

UNIVERSIDAD DE OVIEDO
CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

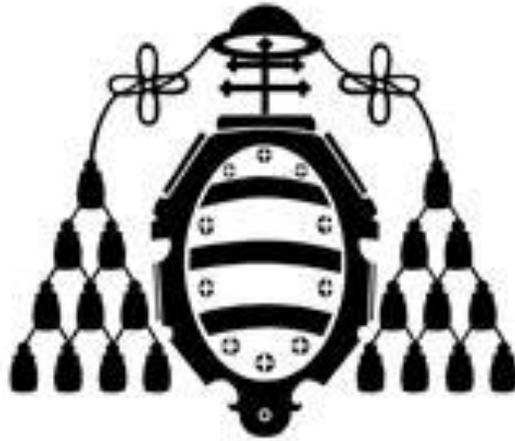
TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO, DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE SISTEMA MECATRÓNICO DE BAJO COSTE PARA PRÁCTICAS

Julio 2014

Alumno: Borja Reyes Lombardero

Tutor: Ignacio Álvarez García



UNIVERSIDAD DE OVIEDO
CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO, DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE SISTEMA MECATRÓNICO DE BAJO COSTE PARA PRÁCTICAS

Julio 2014

Alumno:

Borja Reyes Lombardero

Tutor:

Ignacio Álvarez García



RESUMEN

El presente proyecto versa sobre la creación de un sistema de bajo coste que permita ejecutar un desplazamiento lineal y un desplazamiento giratorio, que incluya la posibilidad de variar fácilmente tanto la estructura del mismo, como motorizaciones, sensores, carga, y al fin y al cabo que ofrezca un abanico de posibilidades con un rango lo más amplio posible.

El objetivo del producto desarrollado es que pueda emplearse en prácticas de diferentes asignaturas del primer curso del Máster del Mecatrónica.

Para facilitar lo anterior, este proyecto se desarrolla paralelamente a otro proyecto sobre la creación de un simulador software capaz de reproducir las características del sistema físico, y que pretende favorecer el empleo del conjunto software y hardware al hacerlo más viable para fines didácticos.

PALABRAS CLAVE

Prácticas – configurable – motor – sensor – lineal - giratorio



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
1.1.	Introducción.....	9
1.2.	Descripción básica del sistema	9
1.3.	Esquema general del proyecto	10
1.4.	Requisitos	11
1.5.	Posibles alternativas de uso	13
1.5.1	Soluciones mecánicas	13
1.5.2	Tipos de accionamientos.....	15
1.5.3	Tipos de sensores	15
1.5.4	DIAGRAMA DE BLOQUES.....	16
1.6.	Resumen de requisitos	17
2.	MECÁNICA.....	19
2.1.	Propuestas mecánicas	19
2.1.1	Propuestas para el sistema de traslación	19
2.1.2	Elección de alternativa (sistema de traslación)	26
2.1.3	Propuestas para el sistema de rotación.....	27
2.1.4	Elección de alternativa (sistema de rotación).....	31
2.2.	Desarrollo mecánico	32
2.3.	Presentación del diseño mecánico	33
2.3.1	Subconjunto de rotación	34
2.3.2	CARCASA DE PROTECCIÓN	42
3.	ELECCIÓN DE MOTORES ADICIONALES.....	43
3.1.	Motor DC	43
3.2.	Motor paso a paso.....	44
3.3.	Acople entre motores y elementos de transmisión	45
4.	ELECTRÓNICA	47
4.1.	Sensores.....	47
4.1.1	Encoder.....	47
4.1.2	Potenciómetro	47
4.1.3	Tacómetros	48
4.1.4	Finales de carrera.....	48
4.2.	Diseño de PCBs.....	49
4.2.1	Concepto general	49



4.2.2	PCB principal	52
4.2.3	PCB secundaria.....	62
4.2.4	PCB auxiliar para LCD.....	65
4.2.5	PCB Trinamic	66
5.	Conclusiones	70
5.1.	Opciones de mejora	71
5.1.1	Tarjeta electrónica de interfaz.....	71
1.	ANEXO I: CÁLCULOS MECÁNICOS.....	77
1.1.	Cálculo de momento angular necesario para el movimiento de rotación	77
1.2.	Ensayos MEF de piezas	80
1.2.1	Chapa ranurada	80
1.2.2	Eje de rotación	89
1.2.3	Reductora.....	94
1.3.	Carga máxima a añadir	99
1.4.	Fuerza de husillo.....	101
1.4.1	Servomotor Trinamic.....	101
1.4.2	Motor DC:	101
1.4.3	Motor paso a paso:.....	101
2.	ANEXO II: CÁLCULOS ELECTRÓNICOS	103
2.1.	Cálculos sobre el encoder	103
2.2.	Cálculos sobre PCB secundaria	105
2.3.	Estimación de consumo de corriente	106
3.	ANEXO III: PCB DEMO	107
3.1.	Electrónica.....	107
3.2.	Software PCB DEMO	109
4.	ANEXO IV: MANUAL DE USO	111
4.1.	Descripción general	111
4.2.	Sistema de traslación	111
4.3.	Sistema de rotación.....	112
4.4.	Motores disponibles.....	112
4.5.	Indicadores de posición y velocidad	113
4.6.	Conexiones	114
4.6.1	PCB Principal	114
4.6.2	PCB Trinamic	115
4.6.3	Borneros de conexión	116
4.7.	Elementos externos necesarios	116



ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 (1.2): Movimiento básico	9
Ilustración 2 (1.3): Esquema general del proyecto	10
Ilustración 3(1.3): Esquema de proyecto actual.....	11
Ilustración 4 (1.5): Esquema mecánico	13
Ilustración 5 (1.5): Diagrama de bloques	16
Ilustración 6 (2.1.1): Boceto 1.....	19
Ilustración 7 (2.1.1): Pasador boceto 1	20
Ilustración 8 (2.1.1): Montaje boceto 1	20
Ilustración 9 (2.1.1): boceto 1 (2).....	20
Ilustración 10 (2.1.1): Boceto 2.....	22
Ilustración 11 (2.1.1): Boceto 2 (2)	22
Ilustración 12 (2.1.1): Boceto 3.....	23
Ilustración 13 (2.1.1): Boceto 3 (2)	24
Ilustración 14 (2.1.1): Boceto 4.....	25
Ilustración 15 (2.1.2): Tabla valoración bocetos traslación	26
Ilustración 16 (2.1.3): Boceto 2.1	27
Ilustración 17 (2.1.3): Boceto 2.2.....	28
Ilustración 18 (2.1.3): Boceto 2.2 (2)	29
Ilustración 19 (2.1.3): Boceto 2.2 variante	30
Ilustración 20 (2.1.3): Boceto 2.3.....	30
Ilustración 21 (2.1.4): Tabla valoración de bocetos rotación	31
Ilustración 22 (2.3): Diseño mecánico.....	33
Ilustración 23 (2.3): Diseño mecánico (2)	34
Ilustración 24 (2.3.1): Reductora.....	35
Ilustración 25 (2.3.1): Eje de rotación	37
Ilustración 26 (2.3.1): Grapas de cables	37
Ilustración 27 (2.3.1): Ranuras de ajuste	38
Ilustración 28 (2.3.1): Tope mecánico.....	38
Ilustración 29 (2.3.1): Guía prismática	39
Ilustración 30 (2.3.1): Guía lineal.....	39
Ilustración 31 (2.3.1): Poleas.....	40
Ilustración 32 (2.3.1): Husillo	40
Ilustración 33 (2.3.1): Conjunto sensores	41
Ilustración 34 (2.3.1): Potenciómetro	41
Ilustración 35 (2.3.2): Carcasa.....	42
Ilustración 36 (3.2): Gráfica par-velocidad motor paso a paso	44
Ilustración 37 (3.3): Acople motores DC y paso a paso	45
Ilustración 38 (4.2.1): Esquema general electrónica	50
Ilustración 39 (4.2.2): Esquema de amplificador de aislamiento	53
Ilustración 40 (4.2.2): Esquema de circuito de amplificador de aislamiento	54
Ilustración 41: Esquema aislamiento con conversor frecuencia voltaje.....	54
Ilustración 42 (4.2.2): Gráfico resistencia-temperatura fusible PTC	56
Ilustración 43(4.2.2): Conexión encoders.....	57
Ilustración 44 (4.2.2): Gráfica osciloscopio - señal encoders	58
Ilustración 45 (4.2.2): Otros elementos PCB principal.....	59



Ilustración 46 (4.2.2): Conectores PCB Principal.....	60
Ilustración 47 (4.2.2): PCB principal.....	61
Ilustración 48 (4.2.3): Esquema PCB Secundaria.....	62
Ilustración 49 (4.2.3): PCB secundaria.....	63
Ilustración 50 (4.2.4): Esquema PCB auxiliar LCD	65
Ilustración 51 (4.2.4): PCB auxiliar (1) Ilustración 52 (4.2.4): PCB auxiliar (2)	65
Ilustración 53 (4.2.5): Esquema PCB Trinamic.....	66
Ilustración 54 (4.2.5): PCB Trinamic	67
Ilustración 55 (5.1): esquema tarjeta electrónica de interfaz	72
Ilustración 56 (A.1): Gráficos movimiento ensayo par máximo	78
Ilustración 57 (A.1): Gráfica par-tiempo ensayo par máximo	78
Ilustración 58 (A.1): Montaje chapa ranurada	80
Ilustración 59 (A.1): Resultado análisis estático tensiones tornillos (chapa)	81
Ilustración 60 (A.1): Resultado análisis estático desplazamientos tornillos (chapa).....	81
Ilustración 61 (A.1): Resultados análisis estático tensiones chapa	82
Ilustración 62 (A.1): Resultados análisis estático desplazamientos chapa	83
Ilustración 63 (A.1): Resultados análisis estático tensiones chapa (2).....	83
Ilustración 64 (A.1): Curva S-N aluminio 2024	84
Ilustración 65 (A.1): Resultados análisis fatiga chapa	85
Ilustración 66 (A.1): gráfica amortiguamiento aluminio	87
Ilustración 67 (A.1): Resultados análisis dinámico chapa	87
Ilustración 68 (A.1): Resultado análisis dinámico chapa (2)	88
Ilustración 69 (A.1): Fuerzas eje de rotación.....	89
Ilustración 70 (A.1): Resultado análisis estático tensiones eje rotación.....	90
Ilustración 71 (A.1): Resultado análisis estático desplazamientos eje rotación	90
Ilustración 72 (A.1): Curva S-N acero al carbono	91
Ilustración 73 (A.1): Resultado análisis fatiga eje rotación	91
Ilustración 74 (A.1): Resultado análisis estático tensiones eje rotación (2).....	92
Ilustración 75 (A.1): Resultado análisis estático desplazamientos eje rotación (2).....	92
Ilustración 76 (A.1): Resultado análisis fatiga eje de rotación (2)	93
Ilustración 77 (A.1): Fuerzas en eje de reductora	94
Ilustración 78 (A.1): Resultado análisis de tensiones estático eje reductora	95
Ilustración 79 (A.1): Resultado análisis de tensiones estático eje reductora (2)	96
Ilustración 80 (A.1): Curva S-N acero inoxidable	96
Ilustración 81 (A.1): Resultado análisis de fatiga eje reductora.....	97
Ilustración 82 (A.1): Resultado análisis de tensión estático soporte de reductora	98
Ilustración 83 (A.1): Gráfica Par-tiempo carga adicional 300g.	99
Ilustración 84 (A.1): Gráfico Par-tiempo carga adicional 1Kg.	100
Ilustración 85 (A.1): Gráfica Par-tiempo carga adicional 1.5 Kg	100
Ilustración 86 (A.2): Gráfica comportamiento frecuencia encoders	104
Ilustración 87 (A.3): Microcontrolador PCB Demo	107
Ilustración 88 (A.3): MAX 232 PCB Demo	108
Ilustración 89 (A.3): Componentes PCB Demo	108
Ilustración 90 (A.3): PCB demo.....	109
Ilustración 91 (A.4): guía prismática - guía lineal	111
Ilustración 92 (A.4): Tornillos para tensión correa.....	111
Ilustración 93 (A.4): Ranura de ajuste de posición motor- reductora	112
Ilustración 94 (A.4): Posiciones de reductora.....	112
Ilustración 95 (A.4): Indicador de posición y velocidad.....	113



Ilustración 96 (A.4): Conector IDC20 PCB Principal	114
Ilustración 97 (A.4): Conectores PCB Trinamic.....	115



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 (A.1): Ensayo par máximo	77
Tabla 2 (A.1): Condiciones análisis dinámico chapa.....	86
Tabla 3 (A.1): Condiciones análisis dinámico chapa (2)	86
Tabla 4 (A.1): Condiciones ensayo dinámico chapa (3)	88
Tabla 5 (A.1): Fuerzas en eje de reductora	95
Tabla 6 (A.2): Consumo de corriente	106





1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El presente proyecto versa sobre el diseño y la construcción de un banco de ensayos con un sistema configurable, con el que poder adoptar diferentes versiones mecánicas, para lograr un mismo grupo de movimientos. Este sistema tiene un fin principalmente didáctico, ya que sirve para apoyar con la práctica ciertas explicaciones teóricas y permitir a los alumnos practicar con el control de los distintos elementos abarcados.

La intención consiste en abrir el abanico de posibilidades que pueda ofrecer, con lo que no sólo se limitará a la búsqueda de elementos mecánicos, si no que se tratarán de añadir alternativas en los distintos campos: mecánica, electrónica y control. Es por esto que se pretende ofrecer una gama de alternativas como son varios sistemas de transmisión, accionamiento, sensorización, conexiones, etc. que maximicen las utilidades con el objetivo de abarcar el mayor número de disciplinas dentro de la ingeniería.

El objetivo final es que pueda ser empleado en distintas asignaturas de carácter ingenieril de la Universidad de Oviedo, lo que establece claramente unos requisitos que más adelante se analizarán con detalle.

Tratándose de un tema didáctico, y con el fin de sacar el máximo provecho, se desarrollará un software (proyecto conjunto independiente) con el que simular las características de las diferentes versiones del sistema, sin tener que disponer de él físicamente, lo que mejora y aumenta sus condiciones de uso.

Por tanto, el proyecto queda claramente dividido en dos líneas distintas, pero relacionadas desde el comienzo: el simulador del sistema y el sistema en sí.

1.2. Descripción básica del sistema

Independientemente de su forma, el sistema contará con dos tipos de movimiento: uno lineal y otro rotacional. La siguiente imagen ilustra el esquema básico:

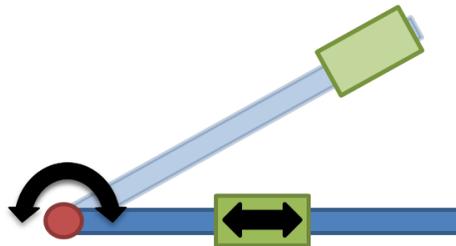


Ilustración 1 (1.2): Movimiento básico

De esta manera, puede estudiarse, desde diferentes puntos de vista (mecánicamente, control, etc.), la influencia que tiene el movimiento rotacional en el movimiento lineal, y viceversa (el movimiento de la masa no tendrá las mismas condiciones dependiendo de la inclinación, al igual que el par de rotación, según la posición a lo largo del desplazamiento lineal).

Las restricciones iniciales no imponen más que seguir este esquema, y los métodos para lograrlo no están establecidos, pero serán aquellos que maximicen las posibilidades del sistema.

1.3. Esquema general del proyecto

La practicidad de este proyecto viene unida, como se ha comentado anteriormente, a la suma de la parte real y la parte simulada, pudiendo emplearse en prácticas sin necesidad de disponer del sistema físico y, por tanto, desde un punto más seguro y extensible a más personas.

El concepto general se puede observar en la siguiente ilustración:

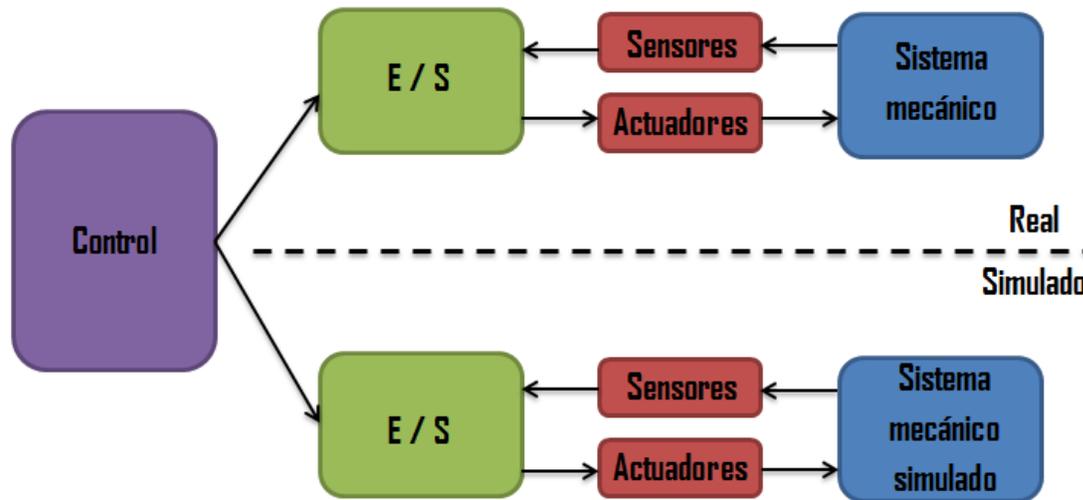


Ilustración 2 (1.3): Esquema general del proyecto

Existen dos partes diferenciadas que son la parte real y la parte simulada:

La parte real se basa en un sistema mecánico que se desarrolla a lo largo de este proyecto, con el esquema explicado en el apartado 1.2, y sobre el que se intervendrá mediante actuadores para conseguir movimiento, y sensores para obtener las mediciones necesarias. Estos últimos, pasarán por una parte electrónica que englobará todas las señales y alimentaciones necesarias, de manera que logremos un módulo completo de señales de entrada y salida (E/S).

La parte imaginaria buscaría la misma estructura que la real, con un sistema mecánico simulado virtualmente, que se corresponda con la realidad en la medida de lo posible, y ofrezca las mismas respuestas de sensores y actuadores que tendría el sistema real. Para lograr finalmente el paralelismo con el sistema real, sería necesario adaptar esas señales y ofrecerlas en un módulo general de entradas y salidas (E/S).

De esta manera, podríamos implementar un sistema de control que podría actuar indistintamente sobre el sistema real o el imaginario a elección del usuario, ya fuera desde un PC, electrónica externa o cualquier forma que pudiera interesar.

Parece lógico, pues, la importancia que tiene la búsqueda de similitud entre el sistema real y el simulado.

Puesto que, además, se requiere que el sistema real quede abierto a nuevas variantes (variación de formas de accionamiento, soluciones mecánicas, nuevos sensores, etc) y es imposible abarcar todas ellas, la simulación sólo se centrará en un sistema físico concreto que por su parte tratará de ser lo más amplio posible, con varios tipos de sensores y la opción de elegir varios actuadores seleccionados.

A modo de demostración de la utilidad de este producto, se desarrollará un circuito electrónico de control como el que podría requerirse a los alumnos. La división del proyecto conjunto queda, así, claramente definida:

- En el presente proyecto, se desarrolla la parte correspondiente a la división real y el ejemplo de control. El esquema de esta parte se muestra a continuación:

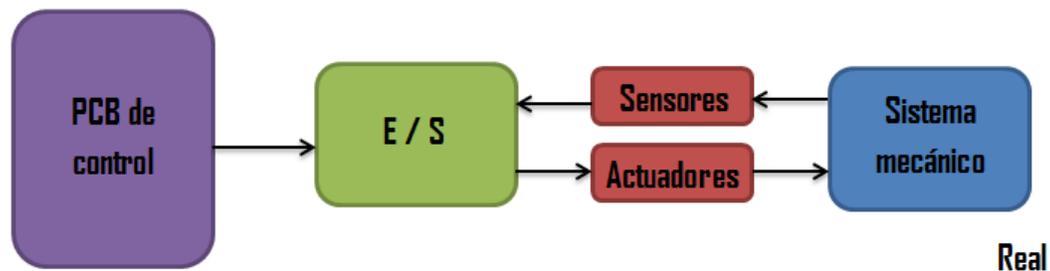


Ilustración 3(1.3): Esquema de proyecto actual

- La parte simulada será desarrollada por cuenta de otro proyectante (Adrián Álvarez Cuervo), siendo necesaria la comunicación entre ambos proyectos para una correcta ejecución de los mismos.

1.4. Requisitos

El primer paso a la hora de desarrollar un proyecto es imponer unos requisitos. Esos requisitos, en su mayoría, suelen venir impuestos de manera externa por lo que hay que clarificarlos y ordenarlos. En esta ocasión, los requisitos impuestos inicialmente son los siguientes:

- Sistema adaptable con posibilidad de variar las configuraciones. No se establece de manera clara una convergencia hacia una solución, si no que se estudiará la viabilidad de ofrecer el mayor abanico posible.
- Utilizable para prácticas didácticas en asignaturas ingenieriles de la Universidad de Oviedo. Esto, acarrea una serie de requisitos que se enumeran a continuación:
- Bajo coste: sería interesante que el producto fuera lo más económico posible, para realizar, si el resultado es satisfactorio, más de una unidad en un futuro.
- Robusto: el producto va a estar expuesto a acciones y manipulaciones que en muchos casos pueden ser erróneas, por lo que tiene que estar preparado para soportarlas y evitar riesgos, tanto para la máquina como para la persona.
- Seguridad: derivada de la anterior. Todas las máquinas deben cumplir normativas de seguridad, pero se hará hincapié buscando trabajar activamente en la misma.
- Desplazamiento lineal y desplazamiento rotacional: como se ha explicado anteriormente, seguir este esquema sin ningún tipo de restricción más al respecto.



- Simulable: este proyecto debe desarrollarse paralelamente al proyecto de simulación, como se ha explicado anteriormente.

Además de esto, se establecen una serie de requisitos propios que se consideran fundamentales para lograr un buen resultado:

- Adaptación del diseño a la producción en el taller del departamento de fabricación de la Universidad de Oviedo: con esto se obtendrá un menor coste y se facilitarán las pequeñas modificaciones posteriores, mejorando el flujo de trámites y de comunicación diseño-fabricación.
- Sencillez: ofrecer un suficiente grado de complejidad en las posibilidades, pero sin dejar de lado la sencillez en operaciones de ajuste, cambios de configuración, etc. Se considera fundamental el diseño de un sistema lo suficientemente abierto como para desarrollar nuevas soluciones en el futuro. En caso contrario, su uso quedará mucho más restringido y será menos atractivo desde el punto de vista didáctico.
- Tamaño manejable: a menor tamaño, el producto será más cómodo y atractivo para su empleo.
- Masa adaptable: sería interesante poder variar la masa a desplazar, con los beneficios didácticos que antes se comentaron.
- Accionamientos eléctricos: aunque existen otro tipo de accionamientos que podrían emplearse, como por ejemplo, hidráulicos o neumáticos, la complejidad del sistema crecería enormemente, como también el precio, y el aumento de casos de uso no quedaría compensado con estas. Es por tanto, que los accionamientos se limitan a aquellos de tipo eléctrico.

Para continuar con la lista de requisitos, analizaremos a continuación las diferentes alternativas que podremos ofrecer.

1.5. Posibles alternativas de uso

En este apartado analizaremos qué variantes se pueden ofrecer desde distintos puntos de vista:

1.5.1 SOLUCIONES MECÁNICAS

Las soluciones mecánicas son los distintos mecanismos con los que conseguir los movimientos requeridos, que son el movimiento rotacional y el movimiento lineal. Se desarrollará una estructura básica que pueda adaptarse a la mayoría de casos, apoyada sobre una solución definida en el siguiente apartado, que se ofrecerá como primera variante de configuración.

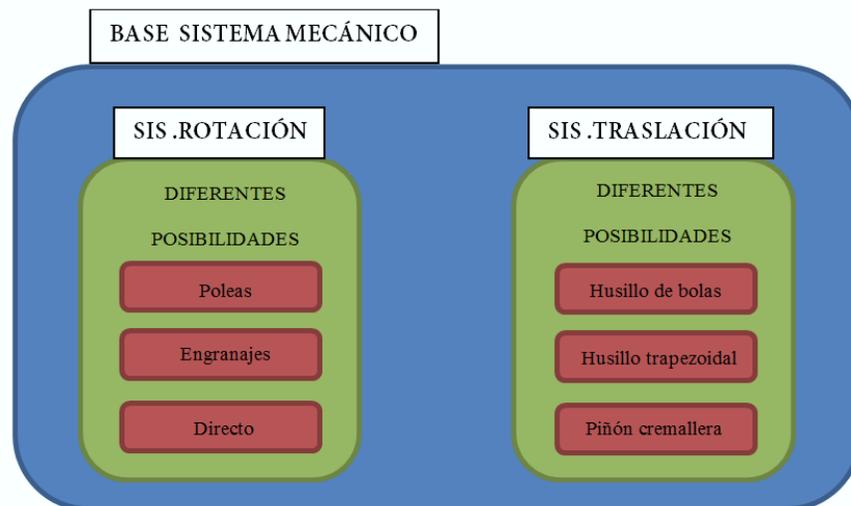


Ilustración 4 (1.5): Esquema mecánico

Mecánicamente, existe una división clara entre el sistema de rotación y el sistema de traslación. Se desarrollará una base que servirá de plataforma para alojar diferentes variantes de los dos subsistemas. Ante la imposibilidad de abarcar todas las variantes de subsistemas, este proyecto se centrará en la elección de una alternativa de cada tipo, dejando abierta la posibilidad de implementar una nueva solución en un futuro.

1.5.1.a. Movimiento rotacional

Necesitamos conseguir un movimiento rotacional para el que dispondremos de accionamientos eléctricos de rotación (que más adelante se explicarán). La transmisión de movimiento puede llevarse a cabo de las siguientes maneras:

- Acoplamiento directo: sin establecer relación de transmisión alguna, conectando el eje del accionamiento al eje de rotación directamente.
- Transmisión por engranajes: Nos permitirá jugar con la relación de transmisión y estudiar la eficiencia de este método en comparación con los otros. El eje de rotación no está alineado con el del accionamiento, por lo que la necesidad de espacio será mayor. Deberá prestarse especial atención a la distancia entre los mismos para el correcto funcionamiento, y minimizar las necesidades de ajuste.
- Transmisión por cadena: Mismos problemas y ventajas que las descritas anteriormente, añadiendo el mantenimiento que requiere la cadena, y la necesidad de mayor espacio al necesitar las cadenas de un tamaño mínimo más elevado que en el resto de casos.



- Transmisión por correa: Mismos problemas y ventajas que las descritas anteriormente, añadiendo el mantenimiento de la tensión crítico en este tipo de transmisiones. Dentro de este grupo, nos encontramos con poleas planas, trapezoidales y dentadas.
- Ruedas de fricción: Mismos problemas y ventajas que las descritas para engranajes, añadiendo la poca fuerza de transmisión y las necesidades de ajuste para su correcto funcionamiento.

Generalmente, nos encontramos con esos tipos de transmisiones básicos, por lo que nos centraremos en ellos.

Excepto en el caso del acoplamiento directo, todos los métodos descritos permiten la variación de la relación de transmisión. Generalmente, con un acoplamiento directo, deberemos recurrir un motor de elevadas prestaciones para conseguir el par necesario, además de necesitar alinear el motor respecto al eje de giro. Estas razones nos hacen descartarlo.

Desde el punto de vista de la viabilidad, descartaremos las ruedas de fricción por los problemas a largo plazo que puede ocasionar si no se mantiene correctamente. Prescindiremos también de la transmisión por cadena, para evitar aumentar las necesidades de mantenimiento y lograr una mayor compacidad, y el precio de desarrollo.

De las opciones antes comentadas, restan el grupo de las transmisiones por correa y por engranaje. En el caso de las primeras podemos encontrarnos con diferentes tipos: trapezoidales, planas, dentadas (cuyo par a transmitir es más elevado que en los otros casos). Sin embargo, las diferencias entre los dos modelos no son sustanciales para el control del modelo (rendimientos similares). Quizá una mayor suavidad de funcionamiento en el caso de la correa, pero que podrá acarrear más problemas de desgaste y mantenimiento que en el primer caso.

Por tanto, emplearemos una de las dos últimas, engranajes o correas, favoreciendo el funcionamiento y el diseño. Deberá tener, no obstante, la posibilidad de variar la relación de transmisión.

1.5.1.b. Movimiento lineal

Llegados a este apartado, podemos distinguir entre sistemas con accionamientos lineales o con accionamientos de rotación. Los accionamientos lineales, además de por su elevado precio, quedan descartados en un principio por ser su utilización menos habitual.

Puesto que contamos con accionamientos eléctricos que aportan movimiento de rotación, necesitamos transformarlo a movimiento lineal. Varias de las alternativas más comunes pueden ser:

- Piñón cremallera: un sistema interesante de analizar, que requerirá de mucho espacio. La colocación fija del motor y el posicionamiento de la cremallera dificultarán la implementación de este mecanismo.
- Husillo: entre los que se encuentran distintos tipos, como pueden ser:
- Husillo de rosca trapezoidal: el husillo gira, moviendo longitudinalmente sobre él una tuerca que tiene su giro impedido. Su rendimiento es bajo, pero tienen la característica de ser autoblocantes (soportan la fuerza axial una vez cesado el par de giro en el tornillo).
- Husillo de bolas: no se produce una fricción entre la tuerca y el tornillo, sino una rodadura de las bolas internas que lleva el cubo, por lo que ofrecen un mayor rendimiento y pueden lograr precisiones muy ajustadas. Por su mayor complejidad, son más caros que los de tuercas y no son autoblocantes.



Ambos sirven para mover altas cargas (ventaja mecánica grande), aunque a bajas velocidades. Son compactos y sencillos. Dentro de los mismos, existen diferentes tipos dependiendo de factores como la forma del filete de su rosca, el paso, entre otras.

- Poleas: aunque necesitaríamos restringir el diseño, puede transformarse el movimiento de rotación del accionamiento en movimiento lineal, mediante poleas y una correa, como si de una cinta transportadora se tratase. El espacio necesario no será muy grande, por lo que su implementación es viable.
- Biela manivela: este mecanismo puede ser interesante desde el punto de vista del análisis al transformar de manera no lineal el giro en traslación lineal, es decir, la relación entre el giro y el desplazamiento depende de la posición del conjunto. El volumen ocupado son una desventaja que juega en contra de la implementación de este mecanismo.

El diseño general debe quedar abierto para poder implementar la mayor cantidad de estas variantes de la forma más fácil posible. No obstante, se elegirá una de ellas para el desarrollo total de sistema completo.

1.5.2 TIPOS DE ACCIONAMIENTOS

Hasta ahora, hemos establecido que los accionamientos que emplearemos serán eléctricos y que nos proporcionen un movimiento de rotación, por lo que las opciones si limitan en gran medida, principalmente:

- Motor eléctrico DC
- Motor eléctrico paso a paso
- Servomotor: se selecciona el motor Trinamic PD1-110-42-232, por ser el empleado en algunas de las prácticas de los estudios a los que este producto irá destinado

Estos tipos de accionamientos son los seleccionados por ser los más requeridos (dentro de los viables) para la realización de prácticas didácticas. Más adelante se analizarán las características individualmente para seleccionarlos.

1.5.3 TIPOS DE SENSORES

Para controlar la posición del sistema, se emplearán diferentes tipos de sensores. Se requiere que disponga de los siguientes, en ambos movimientos (rotación y traslación).

- Encoder incremental
- Tacómetro
- Potenciómetro
- Finales de carrera

Se buscará que sean acoplables a los diferentes accionamientos y en cualquiera de las configuraciones del sistema. Recordando que tendrá fines didácticos, deben ser económicos, puesto que no se requieren características especiales de precisión ni trabajarán en malas condiciones. Más adelante se analizarán las características individualmente para seleccionarlos.

1.5.4 DIAGRAMA DE BLOQUES

En el siguiente diagrama de bloques queda resumida toda la información anterior. En él, se muestra una base mecánica que alojará a los dos subsistemas de traslación y de rotación que deberán ser independientes y ofrecer la posibilidad de ser modificados o sustituidos en un futuro si se requiere. Es por ello que debe conseguirse una modularidad en sus partes.

Cada uno de los subsistemas tendrá su actuador, que deberá ser intercambiable, y su grupo de sensores. Ambos se ofrecerán al exterior por medio de una electrónica interna, que aunará las conexiones y modificará las señales para hacerlas accesibles y seguras.

Todo ello forma parte del sistema y cerraría la parte que engloba el proyecto (excluyendo el simulador, que se limitaría a desarrollar el mismo sistema de manera virtual).

Para finalizar el proyecto, se realizará una electrónica de control externa que conectará con el sistema real, a modo de demostración de una de las posibles aplicaciones del producto final.

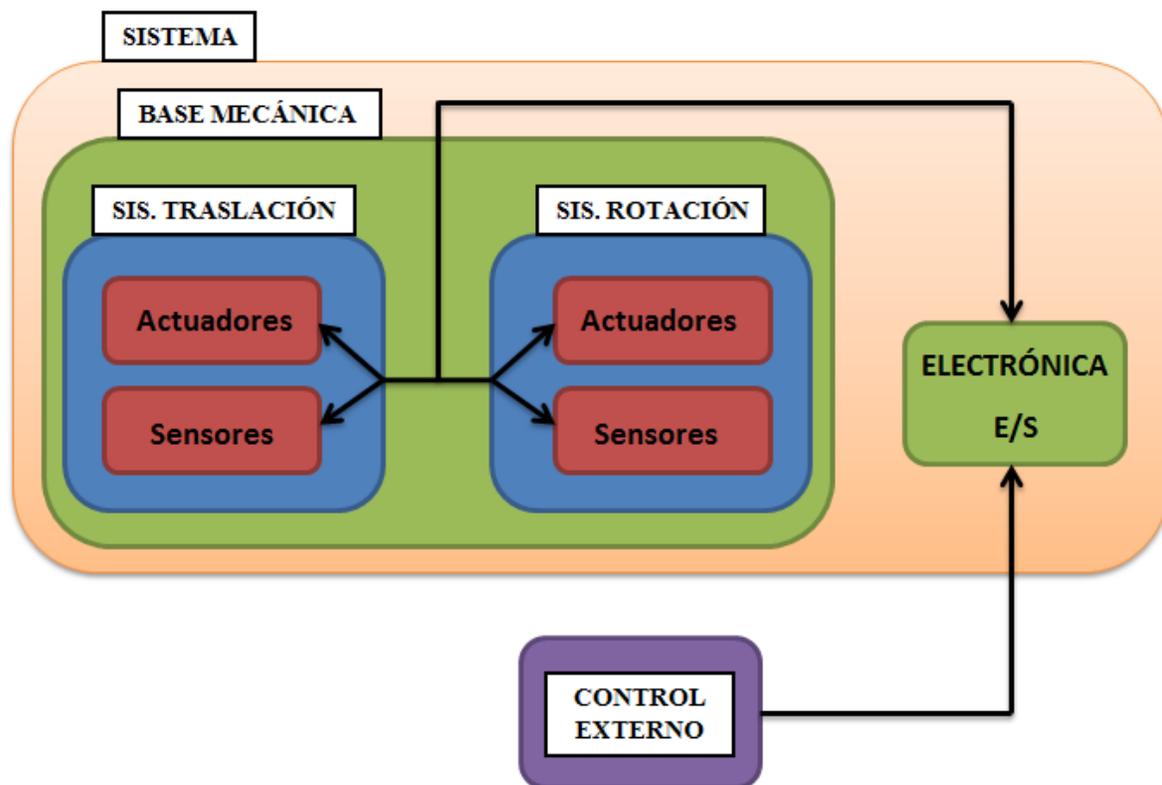


Ilustración 5 (1.5): Diagrama de bloques



1.6. Resumen de requisitos

Una vez explicadas las diferentes posibilidades, estamos en condiciones de hacer una lista que resuma todos los requisitos que buscamos en el sistema:

- Desplazamiento lineal y desplazamiento rotacional
- Económico
- Robusto
- Seguro
- Tamaño y peso contenidos (fácilmente desplazable)
- Estructura básica adaptable a nuevas configuraciones.
- Alternativa inicial de movimiento lineal:
 - o Husillo de rosca trapezoidal
- Alternativa inicial de movimiento rotacional:
 - o Posibilidad de variar relación de transmisión
- Viabilidad para su empleo en prácticas ingenieriles de la Universidad de Oviedo.
- Tipos de sensores:
 - o Encoder incremental
 - o Tacómetro
 - o Finales de carrera
 - o Potenciómetro
- Tipos de accionamientos
 - o Motor eléctrico de corriente continua
 - o Motor eléctrico paso a paso
 - o Servomotor: Trinamic PD1-110-42-232
- Posibilidad añadir masa a desplazar
- Viable para fabricación en el taller del departamento de Fabricación de la Universidad de Oviedo
- Sencillo: cambios de configuraciones sencillas y económicas



2. MECÁNICA

2.1. Propuestas mecánicas

Durante el proceso de diseño mecánico, han surgido varias ideas para llevar a cabo. Algunas se han desarrollado en mayor profundidad dando lugar a bocetos con los que trabajar. Dada la trascendencia de este apartado, que marcará claramente el punto de tendencia en el desarrollo definitivo, se ha creído necesario dedicarle a este apartado una gran importancia.

Para aislar las partes importantes a tratar, se ha dividido el conjunto en dos partes diferenciadas, el sistema de traslación, y el sistema de rotación. Ambos se estudian por separado ya que no tienen gran influencia sobre el otro (recordemos que deben adaptarse a otros futuros sistemas que pueden ser totalmente diferentes), aunque el desarrollo final de detalle vaya de la mano.

2.1.1 PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE TRASLACIÓN

En este apartado, se presentan varias propuestas que pretenden resolver el mecanismo de traslación. Se analizarán sus ventajas e inconvenientes para decantarse por una de ellas o extraer lo mejor de ellas.

La variante mecánica elegida para desarrollar un sistema completo ha sido el husillo de rosca trapezoidal, por su sencillez y bajo coste, además de ser uno de los más atractivos desde el punto de vista de la posterior simulación y control.

2.1.1.a. Boceto 1

En esta propuesta del conjunto de traslación se presenta lo que sería una de las variantes mecánicas, con un sistema de husillo trapezoidal como encargado de mover el carro.

La complejidad de este sistema deriva de perseguir un rápido cambio entre configuraciones. De esta manera, sólo tendríamos que quitar una tuerca para liberar todo el conjunto (que podría cambiarse por una palomilla para facilitar aún más la labor), extrayendo husillo, motor y sensor.

En la siguiente imagen se presenta una imagen del boceto, remarcando sus partes principales.

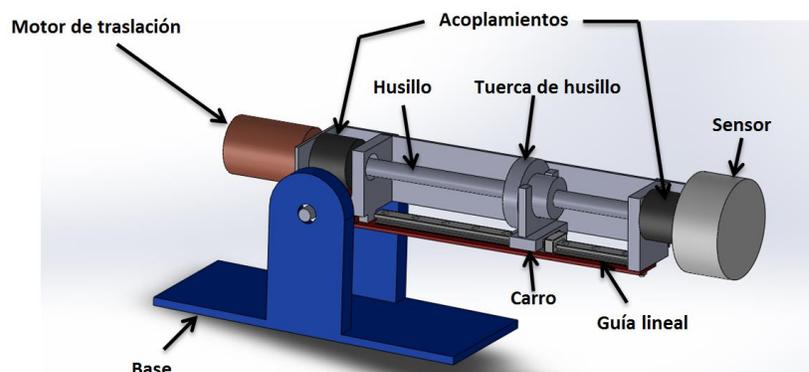


Ilustración 6 (2.1.1): Boceto 1

Como puede observarse, el motor giraría el husillo, que haría desplazarse a la tuerca del mismo longitudinalmente ya que esta tiene su giro impedido al estar conectada al carro. En la siguiente imagen se observa que la unión está producida por un pasador que forma parte de la pieza anclada a la tuerca del husillo:

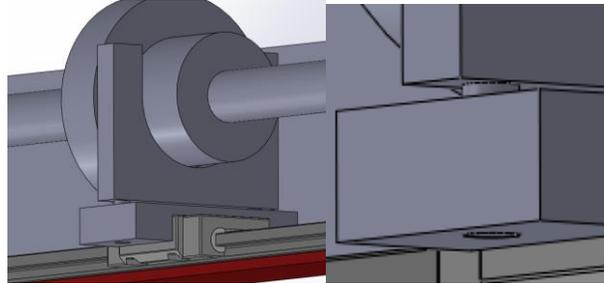


Ilustración 7 (2.1.1): Pasador boceto 1

Para desmontar el conjunto del husillo, motor y sensor, debe aflojarse la tuerca o palomilla perteneciente a la base y tirar del conjunto hacia arriba. Durante el montaje, debemos asegurarnos que las piezas de la mordaza encajan, y tanto los pasadores del carro como el de fijación coinciden con sus alojamientos.

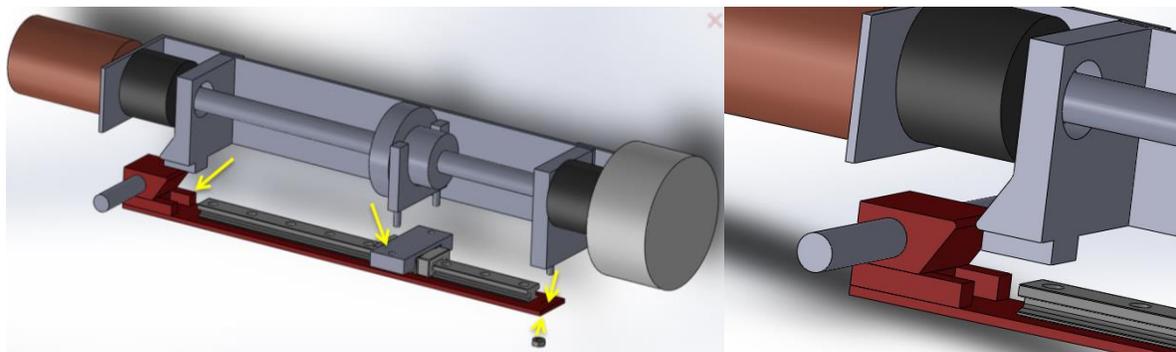


Ilustración 8 (2.1.1): Montaje boceto 1

Una vez montadas, las piezas quedarían de la siguiente manera (se ha suprimido la base para esta visualización):

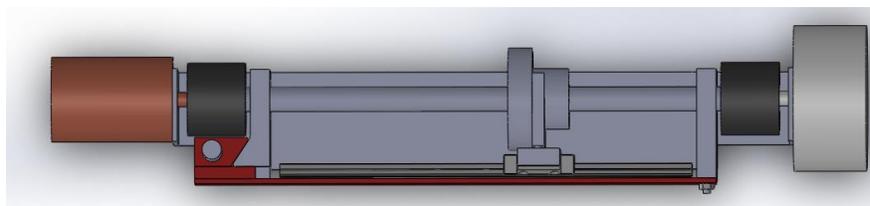


Ilustración 9 (2.1.1): boceto 1 (2)

Su ventaja principal, como se ha comentado antes, se encuentra en su facilidad y rapidez para el cambio de configuración. Se destaca también, la facilidad que ofrecería a acoplar nuevos tipos de motores



o sensores, sin añadir piezas complejas (bastaría un perfil en L con los agujeros correspondientes en el peor de los casos) y con gran espacio disponible para el caso del sensor.

No obstante, tiene varios problemas que a continuación se presentan:

- El conjunto es bastante complejo, formado por un número no muy elevado de piezas, pero que en ciertos casos sería difícil fabricar.
- A pesar de su gran aparatosidad, la robustez no sería uno de su punto fuerte o, al menos, sería un punto a trabajar.
- No permite la colocación simultánea de dos sensores en el eje, aunque sí sería fácil acoplar un potenciómetro lineal o implementar un sistema de cargas variables.
- El ángulo de rotación queda en gran medida limitado por el conjunto y, sobretodo, por las dimensiones del motor. Esto desemboca también en una base de gran tamaño.
- El sensor colocado al eje provoca un gran aumento del momento de inercia respecto al eje de rotación, al estar en el extremo opuesto y necesitar de su propio acoplamiento.
- La relación entre el desplazamiento del carro y la longitud total del sistema es baja.
- Las tolerancias dimensionales son críticas para que el funcionamiento sea correcto. Un mal ajuste de la mordaza, por ejemplo, puede provocar holguras y fallos durante el trabajo del sistema.
- La base necesita unas dimensiones mínimas para permitir albergar el motor de traslación.
- El tamaño del motor es crítico para el diseño de la base.
- La relación de transmisión depende del husillo y no puede modificarse por otros medios.
- La posición del motor dificulta el desarrollo de un sistema de poleas.

2.1.1.b. Boceto 2

En esta propuesta del conjunto de traslación se presenta lo que sería una de las variantes mecánicas, con un sistema de husillo trapecoidal como encargado de mover el carro, sustentada en un soporte monobrazo.

Este sistema se destaca por utilizar como parte de la estructura, el cilindro que hará de guía lineal, resultando finalmente un tamaño reducido.

En la siguiente imagen se puede ver un modelado del boceto en el que se destacan las partes principales.

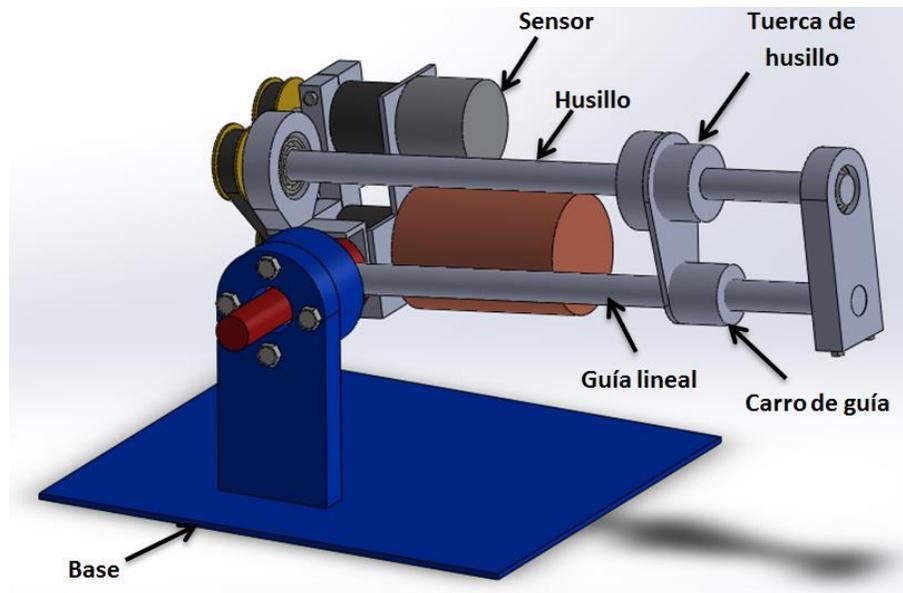


Ilustración 10 (2.1.1): Boceto 2

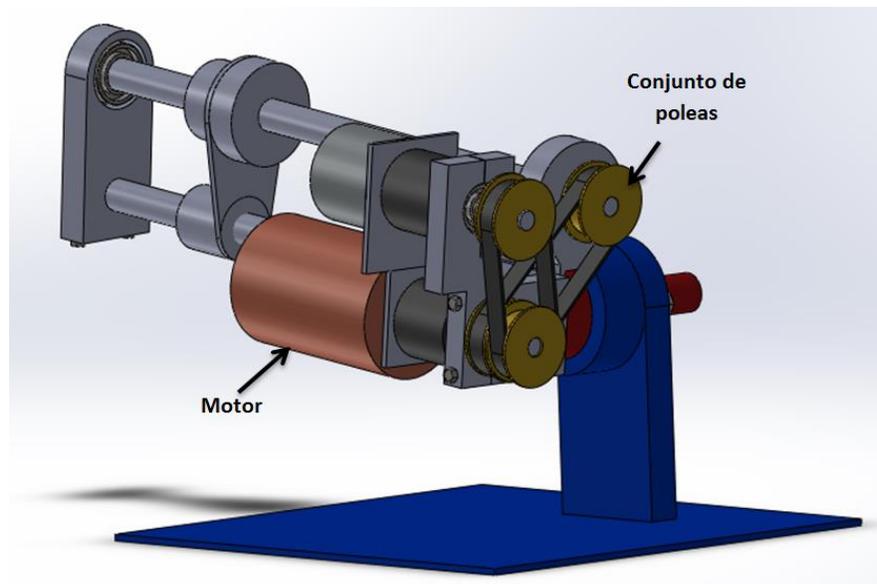


Ilustración 11 (2.1.1): Boceto 2 (2)

El motor gira el husillo por medio de una transmisión por correa. Al motor va también acoplada otra correa, encargada de transmitir el giro al sensor (encoder, tacómetro, etc.). La tuerca del husillo, va unida mediante una pieza al carro de la guía, por lo que, al tener su giro impedido, se desplazará longitudinalmente.

Las ventajas principales de este sistema son:

- Sistema de pequeñas dimensiones, más ligero, pero robusto.

- No hay problemas de tamaño para los motores y sensores, y la inclusión de acoplamientos facilita el intercambio entre motores y sensores con ejes de diferentes diámetros.
- Hay sitio suficiente para acoplar sensores lineales a lo largo de la carrera del carro.
- El carro quedaría frontal al operario, con una vista más despejada. Por lo tanto, es más visual para trabajar con él, además de tener espacio libre para colocar reglas con los que controlar mejor el movimiento.
- De lo anterior, se deriva que la implementación de un sistema con el que añadir masa será más sencillo que en el caso anterior.
- La relación entre la longitud del sistema y el movimiento lineal a conseguir es alta.
- Las posibilidades de mejora del sistema son elevadas, pudiendo reducir la complejidad de piezas y el tamaño.
- El soporte tiene un tamaño menor que en otros casos.

Los inconvenientes principales de este sistema son:

- El sistema de poleas puede ser engorroso y requiere lograr la tensión adecuada.
- El cambio de una configuración a otra es sencillo, pero más laborioso que en el caso anterior.
- Para que el movimiento sea mayor de 90 grados, la altura de la base debería incrementarse notablemente.
- La posición del motor dificulta el desarrollo de un sistema de poleas, en lugar de husillo.

2.1.1.c. Boceto 3

Este boceto presenta una propuesta para el movimiento de traslación basada en una transmisión por polea para mover un husillo, con un soporte monobrazo.

La transmisión hacia el sensor se hace a través de engranajes montados sobre el husillo. La tuerca del husillo va conectada al carro de la guía, lo que imposibilita su giro y hace que se mueva longitudinalmente.

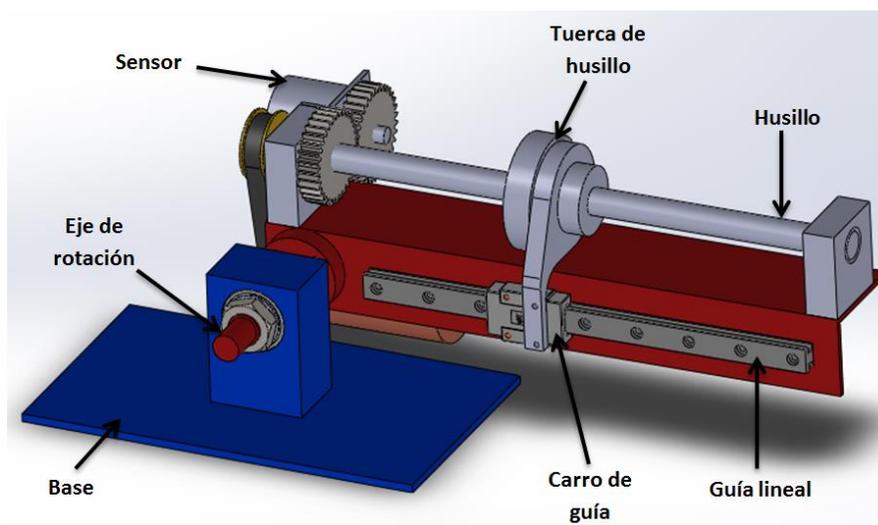


Ilustración 12 (2.1.1): Boceto 3

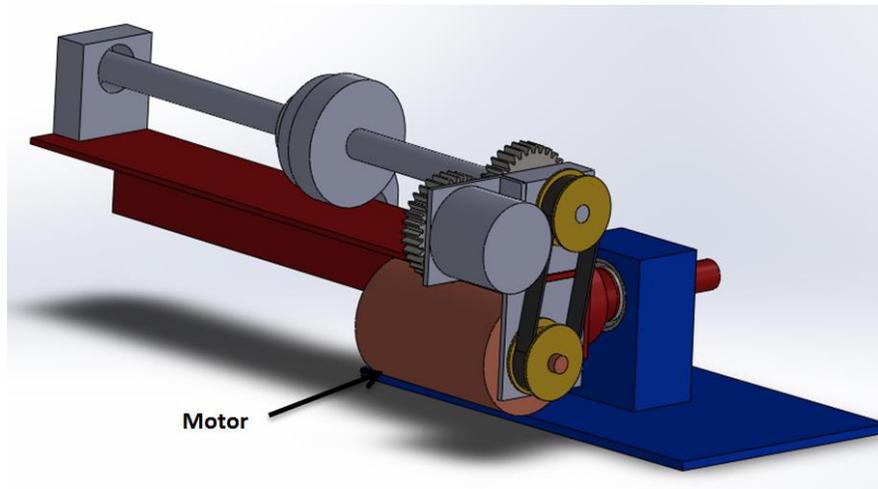


Ilustración 13 (2.1.1): Boceto 3 (2)

Entre los puntos favorables de este sistema destacan:

- El tamaño es reducido.
- La relación entre la longitud del sistema y el movimiento lineal a conseguir es alta.
- El carro cuyo movimiento queremos conseguir se encuentra frontal y tiene espacio despejado para montar futuros sensores lineales o una regla que nos permita apreciar su movimiento.
- De lo anterior, se deriva que la implementación de un sistema con el que añadir masa será más sencillo que en el caso anterior.
- Las piezas son sencillas.
- La relación entre la longitud del sistema y el movimiento lineal a conseguir es alta.
- Podría acoplarse, al menos, otro sensor de giro aprovechando el engranaje existente.
- En contraposición, presenta las siguientes desventajas.
- La posición del motor es crítica, influyendo en el diseño la gama de motores a emplear.
- El cambio entre una configuración y otra sería mucho más complejo que en otras variantes.
- El diámetro del agujero interior del engranaje que mueve el sensor depende del tamaño del eje del mismo.
- El diámetro del agujero interior de la polea que mueve el motor depende del tamaño del eje del mismo.
- Para que el movimiento sea mayor de 90 grados, la altura de la base debería incrementarse notablemente.
- La posición del motor dificulta el desarrollo de un sistema de poleas.

2.1.1.d. Boceto 4

El último boceto presentado para resolver el movimiento de traslación destaca principalmente por colocar el motor de manera transversal al husillo.

En este caso, el movimiento se transmite del motor al husillo mediante engranajes cónicos, lo que permite que el husillo y el eje del motor formen un ángulo de 90 grados. Además, presenta acoplamientos

tanto en motor como en sensor para unirlos a los ejes pertinentes. Esto facilitará el cambio de uno a otro de diferente tamaño, simplemente con un cambio de acoplamiento.

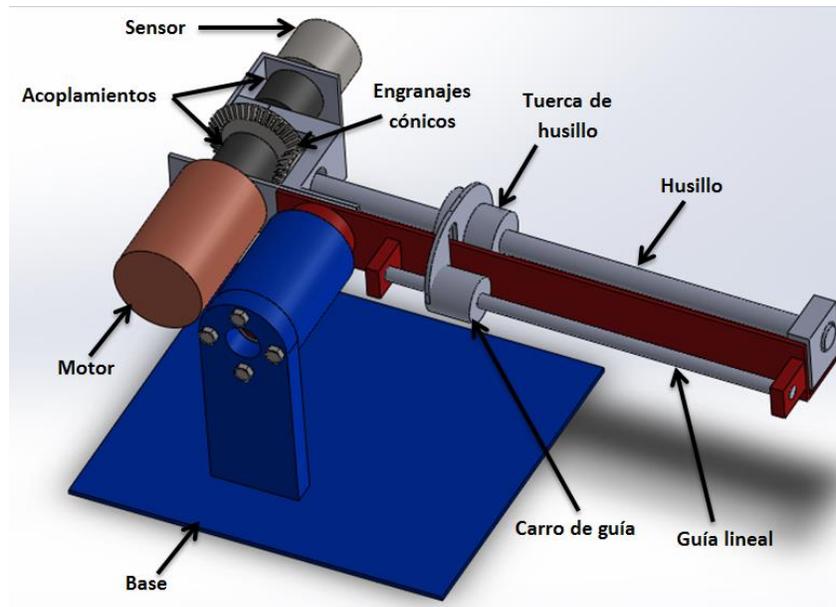


Ilustración 14 (2.1.1): Boceto 4

Presenta las siguientes ventajas:

- No hay problemas de tamaño para los motores y sensores, y la inclusión de acoplamientos facilita el intercambio entre motores y sensores con ejes de diferentes diámetros.
- El tamaño del motor es importante en el diseño, pero es viable adaptar motores de gran volumen sin comprometer el resto de piezas.
- El tamaño del sensor no es un inconveniente en este diseño.
- La posición del motor favorece el desarrollo de un sistema de transmisión por poleas.
- Es viable la supresión del perfil en L que hace de bastidor del conjunto.
- Es viable el intercambio de posición entre motor y sensor, lo que reduciría el tamaño de algunas piezas, y podría reducir el volumen total.

Las desventajas más importantes son:

- La base debe ser más elevada, mayor y de gran rigidez respecto a otros casos.
- La relación entre la longitud del sistema y el movimiento lineal a conseguir es baja.
- El conjunto presenta un elevado volumen.
- El número de piezas es mayor.
- El diseño puede resultar más complicado.
- El tamaño de motor y de sensor influyen las dimensiones en el diseño del conjunto.



2.1.2 ELECCIÓN DE ALTERNATIVA (SISTEMA DE TRASLACIÓN)

Tras presentar los 4 bocetos para el sistema de traslación, se procederá a la elección del más adecuado en base a una valoración de los aspectos más importantes, de manera ponderada.

Esas puntuaciones serán de 0 a 10, multiplicadas por un factor de importancia. La suma total representará la valoración final de cada uno de ellos, y se escogerá, obviamente, el que consiga una mayor puntuación.

Valoración de bocetos de traslación									
	Ponderación	Boceto 1		Boceto 2		Boceto 3		Boceto 4	
			Pond.		Pond.		Pond.		Pond.
Sencillez	1	4	4	6	6	5	5	3	3
Robustez	1.2	4	4.8	6	7.2	7	8.4	6	7.2
Fabricabilidad	1.5	4	6	8	12	9	13.5	5	7.5
Facilidad para cambio de configuración	1.4	8	11.2	6	8.4	2	2.8	4	5.6
Tamaño	1.1	4	4.4	9	9.9	9	9.9	3	3.3
Adaptabilidad de motores	1.5	7	10.5	8	12	3	4.5	8	12
Adaptabilidad de sensores	1.5	7	10.5	8	12	3	4.5	8	12
Adición de nuevos sensores	1.2	2	2.4	6	7.2	7	8.4	7	8.4
Visibilidad para usuario	1	3	3	7	7	7	7	7	7
Adaptabilidad a nuevas configuraciones	1.5	2	3	2	3	2	3	9	13.5
Posibilidades de desarrollo	1.1	7	7.7	6	6.6	5	5.5	8	8.8
Mantenibilidad	1.3	5	6.5	3	3.9	4	5.2	8	10.4
Longitud de movimiento / longitud total	1	3	3	9	9	9	9	4	4
Total			77		104.2		86.7		102.7

Ilustración 15 (2.1.2): Tabla valoración bocetos traslación

Razones como el pequeño tamaño, o la adaptabilidad de motores y sensores, además de tener una puntuación bastante homogénea en el resto de apartados, explican que el boceto 2 sea el mejor valorado según los criterios elegidos.

Tomaremos, por tanto, el boceto 2 como punto de partida, y continuaremos con el desarrollo del sistema de rotación a partir del mismo.

2.1.3 PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE ROTACIÓN

Como se ha comentado antes, se partirá del boceto 2 del sistema de traslación como punto de partida para el desarrollo de bocetos del sistema de rotación. En este apartado se intentarán presentar conceptualmente varias de las posibilidades de colocación del motor y los sensores que harán posible el giro del conjunto desarrollado en el apartado anterior. Este apartado es más crítico que el anterior, porque de él depende en mayor parte su futura adaptabilidad a nuevos sistemas. Es por ello que no sólo se desarrolla un sistema específico, si no la estructura general sobre la que se implementarán nuevos sistemas.

2.1.3.a. Boceto 2.1

Este boceto presenta una solución en la que tanto el motor como el sensor se unen a la base mono brazo por medio de un mismo soporte que los sitúa perpendicularmente al eje de rotación. Este soporte va unido mediante cuatro tornillos a la base mono brazo. La transmisión del movimiento se hace por medio de unos engranajes cónicos.

A continuación, se presenta una imagen del mismo:

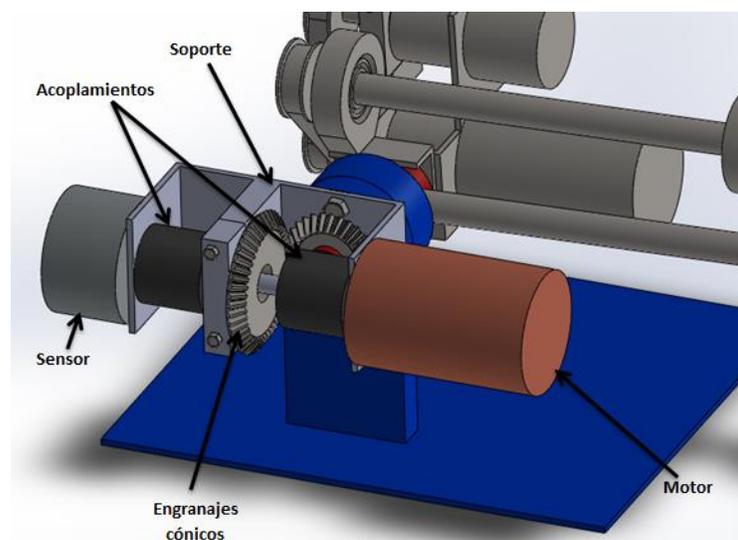


Ilustración 16 (2.1.3): Boceto 2.1

Las ventajas que ofrece son:

- Dispone de acoplamientos para el sensor y el motor, lo que facilita el intercambio con otros que tengan diferentes diámetros de eje y corrige desalineaciones.
- No hay problemas de espacio ni forma para acoplar motores y sensores.
- La altura y la profundidad adicionales para incorporar este sistema son pequeñas (a consta de otras medidas).
- El intercambio por otros motores y sensores es rápido.
- No requiere de grandes precisiones de fabricación.

- Las piezas son sencillas.

Las desventajas que presenta son:

- Bajas relaciones de transmisión.
- Es complicado el cambio de la relación de transmisión al tratarse de engranajes cónicos.
- El motor está en una posición en la que reduciría la visibilidad del carro para el operario.
- La profundidad del sistema se incrementa considerablemente.
- La adaptabilidad para nuevos sistemas es muy reducida.

2.1.3.b. Boceto 2.2

En este boceto, se modifica ligeramente el conjunto de traslación, soportando el eje por el lado contrario. Se respeta el mono brazo para dejar espacio al motor en el desarrollo de un sistema de poleas para el conjunto de traslación.

En este sistema, el movimiento se transmite a través de poleas desde el motor al eje, pero también entre el motor y el sensor. Un soporte ranurado permite ajustar la tensión de la correa, lo que también permitirá cambiar la relación de transmisión.

El motor y el sensor se sitúan debajo del husillo y la guía, reduciendo ligeramente el ángulo que estos pueden girar, pero conservando aún el rango de 180 grados.

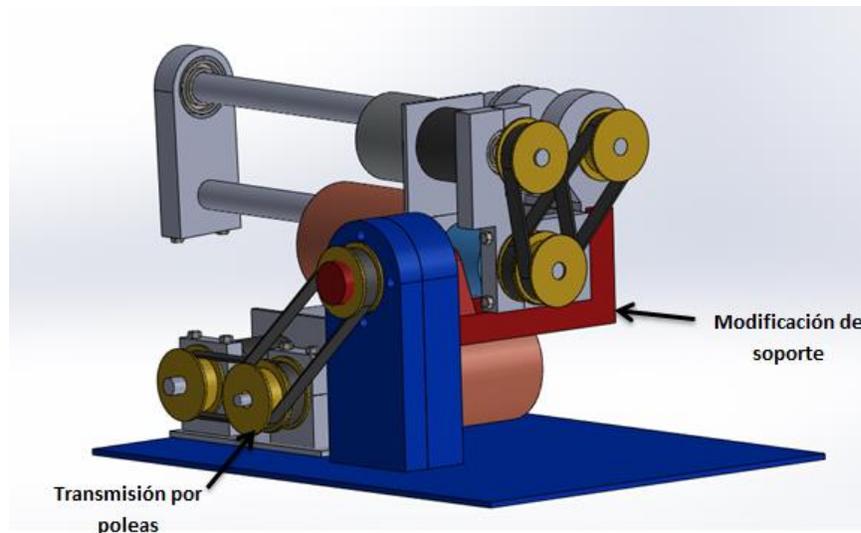


Ilustración 17 (2.1.3): Boceto 2.2

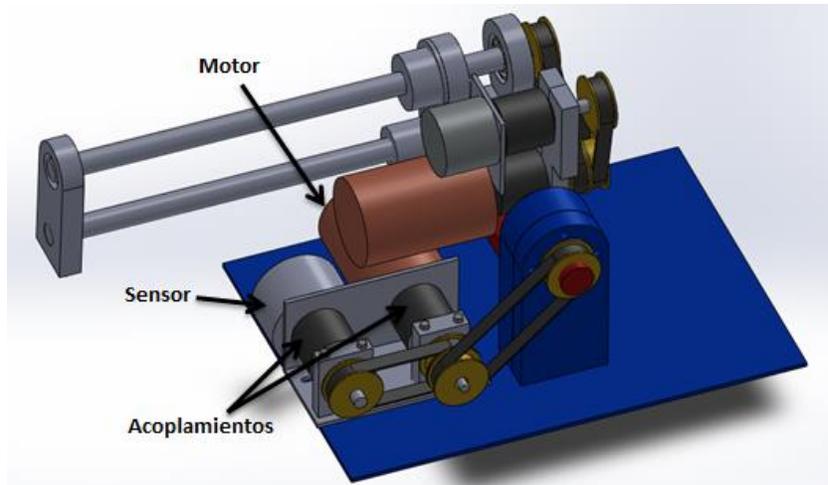


Ilustración 18 (2.1.3): Boceto 2.2 (2)

Ventajas:

- Dimensiones muy reducidas.
- Facilidad de acoplar motores con variedad de tamaños y diámetros de eje.
- Facilidad de acoplar sensores con variedad de tamaños y diámetros de eje.
- Acoplamientos para absorber desalineaciones.
- Facilidad para variar la relación de transmisión.
- Piezas sencillas, fáciles de fabricar.
- Facilidad para añadir nuevos sensores.
- Bajas relaciones de transmisión.
- Buena adaptabilidad a nuevos sistemas.

Desventajas:

- El ángulo de rotación, aunque consiga 180 grados, se disminuye ligeramente.
- El ajuste de la tensión de las correas es crítico para el buen funcionamiento.
- El tamaño de los motores puede influir en dimensiones del diseño.

Una variación del boceto 2.2 es el siguiente, en que, en lugar de transmitir el movimiento por polea, se transmite con un conjunto de engranajes de dos etapas para lograr amplias relaciones de transmisión. Puede ocupar algo más de espacio, pero contamos con la gran ventaja de la transmisión que aumenta en gran medida su viabilidad.

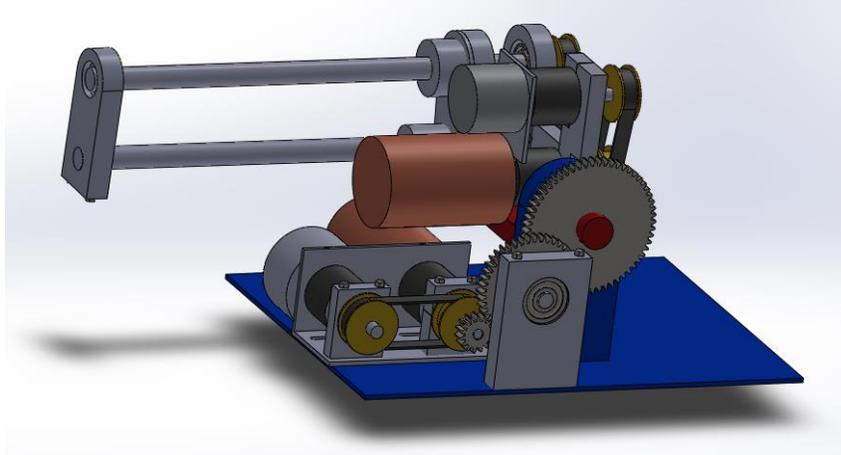


Ilustración 19 (2.1.3): Boceto 2.2 variante

2.1.3.c. Boceto 2.3

Este boceto parte de la misma modificación sobre el conjunto de traslación que el boceto 2.2.

En este caso, la transmisión de potencia se lleva a cabo a través de engranajes. En sensor va unido a través de un acoplamiento al eje de giro.

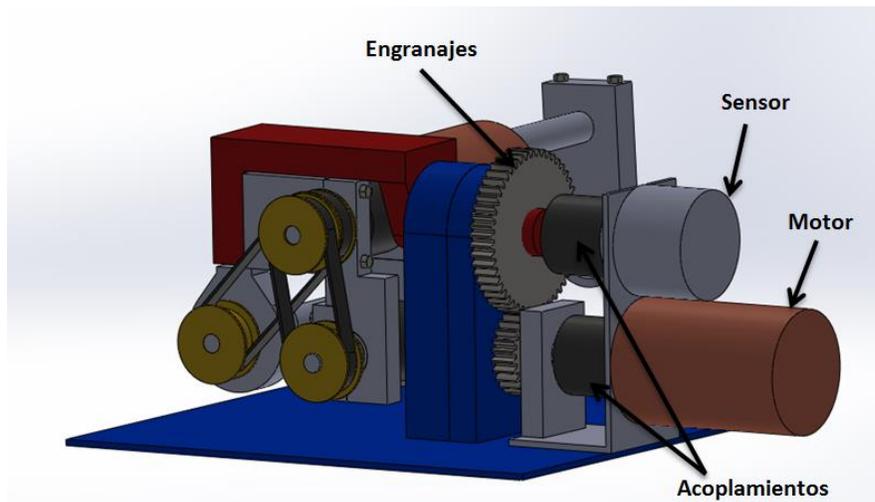


Ilustración 20 (2.1.3): Boceto 2.3

Ventajas:

- Facilidad para acoplar motores y sensores con variedad de diámetros de eje.
- Acoplamiento para absorber desalineaciones.
- Facilidad para variar la relación de transmisión.
- Pocas piezas y sencillas de fabricar.
- Pueden emplearse altas relaciones de transmisión.



Desventajas:

- Tamaño demasiado grande y espacio desaprovechado.
- Dificultad de incorporar nuevos sensores.

2.1.4 ELECCIÓN DE ALTERNATIVA (SISTEMA DE ROTACIÓN)

Tras presentar los 3 bocetos para el sistema de rotación, se procederá a la elección del más adecuado en base a una valoración de los aspectos más importantes, de manera ponderada.

Esas puntuaciones serán de 0 a 10, multiplicadas por un factor de importancia. La suma total representará la valoración final de cada uno de ellos, y se escogerá, obviamente, el que consiga una mayor puntuación.

Valoración de bocetos de rotación							
	Ponderación	Boceto 2.1		Boceto 2.2		Boceto 2.3	
			Pond.		Pond.		Pond.
Sencillez	1	6	6	4	4	7	7
Tamaño	2	3	6	9	18	2	4
Fabricabilidad	1.5	4	6	8	12	8	12
Adaptabilidad de motores	1.5	7	10.5	8	12	8	12
Adaptabilidad de sensores	1.5	7	10.5	8	12	8	12
Adición de nuevos sensores	1.4	2	2.8	7	9.8	3	4.2
Facilidad de cambio en relación de transmisión	1.4	3	4.2	8	11.2	6	8.4
Visibilidad del operario	1.3	2	2.6	8	10.4	8	10.4
Total			48.6		89.4		70

Ilustración 21 (2.1.4): Tabla valoración de bocetos rotación

Uno de los factores decisivos en la elección del boceto ha sido el tamaño del conjunto y el aprovechamiento del espacio, al que se le ha dado especial importancia, ya que en el resto de aspectos todas las propuestas ofrecen características similares.

El desarrollo del sistema continuará empleando el boceto 2.2 como base (se evaluarán las dos versiones, dependiendo de la relación que más se adapte a las necesidades), tras analizar los componentes comerciales que se necesitan.

Como conclusión de este apartado, destacar que, aunque el boceto elegido será el punto de partida, el diseño final puede adoptar soluciones de diferentes bocetos. Lo realmente importante de este apartado es mostrar la evolución del proceso creativo en la etapa de diseño mecánico, y tener ideas con las que trabajar en un diseño de detalle.



2.2. Desarrollo mecánico

Partiendo del boceto elegido anteriormente, se desarrolla el diseño de la parte mecánica. Se dividirá el diseño en dos partes:

- Desarrollo de plataforma adaptable a diferentes sistemas.
- Desarrollo completo de un sistema específico para implementar sobre la plataforma adaptable.

No obstante, ambas partes están relacionadas, ya que para los cálculos de la plataforma adaptable puede ser necesario conocer las características (momentos de inercia, masas, etc.) del sistema específico. Por este motivo, se considera el sistema específico como uno de los casos más desfavorables, en cuanto a dichas características, aplicándole coeficientes de seguridad holgados.

Todo ello viene condicionado por la selección de sensores y actuadores. Como se ha comentado antes, los motores elegidos son:

- Servomotor Trinamic PD1-110-42-232
- Motor DC
- Motor paso a paso

Salvo en el caso del servomotor Trinamic (la elección viene impuesta en los requisitos), la selección de los restantes dependerá de las características requeridas para ejecutar el movimiento, sin ninguna restricción en otro aspecto.

Los sensores que deberá ofrecer son:

- Encoder incremental
- Tacómetro
- Potenciómetro
- Finales de carrera

En este punto, surge la idea de crear una estación de sensores que sea acoplable a los diferentes ejes que tenga el conjunto (directo al eje del motor, o tras las relaciones de transmisión, por ejemplo). De esta manera, tendríamos los tres tipos de sensores disponibles en cualquier momento. Obviamente, los finales de carrera se excluyen de esta categoría, buscando una mayor adaptabilidad en los mismos.

Concluimos, por tanto, que el diseño debe girar en torno a las dimensiones de la estación de sensores, a los motores Trinamic, por su gran volumen y peso respecto a los otros, y a la masa adaptable deseada.



2.3. Presentación del diseño mecánico

Inicialmente, se diseña considerando el empleo de motores Trinamic PD1-110-42-232, ya que sus dimensiones y masa son mayores (así como su potencia, que cumple holgadamente con los requerimientos) a las que tendrán los motores DC y paso a paso que se seleccionarán posteriormente, tras poder especificar las características que deberán poseer. Recordemos que se busca que todos los motores disponibles puedan combinarse a elección del operario.

Para poder definir correctamente las dimensiones de las piezas, se ha desarrollado paralelamente un sistema concreto de movimiento de traslación mediante husillo (que servirá como primer ejemplo de subsistemas), lo que nos permitirá concretar características como inercias, masas, etc. con las que definir correctamente los requisitos de los motores a elegir. Se considera que el resto de subsistemas a integrar tendrán unas características similares.

La estructura básica que albergará todos los posibles subsistemas está formada por una base rectangular de chapa con cuatro apoyos sobre la que se atornilla un soporte monobrazo, que acoge los rodamientos del eje de rotación. A este eje, va unida una chapa ranurada que permite adaptar sistemas de diferentes medidas y formas. Además, se dispone de un tope mecánico que limita el movimiento en los dos sentidos.

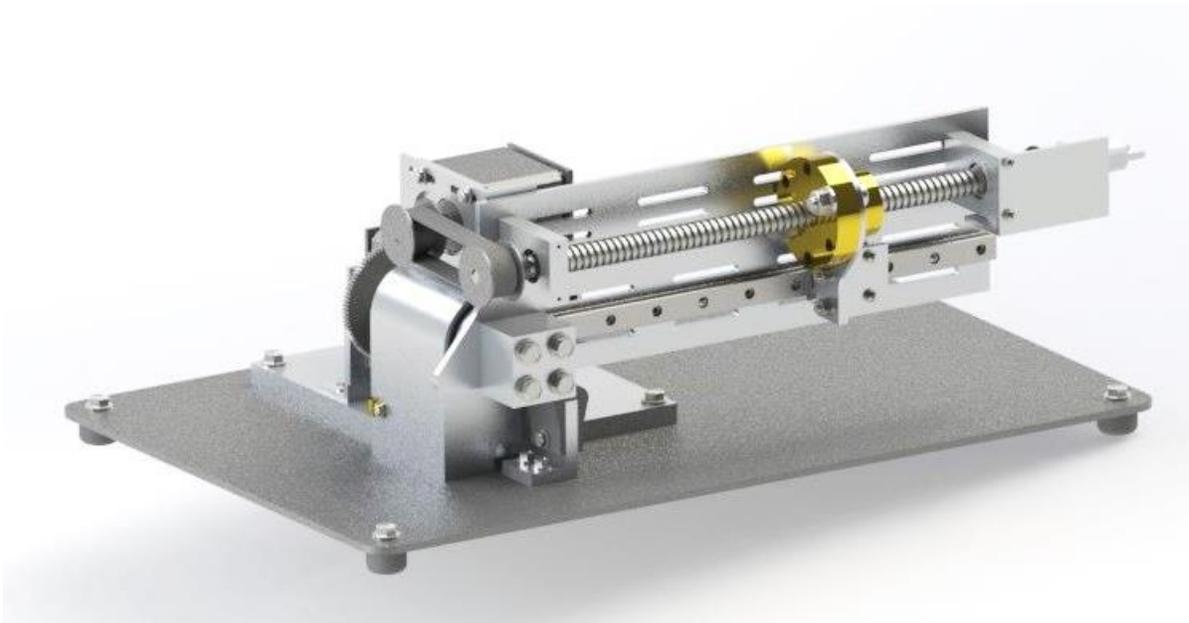


Ilustración 22 (2.3): Diseño mecánico

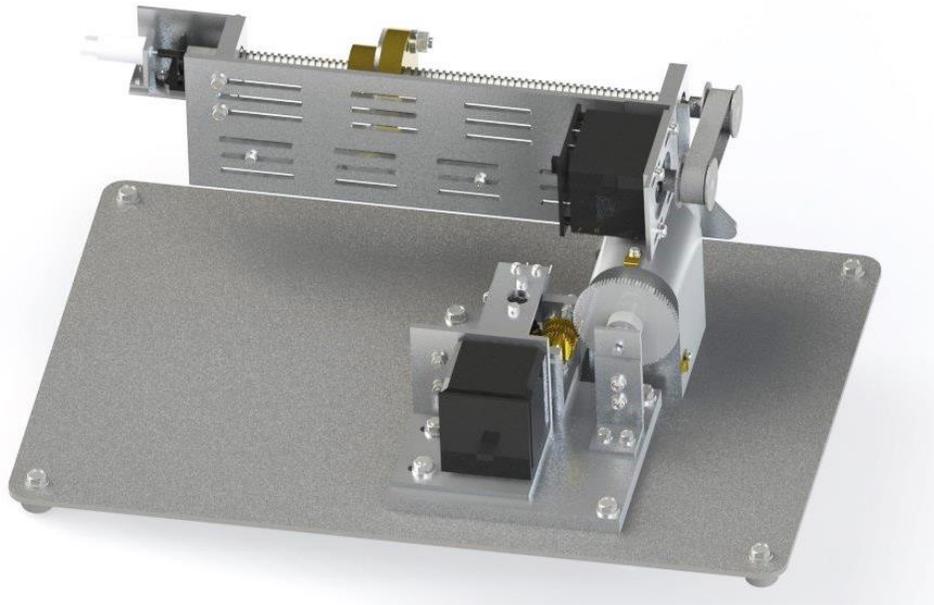


Ilustración 23 (2.3): Diseño mecánico (2)

La adición del subsistema de traslación, se hará por tanto anclándolo sobre la chapa ranurada. En el caso del subsistema de rotación, se atornillará a la base una base postiza que dispondrá de las formas necesarias en cada caso.

En el anexo I se explican los ensayos realizados para la verificación de las piezas más relevantes.

Hablaremos ahora individualmente de los dos grandes subconjuntos del sistema, desarrollados como una opción específica, fuera ya de la estructura general (para la explicación, el sistema de rotación se explica un conjunto incluyendo la estructura general).

2.3.1 SUBCONJUNTO DE ROTACIÓN

El subconjunto de rotación está formado por un sistema que consta de un soporte principal que sustenta el eje de rotación, y el conjunto de accionamiento y sensores que va montado sobre una sub-base añadida. En caso de querer cambiar radicalmente la forma del conjunto, el diseño nos permitiría hacerlo construyendo una nueva sub-base con las necesidades requeridas. No obstante, la diseñada originalmente dispone de ranuras en las que ajustar la posición de motores, transmisión y sensores a diferentes medidas.

Ya que, desde el punto de vista del control, trabajar con un rango de movimiento de 180° no supone ninguna ventaja, se ha preferido sacrificarlo, limitándolo a 90° en beneficio de la compacidad total del sistema.

La longitud máxima que podrá tener el motor acoplado es de 80 mm. sin salirse del espacio de la base. El diámetro máximo (o al ancho) es de 33 mm. pudiendo ampliarse en caso de ser necesario con la fabricación de un soporte más alto, que constaría de un perfil en L con los agujeros por los que sujetar el motor.

El conjunto de accionamiento y sensores se ha montado sobre una sub-base añadida. En caso de querer cambiar radicalmente la forma del

2.3.1.a. Reductora

Este subconjunto incorpora una reductora de engranajes, con las que podemos ajustar la relación de transmisión simplemente moviendo la posición de la misma. Con ello, podemos disponer de relaciones de reducción de 1:13, 1:110 y 1:1000, obteniendo un mayor par y conservando una velocidad suficiente para el giro.

Para la reductora, se cuenta con 3 tipos de engranajes, todos ellos de módulo 0.5 con el que se minimizan las holguras (los pares transmitidos no son muy elevados):

- Piñón del motor: piñón de 20 dientes unido al eje con entalla del motor mediante un tornillo de sujeción.
- 6 Engranajes dobles: formados por dos engranajes unidos de 29 y 10 dientes respectivamente.
- Rueda dentada de 90 dientes, unida al eje de rotación con una entalla mediante un tornillo de sujeción. Esta rueda de gran tamaño nos facilita la distribución del conjunto, y juega favorablemente reduciendo la fuerza tangencial y radial que se transmite al eje (donde tendremos el par máximo), ya que estas disminuyen con el radio primitivo:

$$F_{tangencial} = \frac{\text{Momento angular}}{\text{Radio primitivo}}$$

$$F_{radial} = F_{tangencial} \times \cos(\text{ángulo de presión})$$

El piñón del motor engrana con el primero de los engranajes dobles (29 dientes). Este, a su vez, engrana su rueda de 10 dientes, con la rueda de 29 dientes del siguiente engranaje. En caso de queelijamos la reducción mínima, esta rueda de 29 dientes transmitirá su movimiento a la rueda dentada de 90 dientes del eje de rotación. Si queremos una reducción mayor, se transmitirá al siguiente engranaje doble (rueda de 10 dientes), que seguirá transmitiendo el movimiento de igual manera sucesivamente en las 2 posibilidades restantes.

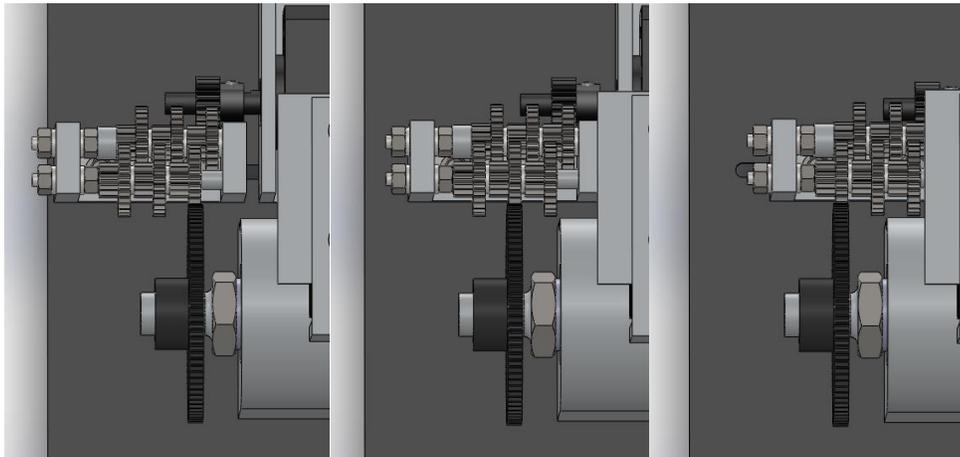


Ilustración 24 (2.3.1): Reductora

Con esto tendremos:

- Reducción mínima (3 etapas): $\frac{20}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{29}{90} = 0.076 - 1:13$



- Reducción intermedia (5 etapas): $\frac{20}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{29}{90} = 0.009 - 1:111$
- Reducción máxima (7 etapas): $\frac{20}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} \times \frac{29}{90} = 0.001 - 1:1000$

Considerando que los motores eléctricos generalmente trabajan a velocidades punta de entre 2000 y 10000 rpm. , podemos calcular el tiempo en el que se realizará el movimiento completo.

Suponiendo una velocidad media máxima de 8000 rpm:

$$8000 \text{ rpm} \times \frac{1}{1000} = 8 \text{ rpm (en el eje de rotación)}$$

$$8 \text{ rpm} \times \frac{\text{rps}}{60 \text{ rpm}} = 0.13 \text{ revoluciones por segundo (en el eje de rotación)}$$

$$\text{Período de vuelta} = \frac{1}{0.13 \text{ rps}} = 7.7 \text{ segundos}$$

$$\text{Periodo por recorrido} = 7.7 \text{ segundos} \times \frac{90^\circ \text{ por recorrido}}{360^\circ \text{ por vuelta}} = 2 \text{ segundos}$$

Lo que corresponde a una velocidad adecuada, siendo suficientemente rápida sin convertirse en incontrolable (y aprovechando el par disponible).

La mínima reducción (1:13) resulta adecuada en el caso de los motores Trinamic, cuyo par máximo (según fabricante) se sitúa en los 0.23 Nm. Con esto obtendríamos en el eje:

$$\text{Par máximo en el eje} = 0.23 \text{ Nm} \times 13 = 2.99 \text{ Nm}$$

2.3.1.b. Eje de rotación

El eje de rotación va unido a la rueda dentada de 90 dientes por un extremo, para lo que lleva su extremo entallado, y al subconjunto de traslación por el otro, mediante 4 tornillos que aprisionan también el soporte de la guía lineal. Se apoya en un soporte mono brazo (atornillado a la base) que alberga 2 rodamientos de una hilera de bolas.

Para impedir su movimiento longitudinalmente, se aprisiona con una tuerca autorretenida (DIN985) y una arandela que apoyan contra el aro interior del rodamiento.

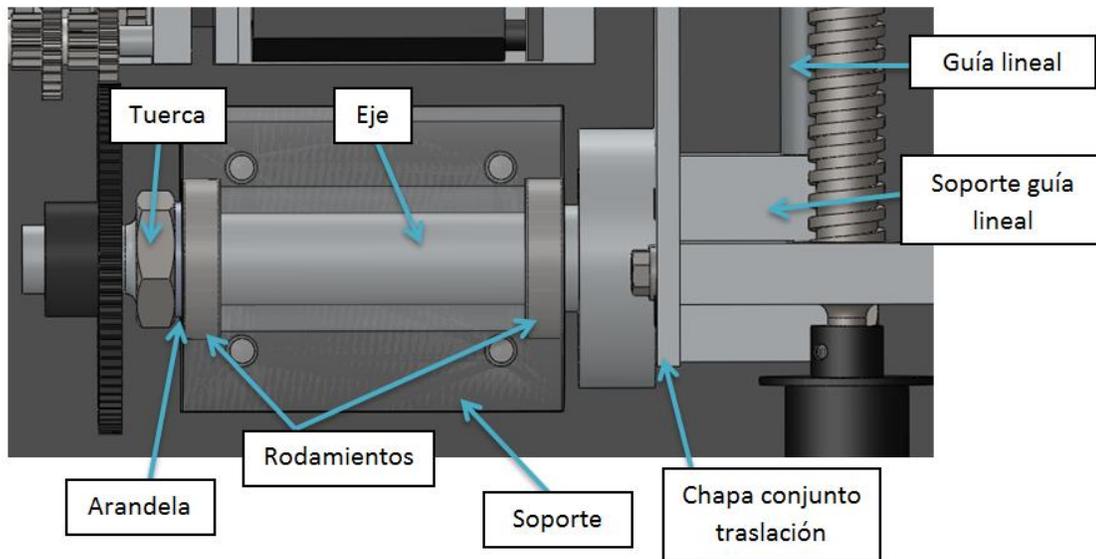


Ilustración 25 (2.3.1): Eje de rotación

El soporte va atornillado directamente a la base (es la única pieza fija del conjunto). A él se atornillan unas grapas que permiten mantener los cables bien colocados.



Ilustración 26 (2.3.1): Grapas de cables

2.3.1.c. Soportes de reductora y de motor de rotación

Ambos soportes van unidos mediante dos tornillos a la sub-base, que dispone de una ranura sobre la que poder ajustar la posición de los mismos. Los propios soportes tienen agujeros rasgados, para poder colocar todo el conjunto de manera que el engranaje de los componentes de la reductora sea óptimo.

El soporte del motor está formado por un perfil en L, sobre el que se perforan los agujeros necesarios para sujetar el motor, y los agujeros rasgados con los que anclarlo a la sub-base.

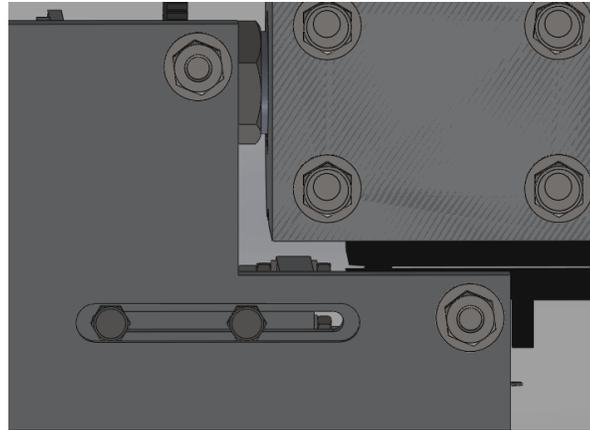


Ilustración 27 (2.3.1): Ranuras de ajuste

El soporte de la reductora está formado por un perfil en U, que alberga los dos ejes fijados por medio de dos tuercas en el mismo extremo roscado del eje. La lubricación de dicho eje será esencial para el buen funcionamiento de la reductora.

2.3.1.d. Topes mecánicos

Se ha colocado un tope mecánico formado por un perfil en L recubierto de una lámina de caucho para amortiguar golpes. Este tope marca el límite del giro en ambos sentidos, apoyando en diferentes zonas de la chapa ranurada, como se muestra en la siguiente ilustración:

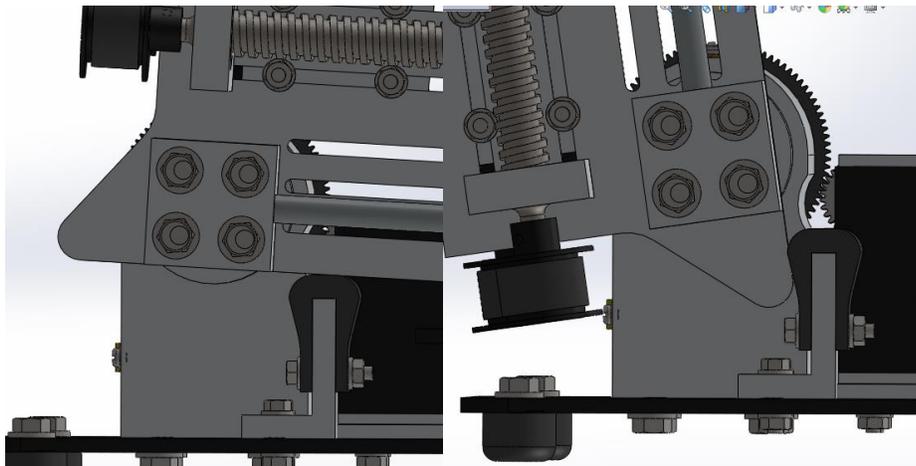


Ilustración 28 (2.3.1): Tope mecánico

La colocación de sensores finales de carrera será sencilla al disponer de espacio suficiente en la chapa ranurada, en ambos casos.

2.3.1.e. Subconjunto de traslación

El subconjunto de traslación está formado inicialmente por una guía lineal y una chapa ranurada en la que poder integrar diferentes sistemas. En este caso, se ha llevado a cabo el diseño de un sistema final mediante husillo trapezoidal, al que se le transmite el movimiento de motor por medio de una polea dentada.

Este subsistema viene preparado para poder elegir entre una guía lineal y una guía prismática. En las siguientes imágenes se ven las dos variantes:

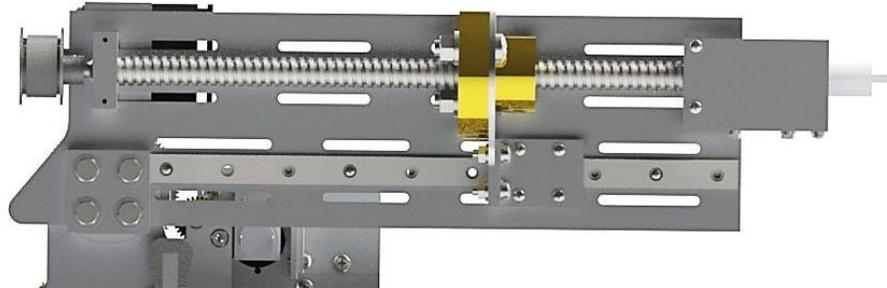


Ilustración 29 (2.3.1): Guía prismática

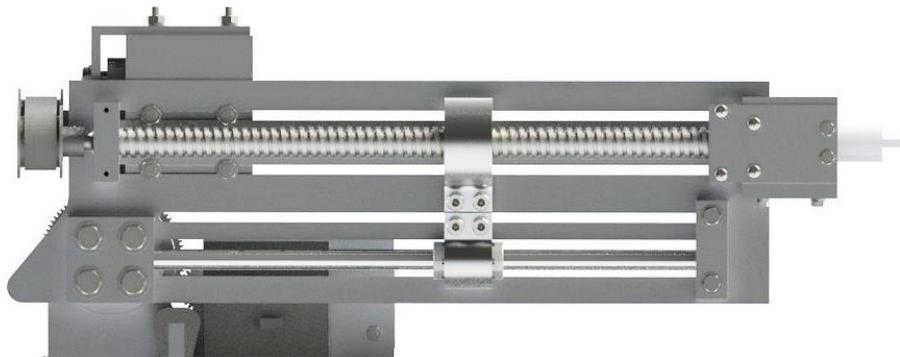


Ilustración 30 (2.3.1): Guía lineal

Los soportes del husillo soportan los rodamientos en los extremos del mismo. Se atornillan a las ranuras de la chapa ranurada, al igual que el soporte del motor de traslación. Este último soporte está formado un perfil en L y una chapa que permiten regular la posición del motor en altura, y tensar adecuadamente la correa, ya que se sujetan mediante tornillos albergados en agujeros rasgados.

Esta configuración permite, además de poder tensar la correa, una gran adaptabilidad a diferentes tipos de motores, ya que sólo sería necesario fabricar una chapa con los agujeros adaptados al motor.

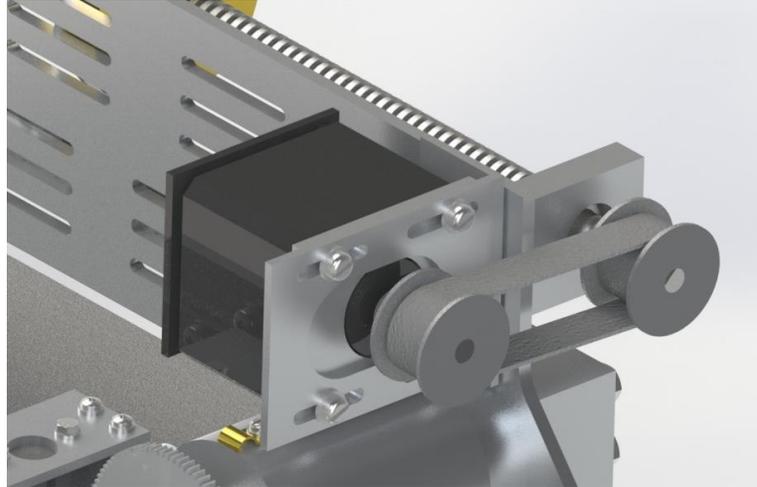


Ilustración 31 (2.3.1): Poleas

Las poleas, cuyo diámetro interior es de 5mm. se unen a los ejes por medio de un tornillo de fijación que impide el giro ya que los ejes llevarán una entalla. Esto quiere decir, que en caso de querer acoplar nuevos husillos, deberán mecanizarse para formar dicha entalla, y para albergar los rodamientos que lo fijan.

La tuerca del husillo va unida al carro de la guía lineal, por lo que, al tener su giro impedido, la moverá longitudinalmente con el giro del husillo. Esta unión se realiza por medio de dos sencillas piezas que atornillan en la valona de la tuerca. Estas piezas permiten también añadir un peso al conjunto, lo que era uno de nuestros requisitos.

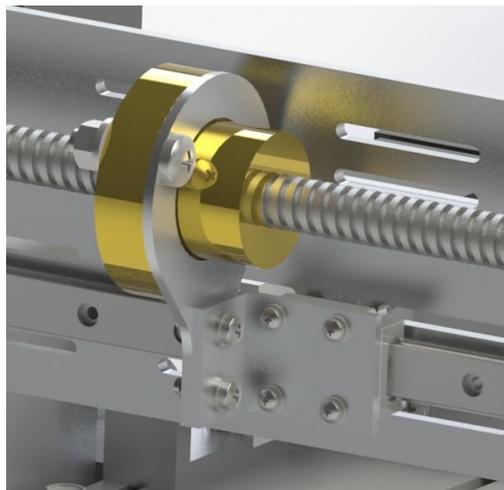


Ilustración 32 (2.3.1): Husillo

El husillo va unido a dos soportes, uno en cada extremo, y montado sobre un rodamiento de una hilera de bolas sobre ellos. Lo ideal en este caso, sería que uno de los dos rodamientos admitiera una desalineación angular, para evitar someter al husillo a un momento flector debido a errores de fabricación y desalineaciones. No obstante, se ha optado por mantener los dos del tipo comentado ya que el precio es



un factor muy importante en este proyecto, y esta solución toma un coste mucho menor. Además, las fuerzas a transmitir son muy bajas y el husillo está ampliamente sobredimensionado para esta aplicación, por lo que una pequeña desalineación no provocará efectos notables, además de poder corregirse, en cierta medida, durante el montaje en la colocación de los soportes.

2.3.1.f. Sensores

Cada motor va acoplado a un conjunto de sensores formado por un encoder de dos canales, y un tacómetro. Ambos van unidos mediante un acoplamiento elástico al eje en cuestión, que mueve la rueda dentada del encoder, a su vez acoplada al eje del tacómetro. Esta construcción nos permitirá acoplarlos no sólo al conjunto actual, si no a nuevas variantes.

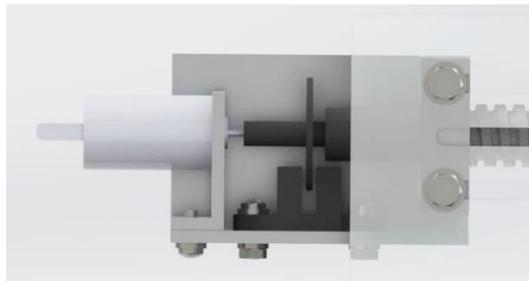


Ilustración 33 (2.3.1): Conjunto sensores

Además, al eje de rotación va unido un potenciómetro de eje pasante con el que también podremos medir la posición.

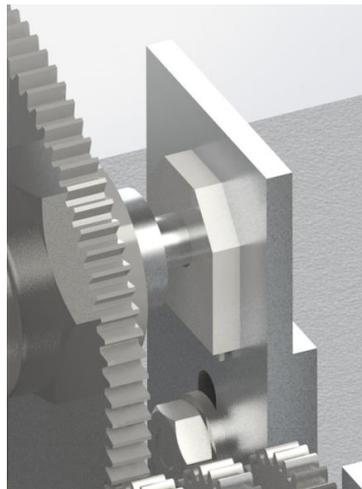


Ilustración 34 (2.3.1): Potenciómetro

Durante el desarrollo electrónico se explicará con más detalle las características de los sensores.



2.3.2 CARCASA DE PROTECCIÓN

Para proteger las piezas, y también proteger al usuario de movimientos inesperados, se ha diseñado una carcasa removible que cubre todo el conjunto. Esta carcasa está formada por perfiles de aluminio en L (buscando la sencillez de fabricación), y con láminas de metacrilato que permiten ver a su través.

Se ancla a la base aprovechando los tornillos de los tacos de apoyo, que se atornillarán a los soportes roscados de la carcasa.



Ilustración 35 (2.3.2): Carcasa



3. ELECCIÓN DE MOTORES ADICIONALES

Se buscará que sean intercambiables en las dos posiciones para lograr la máxima utilidad. Por ello, la elección quedará restringida por los requerimientos del movimiento de rotación, que es el más exigente.

Como se ha calculado en el anexo I, se buscará un par máximo entre 1 y 3 Nm, contando con las relaciones de transmisión disponibles (1:13, 1:111, 1:1000), y logrando una velocidad que nos permita realizar el recorrido completo en un tiempo racional, que fijaremos en 5 segundos.

El movimiento de traslación no resulta crítico, ya que la carga a mover será baja y el husillo tiene gran ventaja mecánica, lo que proporcionará baja velocidad en el movimiento, pero fuerza suficiente sin necesidad de un motor con alto par.

Además de esto, se buscará una solución lo más económica posible.

3.1. Motor DC

Se elige un motor DC con las siguientes características:

- Nombre comercial: Mellor Electric RS360
- Voltaje: 24 V (DC)
- Par máximo: 2,3 Ncm
- Velocidad máxima: 5600 rpm
- Tipo de motor: con escobillas
- Longitud de caja: 4 cm
- Diámetro: 2.7 cm
- Sujeciones: 2 x M2.6
- Diámetro de eje: 2.3 mm
- Precio aproximado: 10 €

Con estas características, y una reducción intermedia (1:111), conseguimos:

$$\text{Par máximo} = 2.3 \text{ Ncm} \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \times 111 = 2.553 \text{ Nm}$$

Si tenemos en cuenta el rendimiento de los engranajes, de aproximadamente 0.9 en cada etapa (5 etapas):

$$\text{Par máximo en el eje} = 2.553 \text{ Nm} \times 0.9^5 = 1.53 \text{ Nm}$$

El tiempo mínimo en realizar el recorrido completo, despreciando el tiempo de aceleración será:

$$\text{Tiempo de recorrido} = \frac{\text{Período}}{5600 \text{ rpm} \times \frac{1}{111} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \times \frac{90^\circ}{360^\circ} = 0.30 \text{ s}$$

Un tiempo muy reducido, que se verá incrementado ligeramente por el tiempo de aceleración que se tarda de alcanzar la velocidad de régimen, y que supera ampliamente los requisitos impuestos.

3.2. Motor paso a paso

El motor elegido es el Nanotec SP1518M0204-A, que tiene las siguientes características:

- Nombre comercial: Nanotec SP1518M
- Número de fases: 2
- Par máximo: 0.35 Ncm
- Voltaje: 12 V
- Corriente máxima: 0.24 A
- Diámetro del eje: 1.5 mm
- Sujeciones: 2 x diámetro 2 mm
- Velocidad máxima: 10000 rpm
- Ángulo de resolución: 18°
- Precio aproximado: 13€

El fabricante proporciona la siguiente curva Par/Velocidad:

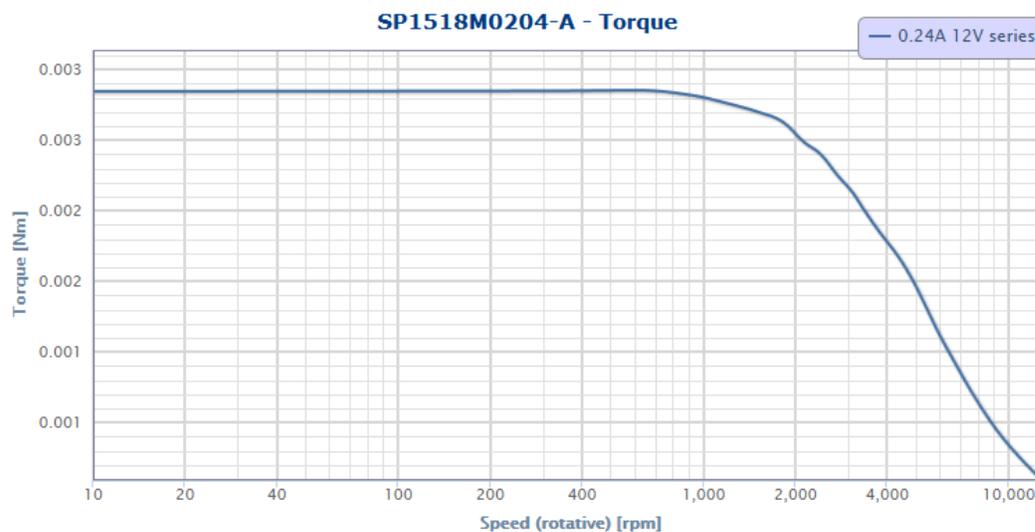


Ilustración 36 (3.2): Gráfica par-velocidad motor paso a paso

El par cae drásticamente a partir de 3000 rpm, por lo que lo consideraremos la velocidad máxima en nuestros cálculos, con un par medio de 3Nm

$$Par\ máximo = 0.3\ Ncm \frac{1\ m}{100\ cm} \times 1000 = 3\ Nm$$

Si tenemos en cuenta el rendimiento de los engranajes, de aproximadamente 0.9 en cada etapa (7 etapas):

$$Par\ máximo\ en\ el\ eje = 3\ Nm \times 0.9^7 = 1.43\ Nm$$



El tiempo mínimo en realizar el recorrido completo, despreciando el tiempo de aceleración será:

$$\text{Tiempo de recorrido} = \frac{\text{Período}}{3000 \text{ rpm} \times \frac{1}{1000} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \times \frac{90^\circ}{360^\circ} = 5 \text{ s}$$

En este caso, el tiempo es más elevado (debido a las limitaciones del motor). El tiempo de aceleración no incrementará apreciablemente como en el caso anterior. Sin embargo, consideramos adecuado este motor para este sistema según los requisitos establecidos, aunque no resulte tan holgado como el resto.

3.3. Acople entre motores y elementos de transmisión

Con los motores elegidos, se dispone de tres diámetros diferentes de eje de motor: 5mm con entalla, 2.3 mm y 1.5 mm.

Los motores sin entalla se diseñan para ajustarles por apriete un elemento (engranaje, polea, etc.) con el que transmitir el movimiento. Para que las piezas del sistema sean los más adaptables posibles, y no tener que disponer de un elemento específico para cada motor, se diseña una pieza intermedia que convierte los ejes de los motores en un eje de diámetro 5 mm con entalla, de manera que queden unificados.

Esta pieza se coloca por apriete, y debe ser especial para cada motor, por lo que su construcción debe ser sencilla y económica. La colocación debe realizarse con especial cuidado para no dañar los ejes de los motores.

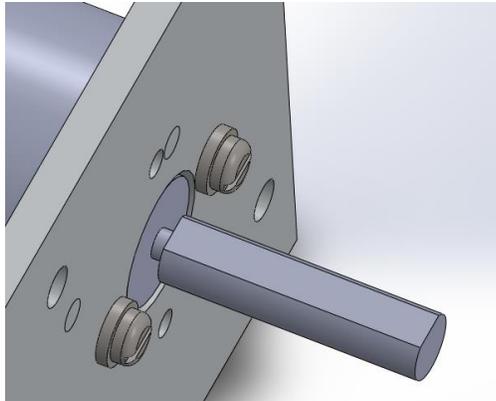


Ilustración 37 (3.3): Acople motores DC y paso a paso





4. ELECTRÓNICA

Una vez establecidos los accionamientos a emplear, se presentarán los sensores utilizados, para, posteriormente, desarrollar la electrónica partiendo del concepto general hacia abajo jerárquicamente.

4.1. Sensores

Para el control del sistema se ofrecen diferentes tipos de sensores entre los que el usuario puede escoger.

En el sistema de rotación, contaremos con un encoder incremental, un tacómetro y un potenciómetro. En el sistema de traslación, contaremos con un encoder incremental y un tacómetro.

A continuación, se explicarán cada uno de ellos:

4.1.1 ENCODER

Uno de los sensores a colocar será un encoder incremental con el que saber la posición de los motores, y poder calcular a partir de ella, las velocidades y posiciones del sistema en ambos movimientos.

El encoder empleado será de tipo incremental, de dos canales, con el que poder saber el sentido de giro del movimiento. En el caso del movimiento de rotación, irá colocado directamente al motor, con lo que podremos obtener la máxima resolución, que estaríamos aprovechando si los colocáramos antes de la reducción. En el caso de traslación, donde la velocidad del husillo y la del motor es la misma, irán colocados al husillo simplemente por facilidad de colocación.

Los encoders se formarán con un sensor OPB822SD, formado por dos emisores y dos fototransistores, que emitirán señales digitales al paso de una rueda de 37 dientes procedente de un antiguo ratón de ordenador. Con ello, obtendremos una resolución de 74 pulsos por revolución.

En el anexo Cálculos sobre el encoder, se amplía la información sobre este elemento.

4.1.2 POTENCIÓMETRO

Para medir el ángulo de rotación, se ofrecerá también un potenciómetro que se conectará al eje de giro. Por tanto, el par resistivo debe ser muy reducido, para no afectar al movimiento del mismo.

Por facilidad de instalación, se elige un potenciómetro de agujero pasante de pequeño tamaño Bourn 3382-G-1-252-G, con una resistencia que varía entre 0 y 2.5 K Ω en un giro de 330°. El par resistivo máximo es de 3 g/cm.

Con esto, conseguimos añadir un nuevo sensor de manera económica, ya que el coste de este componente es inferior a 2€.



4.1.3 TACÓMETROS

Los tacómetros nos permiten medir la velocidad del movimiento. Para este proyecto, se ha recurrido a una solución que pasa por reutilizar pequeños motores DC, que generan una tensión proporcional a la velocidad a la que gira su eje. De esta manera, tendremos una señal analógica con la que trabajar.

Los motores empleados son los Maxon A-max 106163. Estos motores generan una tensión máxima de 10 voltios, cuando se gira su eje a 12000 rpm. Además, la tensión es proporcional a la velocidad, lo que nos facilitará la interpretación de la señal.

Los motores empleados no sobrepasan dicha velocidad, por lo que no habrá problemas en ese sentido. No obstante, conviene tener en cuenta ese dato en caso de emplear un nuevo motor más rápido.

El tamaño de estos motores es muy reducido, lo que facilita la incorporación al sistema.

4.1.4 FINALES DE CARRERA

Se colocarán finales de carrera en los puntos límites de los recorridos, lo que evitará daños en motores y transmisión, y golpes innecesarios.

Es recomendable utilizar su señal siempre que se manipule el producto, con el fin de cortar la alimentación del motor, o en su defecto impedir que se siga aplicando un par una vez llegado al límite del recorrido.



4.2. Diseño de PCBs

4.2.1 CONCEPTO GENERAL

Se desea realizar dos funciones principales desde el punto de vista electrónico. La primera consiste en ofrecer de una manera segura las señales a los usuarios que manipularán el producto. La segunda, consiste en leer los datos de los encoder, y mostrar en una pantalla LCD la posición y la velocidad de ambos movimientos.

La segunda labor puede querer modificarse por el usuario a posteriori, por lo que se realiza en una PCB diferente, de manera que sea fácil de sustituir, conservando el resto de las funciones.

Se emplearán, además, una serie de conectores que nos permitirán acceder a todos los elementos para los que se ha preparado por defecto, y se buscará facilitar la implementación de nuevos sistemas, tanto de accionamiento como de sensores.

El siguiente esquema ilustra la configuración que se tomará electrónicamente, en cuestión de PCBs y conectores.

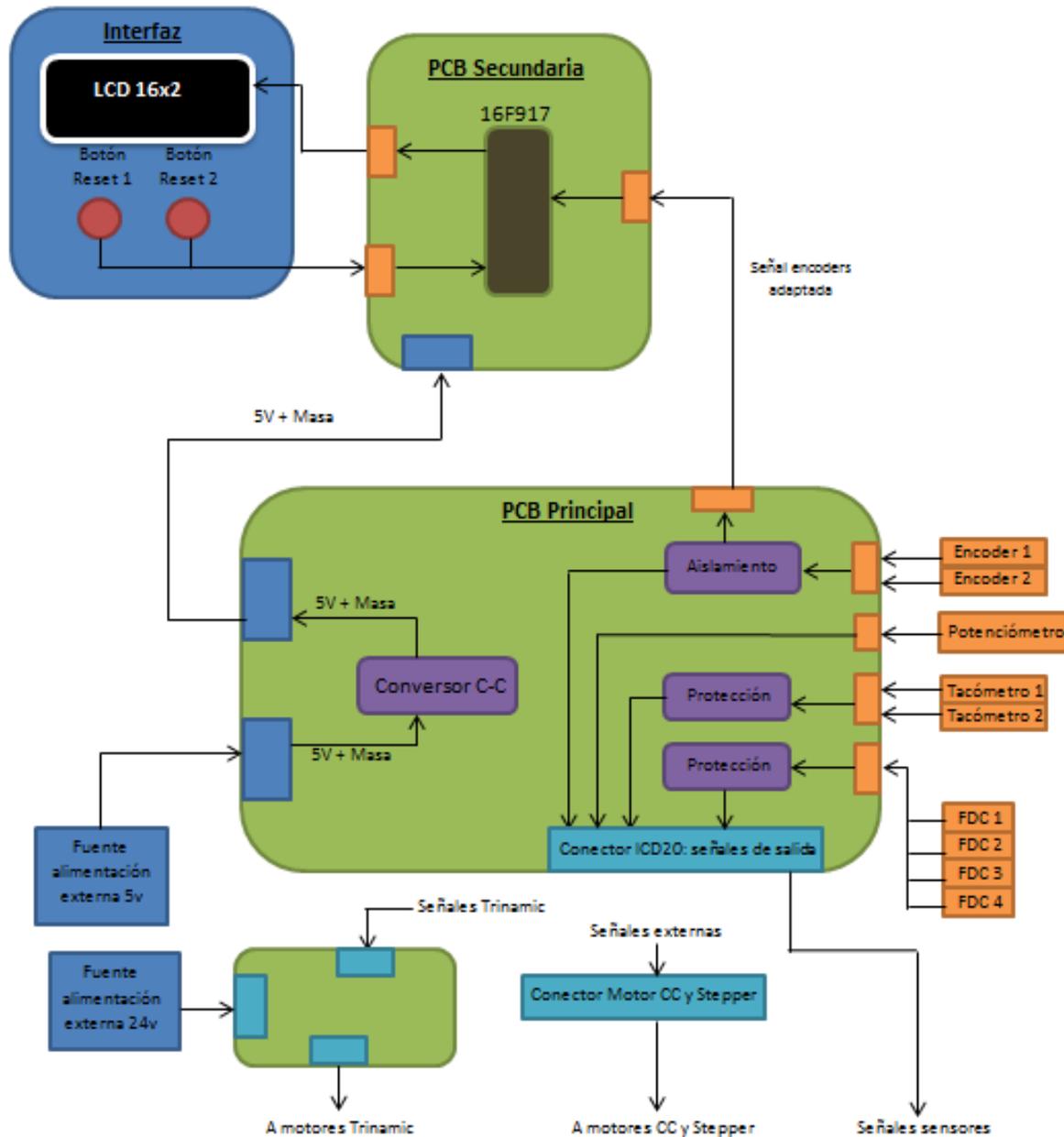


Ilustración 38 (4.2.1): Esquema general electrónica

El órgano central del esquema es la PCB principal, alimentada por una fuente externa de 5V, que se transforman por medio de un convertor C-C encargado de aislar la alimentación interna de la electrónica del usuario en caso de utilizar esa misma fuente. La PCB principal dispone de conectores para distribuir la alimentación ya aislada.

Además, recibe las señales de los sensores, y se encarga de protegerla de manera que errores en la utilización posterior de dichas señales no puedan dañar los componentes (tanto de la electrónica interna y sensores, como la electrónica del usuario en la medida de lo posible). Esas señales se ofrecen al usuario por medio de un conector ICD20.



Para la alimentación y el manejo de motores Trinamic, se dispone de una PCB auxiliar, con conectores para la alimentación (24V) y la señal de control, y distribuyéndolo pertinentemente a cada motor por medio de cable plano.

En el caso de los motores CC y paso a paso, se colocarán conectores externos a la PCB principal que se emplearán tanto para un tipo como otro. Tendrán 6 terminales para cada motor, ya que será el máximo de conexiones que se necesitarán (los motores paso a paso llevan 6 terminales cada uno).

La PCB secundaria es la encargada de mostrar en una LCD de dos filas la velocidad y la posición en ambos movimientos. Alimentada por el convertidor C-C de la PCB principal, recibe también de ésta la señal convertida de los encoders, que se procesará en un microcontrolador. Para resetear el encoder y de inicializarlo, dispone de dos pulsadores que el usuario accionará cuando desee. Tanto la LCD como los pulsadores se encontrarán separados de la PCB secundaria y unidos a ella mediante cables. Esto permitirá ubicar la PCB Secundaria en una zona protegida formar una interfaz con el usuario en un lugar más cómodo.



4.2.2 PCB PRINCIPAL

Quedando establecidas las labores a desempeñar por la misma en el apartado anterior, pasamos ahora a desarrollar la explicación de los elementos que la componen.

4.2.2.a. Alimentación

El primer paso para aislar la electrónica “exterior” (la realizada por el alumno u operario) de la “interior” (la desarrollada en este apartado) consiste en aislar la alimentación.

Muy probablemente, la alimentación de ambas venga dada por la misma fuente, por lo que en caso de un descuido o fallo en la electrónica exterior (sobretensión, cortocircuito, etc.), la electrónica interior puede verse afectada.

Para asegurarnos de que esto no ocurra, se emplea un convertor continua – continua, en el que ambos circuitos quedan aislados, a pesar de que su alimentación provenga de la misma fuente. Así, en caso de fallo externo, sería únicamente este elemento el que se vería afectado, protegiendo al resto. Por ello, aunque su daño sólo se producirá en casos aislados, es importante considerar el factor económico en su selección.

Los factores tenidos en cuenta, principalmente, para su selección son la tensión de entrada, la tensión del circuito secundario que queremos alimentar, y la corriente que debe aportarle al circuito secundario. Además, también se tienen en cuenta otros valores como la eficiencia del componente o el aislamiento (aunque su valor no suele plantear problemas en su elección ya que generalmente es suficiente).

El voltaje será el mismo en el primario y el secundario, pues queremos disponer de 5V en el circuito secundario, y que sea alimentado también con una fuente de 5V con la que generalmente el operario alimentará su propio sistema.

Para evaluar la corriente que debe abastecer, será necesario calcular la condición más restrictiva de funcionamiento en este aspecto. En el anexo II se calcula esta corriente para la elección del convertor C-C.

La corriente que necesitaremos será aproximadamente de 320 mA, por lo que elegimos un convertor C-C NMK0505SAC de Murata Power Solutions, que aporta una corriente máxima de 400 mA, con la misma tensión de entrada y salida (5V), una eficiencia en torno al 80%, y un precio inferior a 8€.

4.2.2.b. Protección

El siguiente paso es proteger las señales que se ofrecen ante fallos en la manipulación de los mismos desde una electrónica externa, y proteger en la medida de lo posible dicha electrónica externa. Se emplean diferentes tipos dependiendo de la señal:

Protección de señal digital:

Encoders

En caso de los encoders, el método más sencillo y eficaz es emplear optoacopladores. Los optoacopladores permiten aislar el intercambio de información digital de los sensores hacia el usuario

exterior. En caso de un mal empleo de la señal, o un fallo en la electrónica externa, este elemento protegería los sensores a los que va asociado, así como el circuito primario.

El funcionamiento de los mismos consiste en un diodo LED que emite una luz recibida por un fototransistor, de manera que los dos circuitos quedan aislados pero la señal se transmite entre ellos.

Este elemento de protección sólo se usará en el caso de los encoders.

Finales de carrera

Se ofrecerán al usuario las señales de los finales de carrera. Como medida preventiva, se colocará una resistencia que impedirá realizar un corto en caso de una manipulación errónea. De esta manera, se tendrá una señal digital 1 (5V, provenientes de la fuente de alimentación externa) en caso de que los finales de carrera estén liberados, y 0 (0V) en caso de que estén accionados.

En el caso de los motores Trinamic, para permitir conectar directamente esta señal, deberán unirse las masas de alimentación (0V), para que la referencia sea la misma.

Protección de señales analógicas

Tacómetro

Para proteger las señales analógicas de los tacómetros, se estudiaron diferentes alternativas:

- Amplificadores de aislamiento:

Su funcionamiento es el mismo que un amplificador en topología diferencial, pero ofrecen un aislamiento galvánico. Tienen un buen comportamiento lineal, por lo que la transmisión de señal sería óptima.

Existen varios tipos de amplificadores de aislamiento: ópticos, magnéticos (por transformador), capacitivos y de transferencia de calor. En este caso, interesan los de tipo óptico por ser los más sencillos y económicos, pero con cualidades suficientes para la aplicación a tratar.

Los amplificadores de aislamiento ópticos emplean un amplificador interno, tras el cual la señal es modulada para convertirla a frecuencia y enviarla, por medio de un led, al circuito secundario, donde sería recibida por un fototransistor, y de nueva convertida a voltaje y amplificada.

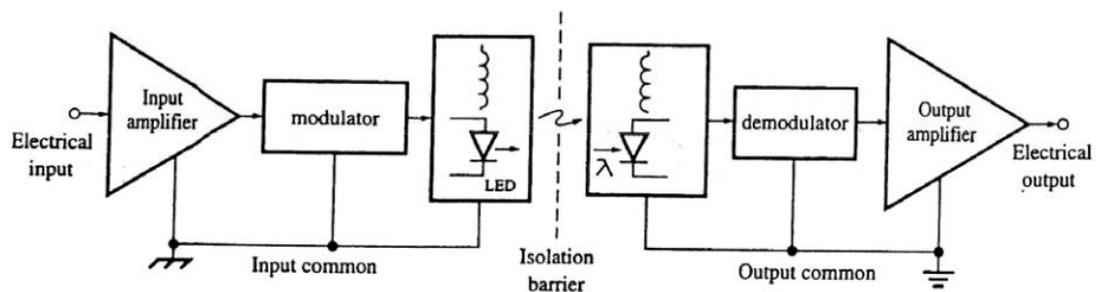


Ilustración 39 (4.2.2): Esquema de amplificador de aislamiento

Dado lo determinante del factor económico en este proyecto, que se sitúa como uno de los prioritarios, se han revisado las distintas opciones del mercado. Unos de los amplificadores de aislamiento más competitivos en este aspecto, siendo perfectamente válido por sus características, serían los de la familia de amplificadores ACPL-790A / ACPL-790B / ACPL-7900, que rondan los 6€ en el mercado. La salida es diferencial, por lo que sería necesaria una etapa para referenciarlo a tierra (que no estaría protegida, ya que está por detrás de la línea de aislamiento).

Además, la señal de entrada debe ser positiva para emplear estos amplificadores, por lo que sería necesaria otra etapa de adaptación a la entrada. En este punto, nos encontramos con el problema de que la circuitería interna está alimentada de 0 a 5V, y los amplificadores saturarían ante una señal negativa, no pudiendo muestrearse una velocidad negativa del motor. Para ello, deberíamos incluir alimentación que abarcara el rango de voltaje de la señal, o al menos hasta donde quisiéramos abarcar (un mínimo de -5V a 5V, con el que muestrear velocidades de entre -6000 y 6000 rpm) .

Esta configuración sería perfectamente viable con el siguiente esquema, pero se descarta su implementación por motivos económicos.

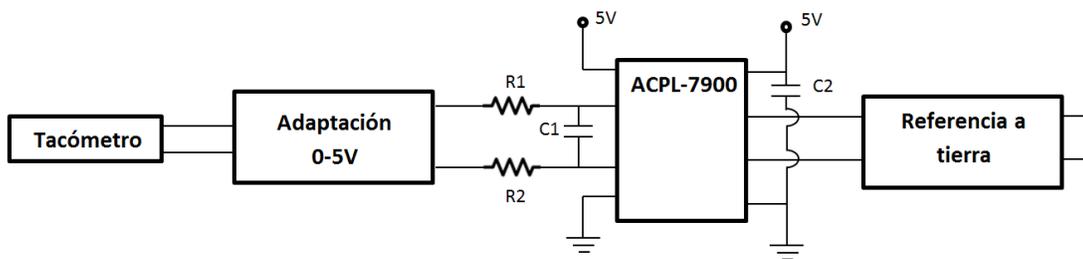


Ilustración 40 (4.2.2): Esquema de circuito de amplificador de aislamiento

- Convertor voltaje frecuencia - optoacoplador- convertor frecuencia voltaje

El funcionamiento es preciso, proporcionando aislamiento galvánico, aunque la topología es más compleja. El funcionamiento es similar al caso anterior, pero de manera separada, formado por integrados diferentes e independientes para realizar la misma función que el amplificador de aislamiento.

Nuevamente, necesitaríamos una etapa anterior de adaptación, y una etapa posterior de referencia a tierra. El circuito tendría seguiría este esquema:

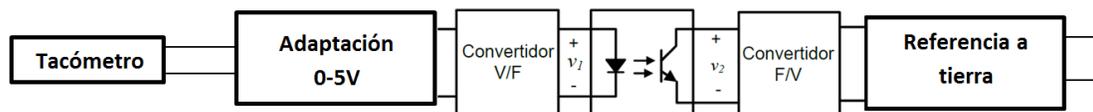


Ilustración 41: Esquema aislamiento con convertor frecuencia voltaje

La elección de componentes vendría condicionada, como en el caso anterior, por motivos económicos. Así, la elección sería: LM331 Convertidor V/F (1.5€), LM2907 Convertidor F/V (1.5€), 4N25 optoacoplador (0.5€). Aunque el circuito es más complejo, se abarata notablemente respecto al anterior (a



esto habría que incluir el precio de amplificadores operacionales rail to rail, resistencias y condensadores necesarios).

También, necesitaríamos alimentación negativa para la primera etapa de adaptación.

- Limitador de corriente:

Un limitador de corriente nos ofrecería protección en cortocircuitos por fallos en la manipulación electrónica. Además, al tratarse de tacómetros, en el caso erróneo de que el usuario impusiera una caída de tensión entre los terminales del mismo, éste trataría de actuar como un motor de corriente continua. Como su eje va acoplado al motor principal, no podría moverse libremente. Entonces, demandaría más corriente, hasta el punto en el que actuaría el limitador de corriente, salvando nuevamente el circuito y protegiendo ambas partes, tanto el sensor, como la electrónica del operario.

El inconveniente de este sistema es que no ofrece un aislamiento galvánico, aunque el sistema quedara protegido en la mayor parte de casos. La principal ventaja es la sencillez de sus topologías y que se sitúa claramente como la opción más económica.

En este caso, podríamos elegir o no si adaptar la señal, u ofrecerla de manera directa al usuario.

Dentro de este grupo, podemos encontrar varias opciones:

- Fusibles: Ante el paso de una corriente superior a la elegida, se fundiría el filamento del fusible protegiendo el circuito. Esto supondría tener que cambiar el fusible, cosa poco deseable, a pesar de que no es algo que sucedería habitualmente.
- Fusibles reiniciables PTC: el funcionamiento es similar a los fusibles convencionales. Ante una excesiva corriente, la temperatura hace que dejen de transmitir la corriente, pero en este caso, una vez enfriado nuevamente, vuelve a transmitir la electricidad. Aunque tiene un número de ciclos limitado, no es un componente que debería actuar habitualmente, por lo que se considera perpetuo.

Un polímero PTC es un no conductor cristalino constituido por una matriz de polímeros orgánicos que se carga con partículas carbón negro para que sea conductor. A bajas temperaturas, el polímero se encuentra en un estado cristalino, con las partículas de carbono entrelazadas en el retículo cristalino, formando cadenas de muchos conductores que permiten la circulación de una corriente determinada llamada corriente de mantenimiento.

Las corrientes superiores al valor de mantenimiento producen calor, por lo que el polímero se expande y pasa de estado cristalino a amorfo, presentando una mayor resistividad lo que reduce el flujo de corriente. Ese incremento de resistividad no es lineal, si no que sigue una curva como la que se muestra a continuación.

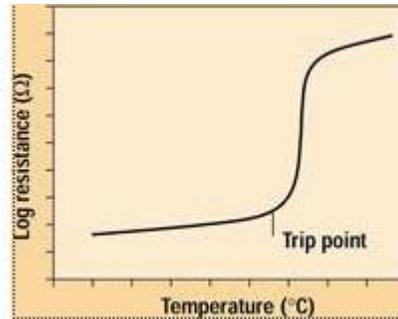


Ilustración 42 (4.2.2): Gráfico resistencia-temperatura fusible PTC

Cuando la corriente pasa a través del fusible PTC, este disipa una pequeña potencia (el valor de la caída de tensión dependerá de la corriente que se demande en la lectura de la señal, pero su efecto no será apenas apreciable para la aplicación tratada ya que la resistencia máxima es muy baja). Siempre que la corriente sea inferior a un valor (I_{HOLD}), el circuito funcionará normalmente. Cuando supere este valor, el fusible comenzará a calentarse y a disipar potencia, hasta llegar a un valor de corriente (I_{TRIP}), en el que el calentamiento se incrementará notablemente y dejará de transmitir corriente.

Como inconveniente, destacar que su actuación no es inmediata, sino que, por el modo de funcionamiento, existe un tiempo de calentamiento para que actúe (del orden de 1 segundo).

Estos dispositivos presentan una gran variación de comportamiento dependiendo de la temperatura a la que trabajen. En nuestro caso, esto no presentará un problema ya que trabajará siempre en condiciones similares (en torno a 20° C de temperatura ambiente).

- Circuitos limitadores de corriente

Se puede crear un sencillo circuito que limite la corriente. El problema que nos encontramos en este caso es que generalmente, estos circuitos sólo actúan cuando la corriente circula en un sentido, por lo que no serviría en nuestra aplicación. Además, en caso de cortocircuito, uno de los componentes (generalmente un transistor), debe ser capaz de disipar toda la potencia, por lo que sería necesario emplear un disipador.

Dentro de este grupo, encontramos limitadores de corriente programables. Estos dispositivos trabajan a corrientes de corte muy superiores a las que necesitamos (en torno a 3A), y su precio hace que no sean una opción competitiva aunque se adaptaran a nuestros requisitos.

Una vez presentadas todas las alternativas, la elección final, claramente motivada por el precio (no merecería la pena emplear grandes elementos de seguridad para proteger electrónicas poco sofisticadas como las que tratamos), se dirige hacia el fusible reutilizable PTC.

Potenciómetro

En el caso del potenciómetro, también tenemos una señal analógica. No obstante, el coste del potenciómetro es bajo como para plantearse el desarrollo de elementos de protección, por lo que se plantea innecesaria su utilización, y se ofrecerá exclusivamente la conexión a los terminales del mismo, sin ningún tipo de intervención.

Además, sin amplificación, y suponiendo un convertor A/D de 8 bits de 0 a 5V, la resolución obtenida sería:

Con 8 bits tenemos: $Valores = 2^8 = 256$

El potenciómetro seleccionado varía su resistencia entre 0 y 2500 Ω , con un ángulo de 330 grados.

$$Resolución = \frac{330^\circ}{256} = 1.29^\circ$$

Valor que podría ser admisible, y mejorable con una adaptación de señal externa.

4.2.2.c. Esquemas finales

Señal de encoders

El circuito de los encoders se ha calculado empíricamente, a partir de los datos máximos de los fabricantes tanto de encoder como del optoacoplador. Se ha evaluado la respuesta tanto en voltaje como su variación respecto a la frecuencia, para evitar el deterioro de la señal.

Cada canal dispone de su propio optoacoplador para aislar la señal, quedando el circuito de la siguiente manera:

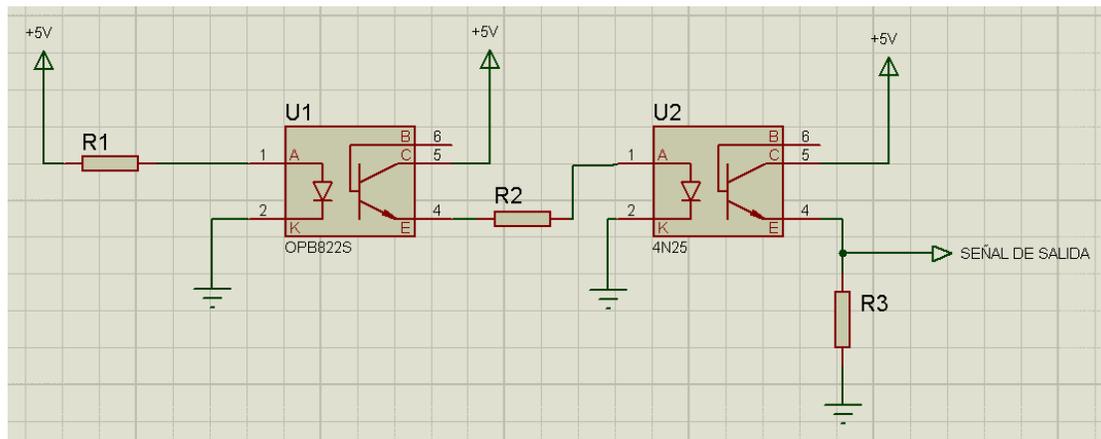


Ilustración 43(4.2.2): Conexión encoders

Los optoacopladores escogidos dentro de los válidos, por factores de disponibilidad, son los 4N25 (Motorola).

Los valores obtenidos son:



$$R1 = 70 \Omega$$

$$R2 = 82 \Omega$$

$$R3 = 3 \text{ M}\Omega$$

En la siguiente gráfica obtenida con el osciloscopio, se muestra cómo la señal no es cuadrada, pero sí interpretable a una frecuencia de unos 4000 Hz (unas 7000 rpm). Los valores de tensión oscilan entre los 5 y los 0.25 V.

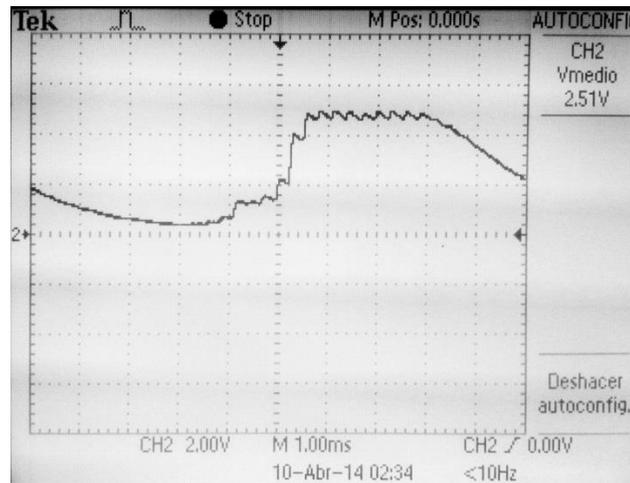


Ilustración 44 (4.2.2): Gráfica osciloscopio - señal encoders

Señal de tacómetros

Como se ha explicado anteriormente, la solución pasará por ofrecer los terminales del tacómetro, protegidos por un fusible reiniciable PTC.

La corriente que deberá transmitirse será muy baja, ya que únicamente deberá alimentar el elemento encargado de medir ese voltaje (etapa de conversión, entrada a conversor A/D, etc.). Por ello, se elige un fusible PTC MF-R005-0 de Bourns con las siguientes características:

$$I_{\text{HOLD}} = 50 \text{ mA}$$

$$I_{\text{TRIP}} = 100 \text{ mA}$$

$$R_{\text{MAX}} = 11 \Omega$$

$$V_{\text{MAX}} = 60 \text{ V}$$

$$I_{\text{MAX}} = 40 \text{ A}$$

Precio aproximado: 0.40 €

A partir de 50 mA, este componente comenzaría a actuar disipando potencia, hasta llegar a 100 mA, cuando interrumpiría el paso de corriente (hasta el límite de 40 A, y siempre por debajo de los 60 V). La resistencia máxima no influiría apenas en la medida tomada, aunque para aplicaciones de precisión podría tenerse en cuenta.

En caso de un cortocircuito, el pico de corriente haría que este componente actuara, evitando posibles daños.

Otros elementos

Además de los componentes antes mencionados, esta PCB dispone de otros siguientes elementos:

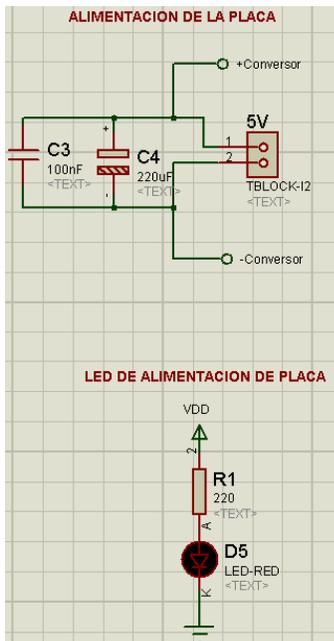


Ilustración 45 (4.2.2): Otros elementos PCB principal

- **Bornero de alimentación:** En este bornero se alimentará la PCB desde una fuente de alimentación externa (0 y 5 V). Dispone de un condensador de desacoplo (MKT de 100 nF) y de un condensador de filtrado (electrolítico de 220 uF) conectados en paralelo con la alimentación.

- **Diodo: LED de indicación de alimentación:** Este LED va conectado a la alimentación, en serie con una resistencia para regular su intensidad (Calculada en el anexo II). Al alimentar la PCB, este LED se encenderá indicándolo.

- **Conectores:** En el siguiente esquema se ilustran todos los conectores de los que dispone la PCB:

- **Conector de encoder A (Tipo PJT 8 pines):** Se conectará al encoder de rotación, por lo que se enviarán las alimentaciones correspondientes, con las resistencias calculadas en el apartado

anterior, y se recibirá la señal de los dos canales.

- **Conector de encoder B (Tipo PJT 8 pines):** Igual que en el caso anterior, para el encoder de traslación.

- **Conector FDC R Entrada (Tipo PJT 4 pines):** A él se conectan los dos terminales de los finales de carrera del movimiento de rotación, y se enviarán esas señales en el ICD20, con lo que podremos controlar de manera externa cómo actuar con ellos.
- **Conector FDC T Entrada (Tipo PJT 4 pines):** Igual que en el caso anterior, para los finales de carrera del movimiento de traslación.
- **Conector Potenciómetro entrada (Tipo PJT 3 pines):** A él se conectan los tres terminales del potenciómetro conectado al eje de rotación, y se enviarán esas señales en el ICD20, con lo que podemos controlar de manera externa cómo actuar con él.
- **Conector tacómetro entrada (Tipo PJT 4 pines):** A él se conectan los terminales de los dos tacómetros (rotación y traslación), y se enviarán esas señales en el ICD20, pasando antes uno de los dos terminales de cada tacómetro por el fusible PTC (para protegerlo como se ha explicado en el apartado anterior).
- **Conectores encoder PCB secundaria (Tipo PJT 4 pines):** La señal en este conector es la proveniente de los encoders a los conectores de encoder, y servirá para enviar a la PCB secundaria la señal de los mismos para procesar esa información.

- Conector IDC20 Salida: Se envían al exterior todas las señales comentadas anteriormente, además de las señales del encoder protegidas con optoacopladores (como se explicó en el apartado anterior).
- Conector salida PCB Secundaria (Bornero 2 entradas): Por este bornero se enviará la alimentación, tras pasar por el convertor DC-DC hacia la PCB secundaria, con lo que podremos alimentarla de manera segura y aislada de la fuente de alimentación externa.

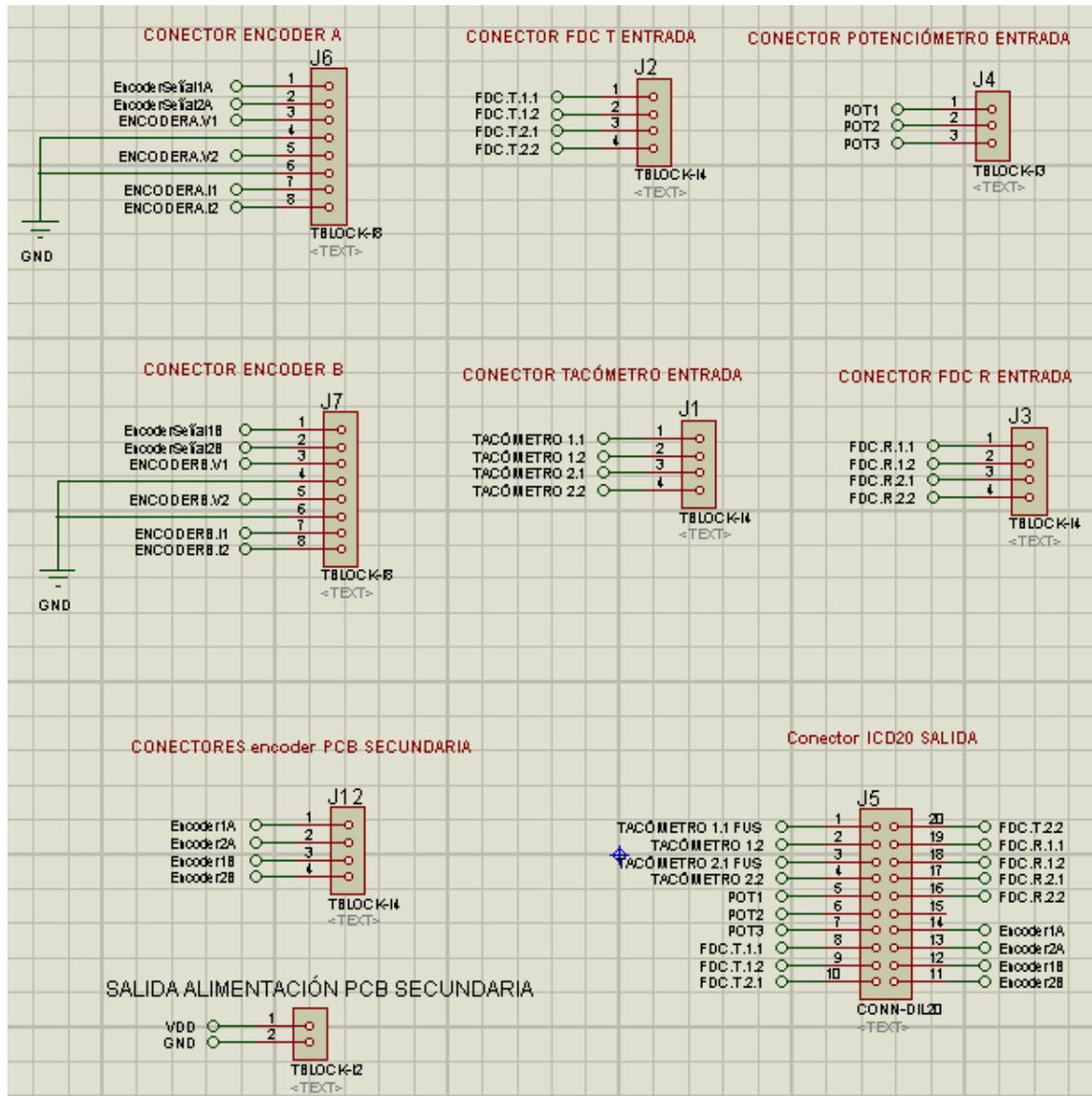


Ilustración 46 (4.2.2): Conectores PCB Principal

A continuación, se muestra una imagen de la PCB, señalando sus elementos:

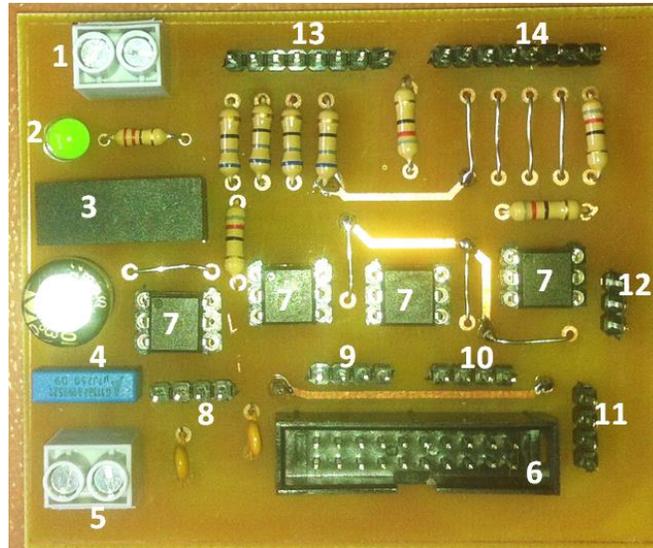


Ilustración 47 (4.2.2): PCB principal

- 1- Conector alimentación 5V
- 2- LED indicador de alimentación en PCB
- 3- Conversor DC-DC
- 4- Condensadores de desacoplo de alimentación
- 5- Conector para alimentación de PCB secundaria
- 6- Conector IDC20 para envío de señales
- 7- Optoacopladores
- 8- Conector tacómetros
- 9- Conector finales de carrera motor rotación
- 10- Conector señales encoder para PCB secundaria
- 11- Conector finales de carrera motor traslación
- 12- Conector de potenciómetro
- 13- Conector encoder rotación
- 14- Conector encoder traslación

4.2.3 PCB SECUNDARIA

En esta PCB, se incluye todo lo necesario para adquirir las señales de los encoders, y mostrar en una pantalla LCD los datos de la velocidad y la posición de ambos movimientos.

Se alimenta por un conector al que llegará la alimentación proveniente del convertidor DC-DC de la PCB principal.

Esta PCB recibe la señal de los encoders adaptada a 3V, detectables por las entradas digitales del microcontrolador TTL. El microcontrolador empleado es un PIC18F4550 por disponer de 3 interrupciones por puerto externo (aunque solo se empleen 2).

Dispone de conectores para conectar la LCD y los pulsadores y poder colocarlos en otro lugar separado.

La pantalla LCD puede mostrar 16 dígitos en cada una de las dos filas de las que dispone. Los conectados a las entradas del microcontrolador servirán para inicializar la posición de los encoders (relativos) en cada uno de los dos movimientos.

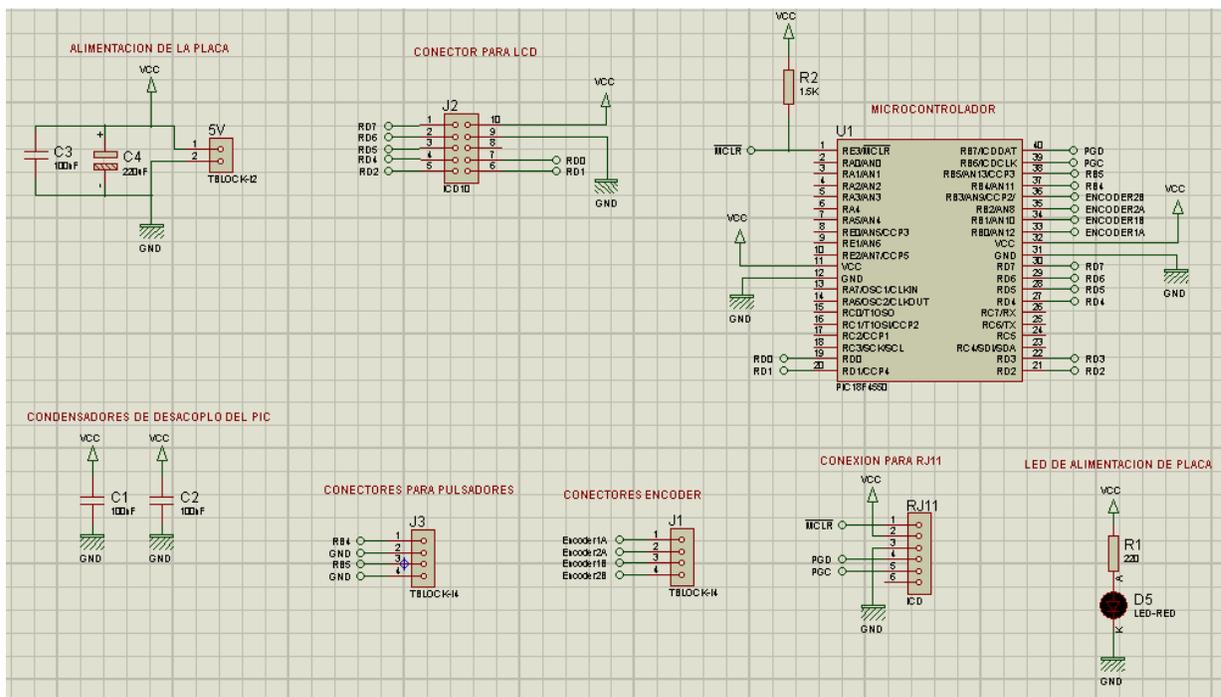


Ilustración 48 (4.2.3): Esquema PCB Secundaria

Dispone de un LED que indica que la PCB está alimentada, condensador de desacoplo y filtrado de alimentación y de desacoplo microcontrolador, y resistencias para ajustar la intensidad de las entradas del microcontrolador y del LED.

El valor de las resistencias empleadas se ha calculado en los anexos de esta memoria en el caso del LED, y se ha escogido siguiendo las recomendaciones del fabricante en el resto de casos.



Como añadido, se ha colocado un conector RJ11 que permita programar el microcontrolador y realizar su depuración.

A continuación, se muestra una imagen de la PCB, señalando sus elementos:

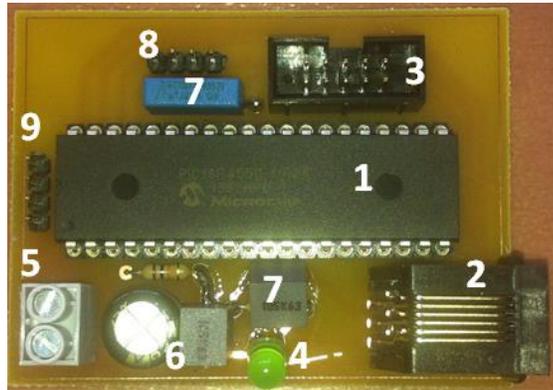


Ilustración 49 (4.2.3): PCB secundaria

- 1- Microcontrolador PIC18f4550
- 2- Conector RJ-45 (programación de microcontrolador)
- 3- Conector IDC10 para PCB auxiliar de LCD
- 4- LED indicador de alimentación en PCB
- 5- Bornero de alimentación de PCB
- 6- Condensadores de desacoplo de alimentación de PCB
- 7- Condensadores de desacoplo de alimentación de microcontrolador
- 8- Conector de pulsadores
- 9- Conector de señales desde PCB principal

4.2.3.a. Software PIC18F4550 para PCB secundaria

Este software tiene la misión de recibir la información de los encoders (rotación y traslación) e imprimir en una pantalla LCD de 16x2 la posición (en pasos) y la velocidad (en pasos por segundo). Además, esos contadores podrán reiniciarse, para establecer el 0, desde unos pulsadores externos que conectan a tierra, por lo que deberá establecerse pull ups en esas entradas.

El algoritmo sigue los siguientes procesos:

- Interrupción por flancos en las entradas de los dos encoders:

Se detectan los flancos (tanto de subida como de bajada), de uno de los canales en cada caso, y en ese momento se comprueba el estado del otro canal para conocer el sentido de giro. Con esto, sabremos si incrementar o disminuir el contador de pasos.

- Interrupción temporizada:



Cada 0.25 segundos se cuantifica la variación de pasos respecto a la iteración anterior, y multiplica por 4 para saber la velocidad en pasos por segundo.

- Bucle infinito:

Detecta si se han accionado alguno de los dos pulsadores de inicialización, e imprime por pantalla los valores de la posición y la velocidad de cada uno de los encoders.

Debido a la alta frecuencia de los pulsos, se ha realizado la siguiente comprobación:

A la frecuencia máxima de 7KHz (en realidad serían 14 KHz correspondientes a los flancos de subida y bajada), las interrupciones por flanco externo se producen cada $71.8\mu\text{s}$. El tiempo empleado en realizar las instrucciones pertenecientes a dicha interrupción es de 625ns . Podemos concluir por tanto que no habrá problemas de tiempo en este aspecto.

4.2.4 PCB AUXILIAR PARA LCD

La PCB auxiliar para la LCD permite conectar la Pantalla LCD en un lugar separado de la PCB Secundaria.

Es una PCB sencilla formada por un conector IDC10 del que se reciben las señales y la alimentación proveniente de la PCB Secundaria, un condensador de desacoplo de la alimentación, y una tira de pines en la que conectar la propia LCD.

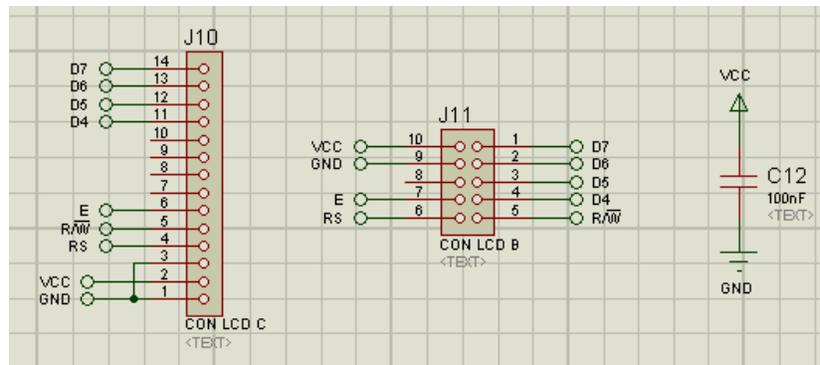


Ilustración 50 (4.2.4): Esquema PCB auxiliar LCD

A continuación, se muestra una imagen de la PCB, señalando sus elementos:



Ilustración 51 (4.2.4): PCB auxiliar (1)

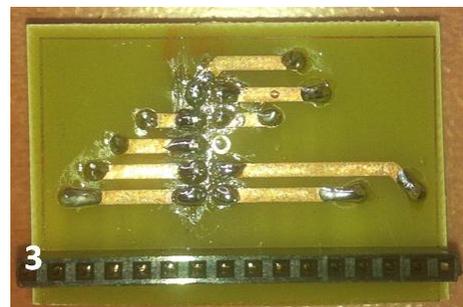


Ilustración 52 (4.2.4): PCB auxiliar (2)

- 1- Conector IDC10 procedente de PCB secundaria
- 2- Condensador de desacoplo de alimentación
- 3- Conector LDC



4.2.5 PCB TRINAMIC

La PCB Trinamic se encarga de distribuir las señales y la alimentación a los dos motores Trinamic (en caso de estar montados).

Dispone de un bornero para la alimentación (0 – 24 V), y conectores tipo PJT que reciben las señales para el manejo de los motores, y las señales de los finales de carrera.

Cada una de esas señales es dirigida al conector PJT pertinente, que la dirigirá a cada motor.

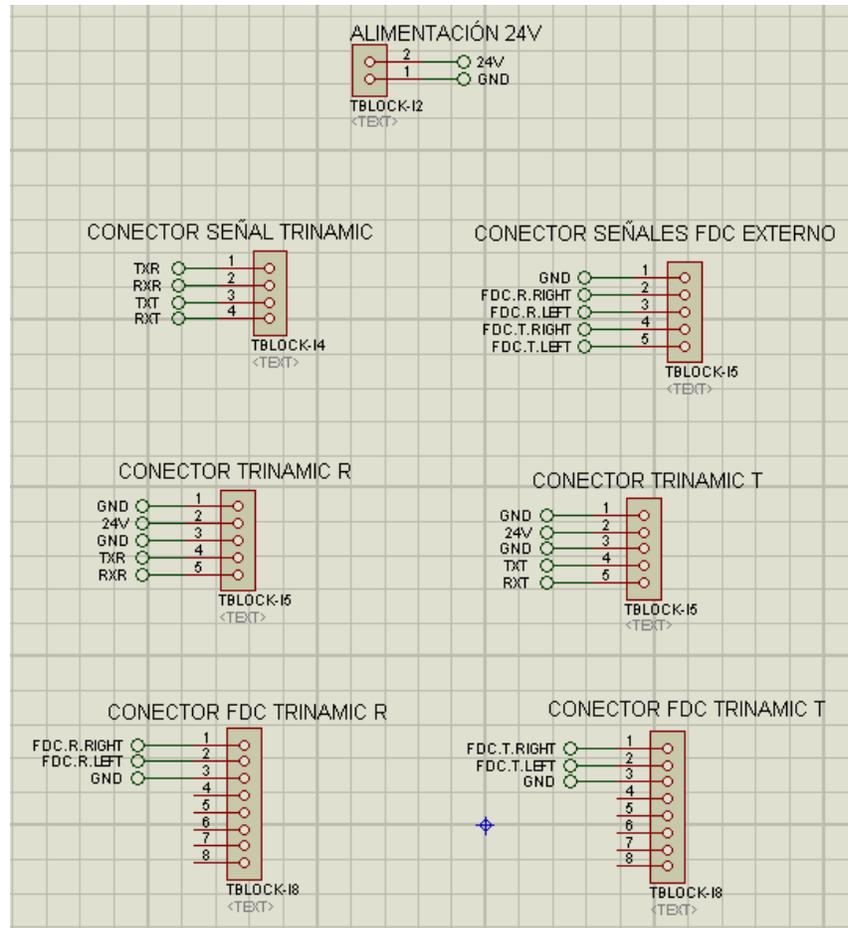


Ilustración 53 (4.2.5): Esquema PCB Trinamic

A continuación, se muestra una imagen de la PCB, señalando sus elementos:

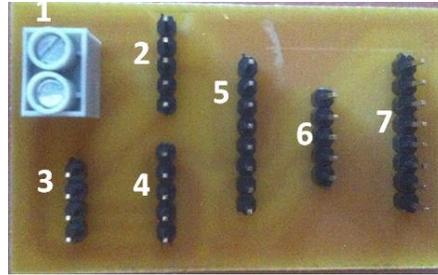


Ilustración 54 (4.2.5): PCB Trinamic

- 1- Bornero de alimentación 24V
- 2- Conector de motor de rotación
- 3- Conector de señales externas para control de motores
- 4- Conector de motor de traslación
- 5- Conector de finales de carrera motor rotación
- 6- Conector de señales de finales de carrera
- 7- Conector de finales de carrera motor traslación







5. Conclusiones

Se ha conseguido diseñar y fabricar un sistema que cumple los requisitos iniciales y funciona correctamente. Prueba de ello es la electrónica de demostración desarrollada, que podría haber sido tarea de una de las prácticas para la que este sistema va destinado.

Resumiendo los requisitos iniciales:

- El sistema dispone de un movimiento lineal y un movimiento rotacional, separados modularmente y montados sobre una base que permite la sustitución de cada uno de ellos. Además, se ha desarrollado una alternativa para la guía, aunque no se ha llegado a fabricar.
- El coste de fabricación se ha reducido al máximo simplificando las piezas y escogiendo los componentes más económicos posibles.
- Robusto: las piezas más solicitadas han sido analizadas mediante análisis MEF cuyos resultados daban un amplio margen en sus propiedades mecánicas. Aclarar que la geometría de las piezas responde a requisitos funcionales y no a sus sollicitaciones mecánicas.
- Tamaño reducido: aunque no destaca por su pequeño tamaño, puede desplazarse sin problemas dentro de un laboratorio o incluso a otros lugares.
- Posibilidad de variar la relación de transmisión, de manera rápida y fácil.
- Viabilidad para su empleo en prácticas ingenieriles de la Universidad de Oviedo. Aunque este criterio queda a valoración de cada profesor, se pone como muestra la electrónica de demostración que podría adaptarse perfectamente al temario de alguna de las asignaturas del Máster de Mecatrónica, entre otras.
- Tipos de sensores:
 - o Encoder incremental
 - o Tacómetro
 - o Finales de carrera
 - o Potenciómetro

Todos ellos con sus señales protegidas y disponibles en un conector ICD20.

- En cuantos a los accionamientos, actualmente se dispone de los servomotores Trinamic PD1-110-42-232. El sistema viene preparado para acoplar directamente un motor DC y un paso a paso de entre los que se ha estudiado unos modelos en concreto (de bajo coste) para su recomendación.
- Posibilidad para añadir masa a desplazar: El carro dispone de tornillos a los que poder acoplarla. Se han realizado simulaciones para obtener el peso máximo recomendado a añadir.
- Viable para la fabricación en taller del departamento de Fabricación de la Universidad de Oviedo, donde se han fabricado todas sus piezas Ad hoc.
- Sencillo: aunque este criterio es difícil de valorar se ha intentado por líneas generales que el resultado final tendiera en este sentido.

Así pues, podemos considerar que el resultado ha sido satisfactorio en términos generales.



5.1. Opciones de mejora

Aunque se han cumplido todos los objetivos anteriores ha habido cuestiones que por razones de tiempo no se han podido realizar. El retraso en la fabricación ha supuesto no disponer del suficiente tiempo para realizar varias de las tareas que se tenían previstas, que se exponen a continuación como opciones de mejora:

- Realizar comprobaciones para valorar y ajustar la exactitud del simulador y su correspondencia con el modelo real.
- Desarrollo y fabricación de nuevos subsistemas de rotación y traslación. Se ha desarrollado una alternativa para el sistema de traslación con una guía lineal diferente, pero no se ha fabricado, además de por motivos de tiempo, por factores económicos.
- Fabricación de carcasa protectora, que se ha desarrollado, pero no se ha fabricado por considerar que se tratará de un sistema al que el usuario tendrá pleno acceso. No obstante, podría ser interesante ofrecer un sistema cerrado del que el alumno en prácticas no tuviera el control completo.
- Montaje, pruebas y demostración de uso con accionamientos de diferentes tipos. Aunque se ha estudiado la recomendación de motores DC y paso a paso, podría ser interesante haber hecho pruebas físicas con ellos, e implementar un programa de control demostrativo al igual que se ha realizado con los servomotores Trinamic.
- Desarrollo y fabricación de placa electrónica de interfaz entre la librería de usuario y el sistema real. Este punto supone un nexo importante entre las dos partes diferenciadas del proyecto. Por ello, se le ha querido dar la importancia correspondiente en el siguiente apartado.

5.1.1 TARJETA ELECTRÓNICA DE INTERFAZ

Para completar la usabilidad del producto creado en este proyecto, abarcando como tal la parte software y hardware, sería de gran interés desarrollar una tarjeta electrónica de interfaz entre la librería de usuario y el sistema real. De esta manera, se unificarían las funciones empleadas por el usuario para el control tanto del simulador como del sistema real, que serían las contenidas en la librería de usuario, pasando la misma a ser común para las dos partes. Es decir, esta tarjeta electrónica actuaría de traductor entre las funciones de la librería de usuario y las necesarias para controlar el sistema real.

En el siguiente esquema se muestra la relación que habría entre las partes. El software del usuario emplearía en cualquier caso las mismas funciones, que serían válidas tanto para el simulador como para el sistema real. La compatibilidad librería – simulador se ha llevado a cabo ya en este proyecto. Lo que se propone aquí es una serie de instrucciones y requisitos que debería cumplir la tarjeta electrónica de interfaz.

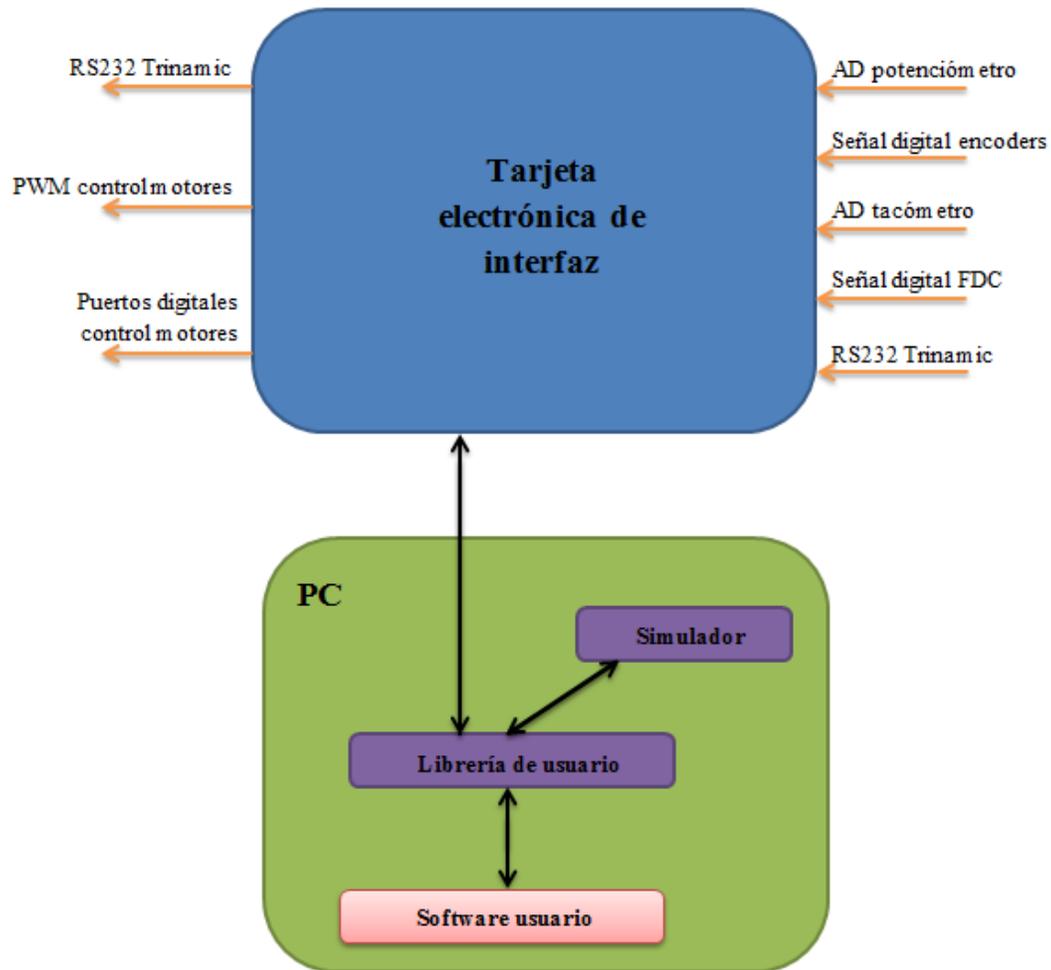


Ilustración 55 (5.1): esquema tarjeta electrónica de interfaz

Dicha tarjeta se comunicaría con el PC del usuario, en el que estarían instaladas las librerías, el simulador, y el software desarrollado por éste. A su vez, se comunicaría con el sistema real para intercambiar la siguiente información:

- Datos de salida:
 - o Señal RS232 para control de servomotores Trinamic: Necesarios dos canales para los motores de traslación y rotación, para enviarles los comandos necesarios.
 - o Señal PWM para el control de motores DC: Necesarios dos canales para los motores de traslación y rotación, incluyendo una electrónica de adaptación a potencia para poder generar la señal PWM.
 - o Señales digitales para control de motores paso a paso o motores DC: Necesarios 8 canales (4 para cada motor, en caso de motores paso a paso de 4 canales como los recomendados), incluyendo una electrónica de adaptación a potencia para poder generar la señal digital con los requisitos correspondientes.
- Datos de entrada:



- Señal analógica del potenciómetro de posición del movimiento de rotación.
- Señales digitales de los encoders (4 canales).
- Señales analógicas de los tacómetros (traslación y rotación).
- Señales digitales de finales de carrera (4 canales)
- Señal RS232 proveniente de servomotores Trinamic: Necesarios dos canales para los motores de traslación y rotación, para recibir los comandos necesarios para su control.

5.1.1.a. Funciones de tarjeta de interfaz

A continuación, se presentan las funciones que debe interpretar la tarjeta electrónica. Estos comandos serán recibidos desde el PC del usuario (a través del método de comunicación que se decida emplear finalmente), generados desde el propio software del usuario que llamará a la librería de usuario:

- void adc_init(int bits, float ref);
Inicializa los módulos de conversión ad (entrada), para leer las señales analógicas correspondientes. Deberá tener los parámetros de configuración de bits de la conversión y el voltaje de referencia.
- void pwm_init(int frecuencia, int bits, float vout);
Inicializa los módulos de salida pwm, para generar la señal correspondiente en el control de motores. Deberá tener los parámetros de configuración de frecuencia y tensión de salida.
- void dac_init(int bits, float vout);
Inicializará los módulos de conversión ad (salida), para generar las señales analógicas correspondientes. Deberá tener los parámetros de configuración de bits de la conversión y el voltaje de referencia.
- double adc_read(int canal);
Función para leer el canal adc deseado. Para poder ser usada deberá haberse inicializado anteriormente el módulo de lectura A/D.
Canal 0 → Lee el valor en bits del potenciómetro de la etapa de traslación.
Canal 1 → Lee el valor en bits del tacómetro de la etapa de traslación.
Canal 2 → Lee el valor en bits del potenciómetro de la etapa de rotación.
Canal 3 → Lee el valor en bits del tacómetro de la etapa de rotación.
- void pwm_write(float bits,int canal);
Función que servirá para escribir un valor bits de PWM en el canal especificado. Para poder ser usada deberá haberse inicializado anteriormente el módulo de salida PWM
Canal 4 → Escribe un valor en bits para generar el duty en la etapa de traslación.
Canal 5 → Escribe un valor en bits para generar el duty en la etapa de rotación.
- void dac_write(int bits,int canal);
Función que servirá para escribir un valor bits de una tensión analógica en el canal especificado. Para poder ser usada deberá haberse inicializado anteriormente el módulo de salida analógico.
Canal 4 → Escribe un valor en bits para generar una tensión en la etapa de traslación.
Canal 5 → Escribe un valor en bits para generar una tensión en la etapa de rotación.



- void output_high(int pin);
Pone en estado alto el pin especificado. Para poder ser usada ha de haberse inicializado anteriormente el módulo de salida digital.
Canal 1 → Estado alto en la salida digital de la etapa de traslación (canal 1).
Canal 2 → Estado alto en la salida digital de la etapa de traslación (canal 2).
Canal 3 → Estado alto en la salida digital de la etapa de traslación (canal 3).
Canal 4 → Estado alto en la salida digital de la etapa de traslación (canal 4).
Canal 5 → Estado alto en la salida digital de la etapa de rotación (canal 1).
Canal 6 → Estado alto en la salida digital de la etapa de rotación (canal 2).
Canal 7 → Estado alto en la salida digital de la etapa de rotación (canal 3).
Canal 8 → Estado alto en la salida digital de la etapa de rotación (canal 4).

- void output_low(int pin);
Pondrá en estado bajo el pin especificado. Para poder ser usada deberá haberse inicializado anteriormente el módulo de salida digital.
Canal 1 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de traslación (canal 1).
Canal 2 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de traslación (canal 2).
Canal 3 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de traslación (canal 3).
Canal 4 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de traslación (canal 4).
Canal 5 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de rotación (canal 1).
Canal 6 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de rotación (canal 2).
Canal 7 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de rotación (canal 3).
Canal 8 → Estado bajo en la salida digital de la etapa de rotación (canal 4).

- void write_trinamic(int id, char* mensaje);
Enviará a los servomotores Trinamic el paquete de datos contenido en un char* formado por 9 grupos de 8 bits.
Id 4 → Envío a motor de la etapa de traslación.
Id 5 → Envío a motor de la etapa de traslación.

- char* read_trinamic(int id);
Inversamente a write_trinamic(); leerá los paquetes de datos provenientes de los servomotores Trinamic.
Id 4 → Lectura de motor de la etapa de traslación.
Id 5 → Lectura de motor de la etapa de traslación

- void enable_interrupts(int flags);
Habilitará las interrupciones que se deseen. Los posibles parámetros de entrada son:
INT_EXT = 0x01
INT_RB = 0x02
INT_TIMER0 = 0x04
INT_TIMER1 = 0x08
INT_TIMER2 = 0x10
INT_CCP1 = 0x20
INT_CCP2 = 0x40

- void disable_interrupts(int flags);
Deshabilitará las interrupciones inversamente a enable_interrupts();.

- void rb_interrupt();



Si la interrupción del puerto B ha sido habilitada se podrá usar esta función redefiniéndola para ejecutar el código que el usuario desee. Esta función se ejecutará en los flancos de subida y de bajada. Para saber el estado de los puertos se necesitarán comprobar el estado de las siguientes variables:

RB [0] → Final de carrera izquierdo de la etapa de traslación

RB [1] → Final de carrera derecho de la etapa de traslación

RB [2] → Final de carrera izquierdo de la etapa de rotación

RB [3] → Final de carrera derecho de la etapa de rotación

Que indicarán el estado activo (1) o inactivo (0) de los finales de carrera correspondientes

- void ccp1_interrupt();

- void ccp2_interrupt();

Si las interrupciones de módulo de comparación y captura han sido habilitadas se podrán usar estas dos funciones redefiniéndolas para ejecutar el código que el usuario desee. Será necesario especificar previamente el valor de comparación que hace saltar la interrupción, esto se hará con el comando:

CCPx = valor;

donde x se cambiará por el número del módulo CCP y valor ha de ser un número entero y positivo.

Para saber el valor actual del contador CCP se utilizará:

CCPxCON





1. ANEXO I: CÁLCULOS MECÁNICOS

1.1. Cálculo de momento angular necesario para el movimiento de rotación

Para realizar este cálculo, nos ayudaremos del módulo Motion de Solidworks.

Previamente, habíamos presentado, en el apartado de la reductora, la disposición de tres relaciones de transmisión disponibles: 1:13, 1:110 y 1:1000.

Sabemos también, por datos del fabricante, que los motores Trincamic PD1-110-42-232 alcanzan un par máximo de 0.23 Nm.

A continuación, calcularemos el par que es necesario aplicar al eje de rotación para conseguir un movimiento de 90 grados partiendo desde parado, tomando como punto de partida la posición horizontal, con una duración de un segundo. En este ensayo, se considerará que el motor de traslación es el Trincamic PD1-110-42-232, ya que el resto de motores serán más ligeros, y por tanto, esta será la situación más comprometida.

El tiempo de un segundo para este movimiento (recorrido completo del sistema), se marca ambiciosamente para contar con un margen de seguridad en cuanto a accionamientos.

Aplicamos, en un análisis de movimiento de Solidworks, la actuación de la gravedad, y un motor rotacional sobre el eje a mover con los siguientes segmentos:

Tabla 1 (A.1): Ensayo par máximo

Tiempo (segundos)	Ángulo (°)
0	0
1	90
1.5	90

Se generan unas curvas de desplazamiento, velocidad y aceleración para conseguir ese movimiento:

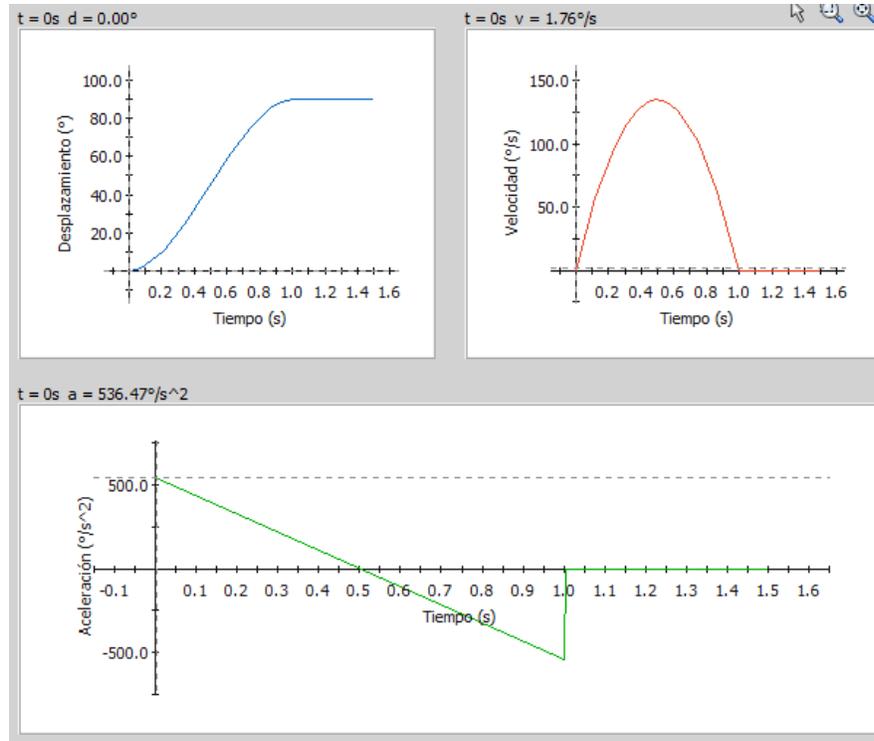


Ilustración 56 (A.1): Gráficos movimiento ensayo par máximo

Tras ejecutar el ensayo, la curva de la torsión ejercida por el motor resulta:

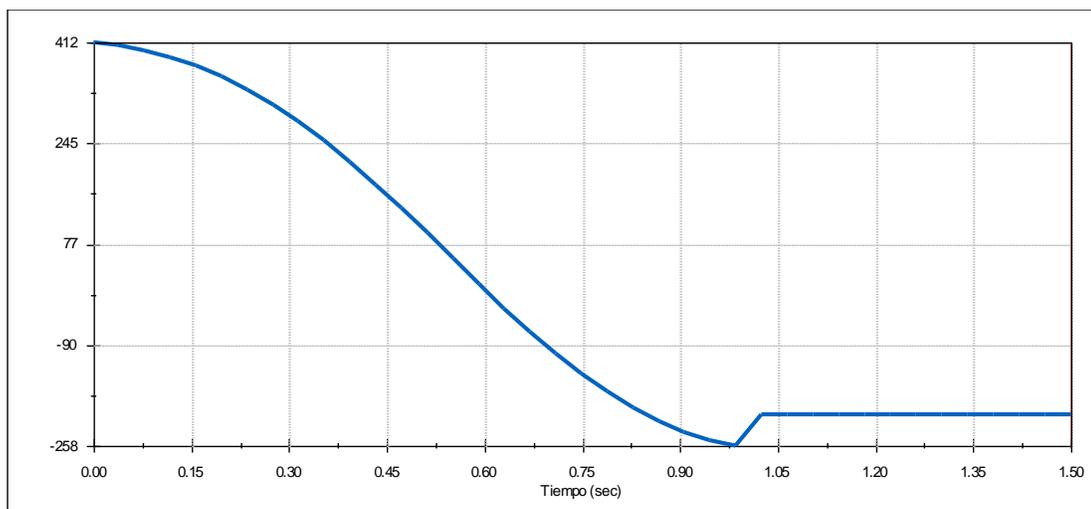


Ilustración 57 (A.1): Gráfica par-tiempo ensayo par máximo

El valor máximo se sitúa en torno a 0.4 Nm. Comparado con el par que puedo obtener:

$$\text{Momento Par disponible} = 0.23 \text{ Nm} \times 13 = 3 \text{ Nm}$$



Lo que quiere decir que el motor cumple holgadamente (despreciando los rendimientos de la reductora), por lo que tendríamos margen para añadir cierto peso extra, si fuera interesante para estudiar la influencia en el control.

Los cálculos de piezas se harán a partir de ahora, suponiendo un momento de 3 Nm, que es el máximo desarrollado por el motor.

1.2. Ensayos MEF de piezas

En el siguiente anexo se llevan a cabo una serie de ensayos con el método MEF mediante Solidworks para asegurarnos de que las piezas soportarán correctamente las cargas a las que estarán expuestas. No se analizarán todas las piezas, si no las expuestas a solicitaciones exigentes.

Los valores de los materiales (curvas SN, amortiguamientos, etc.) son extraídos de materiales homólogos aunque no directamente de los de fabricación, al no tener posibilidad de realizar análisis destructivos. No obstante, se ha tratado de seguir la máxima rigurosidad en su obtención para preservar la validez de los ensayos.

Los mallados empleados son los establecidos por defecto, al no tratarse de piezas con geometrías complicadas, ni ensayos con excesivo coste computacional.

1.2.1 CHAPA RANURADA

En este apartado calcularemos, mediante ensayos MEF, las tensiones a las que estará sometida la chapa ranurada que hace de soporte del conjunto de translación. Se llevarán a cabo tres pruebas:

- Ensayo de tornillos que portan la chapa
- Ensayo de transferencia de fuerzas en la chapa
- Ensayo de fatiga de la chapa
- Ensayo de golpeo de la chapa en los topes

1.2.1.a. Ensayo de tornillos que portan la chapa

Los tornillos que unen el eje de rotación a la chapa ranurada adquieren una gran importancia, ya que forman el sustento de todo el conjunto de translación. Son los encargados de que se transmita el movimiento.

Se atornillan al eje de rotación, atravesando la chapa ranurada y el soporte de la guía. Todas esas piezas se fabricarán en aluminio de bajas cualidades mecánicas (límite elástico considerado 50 Mpa) y se ensayarán posteriormente. En la siguiente ilustración se clarifica:

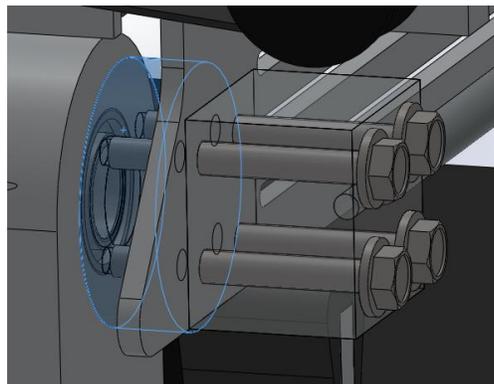


Ilustración 58 (A.1): Montaje chapa ranurada

Para el comprobar la validez de los mismos realizamos el siguiente ensayo:



Conocemos que el par máximo a transmitir son 3 Nm. Además, deberá soportarse el peso del conjunto que es de aproximadamente 0.6 Kg. Así, cada tornillo soportará a cortadura, aplicada en una sección de 3 mm (anchura de chapa) de:

$$F = \left(\frac{\text{Momento par}}{\text{distancia a centro}} + \text{Peso} \times \text{gravedad} \right) \times \frac{1}{4 \text{ tornillos}}$$
$$= \left(\frac{3 \text{ Nm}}{0.00938 \text{ m}} + 0.6 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/m}^2 \right) \times \frac{1}{4} = 82.6 \text{ N}$$

Modelaremos el tornillo como un cilindro, al que someteremos a una fuerza cortante. El diámetro del cilindro será el de la sección eficaz de un tornillo de métrica 4, que tiene un valor de 3.6. El material se considera acero aleado con un límite elástico de 620 Mpa.

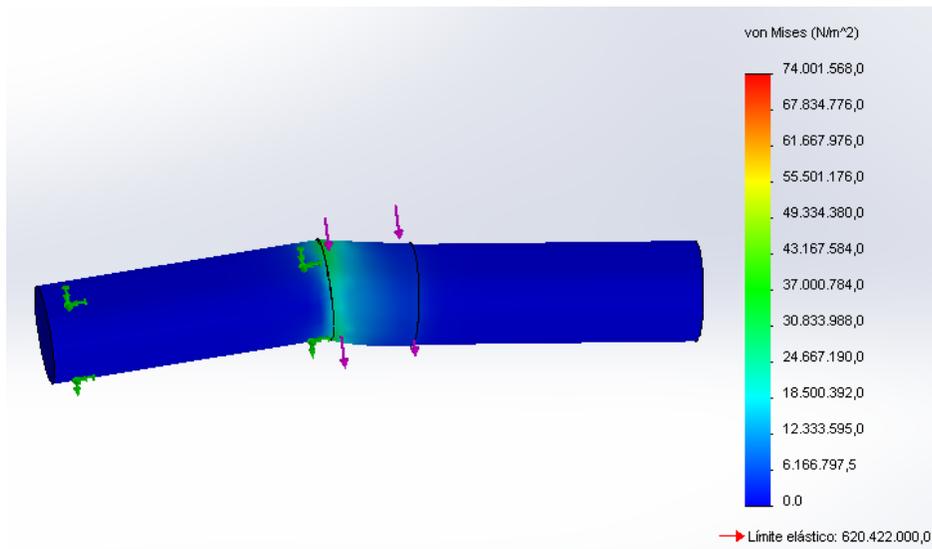


Ilustración 59 (A.1): Resultado análisis estático tensiones tornillos (chapa)

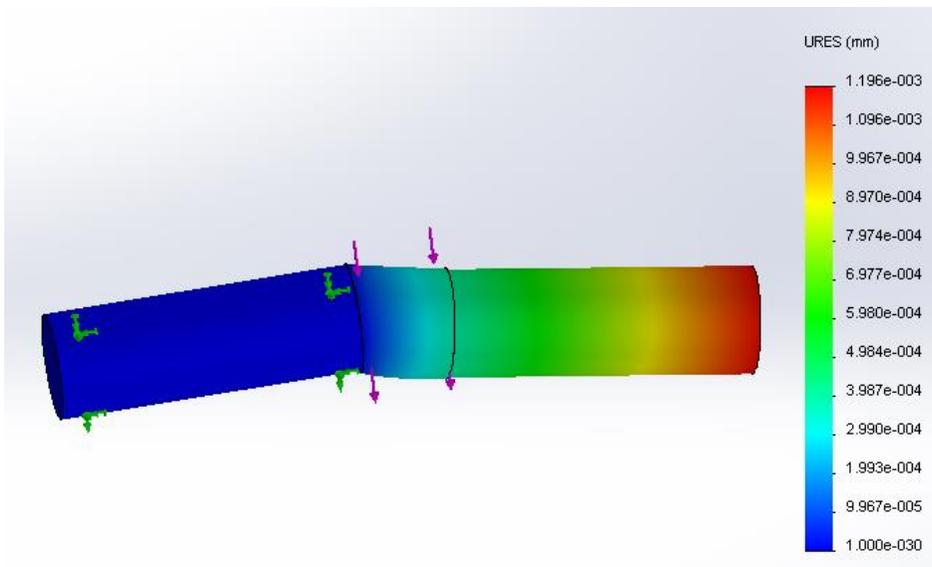


Ilustración 60 (A.1): Resultado análisis estático desplazamientos tornillos (chapa)

Los resultados nos muestran un desplazamiento despreciable, y una tensión equivalente de Von Mises máxima de 74 Mpa. Aunque la precisión de este método de cálculo no sea del todo fiable, este ensayo nos sirve para asegurarnos de la holgada resistencia de esta sujeción.

1.2.1.b. Ensayo de transferencia de fuerzas en la chapa

Para esta prueba, estableceremos como geometría fija los agujeros portantes de los tornillos y aplicaremos en el extremo una fuerza que simulará el momento ejercido y las fuerzas que tendrá que soportar.

La magnitud de esta fuerza vendrá dada por el momento par que se generará en el eje de rotación, y que se transmitirá a la chapa. Para modelar las fuerzas que actuarán sobre la pieza, se aplica una fuerza en su extremo proporcional al momento generado:

$$Fuerza = \frac{Momento}{Longitud} = \frac{3 Nm}{0.220 m} = 13.6 N$$

Realmente, esta fuerza no irá aplicada en el extremo, si no que se repartirá por toda la chapa de una manera más uniforme, creando una situación menos comprometedora. Esta simplificación nos hace situarnos del lado de la seguridad.

Los resultados del ensayo estático nos indican que la tensión equivalente de Von Mises máxima será de unos 17 Mpa (frente a los alrededor de 70 Mpa de límite elástico de un Aluminio de la serie 2000 – aluminio común en perfiles y chapas -), y un desplazamiento máximo del orden de la decena de milímetro.

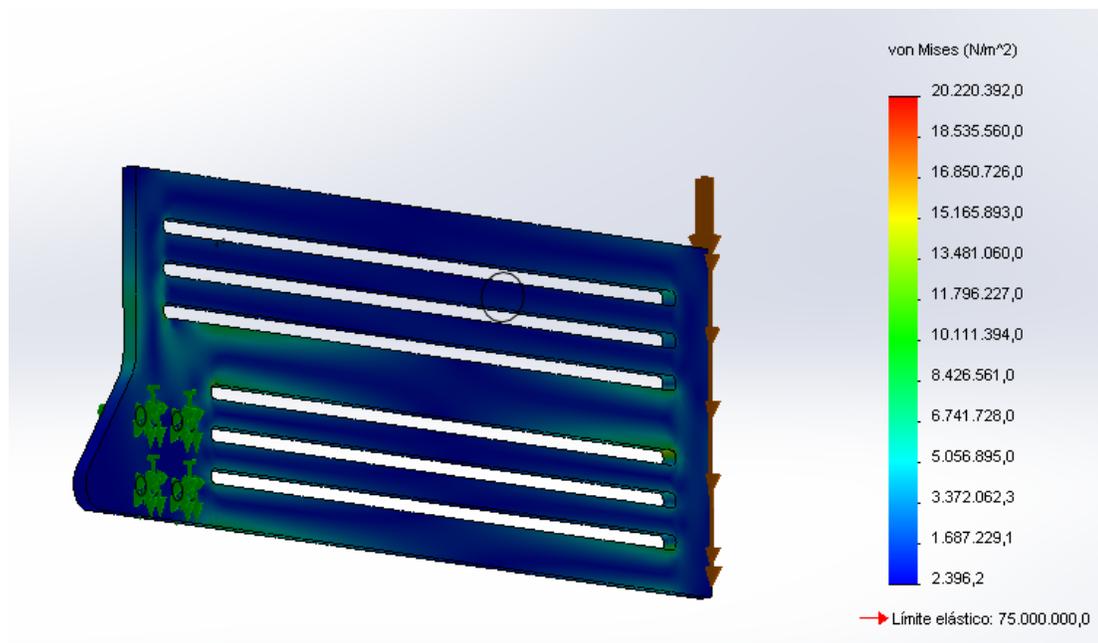


Ilustración 61 (A.1): Resultados análisis estático tensiones chapa

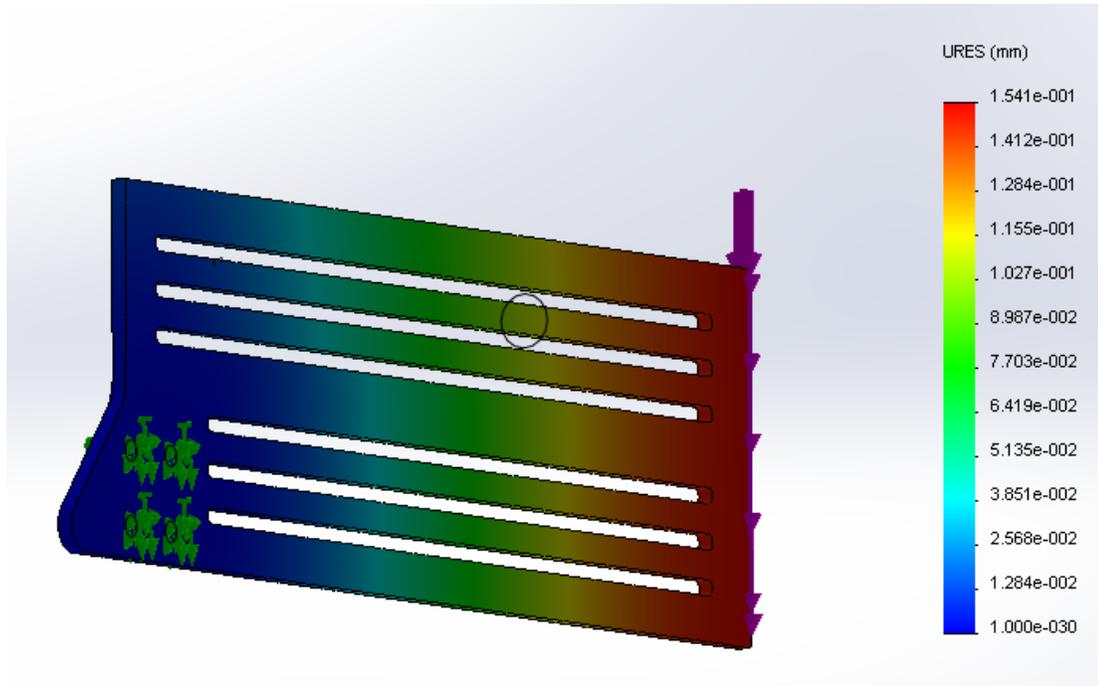


Ilustración 62 (A.1): Resultados análisis estático desplazamientos chapa

Como puede apreciarse en la siguiente ilustración, las uniones atornilladas están lejos de ser los puntos críticos, si no que estos se sitúan en los extremos de las ranuras:

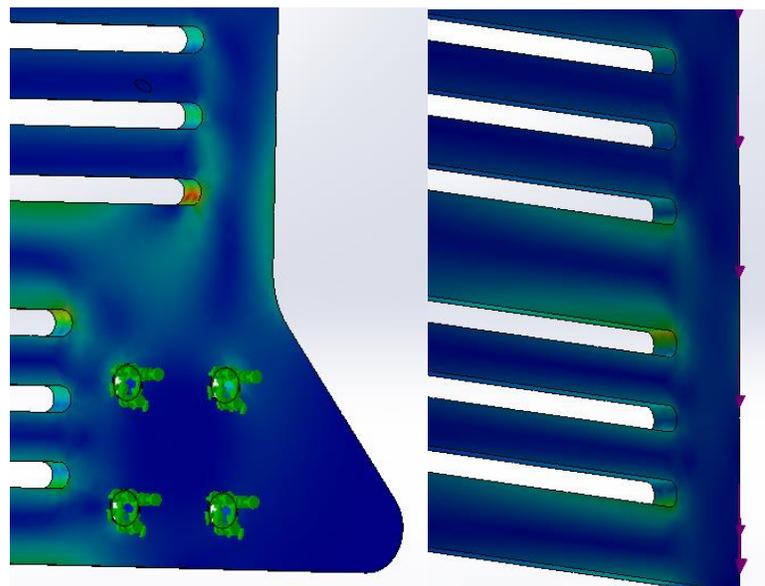


Ilustración 63 (A.1): Resultados análisis estático tensiones chapa (2)

1.2.1.c. Ensayo de fatiga

El ensayo a fatiga se realiza con las mismas condiciones que el ensayo estático anterior, sometiéndolo a cargas cíclicas con:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = -1$$

Ya que el momento se aplicará en los dos sentidos (aunque será más crítico en el sentido ascendente, al tener que vencer los efectos de la gravedad).

La curva de fatiga (S-N) introducida es la siguiente, procedente de aluminio 2024:

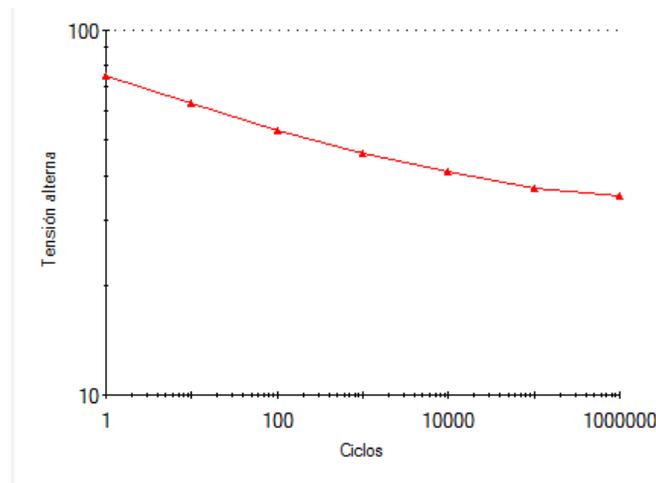


Ilustración 64 (A.1): Curva S-N aluminio 2024

Los resultados nos indican que, tras someterse a 1.000.000 de ciclos, la vida resultante es del orden de 1.000.000 de ciclos, por lo que podemos considerar “vida infinita”.

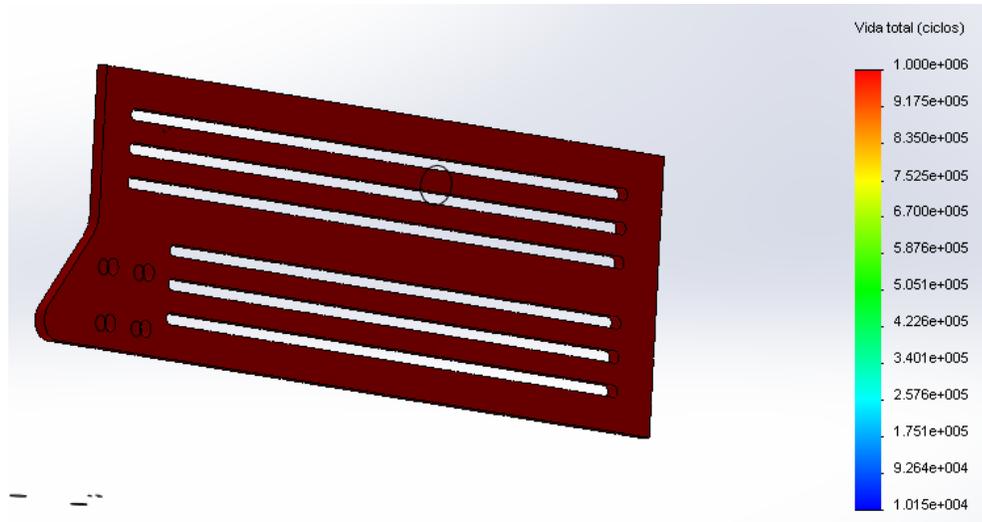


Ilustración 65 (A.1): Resultados análisis fatiga chapa

1.2.1.1.d. Ensayo de golpeo de la chapa en los topes

Como topes físicos del sistema, se han colocado dos perfiles en L recubiertos de una lámina de caucho que amortigüe el golpeo. Esta explicación está más desarrollada en el apartado de introducción del sistema mecánico de la memoria.

Para asegurarse de que la chapa aguantará esos golpes, se realiza un ensayo MEF dinámico, en el que se somete a una fuerza pulsante en la zona de golpeo.

Se seleccionan como geometrías fijas los agujeros que albergan los tornillos de sujeción.

El valor de la fuerza se calcula considerando un tiempo de contacto en el impacto de 0.1 segundos. Durante ese instante, la fuerza ejercida por el tope en la chapa es tal que debe ejercer un par que imprima una aceleración angular (alrededor del eje de revolución) que consiga frenar la velocidad del mecanismo. Además, con toda seguridad, se producirá un rebote, cuya velocidad inicial consideraremos la mitad de la velocidad de entrada, aunque probablemente el recubrimiento de caucho amortigüe en mayor medida dicho rebote.

Como velocidad inicial en el golpeo, podemos tomar aquella resultante de aplicar, durante todo el recorrido de 90 grados, el par máximo de 3 Nm. Debe añadirse también el par generado por el peso del conjunto (600 gramos) con su centro de masas a 55 mm del eje de rotación. Al desplazarse de posición vertical a horizontal (o viceversa, aunque en este caso el par sería contrario al movimiento), la distancia a la que se aplica el par iría de 0 a 55 mm, y por ello se coge la mitad que marcará la media de todo el trayecto. Así:

$$Par\ total = 3\ Nm + 0.6\ Kg \times 9.8\ \frac{N}{m^2} \times 0.0275\ mm = 3.16\ Nm$$

Con lo que podemos calcular la aceleración:

$$M = I \times \alpha \rightarrow \alpha = \frac{M}{I} = 420\ \frac{rad}{s^2}$$



Donde:

- $M = \text{Par total aplicado} = 3.16 \text{ Nm}$
- $I = \text{momento de inercia del sistema respecto del eje de rotación} = 7527486 \text{ gmm}^2$

Y, consecuentemente, la velocidad angular en el punto de colisión:

$$\omega^2 = \omega_0 \Delta t + 2\alpha \Delta\theta$$

Donde:

- $\omega_0 = \text{velocidad angular inicial} = 0$
- $\Delta t = \text{variación de tiempo}$
- $\Delta\theta = \text{variación de ángulo} = 2\pi \text{ radianes}$

Sustituyendo: $\omega = 25 \text{ rad/s}$

Como hemos explicado antes, la velocidad angular tras el choque que consideraremos será de la mitad (sentido opuesto) que la inicial, al producirse una disipación de energía durante el choque. Esta variación de velocidad angular se divide en tres fases a lo largo del 0.1 segundo del choque, de la siguiente manera:

Tabla 2 (A.1): Condiciones análisis dinámico chapa

Segmento de tiempo (s)	Velocidad inicial (rad/s)	Velocidad final (rad/s)
0 – 0.033	25	15
0.033 – 0.066	15	-2.5
0.066 – 0.1	-2.5	-12.5

En las fases inicial y final, la variación de energía no es tan pronunciada como en el intermedio (donde se agotaría el amortiguamiento del recubrimiento del tope).

Así, podemos obtener las aceleraciones angulares en las tres fases, y por consiguiente, los momentos a aplicar y las fuerzas en cada instante al conocer la distancia del punto de aplicación al punto de rotación:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$M = F \times R$$

Tabla 3 (A.1): Condiciones análisis dinámico chapa (2)

Variación de tiempo (s)	Variación de velocidad angular (rad/s)	Aceleración angular (rad/s ²)	Distancia a eje – punto de aplicación (m)	Fuerza (N)
0.033	10	303	0.033	69
0.033	17.5	530	0.033	121
0.033	10	303	0.033	69

El amortiguamiento del material se extrae de la siguiente ilustración, considerando un valor de 0.02.

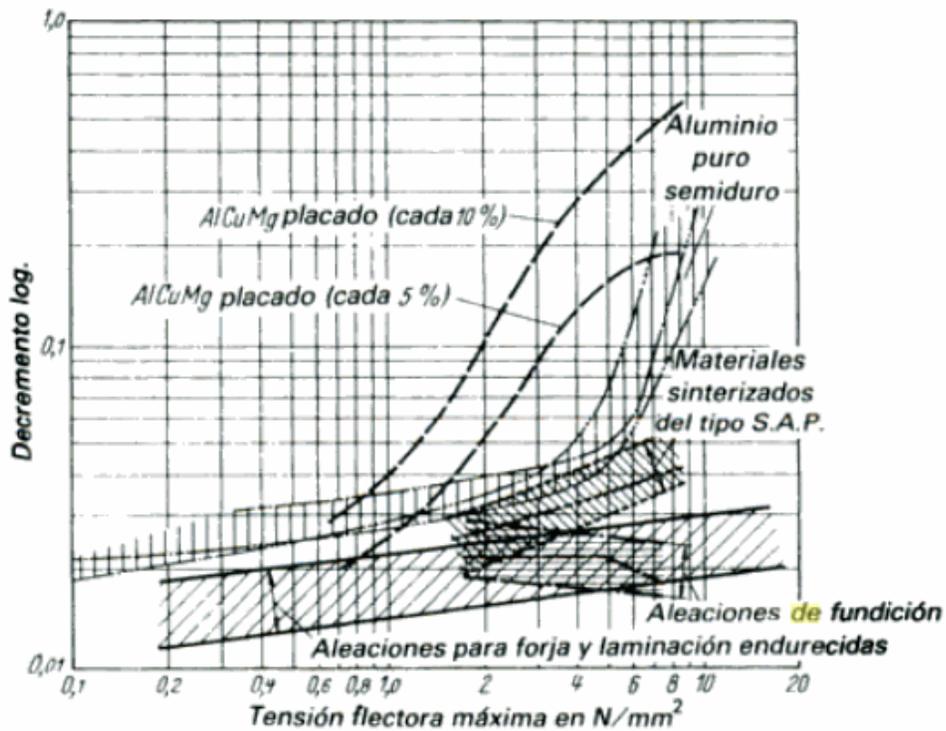


Ilustración 66 (A.1): gráfica amortiguamiento aluminio

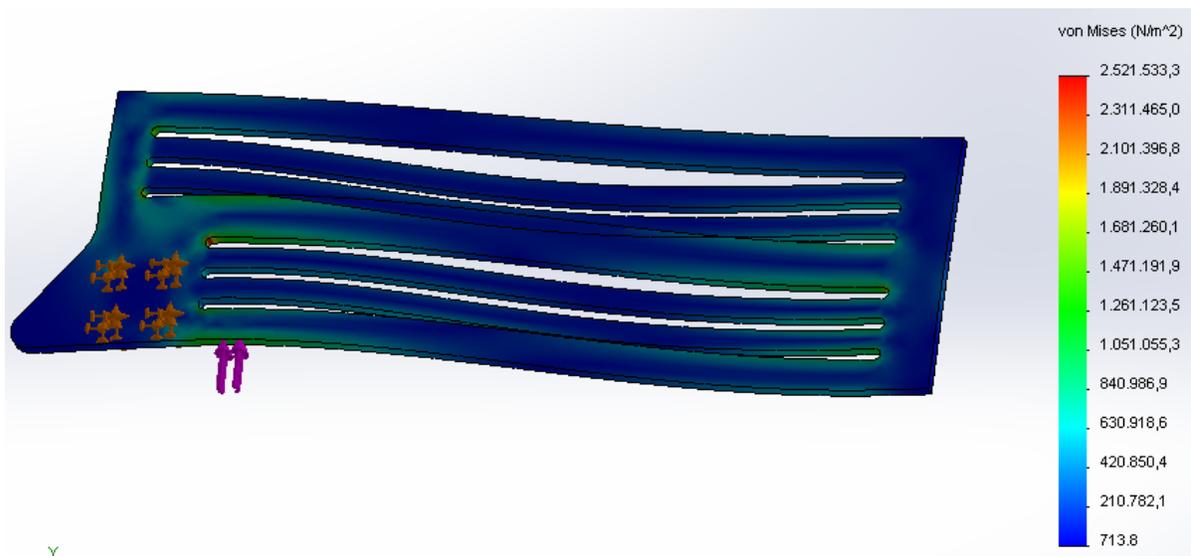


Ilustración 67 (A.1): Resultados análisis dinámico chapa

Los resultados nos indican que la máxima tensión equivalente de Von mises durante el transcurso del golpeo se sitúa en los 2.5 Mpa. muy por debajo del límite del material.

Se repite el ensayo en el sentido opuesto, considerando los mismos datos excepto el radio que varía ligeramente:

Tabla 4 (A.1): Condiciones ensayo dinámico chapa (3)

Variación de tiempo (s)	Variación de velocidad angular (rad/s)	Aceleración angular (rad/s ²)	Distancia a eje – punto de aplicación (m)	Fuerza (N)
0.033	10	303	0.035	65
0.033	17.5	530	0.035	114
0.033	10	303	0.035	65

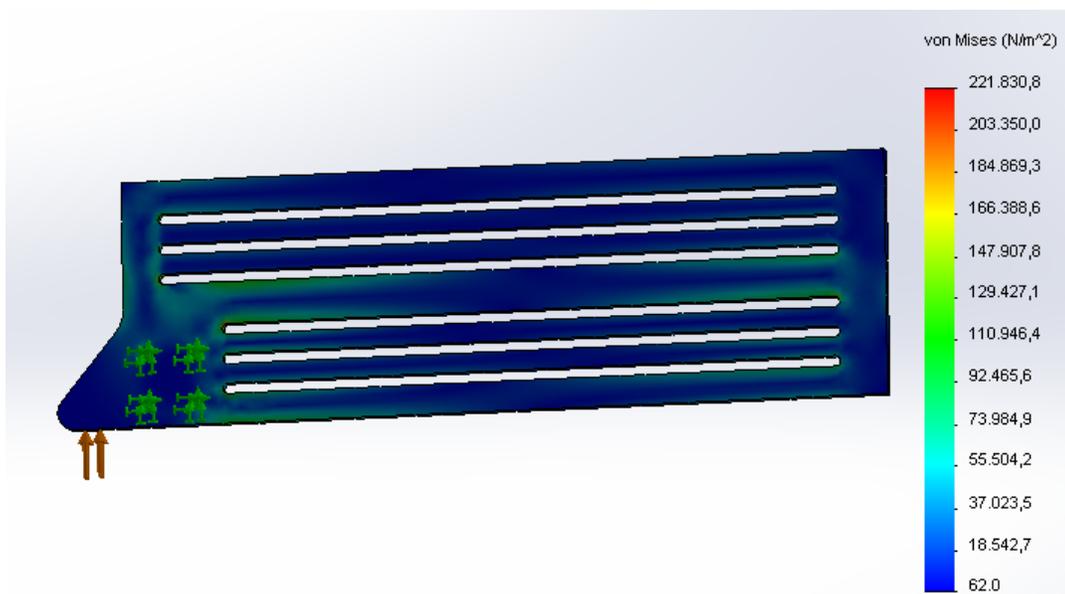


Ilustración 68 (A.1): Resultado análisis dinámico chapa (2)

Los resultados nos indican que la máxima sollicitación durante el transcurso del golpeo se sitúa en los 0.2 Mpa. muy por debajo del límite del material.

Podemos concluir que estas piezas soportarán correctamente las sollicitaciones a las que estarán expuestas.

1.2.2 EJE DE ROTACIÓN

El eje de rotación (o eje transmisor) es el encargado de transmitir el movimiento de la rueda dentada, tras la reductora, al subconjunto de traslación, y de soportar el mismo. Como está soportado por un soporte monobrazo, se llevarán a cabo dos ensayos diferentes, uno para cada extremo del eje (lo que nos facilitará establecer las condiciones del ensayo).

Para comprobar que el extremo unido a la rueda soportará las sollicitaciones, empleamos una sujeción de rodamiento a la zona del eje que apoyará sobre los rodamientos, y establecemos como geometría fija el extremo contrario. Las cargas a las que se le someterán vienen dadas por el par máximo que se aplicará, que se situará en los 3 Nm. Además, debemos aplicar las fuerzas que provendrán de la rueda dentada para transmitir esos 3 Nm.

Tratándose de una rueda dentada de engranajes rectos de módulo 0.5 con 90 dientes, el radio primitivo será:

$$R_{\text{primitivo}} = m \times z = 0.5 \times 90 = 45 \text{ mm}$$

Lo que para transmitir el par de 3 Nm, nos generará unas fuerzas de:

$$F_{\text{tangencial}} = \frac{M}{R_{\text{primitivo}}} = \frac{3 \text{ Nm}}{0.045 \text{ m}} = 66.7 \text{ N}$$

$$F_{\text{radial}} = F_{\text{tangencial}} \times \cos(\alpha) = 66.7 \times \cos(20^\circ) = 62.7 \text{ N}$$

Siendo α el ángulo de presión de los engranajes, con valor de 20° .

Dichas fuerzas actuarán con sentidos perpendiculares (como se muestra en la siguiente ilustración), por lo que debemos hallar la suma vectorial:

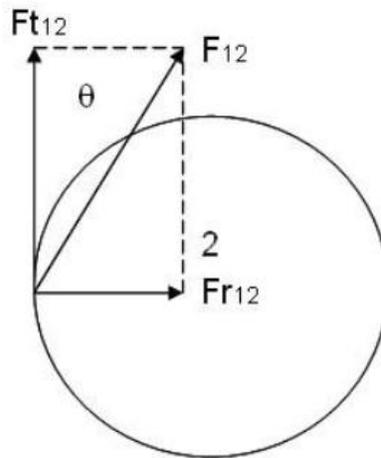


Ilustración 69 (A.1): Fuerzas eje de rotación

$$F = \sqrt{F_{\text{tangencial}}^2 + F_{\text{radial}}^2} = 91.5 \text{ N}$$

El resultado de dicho análisis nos indica que la tensión equivalente de Von Mises máxima, producida en el cambio de sección del eje, es de unos 52 Mpa, que frente a los más de 200 Mpa de cualquier acero al carbono, nos deja un factor de seguridad de 4. Nótese que estos valores se acercarían peligrosamente al límite elástico del aluminio empleado para otras piezas (límite elástico de 75 Mpa, lo que daría lugar a roturas en ensayos a fatiga), y es por ello por lo que ha decidido emplearse acero en esta pieza.

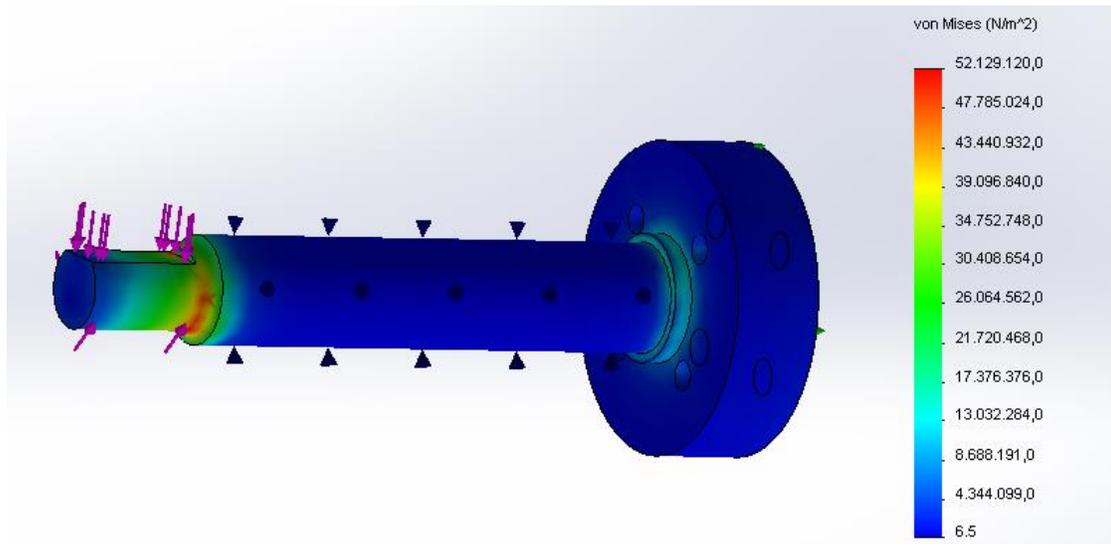


Ilustración 70 (A.1): Resultado análisis estático tensiones eje rotación

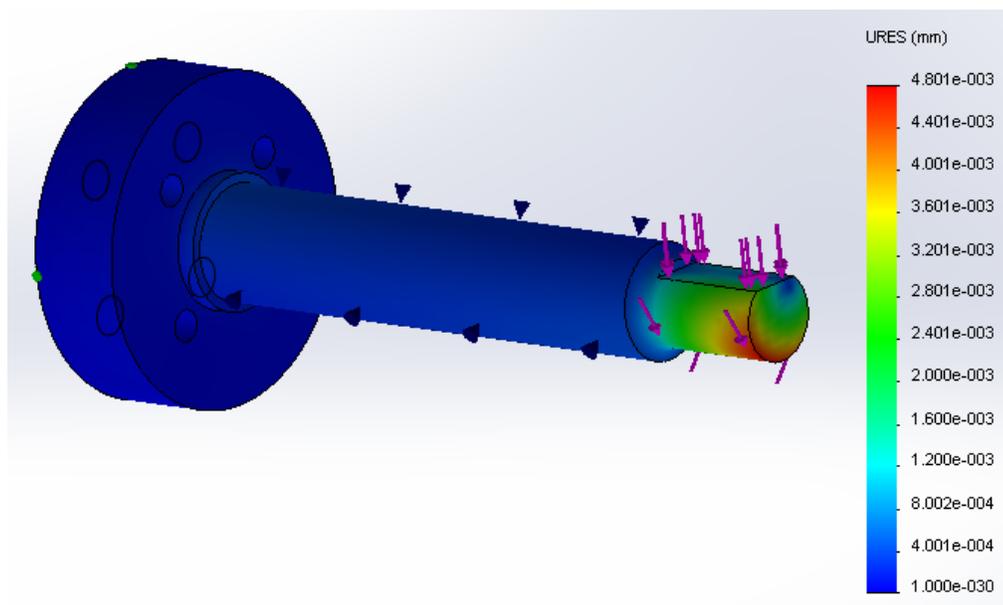


Ilustración 71 (A.1): Resultado análisis estático desplazamientos eje rotación

Los desplazamientos producidos son despreciables, del orden de la centésima de milímetro.

Tras realizar este ensayo estático, se procede a realizar un ensayo a fatiga, que simula someter a las mismas caras de manera alternativa de forma cíclica durante 1.000.000 de ciclos, con:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = -1$$

Ya que el momento se aplicará en los dos sentidos.

La curva de fatiga (S-N) introducida es la siguiente, procedente de un acero al carbono sin grandes características mecánicas (lado de la seguridad):

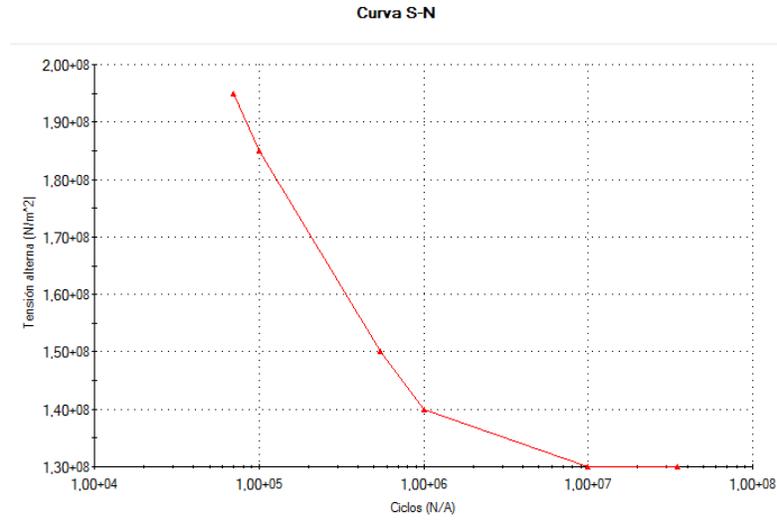


Ilustración 72 (A.1): Curva S-N acero al carbono

Tras los 1.000.000 ciclos mencionados, la vida restante es ampliamente holgada para poder considerar “vida infinita”.

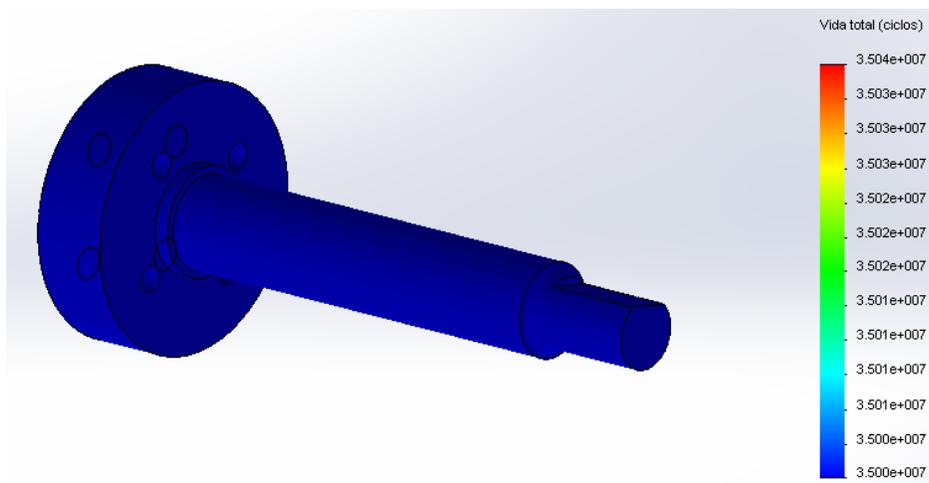


Ilustración 73 (A.1): Resultado análisis fatiga eje rotación

El segundo caso del ensayo consiste en considerar como geometría fija el extremo que acabamos de ensayar, y someter al opuesto a un momento angular de 3 Nm, además de una fuerza 6 N (correspondiente

a los 600 gramos que tendrá que soportar por el peso del conjunto) aplicada en los agujeros para los tornillos.

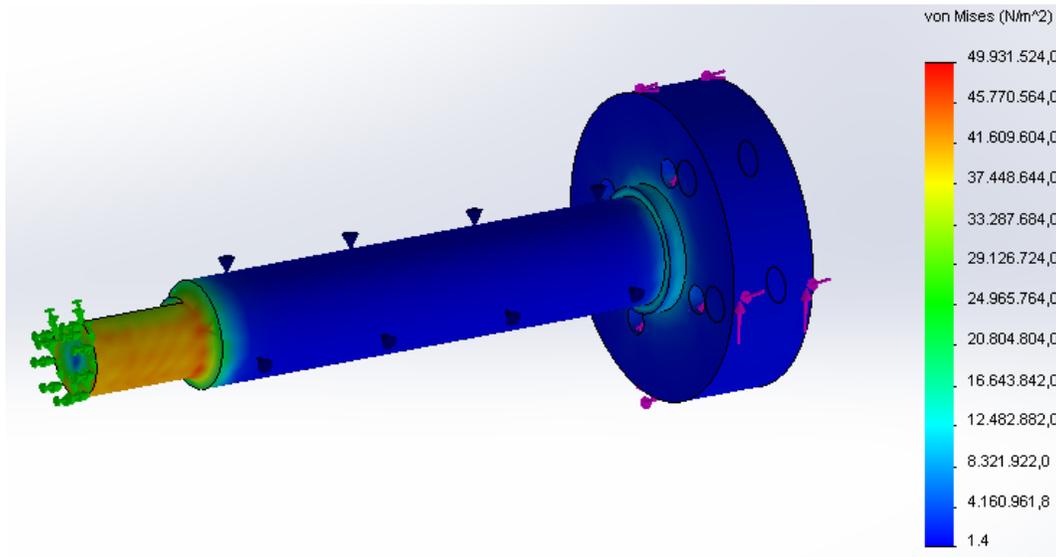


Ilustración 74 (A.1): Resultado análisis estático tensiones eje rotación (2)

Nuevamente, la tensión equivalente de Von Mises máxima se produce en el cambio de sección del extremo de menos diámetro. Aunque desciende ligeramente, el valor es muy similar, lo que nos indica que es la tensión cortante producida por la torsión la predominante.

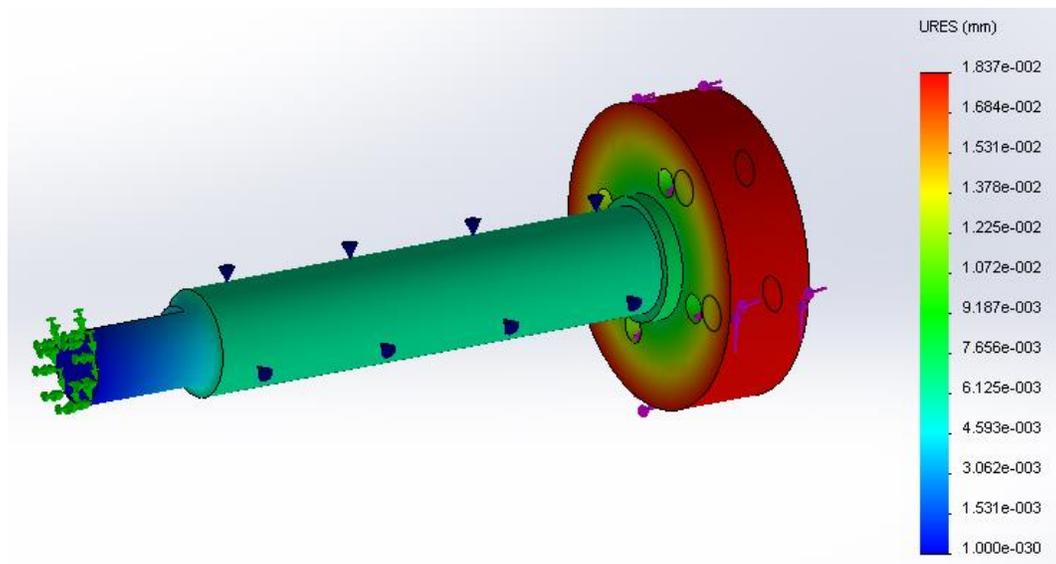


Ilustración 75 (A.1): Resultado análisis estático desplazamientos eje rotación (2)

Los desplazamientos pueden seguir considerándose despreciables y el ensayo a fatiga deja las mismas conclusiones que el anterior.

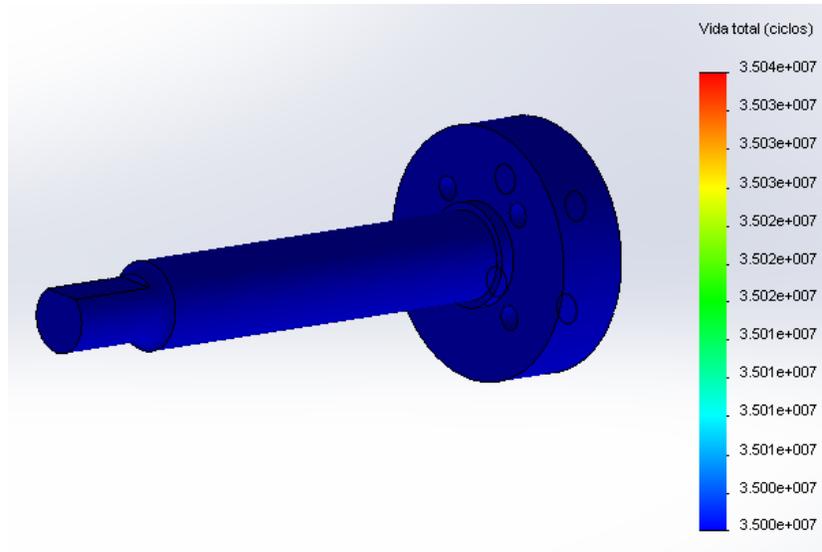


Ilustración 76 (A.1): Resultado análisis fatiga eje de rotación (2)

1.2.3 REDUCTORA

Dentro de la reductora se producen grandes fuerzas debido a la gran multiplicación y al pequeño tamaño de los engranajes. Comprobaremos por tanto si, tanto los ejes sobre los que giran los engranajes, como los apoyos del mismo, soportarán las fuerzas a las que estarán sometidos. Los engranajes no se ensayarán debido a la poca rigurosidad de los resultados que resultarían, limitándose a pruebas experimentales.

1.2.3.a. Eje de reductora

Se someterá el eje a una fuerza que se simplificará considerándola puntual, en el centro del eje, y que se calculará a partir de las fuerzas de los engranajes para transmitir los 3 Nm. de momento máximo en el eje de transmisor.

El eje superior (cuyos engranajes estarán en contacto con la rueda dentada) tendrá sus ejes sometidos a mayor par y, por tanto, mayor fuerza, y el resto de características son idénticas en los dos ejes. Por esta razón, será el único al que se someterá a la prueba.

El caso más crítico se produciría en la máxima relación de transmisión, cuando todos los engranajes estuvieran trabajando. Para calcular las fuerzas, se muestra el siguiente croquis que simboliza las direcciones de las mismas suponiendo un giro anti horario de la rueda dentada (vista desde la parte contraria a la guía lineal).

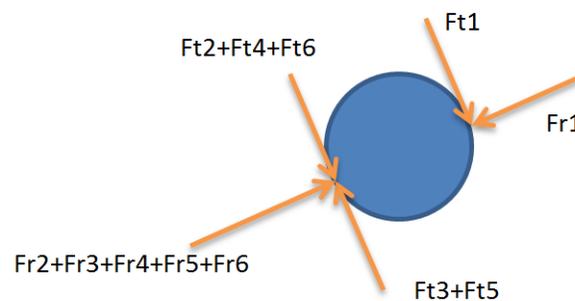


Ilustración 77 (A.1): Fuerzas en eje de reductora

Para calcular los valores de las mismas, sabemos que:

$$M = F_{tangencial} \times R_{primitivo}$$

$$F_{radial} = F_{tangencial} \times \cos(\alpha)$$

$$F = \sqrt{F_{tangencial}^2 + F_{radial}^2}$$

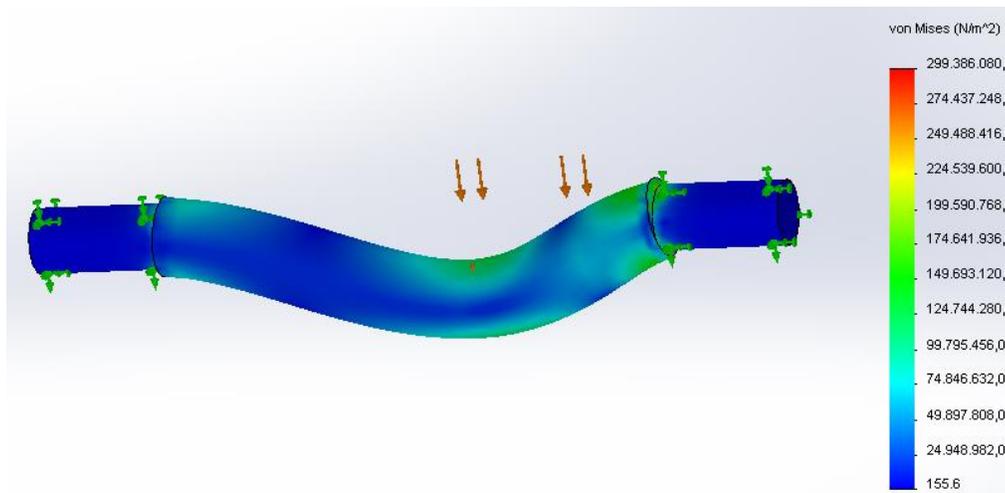
Con lo que podemos calcular los valores que se resumen en la siguiente tabla (se consideran las etapas en orden inverso, es decir, la primera etapa sería entre la rueda dentada y el último piñón):

Tabla 5 (A.1): Fuerzas en eje de reductora

	Etapa1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
M(Nm)	$3 \times \frac{29}{90} = 0.97$	$M2 = M1 = 0.97$	$M3 = 0.97 \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} = 0.11$	$M4 = M3 = 0.11$	$M5 = 0.11 \times \frac{10}{29} \times \frac{10}{29} = 0.01$	$M6 = M5 = 0.01$
Ft (N)	$\frac{0.97}{0.0075} = 133$	$\frac{0.97}{0.0075} = 133$	$\frac{0.11}{0.0025} = 44$	$\frac{0.11}{0.0075} = 14$	$\frac{0.01}{0.0025} = 4$	$\frac{0.01}{0.0075} = 1.3$
Fr (N)	125	125	41	13	3.7	1.2

Simulamos la carga concentrada a 8 mm de un extremo:

$$\begin{aligned}
 F &= \sqrt{(Ft1 + Ft2 + Ft4 + Ft6 - Ft3 - Ft5)^2 + (-Fr1 + Fr2 + Fr3 + Fr4 + Fr5 + Fr6)^2} \\
 &= \sqrt{(133 + 133 + 14 + 1.3 - 44 - 4)^2 + (-125 + 125 + 41 + 13 + 3.7 + 1.2)^2} \\
 &= 240 \text{ N}
 \end{aligned}$$


Ilustración 78 (A.1): Resultado análisis de tensiones estático eje reductora

Las exigencias de esta pieza son muy elevadas, con una tensión máxima equivalente de Von Mises en este ensayo estático de 300 Mpa. El diámetro del eje está fijado por el tamaño de los engranajes y por lo tanto no es modificable. Así pues, se considerará este punto como una limitación en el sistema, y se recomendará el usuario no superar un momento máximo de 1,5 Nm. con lo que obtendríamos una tensión equivalente máxima de 150 Mpa, todavía elevada pero manejable. No obstante, no se están considerando las pérdidas por rendimiento en los engranajes, lo que jugaría en nuestro favor, reduciendo el momento final aplicado.

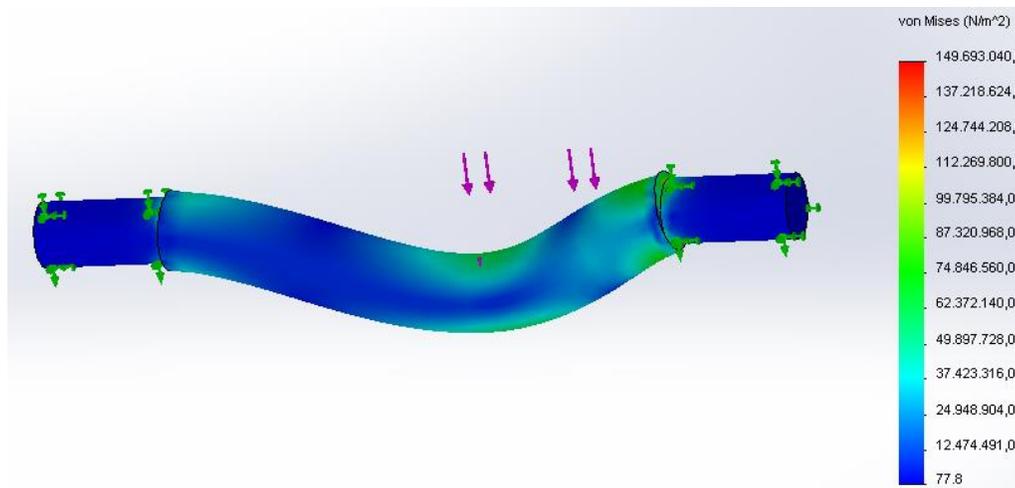


Ilustración 79 (A.1): Resultado análisis de tensiones estático eje reductora (2)

La elección del material queda determinada por estas exigencias, decantándonos por un eje de acero inoxidable, que tendrá un buen comportamiento en cuanto al rozamiento con los engranajes.

Se realiza un ensayo a fatiga con:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = -0.80$$

Ya que las fuerzas radiales (53 N.) son constante, pero las tangenciales (233 N.) varían en sentido, variando las tensiones en esa proporción.

Empleando la siguiente curva SN de un acero inoxidable:

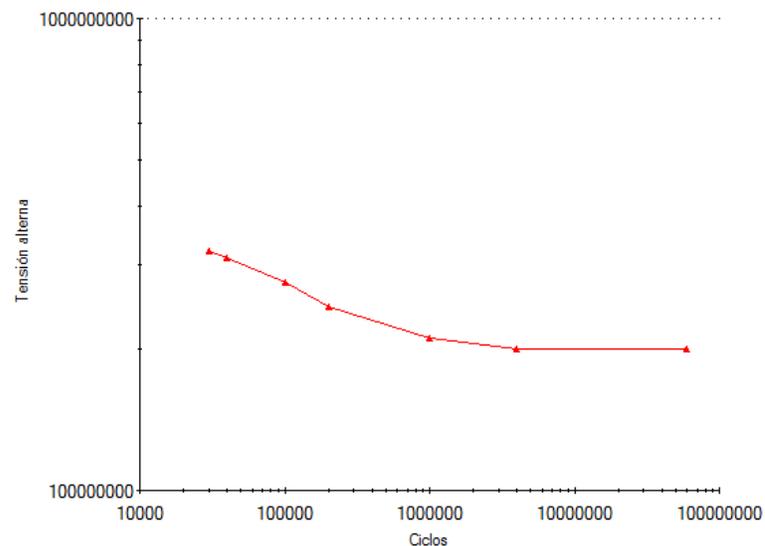


Ilustración 80 (A.1): Curva S-N acero inoxidable

Obtenemos, tras someterlo a 1.000.000 de ciclos:

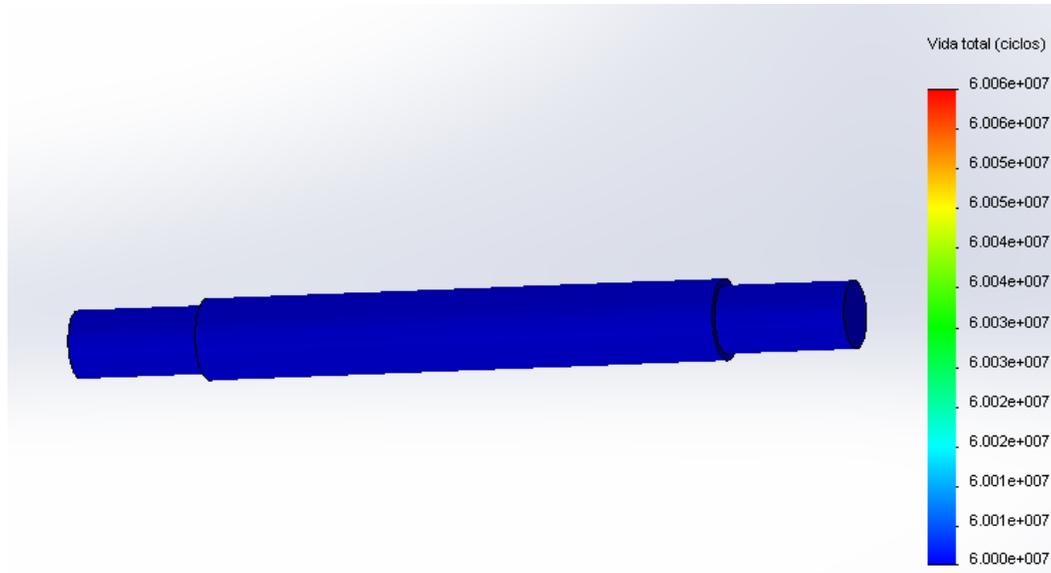


Ilustración 81 (A.1): Resultado análisis de fatiga eje reductora

Por lo que podemos considerar “vida infinita”.

Como conclusión de este análisis, hemos definido el tipo de material y concretado que debemos recomendar al usuario no sobrepasar un par de 1,5 Nm en el eje transmisor.

1.2.3.b. Apoyos de reductora

En este ensayo, se aplicarán las fuerzas calculadas anteriormente en los dos apoyos, dividida en cada uno de los dos extremos:

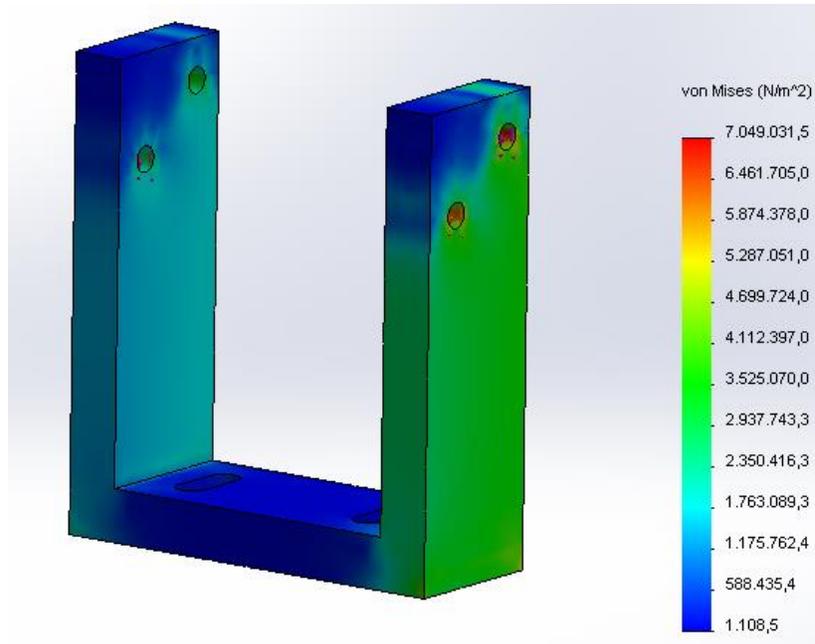


Ilustración 82 (A.1): Resultado análisis de tensión estático soporte de reductora

Las tensiones máximas equivalentes de Von Mises se sitúan en torno a los 7 Mpa en el ensayo estático, en los agujeros de las sujeciones donde se aplican las fuerzas. Esta cifra es claramente inferior a la que puede soportar el material (aluminio serie 2000).



1.3. Carga máxima a añadir

Comprobaremos, en este apartado, la carga extra máxima que puede añadirse al sistema en caso de ser de interés.

En ensayos anteriores, llegamos a la conclusión de que superar 1.5 Nm de momento par en el eje de rotación podría suponer problemas en la reductora, por lo que lo estableceremos como par máximo.

Otra condición, será el tiempo para realizar el movimiento. Puesto que añadiremos peso, parece lógico no manejar velocidades muy altas. Estableceremos un tiempo del recorrido completo en 4 segundos.

Ayudándonos del módulo Motion de Solidworks, estableceremos un ensayo en el que someteremos al eje de revolución a unas consignas de posición, que van desde la posición horizontal a la posición vertical con una variación de tiempo de 4 segundos. Con ello, calcularemos el momento máximo obtenido, para distintas cargas colocadas en el extremo más alejado del centro de rotación, hasta obtener la máxima a soportar.

Para 300 gramos:

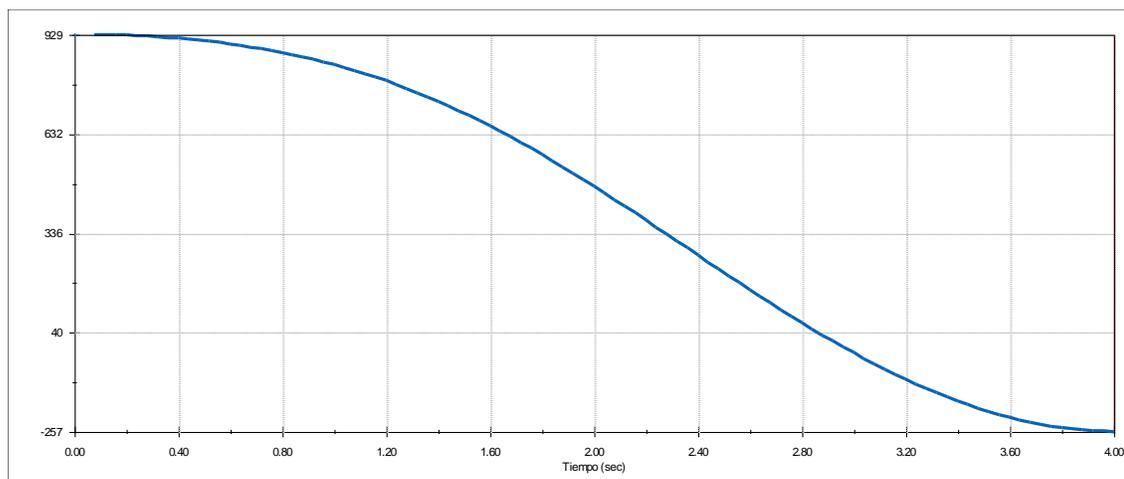


Ilustración 83 (A.1): Gráfica Par-tiempo carga adicional 300g.



Para 1 Kg:

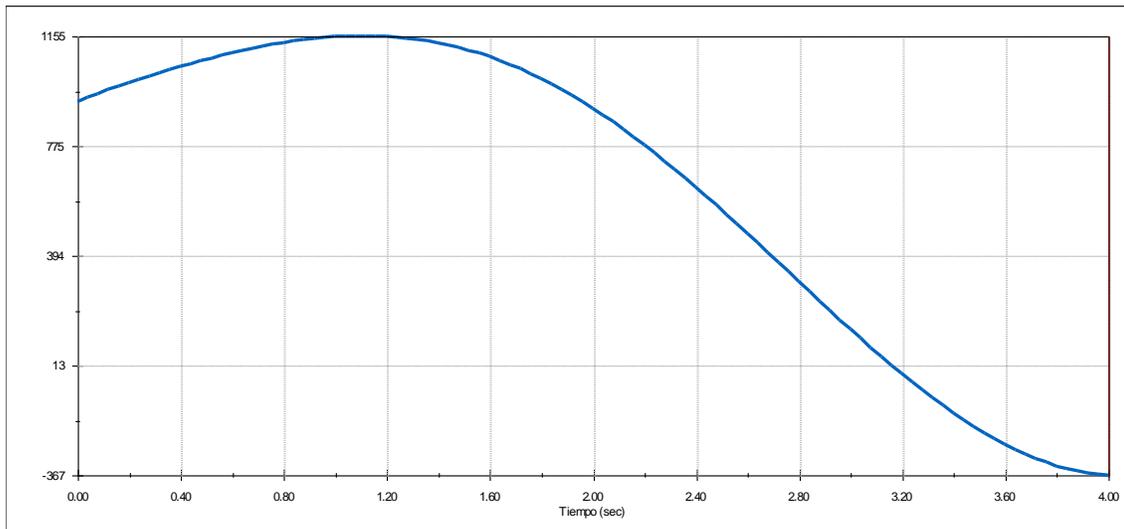


Ilustración 84 (A.1): Gráfico Par-tiempo carga adicional 1Kg.

Para 1.5 Kg:

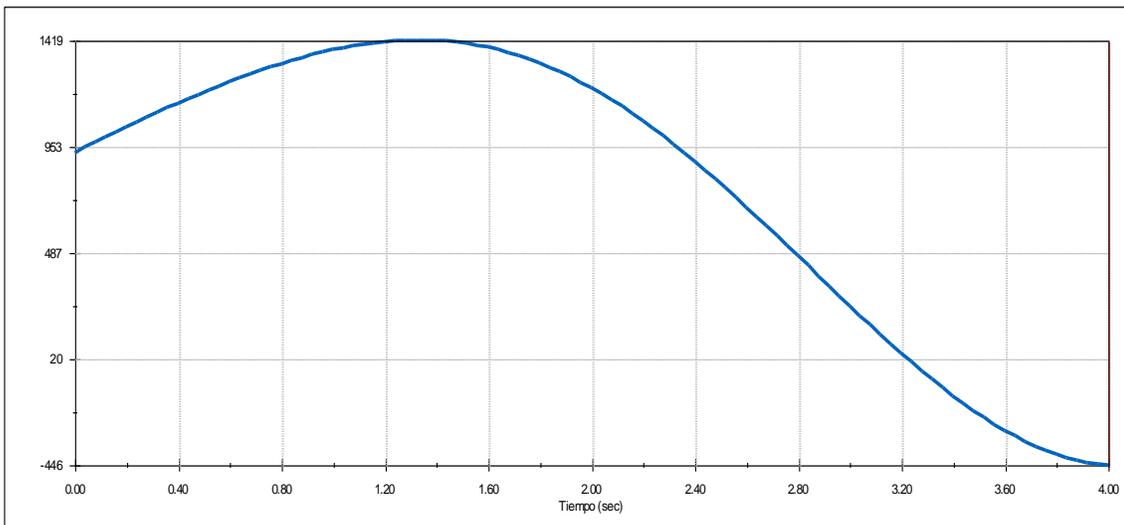


Ilustración 85 (A.1): Gráfica Par-tiempo carga adicional 1.5 Kg

Con estas condiciones, obtenemos una carga máxima de 1.5 Kg.



1.4. Fuerza de husillo

Para cada uno de los motores seleccionados, se calcula la fuerza y velocidad máximas que podemos conseguir con el husillo.

La fórmula de la fuerza lineal ejercida es:

$$F = \frac{M \times \mu \times 2\pi}{p}$$

Donde:

- M = Momento par ejercido en el husillo
- μ = Rendimiento del husillo, considerado 0.4.
- p = Paso de la rosca del husillo = 3 mm

La fórmula para obtener la velocidad es:

$$V = \frac{n \times p}{60}$$

Donde:

- n = velocidad del motor (rpm)
- p = Paso de la rosca del husillo = 3 mm

1.4.1 SERVOMOTOR TRINAMIC

- Par máximo = 0.23 Nm
- n máximas = 3000 rpm
- F = 192 N
- V = 0.15 m/s

La fuerza conseguida es ampliamente mayor que la que soporta el sistema, pero la velocidad conseguida es correcta, por lo que no es necesario variar la relación de transmisión.

1.4.2 MOTOR DC:

- Par máximo = 0.023 Nm
- n máximas = 5600 rpm
- F = 19 N
- V = 0.28 m/s

La fuerza conseguida es suficiente para desplazar la carga adicional máxima soportada por el sistema. Aunque la velocidad conseguida sea muy elevada, no es necesario variar la relación de transmisión.

1.4.3 MOTOR PASO A PASO:

- Par máximo = 0.0035 Nm
- n máximas = 10000 rpm



- $F = 3 \text{ N}$
- $V = 0.5 \text{ m/s}$

En este caso, puede ser interesante cambiar las poleas de desarrollo para obtener mayor fuerza, ya que la velocidad lineal máxima es muy elevada. No obstante, no sería necesario si no añadimos una carga adicional.



2. ANEXO II: CÁLCULOS ELECTRÓNICOS

2.1. Cálculos sobre el encoder

El encoder empleado está formado por los emisores y fototransistores del componente OPB822SD, y una rueda dentada extraída de un antiguo ratón de ordenador. El componente OPB822SD contiene dos diodos emisores y dos fototransistores, lo que nos permite conocer además el sentido de giro del movimiento, al detectar o no la luz del emisor a través de los orificios de la rueda.

Las dimensiones de las aperturas de los fototransistores son de 0.25 x 1.02 mm. y ambos se encuentran separados una distancia de 5.38 mm. El espacio entre diodos emisores y fototransistores es de 2.29 mm.

La rueda tiene 37 dientes (y 37 espacios) lo que nos da una resolución de 74 pulsos por revolución. El radio exterior es de 19 mm. mientras que el interior es de 14 mm. El radio medio, por tanto, es de unos 16.5 mm. El espesor de la rueda es de 1 mm.

La anchura de los dientes es de 0.9mm, mientras que los espacios miden 0.6mm. Esta relación 2/3 viene especificada como ideal por el fabricante del componente OPB822S. El tamaño total de ciclo será:

$$\text{Ciclo} = 0.6 + 0.9 = 1.5 \text{ mm}$$

Y el ratio entre el ciclo y la distancia de los sensores:

$$\text{Ratio} = \frac{5.38}{1.5} = 3.58$$

Esto quiere decir que habrá 3.58 ciclos (diente + espacio) entre los dos sensores.

La frecuencia de la señal, considerando, con los motores disponibles, una cifra máxima de 6000 rpm, será:

$$\text{Frecuencia de señal} = 12000 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ rpm}}{60 \text{ rps}} \times \frac{37 \text{ ciclos}}{1 \text{ rpm}} = 7400 \text{ Hz}$$

Según el datasheet de los fototransistores, éstos no tendrán problema por trabajar a esta frecuencia.

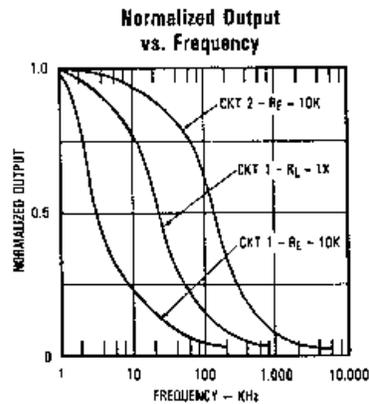


Ilustración 86 (A.2): Gráfica comportamiento frecuencia encoders

Según el datasheet, la corriente máxima admisible por el diodo LED del encoder es de 40 mA. Para 20 mA, que es la corriente que emplearemos, la caída de tensión será de 1,7 V a 25 ° C.

Disponemos de una alimentación de 5V, por lo que, para ajustar la tensión en el LED, deberemos colocar una resistencia en serie, cuyo valor será:

$$V = R \cdot I$$
$$V = (R + R_{LED}) \cdot I \rightarrow R = \frac{V}{I} - R_{LED} = \frac{V - V_{LED}}{I} = \frac{5V - 1.7V}{20mA} = 165 \Omega$$

Para resistencias normalizadas de tolerancia 5%, el valor más próximo es 150 Ω.

El cálculo de las tensiones y corrientes a la salida del encoder se ha realizado empíricamente, ya que depende de factores como la rueda y su colocación, y está explicado en el apartado 4.2.2 de esta memoria.



2.2. Cálculos sobre PCB secundaria

Cálculo de resistencia para LED

La corriente máxima admisible por el LED son 30 mA, por lo que lo alimentaremos con una corriente intermedia de 15 mA. El voltaje que consume el LED es 2.1V, por lo que el valor de la resistencia, sabiendo que la alimentación es de 5V, será:

$$V = R \cdot I = V_{LED} + V_{Res} = 5 = 2.1 + R \cdot 0.015$$

$$R = 193\Omega$$

Para resistencias de tolerancia 5%, el valor más cercano superior es el de 220 Ω .



2.3. Estimación de consumo de corriente

En este anexo se estimará el consumo de corriente de los elementos que se alimentarán a partir del convertidor continua – continua, lo que nos servirá para dimensionarlo.

Los consumos de corriente son los obtenidos a partir de los cálculos realizados en los diferentes apartados de este proyecto, y los extraídos de los datasheets para condiciones más restrictivas en el caso del microcontrolador y la LDC.

Tabla 6 (A.2): Consumo de corriente

Componente	Referencia	Cantida d	Consumo (A)	Consumo total (A)
Microcontrolador	18F4550	1	0.05	0.05
LCD 16x2		1	0.003	0.003
Optoacoplador	4N25	4	0.04	0.16
Encoder	OPB22s	2	0.02	0.04
LED PCB Secundaria		1	0.015	0.015
LED PCB Principal		1	0.015	0.015
Total				0.283

3. ANEXO III: PCB DEMO

3.1. Electrónica

A modo de ejemplo, se ha desarrollado una PCB que permita mostrar de manera sencilla el funcionamiento del sistema como demostración. Esta PCB podría ser un ejemplo de entrega o práctica a realizar por los alumnos.

Lo que se busca con esta demostración es lograr las siguientes funciones:

- Controlar el movimiento en los dos ejes con motores Trinamic.
- Control de velocidad y posición de los motores mediante potenciómetros.
- Cambio de modo de control con un interruptor.
- Conexión de los finales de carrera para limitar el movimiento de los motores.

Para realizarlo, se emplea un microcontrolador 18F4550 (por motivos de disponibilidad) que se encarga de leer las señales analógicas de los potenciómetros, y el puerto de modo seleccionable con un conmutador, y enviar a los motores la información necesaria mediante conexión rs232.

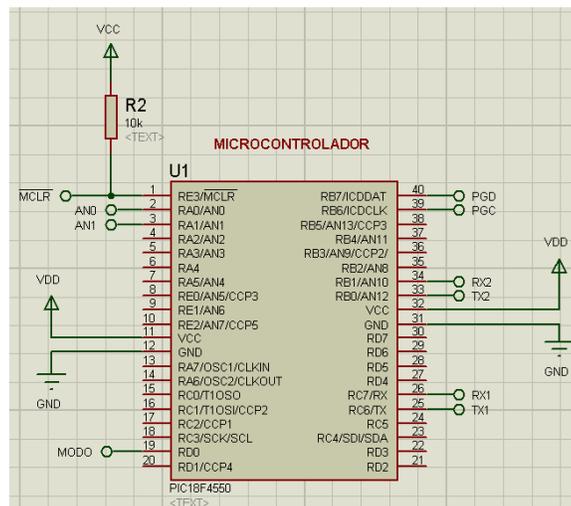


Ilustración 87 (A.3): Microcontrolador PCB Demo

Para adaptar la señal rs232, es necesario interponer entre las señales del motor y las del microcontrolador un integrado max232 (de doble canal). Los condensadores para su funcionamiento vienen especificados por el fabricante de este componente.

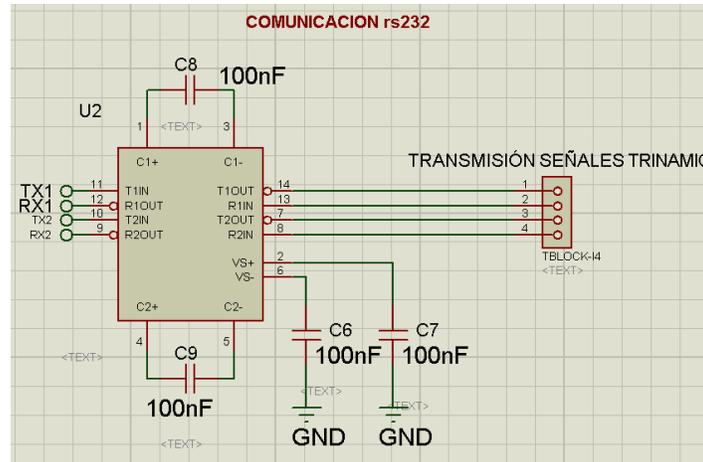


Ilustración 88 (A.3): MAX 232 PCB Demo

Esta PCB cuenta también con condensadores de desacoplo de alimentación y de alimentación del microcontrolador, condensadores de filtrado de alimentación, LED de indicación de alimentación y conectores (transmisión de señal a motores Trinamic, recepción y envío de señales de finales de carrera, y RJ11 para programación y depurado del microcontrolador).

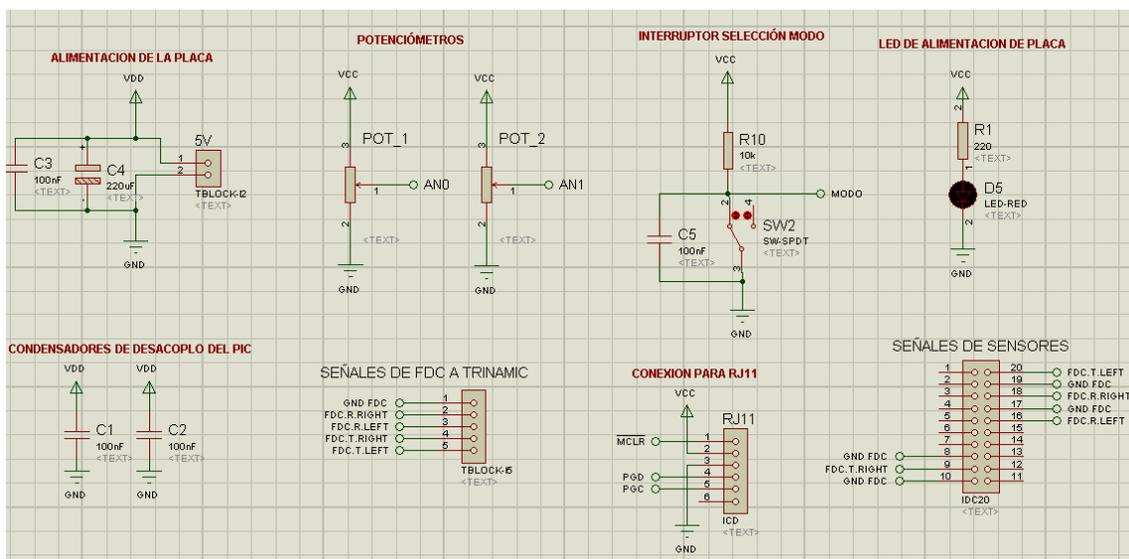


Ilustración 89 (A.3): Componentes PCB Demo

A continuación, se muestra una foto indicando los componentes que la forman:

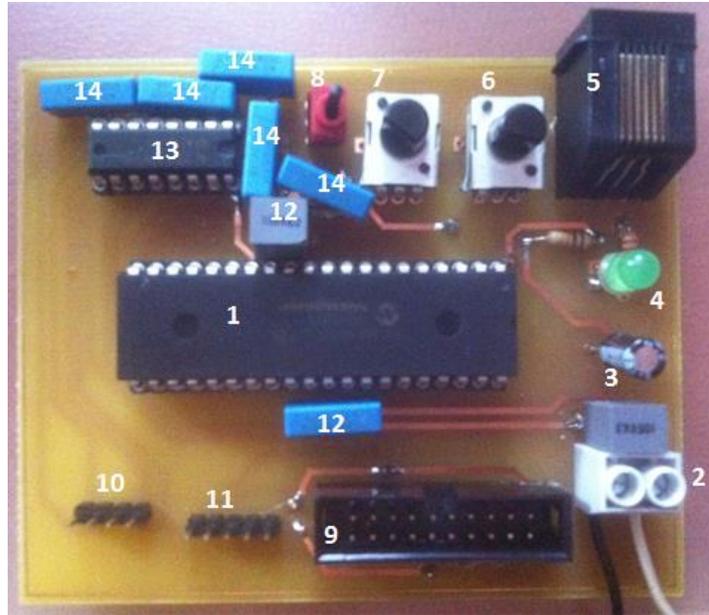


Ilustración 90 (A.3): PCB demo

- 1- Microcontrolador PIC18f4550
- 2- Bornero de alimentación
- 3- Condensadores de desacoplo de alimentación
- 4- LED indicador de alimentación de PCB
- 5- Conector RJ-45 (programación microcontrolador)
- 6- Potenciómetro control motor traslación
- 7- Potenciómetro control motor rotación
- 8- Conmutador de selección de modo
- 9- Conector IDC20 de adquisición de señales
- 10- Conector de envío de señales para control de motores
- 11- Conector de envío de señales de finales de carrera
- 12- Condensadores de desacoplo de alimentación del microcontrolador
- 13- MAX232 para adaptación de comunicación RS232
- 14- Condensadores para MAX232

3.2. Software PCB DEMO

El código que corre sobre el microcontrolador PIC18F4550 se desarrolla de la siguiente manera:

- Inicialmente, se configuran todos los parámetros básicos del microcontrolador, destacando entre los más importantes el número de bits de la conversión AD (10 bits= 1024 valores) la frecuencia del oscilador interno (32 Mhz), y los puertos de entrada y salida para la comunicación rs232 en los dos canales que irán a cada motor (pines C6, C7, B0, B1 respectivamente).
- Se introducen una serie de “#define” para variar los parámetros de los motores, y para establecer las cadenas de caracteres a enviar con los motores.



- Posteriormente, se define el puerto de entrada de selección de modo (PORTD.0).
- Se declaran las variables globales que corresponden a las cadenas de caracteres a enviar a los motores en las funciones.
- Se definen una serie de funciones necesarias para la comunicación con los motores. Reciben un dato (en algunos casos no es necesario) y el motor al que va destinado, y calculan la cadena de caracteres para enviarla al motor por rs232. Para que la comunicación continúe, es necesario recibir la contestación que hace el motor, aunque en este caso no volvamos a hacer ninguna operación con ella.
- Ya dentro del main, se declaran las variables necesarias, se configuran los puertos adc, y se establece el PORTD.0 como entrada.
- La primera orden que se hace a los motores sirve para activar todos los finales de carrera.
- Posteriormente, se busca la referencia de la posición, moviéndose hasta encontrar el final de carrera izquierdo en los dos casos. Es necesario establecer un tiempo de espera para que esta operación se realice correctamente.
- Después, se configuran todos los parámetros de funcionamiento de los motores (prescaler, velocidades y aceleraciones).
- A continuación, se ejecuta un bucle infinito en el que se lee el puerto de selección de modo. Dependiendo de su estado, controlaremos la velocidad o la posición. El funcionamiento dentro de los dos tipos de control es similar. Leerá la tensión proveniente de los potenciómetros, y la convertirá proporcionalmente a un valor de posición o velocidad, que se enviará al motor.

4. ANEXO IV: MANUAL DE USO

En este manual se explicará la equipación del banco de ensayos configurable.

4.1. Descripción general

Este producto consta de una base que permite obtener dos movimientos diferenciados, un movimiento giratorio de 90°, y un movimiento de traslación cuya trayectoria se corta con el eje de rotación.

Está dotado de una base principal, a la que se coloca un soporte mono-brazo sobre el que gira el eje de rotación. Sobre el eje, se atornilla una chapa ranurada que permite implementar diferentes configuraciones para el sistema de traslación.

4.2. Sistema de traslación

Como sistema de serie, se dispone de un husillo trapezoidal encargado de mover un carro que desplaza sobre una guía prismática. Como opción, puede colocarse una guía lineal con un casquillo circular (los planos de las piezas necesarias se añaden en el proyecto).

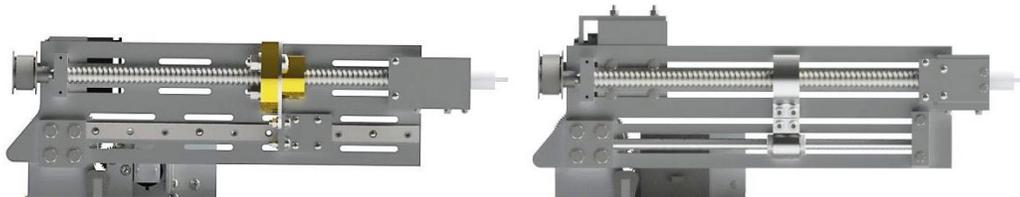


Ilustración 91 (A.4): guía prismática - guía lineal

La transmisión de movimiento se lleva a cabo mediante poleas dentadas (Diámetro primitivo de 16.17 mm) de igual tamaño, por lo que la relación de transmisión entre el motor y el husillo es de 1:1. La correa puede tensarse o destensarse variando la posición del motor, lo que se consigue aflojando los tornillos indicados en la siguiente imagen:

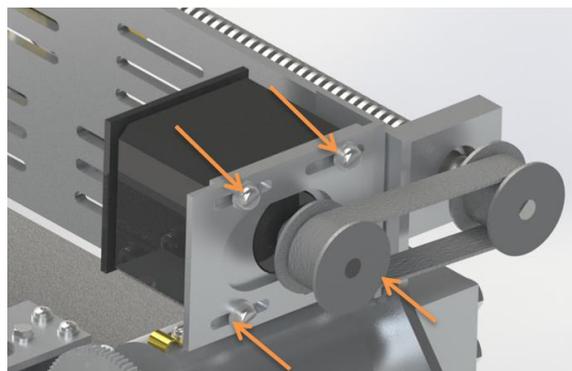


Ilustración 92 (A.4): Tornillos para tensión correa



En caso de ser necesario, puede colocarse un peso extra en el carro de la guía, atornillándolo con los tornillos existentes. Se recomienda que ese peso no sea superior a 800 gramos (este peso puede ser inferior dependiendo del motor empleado).

4.3. Sistema de rotación

Como sistema de serie, se ha implementado una base postiza que acoge el soporte de los motores, el motor (con sus correspondientes sensores) y una reductora.

La base postiza dispone de ranuras para regular la posición tanto del motor como de la reductora, lateral y longitudinalmente.

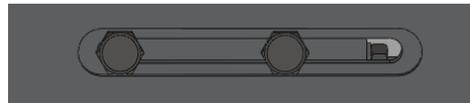


Ilustración 93 (A.4): Ranura de ajuste de posición motor- reductora

Con ello, podremos ajustar la relación de transmisión, que depende de la rueda dentada que se encuentre engranando con el engranaje principal. La piñonería de este conjunto tiene módulo 0.5 mm.

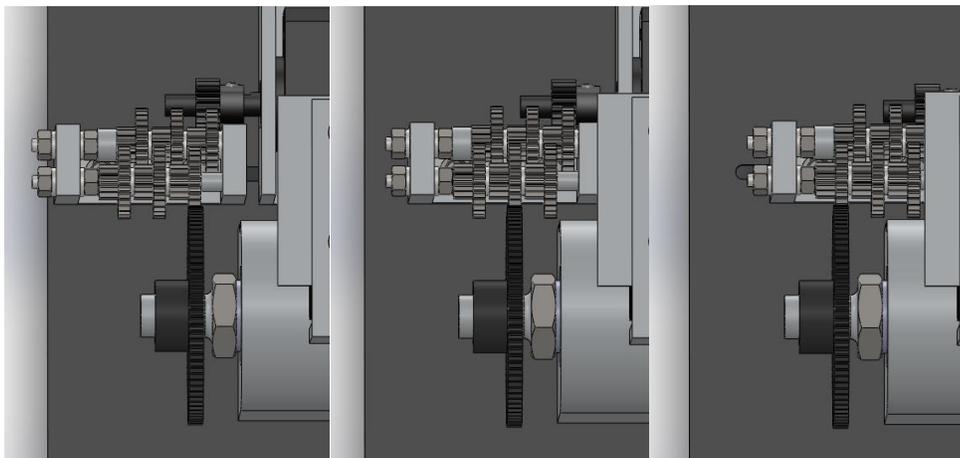


Ilustración 94 (A.4): Posiciones de reductora

La reductora dispone de 6 engranajes dobles de 10 y 29 dientes respectivamente. El engranaje principal tiene 90 dientes, y el piñón de salida del motor 20 dientes. Con ello, podremos obtener una relación de transmisión de 1:13, 1:111 y 1:1000 con las posiciones 1, 2 y 3 respectivamente.

El correcto engrase de los engranajes y los ejes de la reductora es esencial para un buen funcionamiento.

4.4. Motores disponibles

El conjunto viene preparado para albergar los siguientes tipos de motores, en cualquiera de sus dos movimientos:

- Servomotor Trinamic PD1-110-42-232 (actualmente montados)

- Voltaje: 24 V
- Corriente máxima: 1.5 A (pico)
- Par máximo: 0.23 Nm
- Motor paso a paso Nanotec SP1518M0204-A
 - Número de fases: 2
 - Par máximo: 0.35 Ncm
 - Voltaje: 12 V
 - Corriente máxima: 0.24 A
 - Velocidad máxima: 10000 rpm
 - Ángulo de resolución: 18°
- Motor DC Mellor Electric RS360
 - Voltaje: 24 V (DC)
 - Par máximo: 2,3 Ncm
 - Velocidad máxima: 5600 rpm
 - Tipo de motor: con escobillas

No obstante, para acoplar un motor diferente, solamente habría que taladrar los soportes para sujetarlo correctamente, o en caso de ser muy diferente, sustituirlo por un nuevo soporte (formado por un perfil en L de aluminio de 3 mm de espesor para el movimiento de rotación, y una chapa de aluminio de 2 mm de espesor para el movimiento de traslación).

Para utilizar los mismos elementos de transmisión del movimiento, se han diseñados unas piezas intermedias de acople (planos disponibles en el proyecto).

4.5. Indicadores de posición y velocidad

El sistema dispone de una pantalla LCD que muestra la posición y la velocidad de los dos movimientos. Este sistema toma los datos de los encoder acoplados al motor, por lo que muestra pasos discretos que toman un valor de 90A grados (4 pasos por revolución). La velocidad se muestra en pasos por segundo. Para conocer la velocidad real, hay que tener en cuenta la relación de transmisión.

Junto a la pantalla LCD, se sitúan dos pulsadores que sirven para inicializar la posición en ambos movimientos.



Ilustración 95 (A.4): Indicador de posición y velocidad

Este sistema funciona con la alimentación de 5 V del sistema (más adelante se indica cómo alimentarlo).

Sensores



Además de para los indicadores del punto anterior, se ponen a disposición del usuario los siguientes sensores:

- Rotación
 - Encoder: incremental de dos canales (74 divisiones por vuelta). La señal digital se ofrece de 0 a 3 V, aislada con optoacopladores.
 - Tacómetro: Lineal. Genera 10 V (máximo) a 12.000 rpm. Se ofrecen sus dos terminales, y uno de ellos intercala un fusible reiniciable PTC que limita la corriente a 100 mA (a partir de 50 mA, comienza a disipar potencia).
 - Potenciómetro: se ofrecen directamente los 3 terminales del mismo. Su resistencia máxima es de 1 Kohm. El ángulo de recorrido es de 370 grados.
 - Finales de carrera: Normalmente abiertos, en los dos extremos del movimiento.
- Traslación
 - Encoder: mismo tipo que en el de rotación.
 - Tacómetro: mismo tipo que en el de traslación.
 - Finales de carrera: Normalmente abiertos en los dos extremos del movimiento.

4.6. Conexiones

Se dispone de dos PCB con conectores:

4.6.1 PCB PRINCIPAL

Dispone de:

- Bornero de alimentación (5V + GND): para alimentar los sensores y el sistema de indicación de posición y velocidad.
- Conector IDC 20: En el que se dispone de las señales de los sensores según el siguiente esquema:

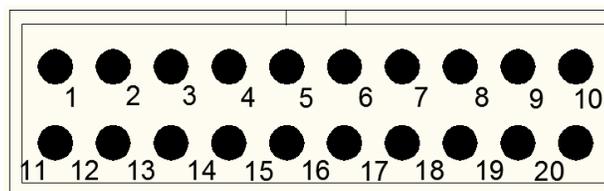


Ilustración 96 (A.4): Conector IDC20 PCB Principal

- 1: Terminal 1 de tacómetro de rotación
- 2: Terminal 2 de tacómetro de rotación
- 3: Terminal 1 de tacómetro de traslación
- 4: Terminal 2 de tacómetro de traslación
- 5: Terminal alimentación potenciómetro
- 6: Terminal señal potenciómetro
- 7: Terminal masa potenciómetro
- 8: Terminal 1 FDC traslación izquierdo



- 9: Terminal 2 FDC traslación izquierdo
- 10: Terminal 1 FDC traslación derecho
- 11: Terminal 2 FDC traslación derecho
- 12: Terminal 1 FDC rotación izquierdo
- 13: Terminal 2 FDC rotación izquierdo
- 14: Terminal 1 FDC rotación derecho
- 15: Terminal 2 FDC rotación derecho
- 16: (vacío)
- 17: Canal 1 encoder rotación
- 18: Canal 2 encoder rotación
- 19: Canal 1 encoder traslación
- 20: Canal 2 encoder traslación

4.6.2 PCB TRINAMIC

Esta PCB se encarga de recibir las señales y la alimentación necesaria para los motores Trinamic (en caso de estar colocados).

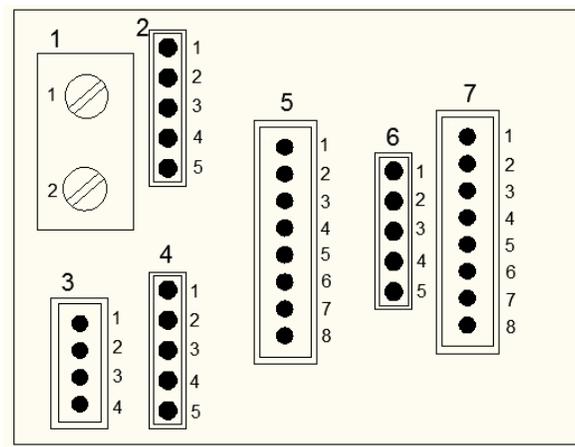


Ilustración 97 (A.4): Conectores PCB Trinamic

- Conector 1: Bornero de alimentación
 - 1: 24V
 - 2: GND
- Conector 2: Conector JST PHR-5 : Conector motor Trinamic rotación
- Conector 3: Conector JST PHR-4 : Señales para control de motores Trinamic
 - 1: a RX motor rotación
 - 2: a TX motor rotación
 - 3: a RX motor traslación
 - 4: a TX motor traslación
- Conector 5: Conector JST PHR-8: Conector motor Trinamic traslación para señales FDC.
- Conector 6: Conector JST PHR-5



- 1: GND (de la fuente de 24)
- 2: Recepción de señal de FDC derecho de motor de rotación
- 3: Recepción de señal de FDC izquierdo de motor de rotación
- 4: Recepción de señal de FDC derecho de motor de traslación
- 5: Recepción de señal de FDC izquierdo de motor de traslación
- Conector 7: Conector JST PHR-8: Conector motor Trinamic rotación para señales FDC.

4.6.3 BORNERS DE CONEXIÓN

Se dispone de 12 bornas de conexión, para conectar los motores DC o paso a paso.

4.7. Elementos externos necesarios

Para el correcto funcionamiento del sistema son necesarios los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación externa de 5V para la alimentación de los circuitos electrónicos.
- Fuente de alimentación externa de 24V para la alimentación de motores Trinamic y motores Mellor Electric (en caso de ser los empleados).
- Fuente de alimentación externa de 12V para la alimentación de motores Nanotec (en caso de ser los empleados).