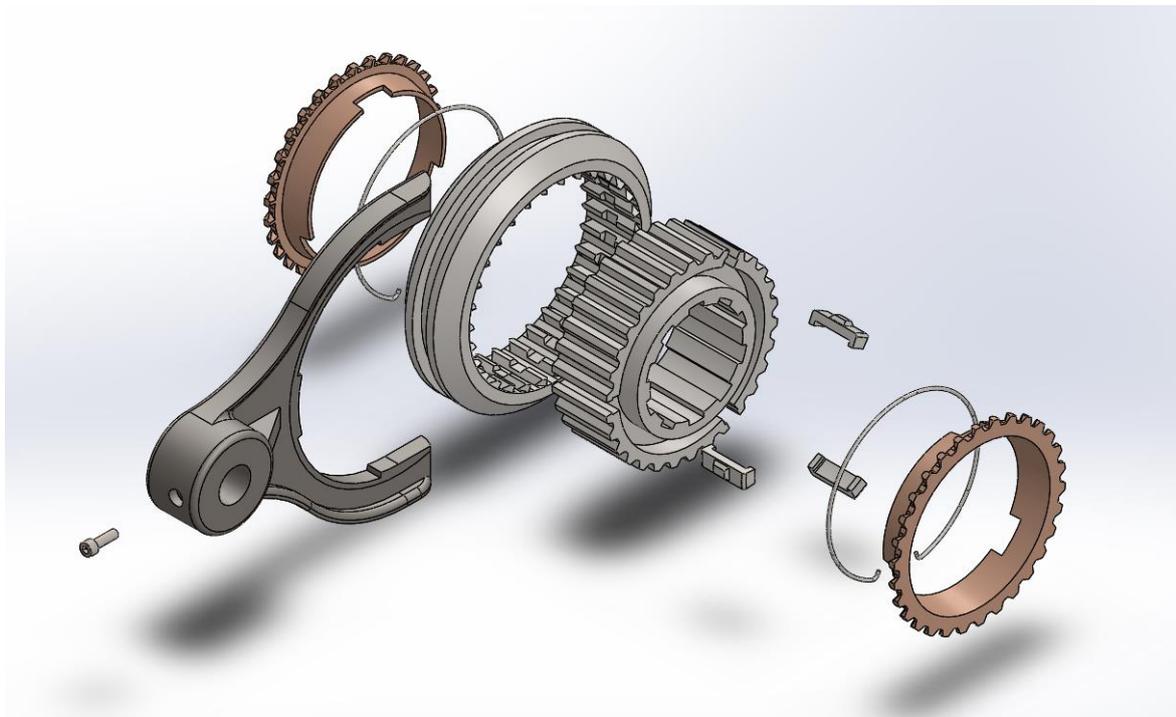


Nótese que los engranajes requeridos para el sincronizador deberán ser modificados para añadir el cono de fricción para poder sincronizar velocidades con el anillo y los dientes que acoplarán con la corona y poder así, ser solidarios al eje y transmitir la potencia:



Una vez realizado el acoplamiento, cuando se quiera volver a punto muerto, la corona vuelve a su posición original empujada de nuevo por la horquilla del sincronizador.

Las chavetas también vuelven a su posición de reposo gracias a los muelles alojados en un rebaje del buje, y que también hacen la función de retener las chavetas para evitar su salida en dirección axial.





6.4 Motor

Por indicación del fabricante de la instalación donde se integra la reductora, la demanda de potencia y velocidad de giro del agitador para la primera y segunda velocidad es: 42 kW a 90 rpm y 20 kW a 250 rpm respectivamente.

Estos datos se justifican al ser el agitador de una panificadora industrial donde en la primera velocidad se remueve la mezcla de agua y harina cuando ésta es muy viscosa y se requiere una potencia elevada con un giro lento para el correcto mezclado, en cambio para la segunda velocidad, al ser la fase de adición de levadura, la mezcla se hace menos espesa y se necesita menos potencia y una mayor velocidad para remover correctamente.

El motor escogido es un motor trifásico Siemens modelo 1LE1 5 01-3AD0 2-2AA4 del catálogo de motores industriales de 2016. Sus especificaciones son las siguientes:

- Potencia: 55kW
- Velocidad de giro: 750 rpm @ 50Hz
- Diámetro del eje de salida: 60mm
- Peso: 640 kg

De la familia de motores Siemens se ha escogido el motor con mayor número de polos al ser la velocidad de salida más baja (8 polos – 750 rpm) debido a las exigentes condiciones de reducción de velocidad de giro en la primera marcha del cambio (90rpm) y evitando así unas relaciones de transmisión demasiado elevadas e ineficientes o demasiadas etapas de reducción.

6.5 Acoplamientos

La manera más eficiente de conectar los ejes de entrada y de salida es con unión rígida con alineación, pero esto no es siempre posible debido a las vibraciones que se pueden producir durante la operación y además requiere tiempo para su correcto montaje.

En el caso del presente proyecto, la entrada de la reductora no va a sufrir vibraciones pero el eje de salida va conectado al agitador del tanque de mezcla que, por su propia naturaleza, produce vibraciones y desalineación entre los ejes.

Por tanto, la solución al tipo de unión será del tipo rígido con alineación para el eje de entrada y del tipo acoplamiento flexible para el eje de salida.



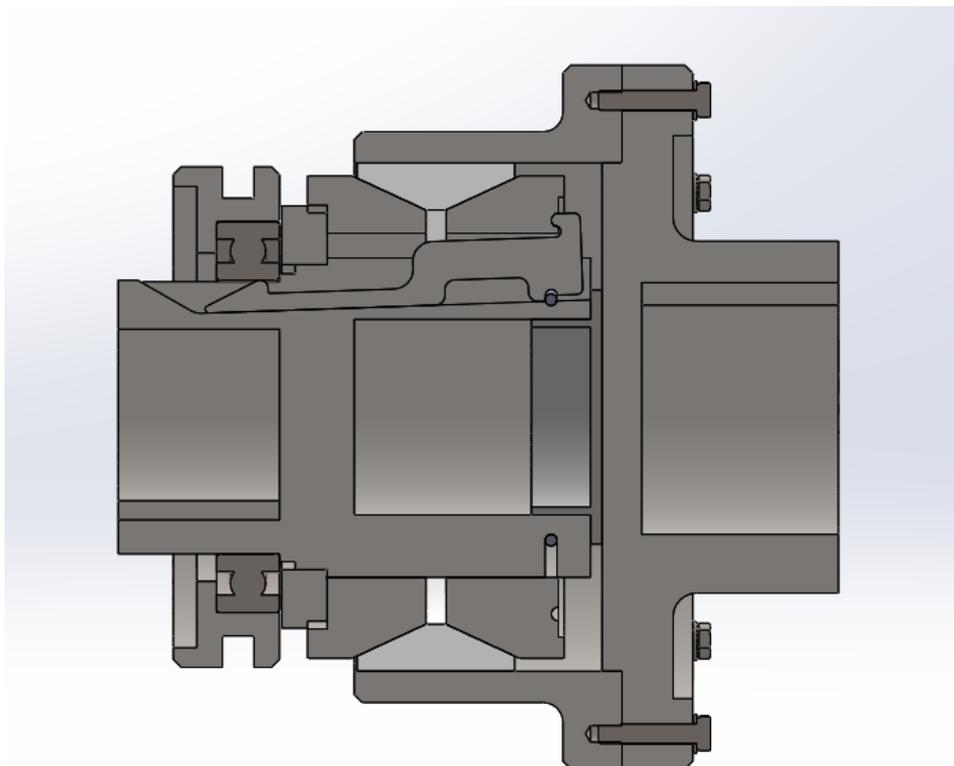
6.6 Embrague

Debido a que no es recomendable realizar el cambio de marchas transmitiendo la potencia del motor, se ha añadido un embrague de tipo no progresivo, es decir, cuando esté actuando, desacoplará totalmente la transmisión de movimiento entre motor y mecanismo, y cuando no lo esté, la transmisión será completa.

Su funcionamiento se basa en el movimiento de un rodamiento cuyas funciones son:

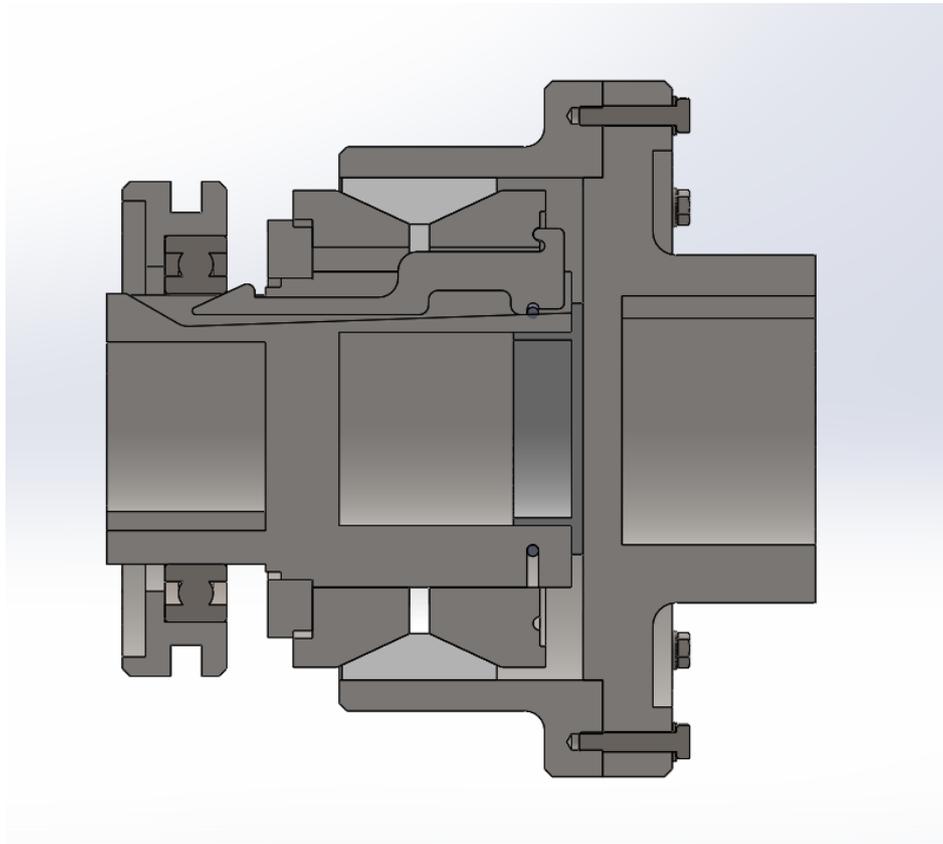
- Cuando el embrague transmite potencia, el rodamiento mantiene las chavetas en su posición de reposo con el objetivo de que ejerzan presión sobre la banda de fricción.
- Cuando se desea desembragar: se debe accionar la maneta, la cual tira del cable que conecta con el soporte del rodamiento y realiza un movimiento de retracción que libera las chavetas y por consiguiente, se deja de presionar la banda de fricción, que no se expande y no fricciona contra la carcasa que la recubre.
- Para volver a realizar el embragado, se relaja la tensión sobre la maneta y por acción de un muelle, el rodamiento es empujado contra las chavetas de nuevo, que reactivan la fricción de la pieza de caucho haciendo que pueda girar solidario el conjunto de nuevo.

Como se ha visto anteriormente, en estado de reposo el embrague se encuentra transmitiendo potencia. En la parte izquierda de la imagen se puede comprobar como el rodamiento mantiene las chavetas actuando y presionando los platos que sustentan la banda de fricción, haciendo que se expanda por el efecto cuña que están provocando.





Por el contrario, cuando se acciona la maneta, el rodamiento se desplaza hacia la izquierda liberando las chavetas:



6.7 Carcasa

La carcasa de la reductora se fabricará en fundición y se divide en dos mitades:

La primera se denomina “Carcasa de soporte” puesto que dispone de las patas que se unen al perfil HEB y sostienen todo el peso de la reductora.

Por su parte, la otra mitad se denomina “Carcasa de cambio” al albergar el soporte del mecanismo responsable del cambio de velocidades, además de los tapones de carga y vaciado de la reductora.

Ambas partes se unen con un total de 24 tornillos y se sellan entre sí mediante juntas del material Klingerit. La línea de unión intersecta los alojamientos de los ejes de salida y entrada, y para evitar posibles fugas, se han incluido tapas protectoras para evitar este inconveniente.



7. Mantenimiento

Para un óptimo mantenimiento que garantice un funcionamiento fiable de la reductora durante toda su vida útil será necesario realizar una serie de tareas de forma crítica e imprescindible:

- Sustituir completamente todas las juntas en caso de apertura de la reductora por motivos de mantenimiento o reparación.
- Verificar que la reductora no sufre pérdida de lubricante y reponerlo en caso de que así ocurriera.
- Realizar el llenado de lubricante hasta el mínimo exigido y detallado en el anexo de cálculos.
- Evitar el funcionamiento de la reductora en punto muerto durante tiempos elevados.

Así mismo, con carácter opcional y recomendable deben acometerse las siguientes tareas:

- Comprobar que la maneta se encuentra bien engrasada.
- Verificar la tensión en el cable de la maneta del embrague al menos una vez cada dos meses.

8. Presupuesto

El presupuesto del presente proyecto se resume de la siguiente manera:

Capítulo 1: Carcasa	252.72 €
Capítulo 2: Elementos mecánicos	302.43 €
Capítulo 3: Elementos normalizados	30.79 €
Capítulo 4: Embrague	31.56 €
Capítulo 5: Piezas de catálogo	6,112.94 €
Capítulo 6: Sincronizador	125.46 €
Capítulo 7: Mano de obra	15,080.00 €
TOTAL	21,935.90 €

Asciende el presupuesto de ejecución material del presente proyecto a la cantidad de veintiún mil novecientos treinta y cinco euros con noventa céntimos (21,935.90€).

Presupuesto de ejecución material	21,935.90 €
6% de beneficio industrial sobre el PEM	1,316.15 €
Presupuesto de ejecución por contrata	23,252.05 €

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata del presente proyecto a la cantidad de veintitrés mil doscientos cincuenta y dos euros con cinco céntimos. (23,252.05€).



9. Bibliografía

- José Manuel Alonso Pérez – “*Técnicas del Automóvil: Chasis*”. Paraninfo
- Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett – “*Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*”. McGraw-Hill 8ª Edición.
- Andrés y Víctor Menéndez – “*Funcionamiento de las cajas de cambio de 4 y 5 velocidades*”. Vitale Máquinas.
- Eugene A. Avallone y Theodore Baumeiter. “*Handbook for Mechanical Engineers*”. McGraw Hill 9ª Edición”.
- Paul Robert Trumpler, “*Design of Film Bearings*”, Macmillan, Nueva York, 1966
- S.A. McKnee y T.R. McKnee, “*Journal Bearing Friction in the Region of Thin Film Lubrication*” SAE J.
- Jesús Félez y Mª Luisa Martínez. “*Dibujo Industrial*”. 3ª edición revisada.
- “*Bowman Distribution*”, Fastener Facts, Cleveland, 1985
- “*Fuerza máxima de agarre con mano dominante y no dominante*” XV Congreso Internacional de ergonomía SEMAC
- George Fenske, Robert Erck, Layo Ajayi, Ali Erdemir and Osman Eryilmaz, “*Parasitic Energy Loss Mechanisms Impact on Vehicle System Efficiency*”, Argonne National Laboratory.
- Koshkin N. I. Shirkévich. “*Manual de Física Elemental*”.
- American Gear Manufacturers Association www.agma.org
- International Organization for Standardization www.iso.org
- DIN - Deutsches Institut für Normung www.din.de



10. Agradecimientos

Quiero mostrar mi agradecimiento a todas las personas que, de una manera u otra, me han apoyado y alentado durante todos estos años. Especialmente a mi familia, que a pesar de momentos de dificultad, ha sido el apoyo que he necesitado en los momentos más difíciles.

Un recuerdo para mis amigos, que han tenido que soportar cómo me perdía noche tras noche de ocio. Sé que ha sido duro chicos, pero ya me tenéis de vuelta.

José, Vicky, Fausto, Juan, Alberto, Bea, Crisi y Javi, también me acuerdo de vosotros, gracias por hacer de Cartagena un poco menos Cartagena y más Murcia.

Mostrar mi agradecimiento también al club de artes marciales de Cartagena, y más concretamente a mi maestro de judo Guillermo, gracias por todos estos años de buen ambiente y respeto. Ha sido un honor.

Por último quisiera hacer mención también a mi director de proyecto, Miguel Lucas Rodríguez, por el enorme esfuerzo que ha realizado y la paciencia que ha tenido durante el desarrollo del mismo, sin duda esto no hubiese sido posible sin su ayuda.

Y aunque él me presione, no me compraré The Last of Us porque soy un pipero de Nintendo y me voy a por la Switch.

Miguel, me queda muy buen recuerdo de ti y te doy las gracias.

11. Conclusión a la memoria

Estimando que para la redacción del proyecto se han tenido en cuenta las prescripciones de la legislación vigente y que de acuerdo con ellas se han cubierto las condiciones impuestas por la especificación entregada por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, se somete a aprobación por los organismos oficiales, dándolo por terminado.

El graduado que suscribe considera que en la descripción efectuada en la presente memoria, planos y pliego de condiciones, el proyecto queda suficientemente detallado al objeto de su fabricación en taller y su posterior instalación.

El graduado en ingeniería mecánica:
Enrique Yarza Muñoz

En Cartagena, a 20 de marzo de 2017