

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ACTUADOR LINEAL ELECTROMECAÁNICO ANTIBLOQUEANTE

Estudiante *Rey-Baltar de la Rica, Álvaro*
Director *Petuya Arcocha, Víctor*
Departamento *Ingeniería Mecánica*
Curso académico *2021-2022*

Bilbao, 30/08/2022

ÍNDICE

1. RESUMEN TRILINGÜE	1
2. LISTA DE ILUSTRACIONES, TABLAS Y ACRÓNIMOS	2
2.1. Tablas.....	2
2.2. Ilustraciones.....	2
2.3. Acrónimos	4
3. INTRODUCCIÓN	5
4. CONTEXTO	7
4.1. Historia de SENER.....	7
4.2. SENER Aeroespacial.....	8
4.3. Actuadores en Aeronaves	9
4.4. Desarrollo del proyecto	12
5. OBJETIVOS Y ALCANCE	13
5.1. Objetivos.....	13
5.2. Alcance	13
6. BENEFICIOS	14
6.1. Beneficios Técnicos.....	14
6.2. Beneficios Sociales.....	14
6.3. Beneficios Económicos	15
7. ESTADO DEL ARTE.....	16
7.1. Actuador Rotativo.....	16
7.2. Actuador Lineal	17
7.3. Actuador Neumático.....	17
7.4. Actuador Hidráulico	18
7.5. Actuador Electro-hidrostático.....	19
7.6. Actuador Electromecánico	20
7.7. Bloqueo mecánico	21
7.7.1. Husillo Tuerca-tornillo.....	22
7.7.2. Husillo de bolas	23
7.7.3. Husillo de rodillos	24
7.8. Mecanismos antibloqueo	25
7.9. Conclusión	28
8. MECANISMO ANTIBLOQUEO	29

8.1.	Análisis de alternativas	29
8.2.	Solución propuesta y diseño	33
8.2.1.	Criterio de selección.....	33
8.2.2.	Solución Propuesta.....	34
9.	METODOLOGÍA	45
9.1.	Diseño de detalle	45
9.1.1.	Reconfiguración mediante esferas retenedoras	45
9.1.2.	Reconfiguración mediante pasadores.....	51
9.1.3.	Conclusión diseño de detalle.....	58
9.2.	Diseño funcional y Modelización.....	58
9.3.	Impresión 3D	64
9.3.1.	Fabricación y montaje modelo de ingeniería	65
9.3.2.	Conclusión modelo de ingeniería.....	73
10.	TAREAS Y DIAGRAMA DE GANTT	74
10.1.	Tareas.....	74
10.2.	Diagrama de Gantt	77
11.	ANÁLISIS DE RIESGOS	80
12.	ASPECTOS ECONÓMICOS	82
13.	CONCLUSIONES	84
13.1.	Líneas futuras.....	84
14.	BIBIOGRAFÍA.....	86
15.	ANEXO I: Normativa Aplicable	88
16.	ANEXO II: Piezas y resultados	89
17.	ANEXO III: Tareas y Diagramas	93

1. RESUMEN TRILINGÜE

Resumen:

El trabajo *Diseño y análisis de un actuador lineal electromecánico antibloqueante* es un desarrollo interno de la empresa SENER Aeroespacial, el cual trata el diseño y el análisis de un mecanismo antibloqueo aplicable a un actuador lineal electromecánico. Los actuadores lineales son unos componentes de mucha utilidad en la industria y de gran importancia en la aeronáutica, pero estos tienen un problema, el bloqueo mecánico. El mecanismo antibloqueo diseñado, se integra en la estructura del actuador lineal, dotándolo de una redundancia a fallo por bloqueo y por tanto evitando este problema. Para finalizar, con el fin de explicar claramente el funcionamiento del mecanismo, se diseñan los distintos componentes en un software de diseño CAD.

Abstract:

The project *Design and analysis of an anti-blocking electromechanical linear actuator* is an internal development conducted by SENER Aeroespacial, which deals with the design and analysis of an anti-blocking mechanism applicable to an electromechanical linear actuator. Linear actuators are especially useful components in the industry and particularly important in aeronautics, but they have a problem, the mechanical blocking. The anti-blocking mechanism designed is integrated into the structure of the linear actuator, providing it with a redundancy in case of mechanical failure and therefore avoiding this problem. Finally, to clearly explain the operation of the mechanism, the different components are designed in a CAD design software.

Laburpena:

Operadore lineal elektromekaniko antiblokeatzaile baten diseinua eta analisiaren lana SENER Aeroespacial enpresaren barne-garapen bat da, eragingailu lineal elektromekaniko bati aplikatu dakiokeen blokeoaren aurkako mekanismo baten diseinua eta analisia jorratzen dituen. Eragingailu linealak oso erabilgarriak dira industrian eta garrantzi handia dute aeronautikan, baina hauek arazo bat dute, blokeo mekanikoa. Diseinatutako blokeoaren aurkako mekanismoa, eragingailu linealaren egitura integratzen da, eta blokeo bidezko akats-erredundantzia ematen dio, beraz, arazo hori saihesten du. Amaitzeko, mekanismoaren funtzionamendua argi eta garbi azaltzeko, CAD diseinuko software batean diseinatzen dira osagaiak.

2. LISTA DE ILUSTRACIONES, TABLAS Y ACRÓNIMOS

2.1. Tablas

Tabla 1 Ponderación de criterios	36
Tabla 2 Resultado numérico Actuador Telescópico	37
Tabla 3 Resultado numérico Dispositivo desconexión de rotación	40
Tabla 4 Resultado numérico Actuador telescópico independiente	41
Tabla 5 Resultado numérico Actuador telescópico independiente optimizado	43
Tabla 6 Comparación de alternativas	44
Tabla 7 Planificación de tareas.....	78
Tabla 8 Presupuesto Horas internas	82
Tabla 9 Presupuesto Amortizaciones	82
Tabla 10 Presupuesto Bienes fungibles.....	83
Tabla 11 Gastos totales del proyecto.....	83

2.2. Ilustraciones

Ilustración 1 Estructura Grupo SENER	8
Ilustración 2 Mandos de control primario de las aeronaves.....	9
Ilustración 3 Sistema de control hidráulico.....	9
Ilustración 4 Sistema de control híbrido (Hidráulico/Mecánico).....	10
Ilustración 5 Sistema de control electromecánico.....	11
Ilustración 6 Tipos de control de las aeronaves	11
Ilustración 7 Actuador Rotativo CRB series	16
Ilustración 8 Actuador lineal BEMONOC	17
Ilustración 9 Actuador neumático de válvula de simple efecto	18
Ilustración 10 Actuador hidráulico de doble efecto	19
Ilustración 11 Actuador electro-hidrostático.....	20
Ilustración 12 Actuador electromecánico.....	21
Ilustración 13 Circuito hidráulico básico con bypass.....	22
Ilustración 14 Husillo tuerca-tornillo	23
Ilustración 15 Husillo de bolas Hiwin.....	23
Ilustración 16 Husillo de rodillos planetarios	24
Ilustración 17 Husillo de rodillos planetarios invertido.....	25
Ilustración 18 Opciones de reinicio y verificación.....	27
Ilustración 19 Ejemplo de "1 x carrera", "2 x carrera", "3 x carrera"	28
Ilustración 20 Actuador con discos rotativos	29
Ilustración 21 Actuador con rodillos separables	31
Ilustración 22 Actuador con desacople pirotécnico	31
Ilustración 23 US Patent 5144851 Actuador con diferencial.....	32
Ilustración 24 Actuador telescópico de Umbra	33

Ilustración 25 Actuación telescópica (principal).....	38
Ilustración 26 Actuación telescópica (secundaria).....	38
Ilustración 27 Dispositivo desconexión de rotación	39
Ilustración 28 Actuación Principal	41
Ilustración 29 Actuación Secundaria.....	42
Ilustración 30 Solución propuesta (actuación principal).....	43
Ilustración 31 Solución propuesta (actuación secundaria).....	44
Ilustración 32 Diseño de detalle mediante esferas retenedoras	46
Ilustración 33 Funcionamiento principal mediante esferas retenedoras	47
Ilustración 34 Funcionamiento secundario mediante esferas retenedoras	47
Ilustración 35 Reconfiguración mediante esferas retenedoras	49
Ilustración 36 Secuencia de reinicio mediante esferas retenedoras	50
Ilustración 37 Diseño de detalle mediante pasadores.....	52
Ilustración 38 Funcionamiento principal mediante pasadores	53
Ilustración 39 Funcionamiento secundario mediante pasadores	53
Ilustración 40 Reconfiguración mediante pasadores.....	55
Ilustración 41 Secuencia de reinicio mediante pasadores	57
Ilustración 42 Eje husillo principal	59
Ilustración 43 Tuerca husillo principal.....	59
Ilustración 44 Eje husillo secundario	60
Ilustración 45 Tuerca husillo secundario	60
Ilustración 46 Varilla de transmisión	61
Ilustración 47 Dispositivo de desconexión.....	61
Ilustración 48 Pasador	62
Ilustración 49 Resorte intermedio	63
Ilustración 50 Mecanismo de desconexión 3D	63
Ilustración 51 Stratasys Dimension 1200es	64
Ilustración 52 Ilustración del modelo de ingeniería	66
Ilustración 53 Dimensionamiento alojamiento resortes	67
Ilustración 54 Utensilios y piezas comerciales	67
Ilustración 55 Diseño ingeniería 3D actuación principal	68
Ilustración 56 Diseño ingeniería 3D actuación secundaria	68
Ilustración 57 Impresión de piezas 3D	69
Ilustración 58 Secuencia de montaje del modelo de ingeniería	70
Ilustración 59 Dispositivo desconexión (una uña) (izq.) y nuevo dispositivo de desconexión (dos uñas) (dcha.)	71
Ilustración 60 Útil de reinicio.....	71
Ilustración 61 Resultado final modelo de ingeniería.....	71
Ilustración 62 Modelo de ingeniería actuación principal	72
Ilustración 63 Diseño ingeniería actuación secundaria	72
Ilustración 64 Diagrama de Gantt	79

2.3. Acrónimos

ESA	European Space Agency
CAD	Computer-Aided Design
GDL	Grados De Libertad
TB	Tolerante a Bloqueos
LB	Libre de Bloqueos
STL	STereoLithography
PT	Paquete de Trabajo
T	Trabajo
2D	2 Dimensiones
3D	3 Dimensiones
kN	Kilo Newton

3. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este trabajo es la realización del diseño y del análisis de un mecanismo antibloqueo aplicable a un actuador lineal electromecánico. Por medio de este mecanismo, se logrará que los sistemas sigan funcionando aun ocurriendo un fallo, solucionando de esta forma los posibles problemas que puedan aparecer en el sistema por causa del bloqueo mecánico del husillo, aumentando de esta manera su fiabilidad. Este actuador podrá tener una multitud de usos y un mercado muy amplio en el que operar, pero este desarrollo se va a especializar en actuadores dirigidos tanto al ámbito aeronáutico (aeronaves) como aeroespacial (lanzadores espaciales).

Primeramente, se recopilará información de los diferentes actuadores existentes en el mercado, estudiando su modo de funcionamiento y posibles fallos existentes. Se evaluará la influencia del fallo mecánico en el actuador y se recopilarán las distintas técnicas utilizadas para solucionarlos. Una vez se haya recopilado toda la información necesaria, se formulará un contexto con una descripción detallada de los pasos a seguir para la realización del trabajo. Seguido, se expondrán los objetivos a conseguir y el alcance del trabajo. A continuación, se mencionarán los beneficios del proyecto, clasificándolos en beneficios técnicos, científicos y sociales.

Segundo, se estudiarán los diferentes tipos de los actuadores, donde se clasifican según su movimiento (rotativos y lineales) y según su modo de funcionamiento (hidráulico, neumático, eléctrico e hidrostático) y el estado del arte relativo a ellos. También se presentarán los diferentes tipos de mecanismos antibloqueo existentes, indicando cuáles son los requisitos a tener en cuenta del actuador para realizar la elección del mecanismo idóneo. El apartado finalizará con una sección donde se compararán y se mostrarán el conjunto de ventajas y desventajas de los actuadores con y sin mecanismo antibloqueo y una conclusión sobre los beneficios de la incorporación de los actuadores antibloqueantes en el mercado.

A continuación, se expondrán las distintas alternativas al sistema antibloqueo perteneciente a un actuador lineal electromecánico. Se explicarán cada una de ellas y se clasificarán según su utilidad y su capacidad de prevenir fallos. Por último, se presentará la solución escogida a desarrollar en este trabajo, exponiendo los motivos por los que se ha decidido diseñar ese mecanismo antibloqueo en concreto y las ventajas y desventajas que tiene.

Una vez detallado el actuador y el mecanismo antibloqueo, seguirá un apartado de metodología donde se detallará tanto el diseño de detalle como el funcional del actuador. Por una parte, el diseño de detalle presenta el diseño del actuador, representándolo en su forma más sencilla, en cambio, el funcional incide más sobre cómo se han diseñado el conjunto de componentes para su correcto funcionamiento. Se detallará cómo a través del software Catia V5 se ha realizado el diseño del mecanismo antibloqueo en 3D, teniendo en cuenta sus grados de libertad y su capacidad de movimiento. También se fabricará un modelo de ingeniería por medio de piezas impresas en 3D, donde se verificará el correcto funcionamiento del mecanismo antibloqueo. Para finalizar, se estudiarán las diferentes aplicaciones que este

actuador antibloqueo puede llevar a cabo en la industria, enumerando sus ventajas y sus desventajas.

La última parte del trabajo se compone de una sección que muestra las diferentes tareas realizadas y el tiempo requerido para ellas, que se visualiza a través del diagrama de Gantt. Seguido, un apartado donde se recoge el presupuesto total del proyecto, desglosando este en varios sectores y un análisis de riesgos donde se contemplan los posibles inconvenientes a la hora de ejecutar el proyecto. Para todo ello, se ha utilizado el software Microsoft Project, el cual es un programa de administración de proyectos que permite introducir tareas, eventos, presupuestos y tiempo y organizarlos adecuadamente. Por último, se presenta una sección de bibliografía donde se incluirán las direcciones de las páginas webs e informes que han sido utilizados como fuente de información en el trabajo.

4. CONTEXTO

El trabajo trata sobre el diseño y análisis de un actuador lineal electromecánico antibloqueante. El desarrollo del proyecto se realiza en las instalaciones de la empresa SENER Aeroespacial (Las Arenas, Getxo). A continuación, se realiza un resumen general de la empresa, para que el lector pueda conocer cuál es y cómo ha ido evolucionando hasta la actualidad, momento en el que se ha realizado el presente trabajo.

4.1. Historia de SENER

La empresa SENER se fundó el 15 de junio de 1956 por el ingeniero naval Enrique de Sendagorta, convirtiéndose así en la primera ingeniería española de propiedad privada. Los comienzos de SENER son en Bilbao, como una empresa centrada únicamente en proyectos de ingeniería naval. Más adelante, en 1960, José Manuel de Sendagorta, hermano del fundador, se incorpora a SENER. A partir de entonces, los proyectos de la empresa se expanden al área industrial, plantas de procesos, obras marítimas, sector petroquímico e ingeniería civil.

A medida que la empresa se afianza en la industria con un gran número de proyectos exitosos, comienza a expandirse tanto nacional como internacionalmente mientras amplía sus actividades de ingeniería. Es por eso por lo que, en 1986, SENER comienza una estrategia de participación en iniciativas industriales basadas en desarrollos tecnológicos propios, que culmina con la creación de SENER Grupo de Ingeniería.

En 2001, SENER se adentra en una nueva sección de negocio centrada en el diseño y en la producción en serie de Sistemas de Actuación y Control para los mercados de Defensa y Seguridad, Aeronáutica, Ciencia y Sistemas Médicos, la cual derivará en el área en el que se encuentra situado este proyecto.

A partir de 2001 comienza la expansión de SENER en Sudamérica, inaugurando distintas divisiones en países como Argentina (Buenos Aires), México (México D.F.) o Brasil (São Paulo y Río de Janeiro). Además, la ESA (Agencia Espacial Europea) asigna un gran número de proyectos a la empresa, por lo que su importancia en actividades aeroespaciales y aeronáuticas se ve fuertemente impulsada.

En el año 2014 abre una división en India y en Reino Unido (Manchester) y ya dispone de una plantilla de más de 2000 trabajadores repartidos a lo largo del mundo por un gran grupo de oficinas y centros de ensayos.

En 2016, SENER cumple con un total de 50 años en el sector espacial, al que ha suministrado más de 300 equipos que pueden presumir de no haber sufrido fallo alguno.

En 2019, el grupo SENER se estructura en tres grandes pilares: SENER Aeroespacial, SENER Engineering y SENER Renewable Investments. Hoy en día, el Grupo SENER se encuentra organizado de acuerdo con el siguiente esquema, Ilustración 1, siendo SENER Aeroespacial uno de los pilares fundamentales, pilar el cual acoge el proyecto desarrollado.



Ilustración 1 Estructura Grupo SENER

4.2. SENER Aeroespacial

Como se ha mencionado antes, tras más de 50 años de experiencia en el ámbito espacial y de vuelo junto con exitosa calificación de los diferentes proyectos y equipos, SENER Aeroespacial se desvincula de la empresa SENER en 2019. A pesar de seguir formando parte del Grupo SENER, SENER Aeroespacial se trata de una empresa completamente independiente en la que se llevan a cabo todas actividades que se realizaban con anterioridad en esta división. Así, surge la empresa constituida por más 700 empleados que se encarga de entregar equipos de una muy alta tecnología e innovación a las empresas más importantes y OEMs (Original Equipment Manufacturers) del mundo. Actualmente, son más de 11.000 equipos firmados con estos clientes.

El alcance de SENER Aeroespacial está claramente diferenciado en 3 grandes sectores Espacio, Defensa y Ciencia.

En Espacio, SENER Aeroespacial ofrece servicios de ingeniería y producción en cuatro ámbitos de actividad, donde tiene capacidad para suministrar equipos y sistemas completos:

- Componentes y sistemas electromecánicos (de despliegue, de precisión y electrónica de control).
- Antenas orientables.
- Sistemas de navegación y control de actitud (GNC/AOCS).
- Microgravedad y sistemas de soporte a vida.

En Defensa, SENER es suministrador de sistemas electromecánicos, sistemas para submarinos y servicios de modernización de helicópteros. También es suministrador en aeronáutica y vehículos. SENER Aeroespacial, además de desarrollar líneas de fabricación

aeronáuticas, ofrece servicios de ingeniería tanto para aeronaves como para material móvil ferroviario. Es en el ámbito de los componentes y sistemas electromecánicos en el que se desarrolla este proyecto.

4.3. Actuadores en Aeronaves

El sistema de actuación es un factor clave en la aeronave, que impulsa la superficie de control primaria, Ilustración 2, para modificar el comportamiento de la aeronave y la trayectoria de vuelo. Durante mucho tiempo, el sistema de accionamiento de aeronaves pesadas ha sido simplemente accionado por energía hidráulica, Ilustración 3. Sin embargo, con el objetivo de cumplir con los requisitos de seguridad establecidos, surge una demanda en el avión que ha motivado a la adopción de sistemas hidráulicos redundantes e independientes, utilizando actuadores hidráulicos similares. De esta forma tras el fallo de uno de ellos, el actuador redundante queda totalmente operativo para tomar el control de la superficie de vuelo.

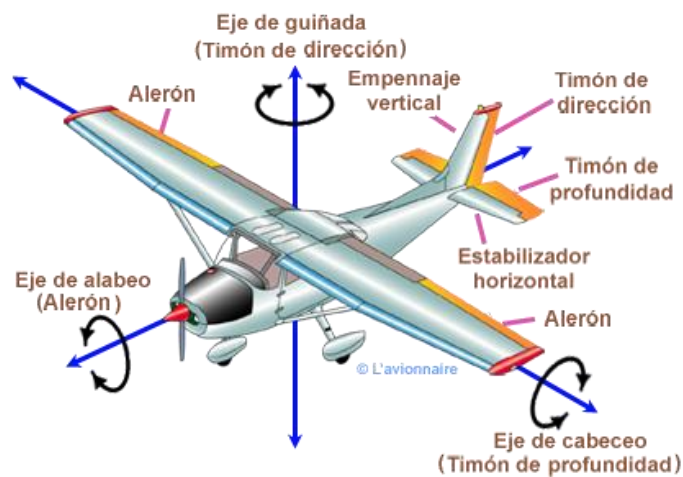


Ilustración 2 Mandos de control primario de las aeronaves

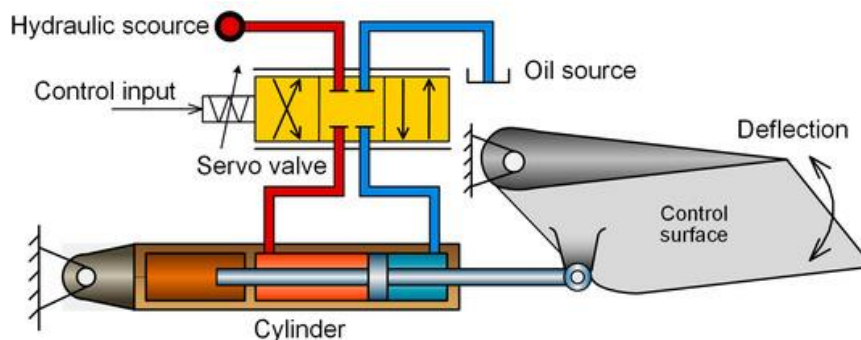


Ilustración 3 Sistema de control hidráulico

Los sistemas hidráulicos son muy complejos y pesados, por lo que cada vez se instalan más sistemas eléctricos allá donde sea posible. Por ello, avanzando hacia el avión más eléctrico, una configuración de actuador híbrido brinda la oportunidad de introducir un actuador electromecánico, Ilustración 4 Sistema de control híbrido (Hidráulico/Mecánico). Entonces, a través de un sistema de actuación híbrido, que consiste en un actuador electro-hidroestático y un actuador electromecánico, se obtiene una mejora en la fiabilidad del sistema y un gran paso para el diseño avanzado de aeronaves más eléctricas. El enfoque “más eléctrico” permite reducir el número de funciones del sistema de transferencia de energía y utilizar el potencial de la electrónica de potencia, sistemas de distribución eléctrica tolerantes a fallos y actuadores de motores para aumentar el rendimiento y reducir los costos. Por lo tanto, se combinan los méritos de ambos que evitan los posibles fallos y mejorar la robustez del sistema de actuación. Una desventaja de este sistema es que el acoplamiento entre los dos actuadores es normalmente un acoplamiento en paralelo. Esto significa que en todo momento ambos actuadores están funcionando, uno como actuador principal y otro como esclavo. Naturalmente, el actuador principal es el hidráulico, que tras un fallo de este o detección de pérdidas de presión, se inhabilita mediante un bypass y el actuador electromecánico, que ha sido esclavo del hidráulico hasta el momento, toma el control de la actuación. Una gran desventaja es que, al estar el sistema electromecánico siempre en funcionamiento, no se reduce la probabilidad de que falle por bloqueo mecánico, que es el modo de fallo más crítico de este tipo de actuadores.

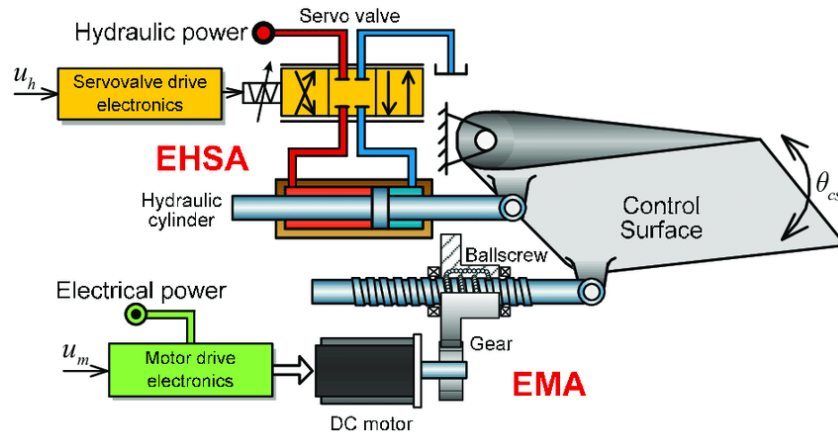


Ilustración 4 Sistema de control híbrido (Hidráulico/Mecánico)

Por otro lado, los aviones también están considerando cada vez más la utilización de únicamente los actuadores electromecánicos, con el fin de reemplazar los sistemas hidráulicos y los híbridos, Ilustración 5. Las ventajas incluyen la reducción peso del sistema, facilidad de mantenimiento y potencial para una mayor precisión en el control. La introducción de los actuadores electromecánicos podría reemplazar los sistemas hidráulicos y facilitar la transmisión de potencia, usando cables eléctricos en lugar de tuberías, así como la eliminación de la infraestructura de mantenimiento.

Estos actuadores son igualmente válidos para aplicaciones tales como sistemas de control de vuelo primarios y sistemas de tren de aterrizaje, sin embargo, la ausencia de mecanismos de confianza a prueba de eliminar el fallo crítico de bloqueo mecánico (bloqueo del husillo) ha hecho que sea un desafío introducir los actuadores electromecánicos en dichos sistemas.

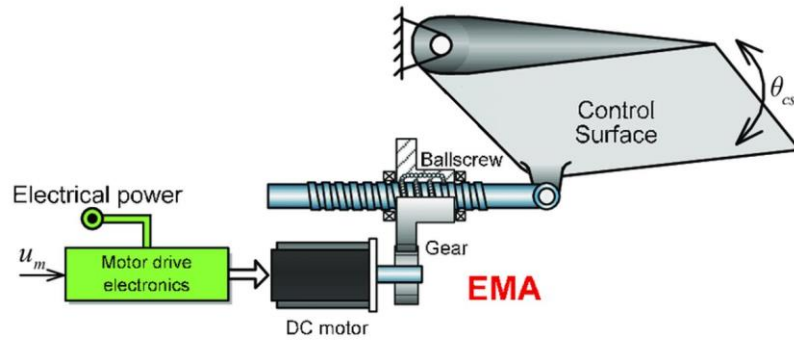


Ilustración 5 Sistema de control electromecánico

Por último, en la Ilustración 6 Tipos de control de las aeronaves se puede observar los diferentes tipos de actuación mencionados anteriormente. Primeramente, el sistema de actuación electro-hidrostático, seguido del electromecánico y, por último, el sistema de actuación hidráulico.

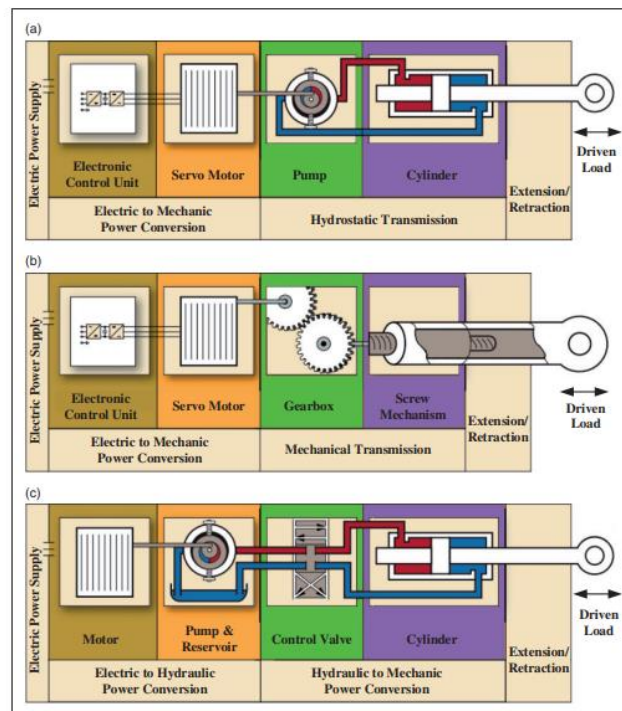


Ilustración 6 Tipos de control de las aeronaves

4.4. Desarrollo del proyecto

El proyecto se lleva a cabo a través del ordenador ofrecido por la empresa SENER Aeroespacial, al igual que a través del ordenador particular del alumno. Se han utilizado diversos programas como Word, Project y Excel, pertenecientes a Microsoft Office. Mediante estos programas se ha llevado a cabo principalmente la redacción del documento, tablas de componentes y organización del proyecto.

A través del ordenador, se ha buscado la información necesaria y el estado del arte de los distintos actuadores existentes para comenzar con el inicio del proyecto y con ello la redacción del documento, y más adelante, se consultarán papers y patentes más específicas para lograr un diseño óptimo del mecanismo antibloqueo.

Por otro lado, gran parte del desarrollo del diseño del actuador y del mecanismo antibloqueo se ha desarrollado utilizando un programa de diseño asistido por ordenador CAD. La realización de este diseño ayuda a analizar el funcionamiento del mecanismo antibloqueo, así como la definición de los planos del conjunto necesarios para fabricar el conjunto de componentes. El programa de diseño que se ha utilizado es el software Catia V5, bajo una licencia perteneciente a la empresa SENER Aeroespacial. Se ha elegido este programa por su gran versatilidad, ya que este contiene una gran variedad de espacios de trabajo, como modelado de piezas, formación de conjuntos, cinemática de conjuntos, renderizado, etc. Catia es un software reconocido mundialmente y puede ser aplicado a una gran variedad de industrias como aeronáutica y defensa, automovilística, equipamiento industrial, altas tecnologías y construcción de barcos.

El paso final del trabajo será la fabricación de un modelo de ingeniería del mecanismo antibloqueo, utilizando los modelos 3D provenientes del CAD. Para conseguirlo, se utilizará la impresora 3D ubicada en la empresa. Se ha decidido realizar esta impresión en 3D en plástico debido a su reducido coste, su corto tiempo de fabricación y su acabado de alta calidad. Por estas características, cada vez es más frecuente la fabricación de piezas a través de este método, dejando de lado materiales metálicos o naturales. Concretamente, se utilizará la impresora Stratasys Dimension1200es y el programa de ordenador CatalystEX, el cual hace de intermediario entre el sólido finalizado a imprimir y la impresora 3D en cuestión. Además, este programa permite elegir tanto el tipo de material de la pieza, la escala, sus acabados superficiales y la dirección de impresión lo cual posibilita la fabricación de la pieza de una manera óptima.

Una vez finalizado el modelo de ingeniería, se comprobará manualmente el funcionamiento del mecanismo. Destacando las ventajas y desventajas que se puedan apreciar e indicando que aspectos del mecanismo antibloqueo se deben mejorar.

5. OBJETIVOS Y ALCANCE

5.1. Objetivos

El principal objetivo del trabajo es estudiar los distintos actuadores y buscar soluciones a los posibles modos de fallo que se hayan podido detectar. En concreto, buscar la solución al problema de fallo por bloqueo mecánico del husillo de un actuador electromecánico. Por tanto, parte del objetivo será diseñar y analizar un mecanismo antibloqueo, el cual permita obtener una alta fiabilidad del actuador.

Por ello, uno de los objetivos del trabajo es estudiar los diferentes tipos de mecanismo antibloqueo existentes actualmente en el mercado y diseñar uno el cual cumpla con todos los requerimientos necesarios.

Otro objetivo de este trabajo es hacer conocer los distintos modos de fallo de los actuadores y hacer llegar al lector las posibles formas de solucionarlos. De esta forma, se impulsará a seguir esta línea de desarrollo y por lo tanto se facilitará su futura y pronta incorporación en el mercado.

5.2. Alcance

Para cumplir con los objetivos descritos anteriormente, se realizarán investigaciones sobre el desarrollo de los existentes actuadores que existen en la industria. Más adelante, se centrarán en los actuadores lineales electromecánicos. Por otro lado, la recopilación de información también se centrará en el análisis y síntesis de los distintos mecanismos antibloqueo existentes para comprender las ventajas y desventajas que estos proporcionan.

Para analizar y comprender el funcionamiento del actuador propuesto y sus ventajas se realizarán las siguientes fases:

- Una vez que se haya recopilado la información, se diseñarán por separado el conjunto partes del actuador y del mecanismo antibloqueo. Al finalizar, se creará un conjunto que permita visualizar sus diferentes configuraciones y posiciones.
- El siguiente paso será el análisis cinemático del actuador. Con este fin, se analizará la movilidad del mecanismo en sus distintas posiciones y se tendrá una idea más clara de su funcionamiento.
- El alcance del proyecto cubre todas las actividades que se han realizado a lo largo del estudio y del diseño del modelo. Todas estas actividades se analizarán en el apartado 10 TAREAS Y DIAGRAMA DE GANTT.

6. BENEFICIOS

En este apartado se exponen los beneficios que conlleva este proyecto. Como todo trabajo, este proyecto tiene una serie de objetivos, los cuales han sido descritos anteriormente, que, al ser cumplidos, proporcionan una serie de beneficios fácilmente distinguibles. Estos, se han dividido en tres grupos principales: técnico, social y económico.

A continuación, se va a desarrollar cada uno de ellos haciendo hincapié en sus puntos más importantes.

6.1. Beneficios Técnicos

Los actuadores lineales antibloqueantes, proporcionan unos beneficios técnicos muy amplios en todos los sectores, en especial en el aeronáutico. El principal beneficio es aumentar la fiabilidad del actuador. En caso de fallo mecánico, este seguiría cumpliendo su función al completo. Esta es una diferencia muy grande en comparación a los actuadores actuales, los cuales tienen una baja fiabilidad a fallo mecánico.

Gracias a este mecanismo antibloqueo, los actuadores redundantes, incluidos en los sistemas en los que no se puede permitir el fallo del actuador, se podrían suprimir, llegando al uso de un solo actuador gracias a su alta fiabilidad y su redundancia interna. Esto concluiría en una mayor facilidad de montaje y una mayor fiabilidad del sistema completo. Es por ello por lo que los beneficios técnicos de esta solución al bloqueo mecánico son muy altos.

6.2. Beneficios Sociales

Uno de los beneficios sociales que este trabajo puede aportar es despertar el interés de otras personas en el ámbito del diseño de actuadores antibloqueantes. Actualmente, se llevan muchos años investigando en esta línea de desarrollo y se ha conseguido avanzar mucho tanto tecnológicamente como mecánicamente, y este proyecto ayuda a que el desarrollo siga adelante.

También, otro beneficio social destacable, es que este estudio sirva para ayudar como fuente de información en futuras investigaciones y líneas de desarrollo sobre actuadores lineales antibloqueantes. Hoy en día, no existe un actuador electromecánico de alta fiabilidad que pueda sustituir al conjunto de actuadoras e instalaciones propuestas actualmente en la aeronáutica.

6.3. Beneficios Económicos

Los beneficios económicos, al igual que los técnicos, son bastante importantes. La alta fiabilidad del actuador a fallo mecánico, como se ha mencionado antes, permite la reducción de actuadores redundantes. Esto conlleva a una reducción de gasto en unidades adquiridas, revisiones y mantenimientos. Es por ello, que la inversión en la compra de un actuador antibloqueante, conlleva a futuro a tener un menor gasto y un sistema más fiable. En el caso del ámbito aeronáutico, las aeronaves actuales llevan una instalación hidráulica compleja que une todos los actuadores, incluyendo los actuadores redundantes los cuales entran en acción en caso de fallo del actuador principal. La reducción de todos estos sistemas a un solo actuador reduciría considerablemente los costes totales de la aeronave.

7. ESTADO DEL ARTE

Por definición, un actuador es un componente que utiliza la energía recibida para realizar un movimiento durante un proceso automatizado. El actuador puede realizar su función gracias a la información que recibe de las unidades de control por medio de la electrónica general. Dependiendo de esa señal recibida, se genera una orden de actuación, que puede ser de varios tipos.

La primera clasificación a tener en cuenta es según su tipo de movimiento. Aquí se pueden encontrar actuadores rotativos y lineales. Más adelante, se clasifican los actuadores dependiendo de su forma de actuación, como se ha mencionado anteriormente. Estos son: neumático, hidráulico, electro-hidroestático, electromecánico.

7.1. Actuador Rotativo

El actuador rotativo, se caracteriza por que su movimiento final se realiza de forma circular. Este movimiento se consigue en la mayoría de los casos mediante la rotación de un motor eléctrico o mediante el intercambio de fluidos entre émbolos. De ambas formas se consigue un movimiento circular y continuado, al que se le puede cambiar el sentido de giro y velocidad.

Estos pueden ser utilizados en una gran cantidad de aplicaciones industriales como en ganchos, apertura y cierre de válvulas o muchos otros. Pero una de las aplicaciones más extendidas es, como se verá más adelante, en actuadores lineales.

En la Ilustración 7 se puede observar un actuador rotatorio de la empresa CRB. Se observa que son muy compactos ya que el motor es el único componente voluminoso. Se puede diferenciar el eje del actuador, el cual asoma de la carcasa, al que va unido rígidamente el rotor del motor.



Ilustración 7 Actuador Rotativo CRB series

7.2. Actuador Lineal

En cuanto a los actuadores lineales, son unos dispositivos que convierte el movimiento de rotación de un motor rotativo (mencionado en el apartado anterior) en un movimiento lineal. También puede producirse el movimiento lineal por medio de la transferencia de fluidos entre émbolos. El movimiento de salida se produce colindante con el mismo eje de salida que lo produce. Es por ello por lo que es posible elevar, ajustar, inclinar, empujar o tirar de objetos pesados o difíciles de alcanzar por medio de la actuación del actuador lineal.

Su instalación es muy fácil ya que normalmente este solo comprende dos puntos de apoyo. El primero va fijo al soporte y el segundo a la parte móvil, la parte que interesa desplazar linealmente.

El conjunto de un actuador lineal es muy sencillo, este consta de un motor, un engranaje de transmisión (opcional) y un eje roscado que incluye una tuerca, denominado comúnmente husillo. Este tipo de actuador tiene infinidad de aplicaciones como desde la apertura de grandes ventanas hasta componentes aeronáuticos de alto valor añadido.

En la Ilustración 8 se puede observar un actuador lineal de la marca BEMONOC. Como se puede distinguir, estos son más voluminosos que los rotativos ya que de alguna forma llevan estos últimos implementados, además del husillo y engranajes pertinentes. También se aprecian los dos puntos de apoyo mencionados anteriormente y la línea del eje de salida, donde se producirá el movimiento lineal.



Ilustración 8 Actuador lineal BEMONOC

7.3. Actuador Neumático

Un actuador neumático convierte la energía de un elemento gaseoso como puede ser el aire en energía mecánica, que como se ha descrito anteriormente, esta puede ser en forma de movimiento de rotación o lineal.

Dentro de los actuadores neumáticos, se puede diferenciar entre dos grandes grupos: Estos se dominan comúnmente como actuadores de simple o actuadores de doble efecto. Los actuadores de simple efecto solo necesitan una válvula de aire, ya que retroceden mediante un acumulador de energía externo como puede ser un muelle. Los actuadores de doble efecto, en cambio, necesitan dos válvulas distintas de aire. Mediante estas dos válvulas se produce el intercambio de fluidos, obteniendo un desplazamiento de la varilla de transmisión. Una de las principales desventajas de este modo de actuación, es la compresibilidad de los gases y la posibilidad de que ocurran rebotes en el funcionamiento del dispositivo. Además de que las presiones de actuación no pueden ser muy elevadas.

En la Ilustración 9 se puede observar un actuador neumático de acción simple. Se consigue apreciar la válvula, la carcasa y el émbolo. También se puede apreciar el muelle que hace que la válvula retorne a su posición inicial.



Ilustración 9 Actuador neumático de válvula de simple efecto

7.4. Actuador Hidráulico

Los actuadores hidráulicos se denominan así, porque para su funcionamiento, estos requieren de una fuerza proveniente de un elemento líquido incompresible, normalmente aceite, el cual, ejerce una presión sobre el final del émbolo, causando el movimiento lineal de este. La incompresibilidad de los fluidos le permite obtener altas presiones de funcionamiento del orden de 300psi además de ser estables con los cambios de temperatura, no como en el caso de los gases.

Son uno de los actuadores más comunes que existen en el mercado, es por ello por lo que su uso se ha extendido mucho a la actuación de máquinas pesadas que manejen grandes

cargas. Estos actuadores ofrecen una gran velocidad y resistencia a las maquinas que los montan.

Los actuadores hidráulicos proporcionan una gran fuerza y sobrecarga además de tener un tiempo de respuesta muy bajo.

No obstante, este tipo de actuadores tiene una desventaja común, y es que, dado que su forma de transferir la energía es mediante un líquido y este debe de trasladarse a grandes presiones y velocidades, es posible es que tengan fugas y escapes, por lo que es de una gran importancia realizarles un gran número de revisiones y mantenimientos. Además, las bombas y tuberías que envían la presión hidráulica al actuador no son independientes, es decir, hay un circuito hidráulico general que envía el fluido utilizado a los distintos sistemas del avión que estén en funcionamiento.

Los actuadores hidráulicos, al igual que los neumáticos, pueden ser de dos tipos: de simple o de doble efecto.

En la Ilustración 10 se puede observar un actuador hidráulico. Se verifica que es de doble efecto ya que contiene dos válvulas, una de carga y otra de descarga de ambos émbolos. Además, se aprecia que el diseño es compacto y sencillo, unos de los muchos motivos por los que son los actuadores más usados en la industria.



Ilustración 10 Actuador hidráulico de doble efecto

7.5. Actuador Electro-hidrostático

Los actuadores electro-hidrostáticos incorporan las bombas y tuberías hidráulicas en el propio actuador. De esta manera se forma un conjunto autocontenido, simplificando las arquitecturas de los sistemas y por tanto reduciendo la posibilidad de que se generen fugas o pérdidas en el circuito. Esto conlleva a una mejora de las prestaciones del actuador, como la reducción de peso y la alta velocidad de actuación. Es una tecnología principalmente desarrollada para la industria aeronáutica y aeroespacial, por su fácil implementación en el sistema y aumento de fiabilidad de los sistemas, pero hoy en día tiene muchas otras aplicaciones.

Como se ha mencionado antes, en vez de tener una fuente de energía hidráulica externa para mover los actuadores, estos se suministran a través de un cableado eléctrico. Este tipo de actuadores son alimentados por cable donde la parte eléctrica del actuador tiene un peso muy importante tanto en el control como en el uso correcto de la energía que es enviada a través de los cables. Estos actuadores reciben la señal y de forma automatizada ponen en marcha la motobomba específica del actuador.

Los actuadores electro-hidrostáticos tienen un menor peso comparándolos con los hidráulicos, y tienen una mayor versatilidad a la hora de colocarlos en el sistema ya que la reducción del enrutamiento interno de las tuberías y el menor peso total del sistema de control lo facilitan.

En la Ilustración 11 se observa un actuador electro-hidrostáticos. Se puede apreciar que el esquema de funcionamiento es muy parecido al actuador hidráulico, pero con el detalle de que tanto la bomba como el acumulador y el motor están incorporados en cada actuador y no para un conjunto de más actuadores, al igual que pasa en los actuadores hidráulicos.

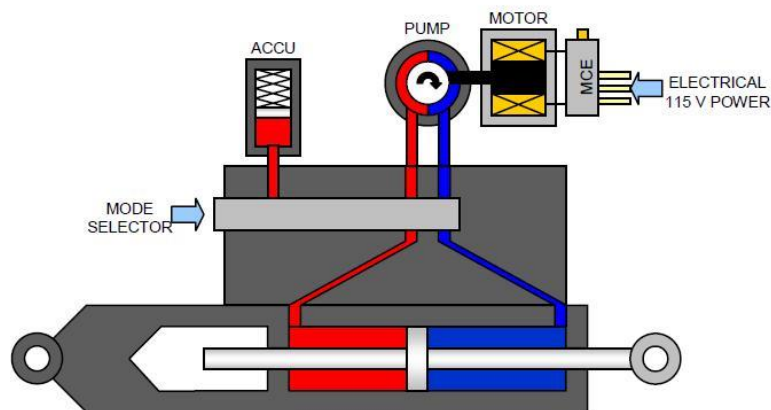


Ilustración 11 Actuador electro-hidrostático

7.6. Actuador Electromecánico

Un actuador electromecánico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica con el objetivo de realizar algún tipo de trabajo, normalmente moviendo algún dispositivo u objeto. Alguna de las muchas aplicaciones es mover objetos como persianas, puertas correderas, la posición de una herramienta u otra máquina, o para mover superficies de control de vuelo en aviones. Estos son solo algunos ejemplos, existen muchos más de ellos que son comunes en todas las fases de la industria y en la vida cotidiana.

Todo dispositivo que convierte la energía eléctrica en algún tipo de movimiento ya sea lineal, rotativo u otro, es un actuador electromecánico. Actualmente, existen una infinidad de dispositivos que cumplen con estas características. Por otra parte, hay un par de tipos específicos de ellos que cubren un porcentaje muy grande de estos dispositivos y se clasifican

de dos maneras, por el tipo de mecanismo que convierte la electricidad en movimiento (husillo) y por la dirección del movimiento lograda (rotativo, lineal).

Uno de los actuadores más conocidos y utilizados es el actuador lineal. Los actuadores lineales más comunes funcionan mediante un motor eléctrico. Los motores eléctricos utilizan una corriente eléctrica para crear un campo magnético, que da como resultado el movimiento giratorio de un eje (actuador rotativo). Para los actuadores lineales, este movimiento giratorio se convierte en movimiento lineal mediante el uso de biela manivela o un tipo de conjunto llamado husillo de tuerca y tornillo. Consiste básicamente en dos ejes ranurados helicoidalmente que se encuentran en paralelo y en contacto entre sí. Uno es girado por el motor eléctrico y, a medida que esta gira, hace trasladar el otro, moviéndolo de forma lineal. Este movimiento se puede realizar tanto girando la tuerca, y por tanto se desplaza el eje, como girando el eje, y por tanto se desplaza la tuerca. Más adelante se explican los distintos tipos de husillo existentes.

En la Ilustración 12 se observa un actuador lineal electromecánico. En esta se puede distinguir el motor eléctrico en paralelo al husillo. Cabe destacar que la disposición del motor puede ser tanto en paralelo como en línea al husillo. Los actuadores electromecánicos son actuadores muy compactos, fiables y muy utilizados en la industria.



Ilustración 12 Actuador electromecánico

7.7. Bloqueo mecánico

A la hora de estudiar los distintos casos en los que puede suceder el bloqueo mecánico, se llega a la conclusión de que este solo puede aparecer en los actuadores electromecánicos. En los actuadores neumáticos e hidráulicos es muy frecuente que tengan pérdidas o que el actuador quede inmóvil por algún fallo en el sistema de transmisión de presión, pero esto tiene una fácil solución incluyendo un bypass en el circuito neumático/hidráulico. De esta forma el actuador quedaría totalmente libre.

En la Ilustración 13 se puede observar un esquema básico de un circuito hidráulico, donde se puede apreciar un bypass mediante la válvula de alivio que serviría para que el pistón quede libre en caso de fallo.

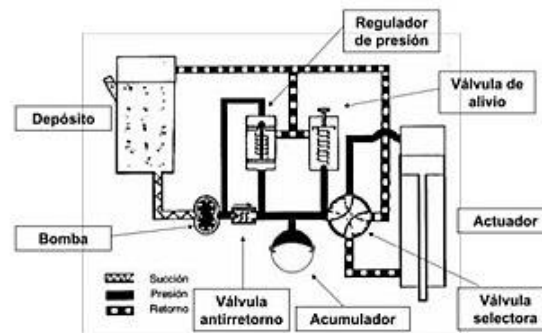


Ilustración 13 Circuito hidráulico básico con bypass

En el caso de los actuadores electromecánicos, en concreto la actuación lineal, sí existe una posibilidad de bloqueo entre la tuerca y el tornillo la cual no puede ser resuelta de forma sencilla, y por ello el actuador queda totalmente bloqueado y no existirá forma alguna de accionarlo o colocarlo en una posición de seguridad neutra. Es por ello, por lo que se van a estudiar los casos de bloqueo mecánico en actuadores lineales electromecánicos, concretamente en el husillo que es el componente que transfiere el par proporcionado por el motor al husillo que realiza movimiento lineal del eje de salida.

Primeramente, es imprescindible describir los diferentes tipos de husillos existentes para transformar el movimiento rotativo en un movimiento lineal. Se pueden clasificar desde el elemento más sencillo como puede ser un tornillo (eje roscado) con una tuerca, hasta un dispositivo más complejo como un husillo de rodillos planetarios. A continuación, se detallarán los husillos más utilizados y las posibles zonas de bloqueo.

7.7.1. Husillo tuerca-tornillo

El sistema tuerca-tornillo es el más simple, está formado por un eje roscado y una tuerca (Ilustración 14) de forma que el movimiento de giro del husillo se convierte en el movimiento rectilíneo de la tuerca o viceversa. Mediante este modo de funcionamiento, siempre está en contacto metal con metal, y por tanto el desgaste y las pérdidas por fricción son elevadas.

Es por ello por lo que la posibilidad de bloqueo mecánico en este tipo de husillos es muy elevada. La alta fricción y desgaste puede provocar fácilmente su bloqueo y por consecuente su inutilización. Este tipo de husillo es muy habitual en aplicaciones de baja velocidad e irreversibles.

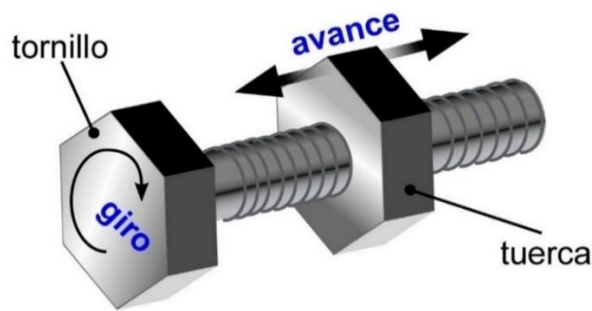


Ilustración 14 Husillo tuerca-tornillo

7.7.2. Husillo de bolas

El husillo más usado en la maquinaria industrial y de precisión, es el husillo de bolas Ilustración 155. En este caso no existe esta elevada fricción entre la tuerca y el eje, sino existe rodadura entre bolas de acero y los carriles helicoidales. De esta forma, el eje roscado está en contacto con las bolas y estas a su vez con la tuerca, obteniéndose un movimiento preciso y suave. Las cargas pasan a través de las bolas por medio de la superficie de contacto entre ambos elementos.

Los husillos de bolas están compuestos por un eje que es un tornillo sinfín que proporciona la trayectoria de rodadura helicoidal de las bolas, una tuerca que se desplaza en relación con el eje de forma longitudinal, un número determinado de bolas de acero que ruedan entre la tuerca y el tornillo para disminuir la fricción e incrementar la velocidad de movimiento de la tuerca y finalmente un sistema de recirculación de las bolas de acero.

Al contrario del husillo tuerca-tornillo, los husillos de bolas tienen una eficiencia mucho mayor y una alta fiabilidad. El bloqueo mecánico es muy poco probable, pero no imposible, y es por ello por lo que es uno de los husillos más utilizados en la industria. Unos de los modos de fallo más habituales son el marcado o rotura de las bolas, rotura de la recirculación de las bolas o la alta carga de funcionamiento.



Ilustración 15 Husillo de bolas Hiwin

7.7.3. Husillo de rodillos

Un husillo de rodillos es un actuador mecánico similar a un husillo de bolas que utiliza rodillos como elementos de transferencia de carga entre la tuerca y el tornillo en lugar de bolas.

Al proporcionar más puntos de contacto que los husillos de bolas y con ello una mayor superficie de apoyo, soportan una capacidad de carga mayor. Por otra parte, ofrecen una alta eficiencia (75% - 90%) a velocidades bajas y mantienen una muy alta eficiencia (90% - 95%) a velocidades altas. Los husillos de rodillos superan a los husillos de bolas en cuanto a capacidad de carga, precisión de posicionamiento, velocidad, aceleración, rigidez y vida útil. Por el contrario, el funcionamiento de estos es de una complejidad elevada.

Los tres elementos más característicos de un husillo de rodillos planetarios son el eje del tornillo, la tuerca y los rodillos planetario. El tornillo, se compone de un eje con una rosca helicoidal que proporciona una pista de rodadura para múltiples rodillos dispuestos radialmente alrededor del tornillo y encapsulados por una tuerca roscada. La rosca del tornillo es idéntica a la rosca interna de la tuerca. Los rodillos giran en contacto al eje y a la tuerca y sirven como elementos de transmisión de carga de bajo coeficiente de fricción entre la tuerca y el eje roscado. Al igual que con un sistema de tuerca-tornillo o un husillo de bolas, la rotación de la tuerca da como resultado el movimiento lineal del tornillo y la rotación del tornillo da como resultado el movimiento lineal de la tuerca.

Los tipos de husillos de rodillos se definen por el movimiento de los rodillos en relación con la tuerca y el eje roscado. Los dos tipos de husillo de rodillos más comunes en el mercado son: planetarios (Ilustración 16), invertido (Ilustración 17).

Los husillos de rodillos, al igual que los de bolas, tienen una alta eficiencia y por tanto también una alta fiabilidad a bloqueo mecánico. Por otra parte, por su mayor número de superficies en contacto y alta carga transmitida, las posibilidades de bloqueo mecánico son mayores que en el husillo de bolas.

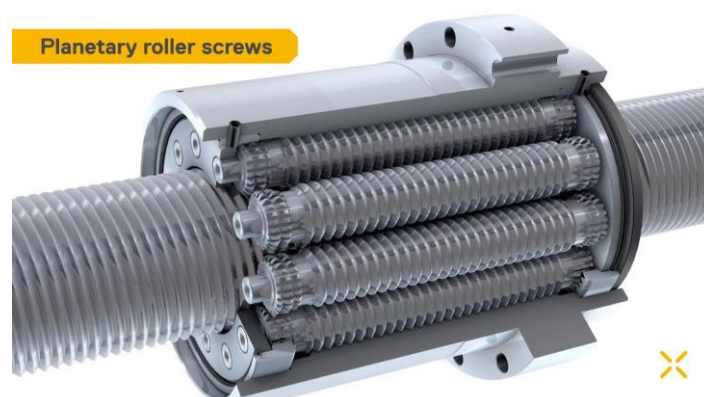


Ilustración 16 Husillo de rodillos planetarios

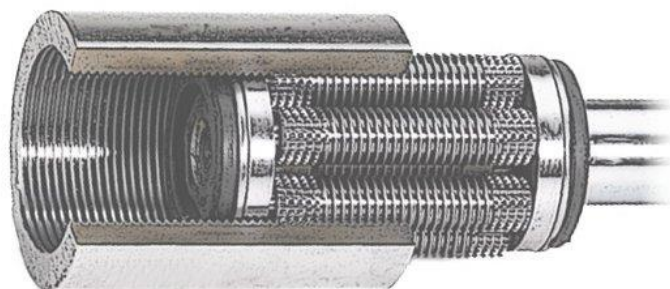


Ilustración 17 Husillo de rodillos planetarios invertido

7.8. Mecanismos antibloqueo

Primeramente, es importante distinguir entre dos tipos de mecanismos antibloqueo, por lo tanto, los actuadores se pueden clasificar según su tipo de mecanismo antibloqueo como Tolerante a Bloqueos (TB) o Libre de Bloqueos (LB). En el primer caso, después de suceder el bloqueo, el actuador se mueve tras un fallo de forma libre bajo la acción de una carga externa, en cambio, en el segundo caso, el actuador mantiene una operatividad parcial o total.

El enfoque tolerante a bloqueo (TB) es equivalente a la implementación de un mecanismo antibloqueo simple. En este caso, el bloqueo es detectado por un sistema de control y el actuador se desconecta (transformando el movimiento del actuador a una condición de movimiento libre). En este caso, la función de control del sistema puede ser realizada por un actuador redundante.

Por otra parte, el enfoque libre de bloqueos (LB) se asemeja a la implementación de un mecanismo antibloqueo más complejo que permita el control del actuador de forma continuada. Este dispositivo debe enviar el flujo de potencia por otro camino distinto realizando una conexión y desconexión automatizada entre varios componentes variando el camino de transmisión. De esta forma, no sería necesario el uso de un actuador redundante para el continuado funcionamiento del sistema, la redundancia la lleva implícita el mecanismo antibloqueo.

Para facilitar la futura elección del tipo de mecanismo antibloqueo es necesario dar unas definiciones, para visualizar con mayor facilidad sus características y sus puntos fuertes y débiles.

- Definición de "suma de velocidad" y "suma de fuerza/momento"

En general, los conceptos de redundancia de los actuadores electromecánicos lineales pueden distinguirse entre configuraciones de "suma de velocidad" y "suma de fuerza".

En cuanto a la "suma de velocidad", los actuadores individuales se instalan en serie, de modo que la velocidad común de la configuración del actuador es la suma de las velocidades de los actuadores individuales.

Sin embargo, en las configuraciones de "suma de fuerzas", los actuadores se instalan en paralelo y las fuerzas que actúan sobre la superficie de control se suman. En consecuencia, el término "suma de par" se utiliza para motores rotativos.

Las configuraciones de suma de fuerza (par) generalmente están más relacionadas con los actuadores TB mientras que LB con configuraciones de suma de velocidad.

- Definición y clasificación de la verificación

La verificación se define como la capacidad de prueba de los mecanismos antibloqueo. Normalmente este tipo de prueba es factible, mientras que, para los dispositivos de disparo único, no se puede lograr una cobertura total de la prueba, por ejemplo, un dispositivo pirotécnico.

Para mecanismos totalmente verificables, todos los componentes se prueban en todas las condiciones críticas, por ejemplo, el bloqueo mecánico deberá aliviarse en condiciones de carga completa.

- Definición y clasificación de reinicio

El reinicio de un mecanismo antibloqueo se define como la posibilidad de restablecerse automáticamente. Si no se implementa ninguna oportunidad de reinicio, el mecanismo se usa como un dispositivo convencional de disparo único.

Preferiblemente, los mecanismos de reinicio manual están diseñados con fuerzas de activación sustancialmente más pequeñas de lo que sería necesario para volver a conectar el mecanismo automáticamente. La fuerza de activación relativamente pequeña libera energía almacenada en el dispositivo que completa el proceso de desconexión. Para la reconexión, un actuador externo debe aplicar fuerza al mecanismo para reactivar la energía almacenada, por ejemplo, la compresión un resorte liberado.

Su diseño solo necesita proporcionar un fácil acceso para las herramientas de reinicio y, por lo tanto, es muy compacto y ligero.

En resumen, la Ilustración 18 muestra las opciones más relevantes para evaluar la capacidad de prueba y el reinicio de la desconexión de dispositivos. Según los niveles seleccionados, las tendencias registradas se refieren al ámbito de la seguridad y el peso, la compacidad y la complejidad del diseño mecánico en sí.

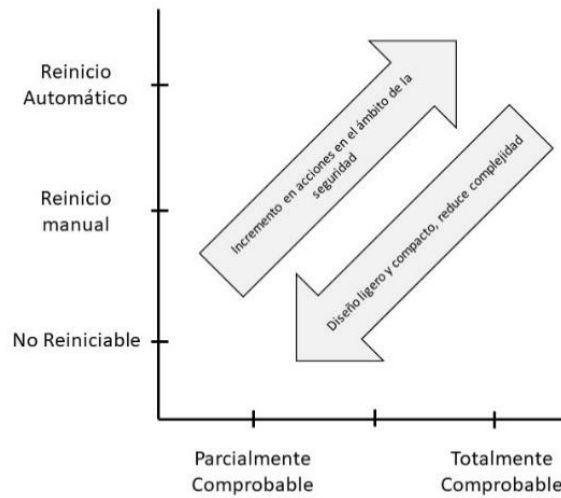


Ilustración 18 Opciones de reinicio y verificación

- Definición de actuadores "n x carrera"

El concepto de mecanismo antibloqueo puede tener un fuerte impacto en el diseño de los otros componentes del actuador, sobre todo en la carcasa y el peso total. Usando la carrera nominal como una longitud característica natural de un actuador lineal, se define el término actuador "n x carrera". El parámetro n especifica la longitud mínima del actuador como el múltiplo requerido de la carrera nominal del actuador en el actuador retraído posición. La Ilustración 19 muestra ejemplos de un diseño de "1 x carrera", "2 x carrera" y "3 x carrera".

Los diseños de "2 x carrera" y "3 x carrera" conducen a un aumento de la longitud del actuador o del diámetro del actuador mediante un diseño concéntrico o telescópico, en comparación con diseños de "1 x carrera" o diseños de actuadores sin mecanismo antibloqueo.

Hay una elección de diseño básica para el mecanismo antibloqueo que afecta fuertemente a la carcasa del actuador, esta es la elección de si este se basa en una desconexión entre elementos giratorios o de traslación.

La desconexión de elementos giratorios suele implicar un menor nivel de fuerzas a transmitir por el mecanismo en su estado conectado y permite un diseño más compacto y ligero. Como el eje del tornillo tiene que moverse axialmente después de un bloqueo mecánico de la tuerca primaria, este da como resultado un diseño de "3 x carrera" (Ilustración 19, derecha).

Al aplicar un diseño basado en la desconexión de elementos en traslación, este tiene que transmitir las cargas completas en su estado conectado y aun así poder desconectarse de manera fiable. Esto afecta negativamente el tamaño y el peso del mecanismo. Pero

dependiendo de la posición de este en el flujo de transmisión se puede realizar un actuador de "1 x carrera" o "2 x carreras" (Ilustración 19, izquierda y central).

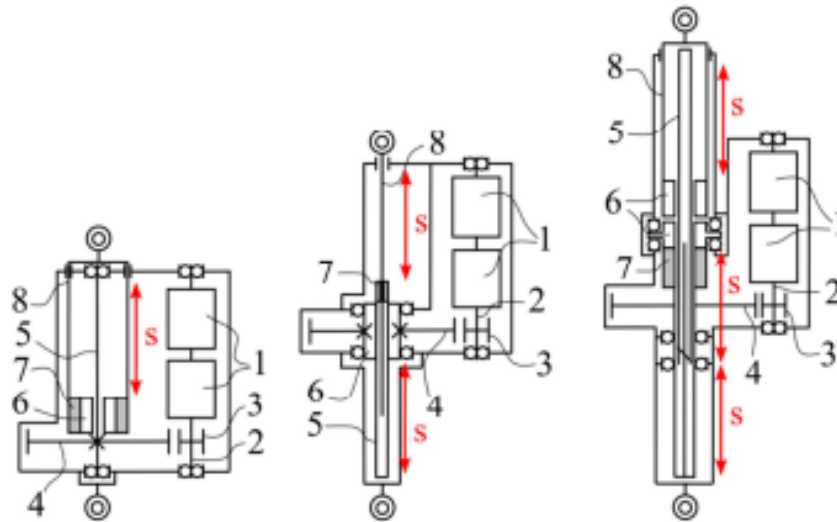


Ilustración 19 Ejemplo de "1 x carrera", "2 x carrera", "3 x carrera"

7.9. Conclusión

Una vez estudiado el estado del arte anteriormente descrito, se llega a la conclusión de que existen muchos tipos de actuadores ya sean lineales o rotativos o neumáticos, hidráulicos o eléctricos. En lo referente a los actuadores lineales, se ha visto cómo tanto el actuador neumático como el actuador hidráulico puede tener posibles fallos como fugas y tienen unas instalaciones muy grandes y complejas, comunes con otros instrumentos. Es por esto por lo que el actuador electromecánico reduce la complejidad de la instalación significativamente, incluyendo el peso y la dificultad de montaje. Por el contrario, los actuadores mecánicos tienen la problemática del fallo por bloqueo del husillo, problema que no tienen los neumáticos hidráulicos por la posibilidad de la instalación de una válvula bypass.

Por esto, el estudio de los distintos tipos de bloqueo mecánico ha sido necesario y se ha llegado a la conclusión de que usando un husillo de bolas o de rodillos se consigue una fiabilidad del sistema muy alta e integrando un mecanismo antibloqueo, se consigue una redundancia mecánica en el propio actuador.

En cuanto al mecanismo antibloqueo, se llega a la conclusión de que este debe de ser reinicializable y verificable para ofrecer una mayor operabilidad al actuador, además de ofrecer una muy alta fiabilidad. También, para reducir las dimensiones del actuador el mecanismo debe de desconectar elementos en traslación y no de rotación, obteniendo así un actuador de longitud "1 x carrera" o "2 x carreras".

8. MECANISMO ANTIBLOQUEO

Como se ha visto en el estado del arte, existen muchas características importantes a la hora de definir un mecanismo antibloqueo. A continuación, se van a recopilar los distintos mecanismos antibloqueo existentes en el mercado para realizar un análisis de alternativas. También, se dará una breve descripción de los diferentes mecanismos, para así entender sus funcionamientos básicos. De esta forma se podrán recopilar ideas para el posterior diseño y acercarse al mecanismo ideal.

Le seguirá un apartado donde basándose en los mecanismos descritos y unos criterios de selección, los cuales se definirán más adelante, se escogerá el mecanismo antibloqueo óptimo, el cual más se ajuste a los requisitos del proyecto.

8.1. Análisis de alternativas

Primeramente, se describirá el funcionamiento de una serie de mecanismos tolerantes a bloqueos:

Tolerante a bloqueo con discos rotativos

Es un actuador electromecánico tolerante a bloqueos con una desconexión activa entre la tuerca de traslación y el eje de salida. En este tipo de mecanismo antibloqueo, existen una serie de resaltes y ranuras en forma de dientes tanto en la parte superior de la tuerca como en el diámetro interior de la placa de bloqueo. Cuando los resaltes se engranan entre sí, el flujo axial de fuerzas del actuador es transmitido a través de la placa de bloqueo a la tuerca para desacoplar el dispositivo de desconexión. En este caso, el actuador tolerante a bloqueos da como resultado un actuador de "1 x carrera". En la Ilustración 20, se puede observar dicho mecanismo antibloqueo propuesto.

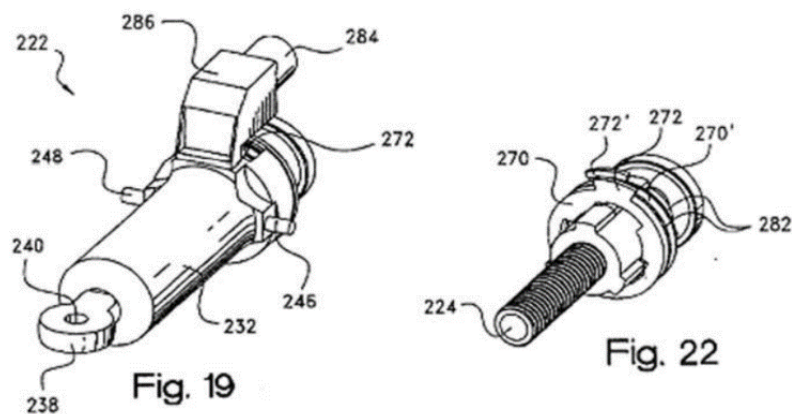


Ilustración 20 Actuador con discos rotativos

Tolerante a bloqueo con embrague rotatorio

Se puede conseguir un actuador electromecánico tolerante a bloqueos mediante un embrague giratorio, dos tuercas y un eje de husillo.

En el estado acoplado del mecanismo, la primera tuerca es accionada por un motor eléctrico de modo que la tuerca y el eje de salida se muevan a la par. La segunda tuerca, que se implementa en el mismo eje del husillo, se apoya axialmente en la carcasa del actuador y está conectado a la rueda dentada a través del embrague giratorio. En el estado acoplado del mecanismo, la segunda tuerca gira de forma síncrona con la rueda dentada y el eje por lo que no se produzca ninguna traslación relativa entre la segunda tuerca y el eje del husillo de bolas.

En caso de un bloqueo mecánico, el embrague rotativo es activado y el grado de libertad giratorio entre la segunda tuerca y el eje del husillo es activado. Dado que el eje del husillo se puede mover en dirección axial, la traslación relativa entre la segunda tuerca y el eje del husillo está permitida y el actuador está desacoplado.

Tolerante a bloqueo con freno

El funcionamiento de un actuador electromecánico tolerante a bloqueos mediante frenos se basa en dos tuercas, un eje de tornillo largo (2 x carrera) y un freno eléctrico que activa/desactiva el dispositivo antirrotación.

En el estado acoplado del mecanismo, la tuerca primaria es accionada directamente por el motor eléctrico, de modo que el eje del husillo, cuya rotación está restringida por el dispositivo antirrotación que es mantenido fijo por el freno eléctrico, mueve la tuerca secundaria, que está restringida para girar por su dispositivo antirrotación con la carcasa del actuador.

En caso de un bloqueo mecánico, el freno eléctrico se desacopla. Se permite la rotación y esta es la que induce la traslación de la tuerca secundaria.

El bloqueo puede ocurrir en cualquier posición de la carrera de la tuerca primaria, por ello, una parte del eje es utilizada tanto por la tuerca primaria como por la secundaria (2 x carrera). En el caso de una configuración de carrera de “3 x carrera”, no hay ninguna parte del eje del tornillo que se comparta entre la tuerca primaria y secundaria.

Tolerante a bloqueo con husillos separables

La siguiente sección trata de husillos separables (Ilustración 21), en los que se produce el desacoplamiento directamente en los rodillos del husillo. En funcionamiento normal, cada uno de los motores eléctricos acciona una tuerca, que acciona el eje del husillo a través de los

rodillos. Para cada dispositivo de desconexión, la tuerca y los dos anillos de los extremos, están divididos en varias partes. Las conexiones elásticas sujetan los anillos y la tuerca juntos.

Para desacoplar una tuerca, se alimenta con electroimanes el accionamiento de las rampas y mecanismos de antibloqueo. Las secciones cónicas de las rampas y los mecanismos de bloqueo son empujadas debajo de la sección cónica de los rodillos, de modo que los rodillos se levanten radialmente hacia afuera y por tanto el flujo de fuerzas del actuador se corte entre los rodillos y el eje del tornillo del rodillo.

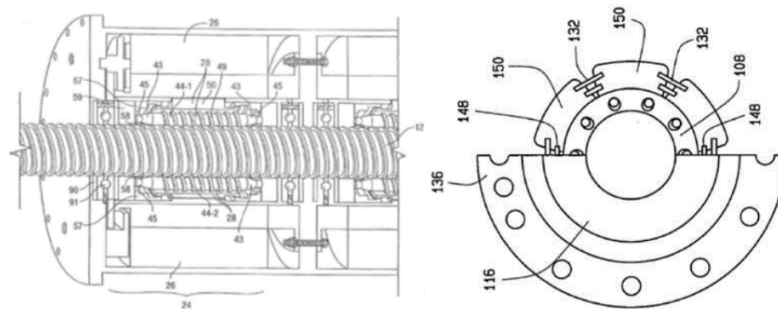


Ilustración 21 Actuador con rodillos separables

Tecnologías pirotécnicas

En esta sección se describe un dispositivo pirotécnico de desconexión de husillos de bolas. Las bolas del husillo se colocan dentro de los agujeros radiales del primer eje y en los agujeros cónicos del segundo eje. Además, el manguito de bloqueo mantiene las bolas en su posición. En estado cerrado, un resorte de compresión empuja el manguito de bloqueo contra el segundo eje. Para desacoplar el mecanismo, se utiliza un activador, de modo que la presión del gas sube dentro de la cámara de combustión. La fuerza del resorte se supera, de modo que las bolas se liberan. Las cargas de tracción aplicadas en el primer eje provocan un movimiento radial de las bolas, de manera que el mecanismo se desacopla. En la Ilustración 22, se puede observar un mecanismo antibloqueo pirotécnico.

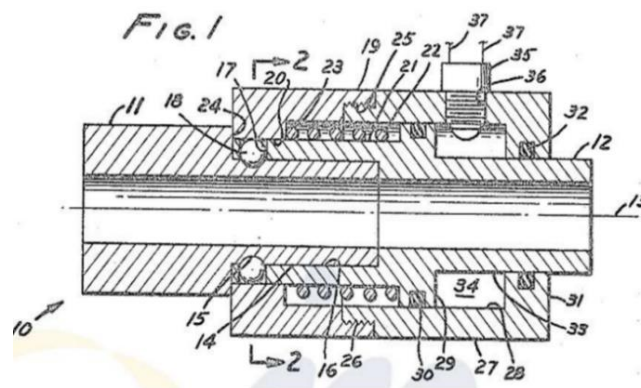


Ilustración 22 Actuador con desacople pirotécnico

A continuación, se describirán mecanismos libres de bloqueos:

Diferencial

El actuador de husillo de bolas conduce el flujo de potencia a través un diferencial. Una primera de estas rutas de potencia está acoplada a un conjunto de husillo de bolas doble por medio de una tuerca. Un segundo camino del diferencial se acopla al conjunto de un manguito que tiene una parte estriada que se acopla con el eje para moverse axialmente través del él.

La tuerca giratoria y la tuerca del manguito tienen conductores iguales pero opuestos que proporcionan características de suma de movimiento. Un bloqueo interno de uno de los husillos simplemente modifica la trayectoria del flujo de potencia a través del diferencial, pero no afecta a la carrera o la relación de velocidad del actuador. En la Ilustración 23, se puede observar el esquema del mecanismo presentado en la patente 5144851.

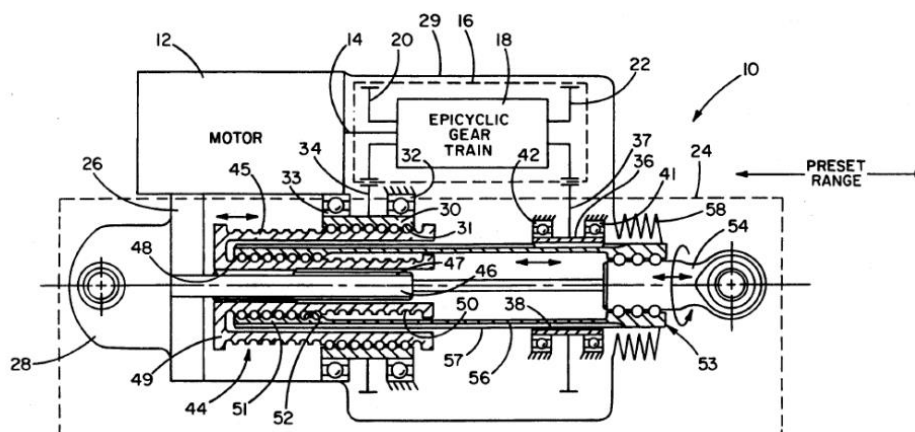


Ilustración 23 US Patent 5144851 Actuador con diferencial

Telescópicos

Un actuador telescópico (Ilustración 24) es del tipo "3 x carrera". En la condición de operación normal, el husillo de bolas interno es el que mueve la carga útil. Si se produce un bloqueo, el husillo de bolas exterior puede completar la carrera y volver a la posición inicial. Uno de los problemas fundamentales de este tipo de actuador es que el rango de movimiento que puede llegar a tener el actuador tras el bloqueo mecánico depende totalmente de la posición del husillo principal. Si el bloqueo ocurre en su posición de inicio, el actuador podrá recorrer su carrera completa tras el bloqueo, en cambio si el fallo ocurre con el actuador totalmente desplegado, este quedará totalmente inhabilitado, ya que el husillo secundario quedaría con una longitud activa de carrera igual a cero.

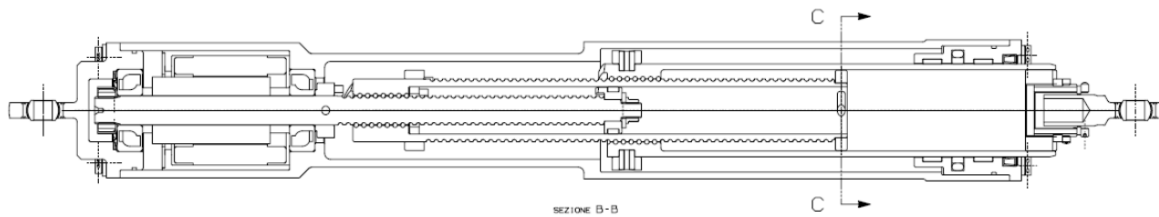


Ilustración 24 Actuador telescópico de Umbra

8.2. Solución propuesta y diseño

En cuanto a la selección del mecanismo antibloqueo ideal, es necesario enumerar una serie de criterios que este debe, en la medida de lo posible, cumplir. Los criterios recopilan el conjunto de aspectos técnicos relacionados con el mecanismo desde volúmenes masas y tiempos de ejecución, hasta fiabilidad y rango de movimiento. El cumplimiento de todos ellos concluiría en un actuador lineal electromecánico redúndate a fallo por bloqueo mecánico y totalmente optimizado. La validación de todos los requisitos es una tarea muy compleja y por lo tanto hay que adoptar y combinar el mayor número de criterios.

8.2.1. Criterio de selección

- **Desconexión rápida**

Después de la detección del bloqueo mecánico, se activará el dispositivo de desconexión para que el tiempo de reacción del proceso de desacoplamiento comience en ese mismo momento. El tiempo de desconexión tiene que ser menor que el especificado para el sistema en el que actúe.

- **Desconexión bajo carga máxima**

La carga límite, de tracción o compresión, es la carga máxima lograda en la situación más desfavorable. El dispositivo debe ser capaz de desacoplar el tren de transmisión mecánica soportando la carga límite especificada y enviar el flujo de potencia por otro camino si fuese necesario.

- **Diseño ligero**

La masa del dispositivo de desconexión se determinará por la diferencia entre la masa del actuador con y sin dicho mecanismo. La masa de otros componentes del actuador puede estar significativamente influenciado por el tipo de dispositivo de desconexión, como se verá más adelante.

- **Menor impacto en la carcasa del actuador (“n x carrera”)**

El concepto de mecanismo puede tener un fuerte impacto en el diseño de los otros componentes y, por lo tanto, en la carcasa. Dependiendo el tipo de desconexión (rotacional

o traslacional) el mecanismo variará de tamaño y peso, teniendo especial impacto en la longitud y en el peso de la carcasa.

- Alta fiabilidad

En general, la fiabilidad se evalúa por la probabilidad del número de fallos existentes por hora de funcionamiento. Los dos modos de fallo más habituales son "desconexión involuntaria" y "El dispositivo no se puede activar". En el primer caso, el mecanismo se activa sin una orden recibida, en el segundo, dicha orden es lanzada pero el mecanismo no es capaz de activarse.

- Verificación

Los dispositivos de desconexión se pueden agrupar según su grado de capacidad de prueba. En este documento, como se ha mencionado anteriormente, se consideran las opciones: parcialmente comprobable y totalmente comprobable. El segundo de ellos se puede probar en ensayos sin la necesidad de desechar ninguna pieza y manteniéndose completamente operable.

- Reinicio

Los dispositivos de desconexión se pueden agrupar según su grado de reinicio. En este documento, como se ha mencionado anteriormente, se consideran las opciones: no reiniciable, reinicio manual y reinicio automático. El tereco de ellos, tras una prueba, se puede volver a su estado inicial de forma autónoma, sin la necesidad el aporte de energía interna, como es en el caso del reinicio manual.

- Operatividad

La operatividad de un actuador hace referencia al rango de movimiento disponible tras un bloqueo mecánico. Este rango se puede clasificar en operatividad nula, cuando el actuador no es capaz de seguir realizando la misma función, operatividad media cuando la función se puede realizar parcialmente y operatividad total cuando el actuador puede realizar la misma función que podía llevar a cabo antes del bloqueo mecánico.

- Movimiento libre

Dependiendo de la aplicación, después de un bloqueo y tras una desconexión, o bien se mueve libre en la dirección de extensión o se mueve libre en la dirección de extensión y retracción realizando la carrera completa. Este criterio, es válido para un tren de aterrizaje, por ejemplo, cuando se boquea el actuador, el tren desciende libre por el efecto de la gravedad.

8.2.2. Solución Propuesta

A la hora de diseñar la solución propuesta, se han ido recopilando ideas y formulando diseños sencillos ilustrando el resultado final del mecanismo antibloqueo. Estos mecanismos han sido evaluados por medio de los criterios mencionados anteriormente y se ha decidido entonces, si seguir adelante con ese mecanismo o realizarle alguna modificación. El objetivo

de estas modificaciones puede ser por varios fundamentos. El primero, que no se cumpla un requisito importante como, por ejemplo, el tamaño de la carcasa del actuador resultante o la fiabilidad del sistema. Otro, que el número de requisitos cumplidos no sea suficiente y se quisieran incorporar más para conseguir un actuador más completo. Este último aspecto es muy ambicioso, ya que cumplir muchos requisitos a la vez conlleva, a veces, a que aquellos verificados de inicio dejen de ser válidos y por ello la obtención de un mecanismo óptimo sea de extrema complejidad.

Primeramente, se evalúa y se pondera los requisitos y criterios que el mecanismo debe cumplir, Tabla 1. Se asignará un valor del 1 al 10 según la importancia del requisito, siendo 1 el requisito de menor importancia y 10 el de mayor importancia. Entre los requisitos de mayor importancia se encuentran, la alta fiabilidad y la desconexión bajo carga máxima. A ambos requisitos se les ha asignado una ponderación de 10 puntos. El primero de ellos es de elevada importancia, ya que el objetivo principal de este trabajo es aumentar la fiabilidad de los actuadores electromecánicos. El segundo, hace referencia a la posibilidad del desacople bajo cargas máximas y en el caso estudiado en este trabajo es de máxima importancia. En el ámbito aeronáutico y espacial, los mandos primarios actuados por medio de este mecanismo están continuamente haciendo ciclos de picos máximos, por lo que la probabilidad de que el bloqueo del husillo suceda en uno de estos picos es elevada.

Otro requisito de alta importancia para el diseño del actuador lineal electromecánico es una total operatividad. Esto quiere decir que, tras un fallo mecánico, debe tener la capacidad de seguir haciendo su función al completo, es decir, recorrer toda su carrera sin impedimento alguno. Al igual que los dos requisitos anteriormente mencionados, este es de extrema importancia ya que un fallo en el actuador podría suponer el bloqueo de los mandos primarios de una aeronave, y al no disponer de actuadores redundantes, el mecanismo antibloqueo no puede simplemente quedar en modo de movimiento libre o limitarse a un recorrido menor, este ha de ser actuado completamente. Por ello a este criterio se le ha asignado una ponderación de 9 puntos. Como consecuencia el requisito denominado movimiento libre recibe una ponderación de 0 puntos.

A los requisitos de verificación y reinicio se les ha asignado una puntuación de 7 y 6 respectivamente. Esto es debido a que son criterios que complementan favorablemente al actuador, pero no son indispensables. En concreto, la verificación del mecanismo es de gran ayuda a la hora de eliminar tiempos de montaje y desmontaje de piezas para cerciorarse de su correcto funcionamiento y el reinicio automático facilita el reinicio del dispositivo.

Por último, el requisito de desconexión rápida ha recibido una puntuación de 4 y a los requisitos de diseño ligero y menor impacto en la carcasa se les asigna una puntuación de 3, lo que indica una menor importancia en el peso y diseño frente a la operatividad del conjunto.

Criterio	Ponderación
Desconexión rápida	4
Desconexión bajo carga máxima	10
Diseño ligero	3
Menor impacto en la carcasa del actuador	3
Alta fiabilidad	10
Verificación	7
Reinicio	6
Operatividad	9
Movimiento libre	0

Tabla 1 Ponderación de criterios

Segundo, se han recopilado las diferentes propuestas/soluciones que han sido estudiadas y evaluadas a lo largo de este proyecto, indicando los puntos principales por los que se decidió tener en cuenta la solución y señalando también lo puntos desfavorables por los que se eligió modificarla o excluirla. Para ello se hará uso de las ponderaciones ofrecidas por los criterios mencionados anteriormente y se dará un valor de cumplimiento del 1 al 5 de dicho criterio. De esta forma llegar a la solución final mediante una valoración numérica, la cual es el resultado de las modificaciones y la recopilación de las de todas las propuestas anteriores.

La primera solución propuesta, es un actuador telescópico con un mecanismo de desacople. En los actuadores telescópicos, el rango de recorrido del actuador tras un bloqueo mecánico depende de la posición en la que esté situado el husillo principal a la hora de producirse dicho bloqueo mecánico. Esta solución concluye en actuadores de una alta longitud “3 x carrera”. Es por esto, por lo que se ha incorporado un mecanismo antibloqueo, el cual desconecta el husillo principal del secundario y así poder tener una actuación completa independientemente de la posición de husillo principal en el momento del bloqueo mecánico.

Una de las grandes ventajas de este tipo de accionamiento es que se mantiene una completa actuación del dispositivo, evitando además la interferencia entre la posición de bloqueo del husillo principal y el rango de movimiento resultante. Por otro lado, este actuador tiene la desventaja de que para ser actuado por dos flujos de potencia distintos se necesitan dos motores concéntricos al actuador. Esto hace que el diseño sea de un diámetro elevado y de grandes características. Estos dos motores son necesarios porque cuando el motor principal detecta el bloqueo mecánico, este se pone en corto circuito y el mecanismo de desacople entra en acción. Es en ese momento cuando el motor secundario empieza a controlar la actuación. Por otra parte, una de las ventajas de este tipo de actuadores es que al desacoplar un elemento de rotación el tipo de actuador se convierte en un actuador “1 x carrera” o “2 x carrera”, haciendo así el actuador de unas dimensiones cortas, pero de peso mayores. Por último, otra desventaja vista en esta solución es que para que se pueda dar la actuación mediante el segundo camino de potencia, el husillo final debe tener un grado de libertado de rotación

sobre su eje, añadiendo así un rodamiento radial al final del eje, por lo que complica el diseño, montaje y reduce la fiabilidad del conjunto.

Por la disposición del tipo de desacople, este actuador no tendría capacidad de verificación ni de reinicio, dos requisitos indispensables a la hora de diseñar y analizar un actuador con redundancia a fallo mecánico óptimo. Esto hace que esta solución no sea la final y se opte por buscar otra forma de desconexión. La puntuación total recibida, como se puede apreciar en la Tabla 2, es de 183 puntos.

Actuador Telescópico			
Criterio	Ponderación	Cumplimiento	Resultado
Desconexión rápida	4	5	20
Desconexión bajo carga máxima	10	5	50
Diseño ligero	3	1	3
Menor impacto en la carcasa del actuador	3	3	9
Alta fiabilidad	10	3	30
Verificación	7	2	14
Reinicio	6	2	12
Operatividad	9	5	45
Movimiento libre	0	0	0
		TOTAL	183

Tabla 2 Resultado numérico Actuador Telescópico

En la Ilustración 25 se pueden observar las diferentes posiciones extremas que puede adoptar el actuador. La primera es la posición retraída y las segunda la extendida, posiciones máximas mediante el motor principal y el camino de flujo de potencia principal. En la Ilustración 26, las otras dos posiciones son actuadas mediante el motor secundario. Se puede observar como el dispositivo de desconexión (rojo) desconecta el husillo principal (tuerca husillo principal, azul) y el eje secundario (eje husillo secundario, verde), en este caso, dejando la tuerca del husillo principal bloqueada en una posición intermedia.

Por otro lado, se observa como mediante el funcionamiento secundario, el eje del husillo secundario rota en conjunto con la rotación del motor. Es por ello por lo que se ha realizado una división entre el eje del husillo secundario y la varilla de transmisión. Entre ambas se ha introducido un rodamiento radial, el cual permite el giro relativo entre el eje de husillo secundario y el sistema a mover, que está fijo en su rotación y solo se mueve en un plano.

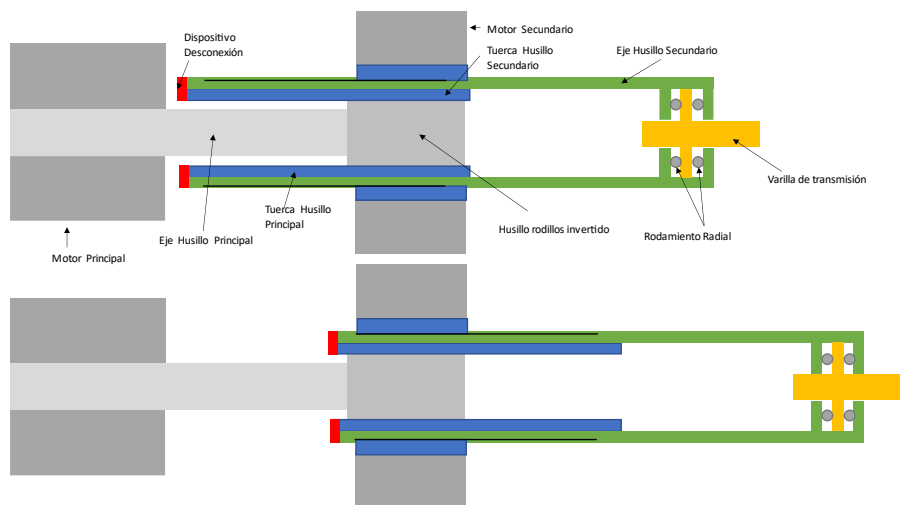


Ilustración 25 Actuación telescópica (principal)

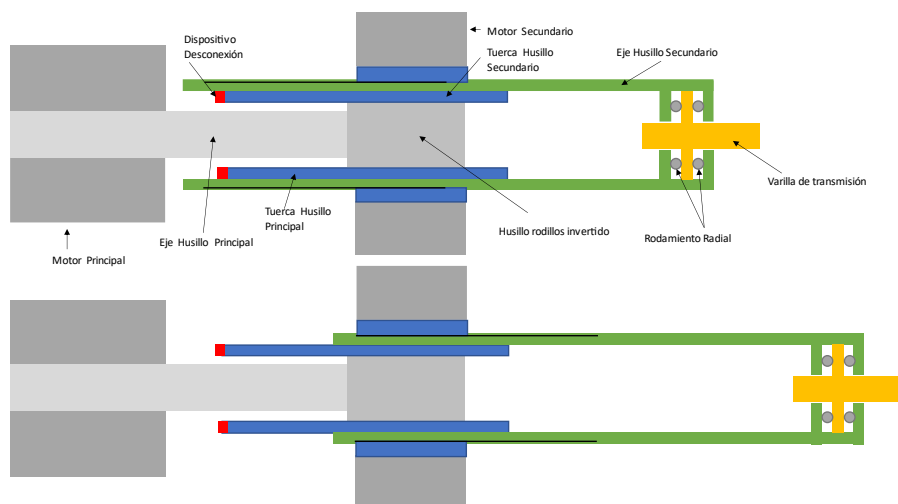


Ilustración 26 Actuación telescópica (secundaria)

Por otro lado, viendo el gran tamaño del actuador anterior y por la necesidad de incorporar un rodamiento radial, se ha buscado una segunda opción. Esta se ha basado en diseñar un mecanismo de desacople entre elementos rotativos, igual que en el caso anterior, que como se vio, este tipo de desacople resulta en actuadores de longitud “1 x carrera” o “2 x carrera”. El principal objetivo de esta solución es evitar la rotación del eje del husillo de salida y con ello evitar la incorporación del rodamiento radial el cual causaría grandes pérdidas en la eficiencia del actuador y añadiría un nuevo modo de fallo. Es por ello por lo que la solución a la que se ha concluido es implementar en un actuador electromecánico lineal común, un dispositivo el cual sea capaz de desconectar el actuador, es decir, desconectar la tuerca del eje de salida. De

esta forma, mediante una orden de antibloqueo rápido, el actuador es capaz de quedarse en posición de movimiento libre.

Se ha diseñado un dispositivo que, por medio de un giro del aro de desconexión, desconecta la tuerca del husillo y eje de salida. En la Ilustración 27, se puede observar el dispositivo de desconexión. El aro de desconexión mantiene inicialmente los pasadores en la posición de bloqueo, posición representada en la ilustración. En esta posición el muelle está comprimido. Al rotar el aro, las cavidades de este le permiten pasar al pasador a la posición de desbloqueo, liberando el grado de libertad del muelle y este mueve la pieza de desacople hacia la derecha, permitiendo el desbloqueo de las esferas por medio de los huecos presentados por la rampa. Entonces, el eje de salida del husillo queda totalmente libre, ya que las posiciones de contacto son lisas y de bajo rozamiento. El aro de desconexión es girado mediante un carril móvil el cual está actuado desde la parte posterior del actuador. El carril se puede ver representado en la figura mediante dos barras cilíndricas que cruzan de lado a lado longitudinalmente el dispositivo de desconexión.

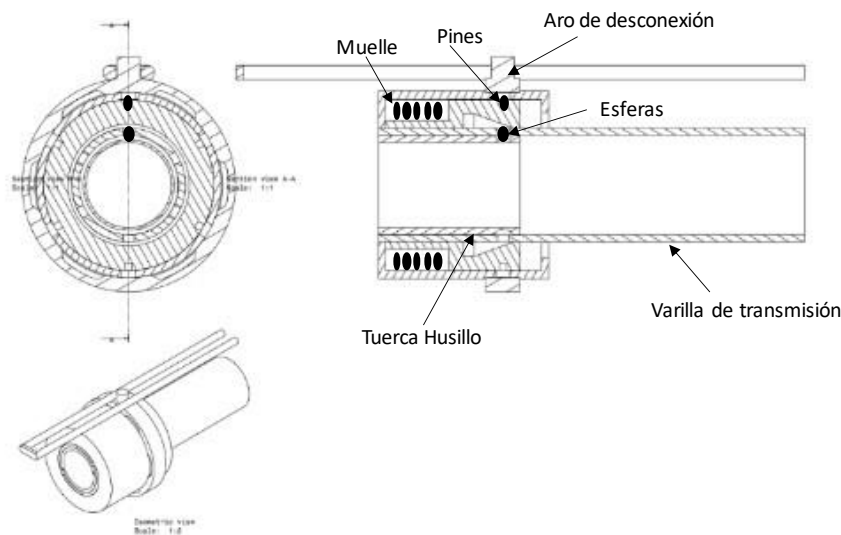


Ilustración 27 Dispositivo desconexión de rotación

Esta opción tiene una serie de ventajas muy buenas como la desconexión de elementos rotativos, lo que hace que el diseño sea de poca longitud. Además, este tipo de desconexión permite la verificación (parcialmente verificable) y reinicio (reinicio manual) del dispositivo. Esta última, se puede conseguir recargando de energía el muelle mediante los orificios realizados en la parte delantera de dispositivo de desconexión, empujando el mecanismo a su posición de bloqueo y rotando el aro de desconexión a la posición requerida para el bloqueo de una manera externa, manualmente o mediante un actuador redundante. La puntuación total recibida, como se puede apreciar en Tabla 3, es de un total de 186 puntos, notablemente superior al actuador telescópico.

Dispositivo Desconexión de Rotación			
Criterio	Ponderación	Cumplimiento	Resultado
Desconexión rápida	4	5	20
Desconexión bajo carga máxima	10	5	50
Diseño ligero	3	5	15
Menor impacto en la carcasa del actuador	3	4	12
Alta fiabilidad	10	5	50
Verificación	7	3	21
Reinicio	6	3	18
Operatividad	9	0	0
Movimiento libre	0	5	0
		TOTAL	186

Tabla 3 Resultado numérico Dispositivo desconexión de rotación

Viendo las grandes características que ofrece la solución, se llega a la conclusión de que es la mejor opción si la total actuación tras el bloqueo no fuese necesaria. Si el sistema se completase con actuadores redundantes, esta opción sería la más favorable, pero este no es el caso. En este proyecto el objetivo es buscar un actuador totalmente redundante al fallo mecánico por lo que esta opción no es viable y hay que buscar una modificación que le permita seguir actuando y no simplemente desconectarse y quedar en movimiento libre.

El siguiente tipo de actuador estudiado es de tipo telescópico, pero con un mecanismo antibloqueo intermedio que desconecta el movimiento de rotación de los dos husillos de la varilla de transmisión de forma independiente, esta solución es muy compleja, pero reduce el problema de las grandes dimensiones como ocurría en la primera solución propuesta y le ofrece una redundancia a fallo mecánico, mejorando así la segunda solución propuesta, la cual quedaba en movimiento libre. De esta forma se concluye con un actuador proveniente de la mezcla entre las dos primeras propuestas, logrando unificar todas sus ventajas y paliar las desventajas.

El funcionamiento principal del dispositivo de desconexión es desacoplar la tuerca del husillo principal de la varilla de transmisión y simultáneamente acoplar la tuerca del husillo secundario a la varilla de transmisión. De esta forma se evita una conexión directa entre los dos husillos y mediante el dispositivo de desconexión se permite cambiar el flujo de potencia. Las ventajas de esta solución son que, al ser la desconexión y conexión de manos del husillo de manera rotacional y no traslacional, las dimensiones del actuador no se incrementan considerablemente. Además, el actuador sería totalmente verificable y cumpliría el requisito de reinicio automático. Tras un bloqueo mecánico, el dispositivo de desconexión deriva el flujo de potencia de una manera muy rápida y con posibilidad de hacerlo mediante la aplicación de cualquier carga en el actuador, desde la mínima a la máxima. También cumple con los requisitos de rango de movimiento, dimensiones y fiabilidad. Como se puede ver en la Tabla 4, la valoración total es de 231.

Actuador telescópico Independiente			
Criterio	Ponderación	Cumplimiento	Resultado
Desconexión rápida	4	5	20
Desconexión bajo carga máxima	10	5	50
Diseño ligero	3	5	15
Menor impacto en la carcasa del actuador	3	4	12
Alta fiabilidad	10	5	50
Verificación	7	3	21
Reinicio	6	3	18
Operatividad	9	5	45
Movimiento libre	0	0	0
		TOTAL	231

Tabla 4 Resultado numérico Actuador telescópico independiente

Como se puede observar en la Ilustración 28 e Ilustración 29, el dispositivo de desconexión (amarillo) este acoplado al eje de salida del actuador (verde), y este se conecta y desconecta a las tuercas de los husillos principal (azul) y secundarios (azul), pero nunca al mismo tiempo. De esta forma se obtienen dos caminos de potencia totalmente distintos, pero igualmente funcionales. En la primera imagen se ve el funcionamiento de las dos posiciones extremas del actuador, utilizando el husillo principal. En la segunda imagen se aprecia que la tuerca del husillo principal está bloqueada (posición intermedia), y el husillo secundario entra en acción actuando el sistema sin ninguna alteración.

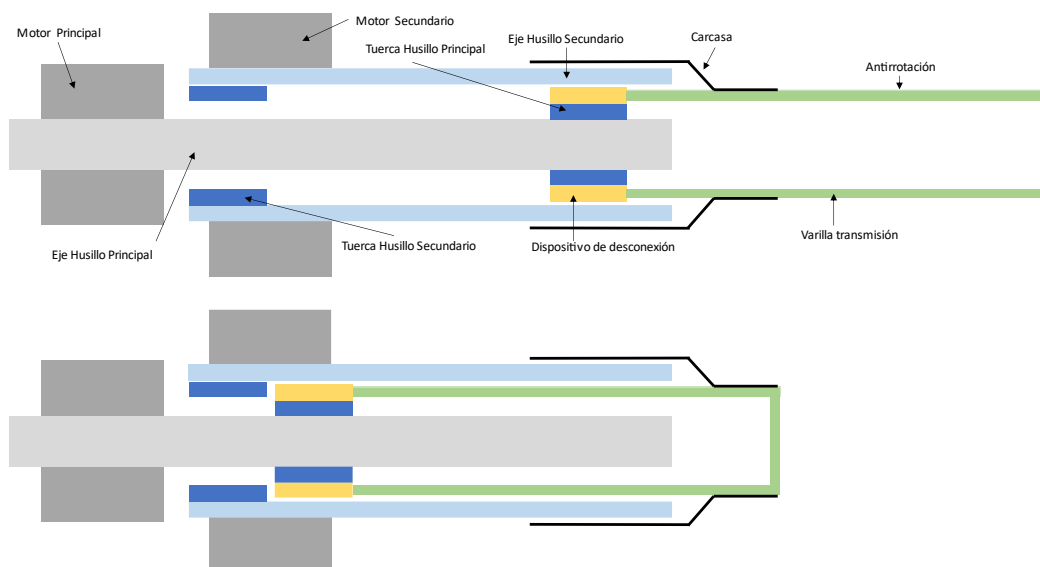


Ilustración 28 Actuación Principal

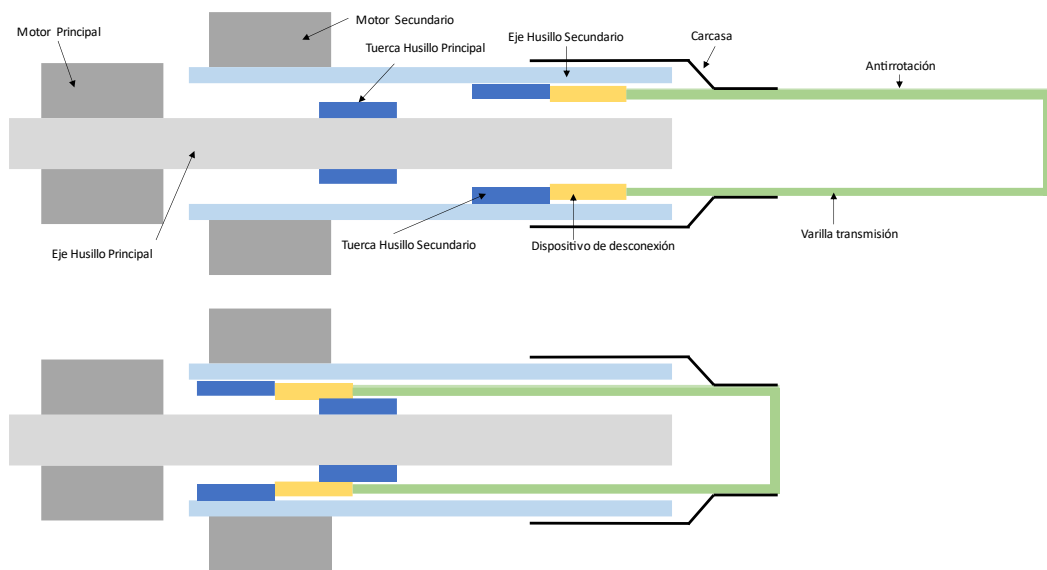


Ilustración 29 Actuación Secundaria

La desconexión se realiza mediante la actuación del motor secundario. Este se actúa y mueve la tuerca del husillo secundario hasta la posición en la que se encuentra el dispositivo de desconexión y entonces ocurre el acoplamiento. Simultáneamente se desacopla la tuerca del husillo principal del eje de salida, quedando de esta forma la actuación en manos del husillo secundario.

Para poder acceder a mover la tuerca secundaria en traslación, y de esta forma accionar el dispositivo de desacople, la tuerca debe de estar bloqueada en rotación, por el contrario, la tuerca no avanzaría. Un gran inconveniente de la disposición propuesta del actuador es que restringir el giro de la tuerca del husillo secundaria, es una tarea muy compleja ya que no hay ningún elemento en sus proximidades con el giro restringido en el que esta tuerca se pueda apoyar y por tanto dificulta la reconfiguración, la verificación y reinicio del dispositivo.

Es por esto, por lo que finalmente, para un diseño óptimo, se realiza el estudio del actuador valorando un cambio de flujo principal y secundario, Ilustración 30 e Ilustración 31, siendo entonces el motor principal el husillo exterior del actuador. De esta forma se consigue que la tuerca secundaria quede concéntrica y próxima al eje de salida del actuador (verde) el cual está restringido a la rotación por medio de la carcasa. Así, se consigue fácilmente que la tuerca del husillo secundario mantenga un movimiento traslación puro y por tanto actuando el motor secundario poder mover la tuerca hasta la posición donde se encuentra el dispositivo de desconexión y realiza el acople y desacople pertinente. Como se puede observar en la Tabla 5, el valor de la verificación y reinicio aumenta con esta optimización, y también así el resultado numérico a un valor de 244 puntos y por tanto siendo la solución final.

Actuador telescópico Independiente Optimizado			
Criterio	Ponderación	Cumplimiento	Resultado
Desconexión rápida	4	5	20
Desconexión bajo carga máxima	10	5	50
Diseño ligero	3	5	15
Menor impacto en la carcasa del actuador	3	4	12
Alta fiabilidad	10	5	50
Verificación	7	4	28
Reinicio	6	4	24
Operatividad	9	5	45
Movimiento libre	0	0	0
		TOTAL	244

Tabla 5 Resultado numérico Actuador telescópico independiente optimizado

En la Ilustración 30, se observa cómo manteniendo la tuerca del husillo secundario detenida, en este caso cumple función de casquillo, el actuador logra sus posiciones de extendido y retraído actuando a través del motor principal. Por otro lado, en la Ilustración 31, se aprecia cómo tras un bloqueo de la tuerca del husillo principal en una posición intermedia, se ha hecho llegar la tuerca del secundario hasta el dispositivo de desconexión y se ha logrado actuar mediante el desenganche de la tuerca principal y el enganche simultaneo de la tuerca secundaria. De esta forma se consigue un actuador completamente redundante a fallo mecánico.

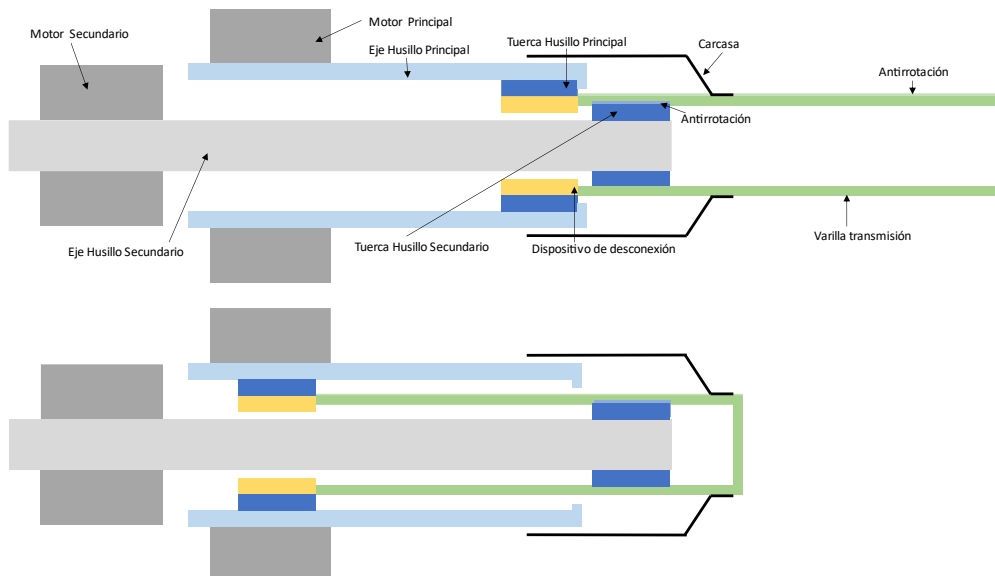


Ilustración 30 Solución propuesta (actuación principal)

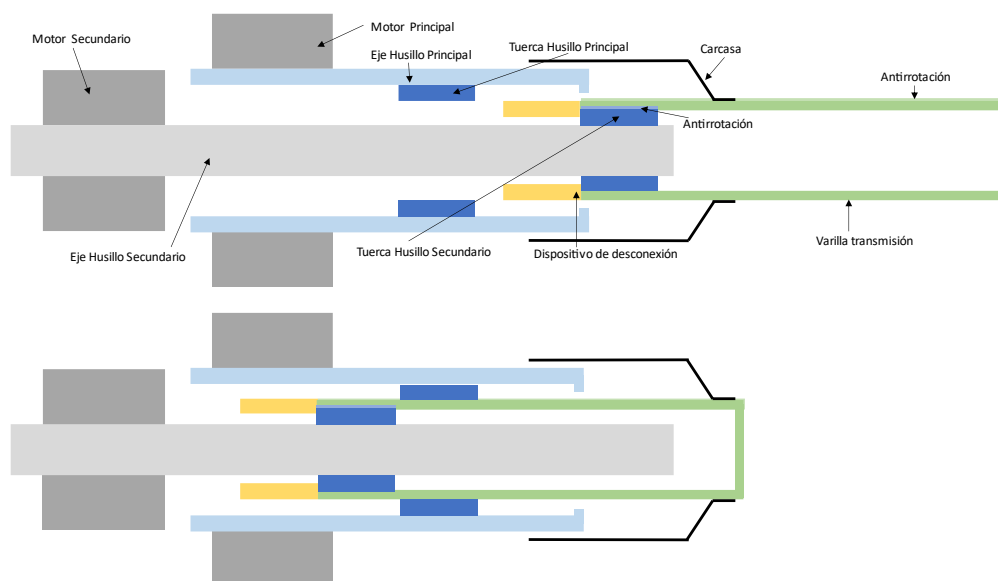


Ilustración 31 Solución propuesta (actuación secundaria)

En la Tabla 6, se puede observar la comparativa de las distintas soluciones presentadas hasta el momento. Se puede observar como la opción que mayor puntuación ha conseguido es la última, el actuador telescópico independiente optimizado. Es por esto por lo que, a partir de aquí, se va a seguir con el desarrollo del proyecto tomando como base esta alternativa escogida.

	Actuador Telescópico	Dispositivo desconexión de Rotación	Actuador telescópico Independiente	Actuador telescópico Independiente Optimizado
Criterio	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Desconexión rápida	20	20	20	20
Desconexión bajo carga máxima	50	50	50	50
Diseño ligero	3	15	15	15
Menor impacto en la carcasa del actuador	9	12	12	12
Alta fiabilidad	30	50	50	50
Comprobabilidad	14	21	21	28
Reversibilidad	12	18	18	24
Operatividad	45	0	45	45
Movimiento libre	0	0	0	0
TOTAL	183	186	231	244

Tabla 6 Comparación de alternativas

9. METODOLOGÍA

Este apartado de metodología agrupa todos los pasos realizados con el fin de obtener el diseño y fabricación del mecanismo antibloqueo, desde el diseño de detalle hasta la fabricación de este mismo. Cabe destacar, que este mecanismo antibloqueo parte del diseño conceptual escogido en el apartado anterior, actuador telescópico independiente optimizado, y desde el cual se van a empezar a desarrollar las distintas soluciones. Esta sección se va a dividir en tres subapartados diferentes: En el primero de ellos, se estudiará el diseño de detalle del mecanismo, valorando las distintas configuraciones posibles y eligiendo la opción a desarrollar en este proyecto. Posteriormente se estudiará el diseño funcional de la solución escogida, mostrando y especificando los procedimientos de fabricación y montaje de los distintos componentes del mecanismo antibloqueo. Por último, se fabricará y montará un modelo de ingeniería para proceder a valorar y analizar su funcionamiento.

9.1. Diseño de detalle

En este apartado se va a presentar y explicar el diseño de detalle del mecanismo antibloqueo. Este diseño es una representación 2D muy simplificada del mecanismo en sí en el cual se pueden distinguir y estudiar las distintas funciones que debe de realizar. Cabe destacar que el diseño de detalle no contempla procesos de fabricación ni procesos de montaje, por lo que el diseño mostrado no puede ser fabricado ni montado en un actuador final, esto se resolverá en el apartado de diseño funcional.

9.1.1. Reconfiguración mediante esferas retenedoras

En la Ilustración 32 se ven representadas en su mitad superior tanto la tuerca del husillo principal (azul) y del secundario (azul) como el dispositivo de desconexión (amarillo) acoplado al eje de salida (verde). También se distinguen, el eje del husillo principal (azul celeste) y el eje del husillo secundario (gris). Ambos con un carril helicoidal ranurado a lo largo de su longitud por donde circularán las bolas del husillo, formando así dos conjuntos de husillos de bolas totalmente funcionales. Además, se puede apreciar cómo las tuercas de los husillos tienen una hendidura en el lado opuesto al lado del carril de bolas, la cual, servirá para acoplarse al dispositivo de desconexión mediante unas esferas de retención (rojo). Al dispositivo de desconexión le complementa un dispositivo auxiliar (naranja) el cual realiza la función de intermediario entre el acoplamiento de una tuerca y el desacoplamiento de la otra. El mecanismo se finaliza con tres esferas retenedoras, mencionadas anteriormente, y dos resortes helicoidales (negro) (plano 2D), todos ellos repartidos un número de veces a determinar alrededor de su eje de rotación (plano 3D).

El conjunto de todos ellos conforma el diseño de detalle de esta primera propuesta como mecanismo antibloqueo. A continuación, se presentarán sus dos posiciones de funcionamiento y el proceso de reconfiguración.

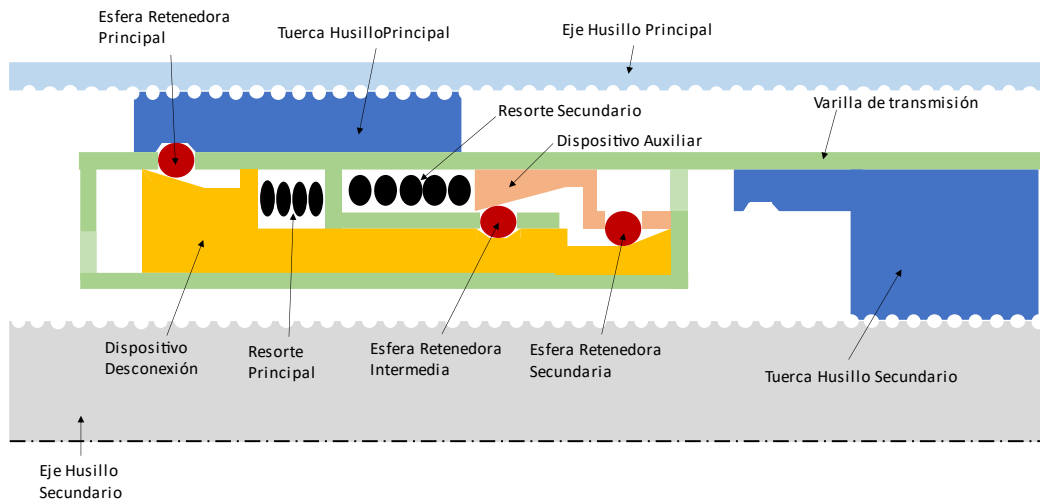


Ilustración 32 Diseño de detalle mediante esferas retenedoras

A continuación, se van a definir las dos posiciones de funcionamiento principales. En la Ilustración 33 se aprecia el acoplamiento correspondiente al modo de funcionamiento principal. Bajo este funcionamiento trabajará el motor principal hasta el momento en el que ocurra una pérdida de eficiencia o bloqueo mecánico del husillo principal. Por lo tanto, se puede observar cómo la tuerca del husillo principal (azul) está acoplada al dispositivo de desconexión (amarillo) por medio de la esfera retenedora principal (rojo). Esta esfera está fija en dicha posición por medio de la hendidura localizada en la tuerca principal y la rampa del dispositivo de desconexión. Además, se observa cómo esta última pieza tiene restringido su desplazamiento de traslación longitudinal por medio de una esfera retenedora intermedia, la cual hace la función de tope. Entonces, esta configuración resulta en una unión sólida entre la tuerca del husillo principal (azul), el dispositivo de desconexión (amarillo) y la varilla de transmisión (verde).

Por otro lado, en la Ilustración 34, se representa el modo de funcionamiento a través del canal secundario. Para poder hacer el acople y desacople pertinente, la tuerca ha de tener un resalte lateral, donde irá ubicada en este caso la hendidura para realizar la conexión. Al igual que en el caso anterior, la tuerca del husillo secundario (azul) está acoplada al dispositivo de desconexión (amarillo) por medio de la esfera retenedora secundaria (rojo). Aunque en esta configuración, lo hace a través del dispositivo auxiliar (naranja), cuya función se detallará más adelante cuando se estudie el funcionamiento de la reconfiguración del dispositivo. Como se puede observar, la rampa del dispositivo de desconexión (amarillo) y la hendidura de la tuerca (azul) resultan en una unión sólida a través del dispositivo auxiliar (naranja) del actuador, la cual servirá de enlace entre el motor secundario y la varilla de transmisión (verde) del actuador.

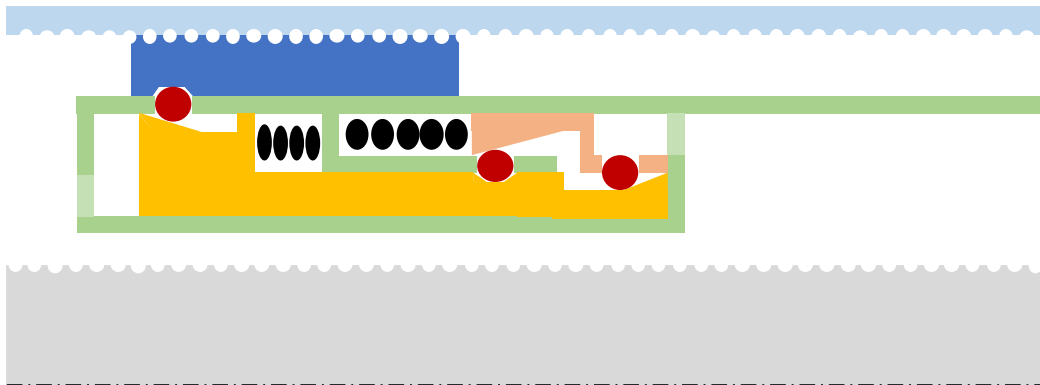


Ilustración 33 Funcionamiento principal mediante esferas retenedoras

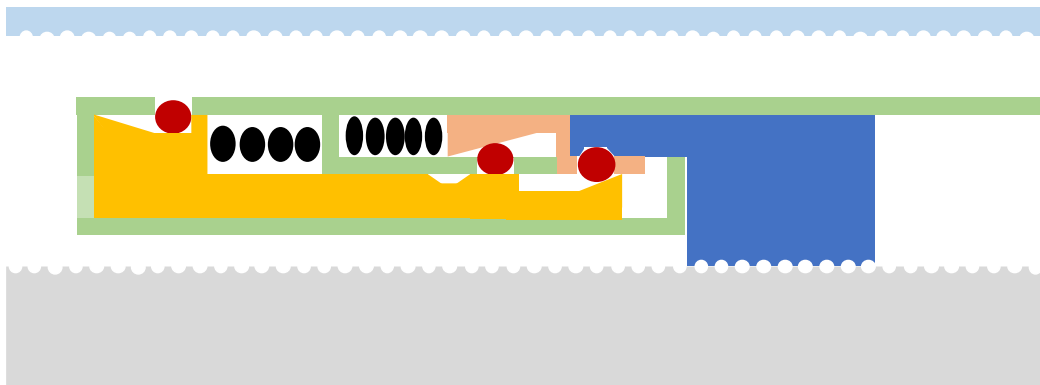


Ilustración 34 Funcionamiento secundario mediante esferas retenedoras

Una vez conocidas las posiciones de funcionamiento principales y secundarias de actuación del mecanismo antibloqueo, es conveniente explicar y detallar el proceso de acople y desacople entre una posición y la otra, representado en la Ilustración 35. Esta secuencia es la responsable de un correcto funcionamiento del dispositivo.

Inicialmente el actuador opera a través de la configuración representada en la actuación principal. El flujo de potencia del motor principal pasa a través del eje del husillo principal a la tuerca del husillo principal y posteriormente a la varilla de transmisión, el cual está

acoplado al sistema a mover, por medio de la esfera retenedora principal y el dispositivo de desconexión. Tras la detección de un atasco o pérdida de funciones del husillo principal, el eje del husillo secundario se acciona y mueve la tuerca del husillo secundario hasta la posición en la que se encuentra el dispositivo de desconexión. Para ello es necesario que la tuerca secundaria tenga el giro alrededor de su eje bloqueado mediante un elemento de antirrotación el cual se apoya en la varilla de transmisión. Esta última tiene también su grado de libertad de rotación bloqueado mediante otro dispositivo antirrotación el cual se apoya en la carcasa del actuador la cual está fija.

El proceso de reconfiguración se compone de dos fases, las cuales ocurren un intervalo de tiempo muy bajo.

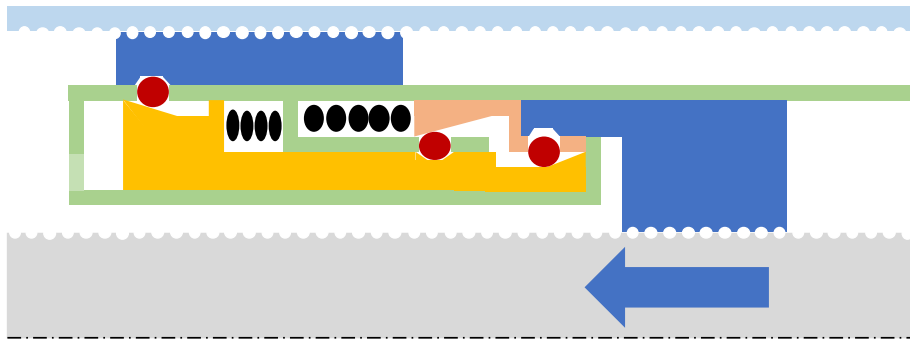
En la primera fase ocurre la aproximación de la tuerca secundaria, en la que el motor secundario sigue actuando de tal forma que la tuerca del husillo secundario comprima el resorte secundario. Para que esto ocurra, el actuador principal debe estar bloqueado o haber llegado a la posición retraída completa máxima donde existe un tope el cual elimina el movimiento relativo con la tuerca del husillo secundario.

La segunda fase, una vez se ha logrado la traslación del dispositivo auxiliar, la esfera retenedora intermedia, que cumple la función de tope, es liberada, al haberse movido la rampa del dispositivo auxiliar que la comprimía. Tras la liberación de la esfera intermedia, el resorte principal, el cual estaba previamente comprimido, desplaza el dispositivo de desconexión hacia la izquierda. De esta forma, se libera la esfera retenedora principal de la tuerca del husillo principal, quedando este libre. A su vez, como se puede observar, el mismo dispositivo de desconexión bloquea la esfera retenedora secundaria, por medio de su otro plano inclinado y el dispositivo auxiliar, a la tuerca del husillo secundario.

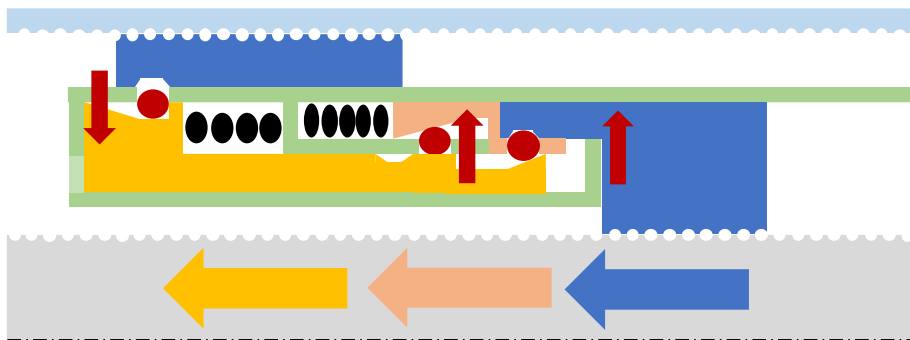
Así se consigue la configuración de funcionamiento secundaria en la que el flujo de potencia del motor secundario pasa a través del eje del husillo secundario a la tuerca del husillo secundario y posteriormente al dispositivo de desconexión por medio de la esfera retenedora secundaria y el dispositivo auxiliar hasta la varilla de transmisión, el cual está acoplado al sistema a mover.

Este proceso de acople y desacople ocurre de una forma muy veloz, no estando en ningún momento ambas tuercas de los diferentes husillos acopladas al dispositivo al mismo tiempo, lo que permite pasar de una posición de bloqueo a una posición de actuación en un tiempo relativamente bajo y sin interferencias.

Una desventaja de este sistema es la poca superficie en contacto entre las esferas retenedoras y los planos inclinados, lo que hace que la capacidad de carga del mecanismo antibloqueo disminuya drásticamente. Esta característica mencionada es de alta importancia para el dispositivo y el actuador, por lo que la forma de transmitir las cargas es una decisión definitiva a la hora de elegir la propuesta final.



Reconfiguración (Fase1)



Reconfiguración (Fase 2)

Ilustración 35 Reconfiguración mediante esferas retenedoras

Por otro lado, el sistema es totalmente verificable y reinicial a través de un elemento fijo. Esto ofrece al actuador una gran ventaja frente a dispositivos convencionales como los pirotécnicos, ya que pueden comprobar su nivel de redundancia periódicamente. Para ello se diseña el eje del husillo secundario de tal forma que tenga una pequeña sobrecarrera en la posición retraída, teniendo en cuenta que solo va a ser utilizada para el reinicio del dispositivo y no como rango de funcionamiento natural del actuador.

Este proceso se representa en la Ilustración 36, en ella se han representado los mismos componentes definidos anteriormente en el diseño de detalle del dispositivo, añadiendo la pieza de reinicio, ubicada en la parte más próxima al motor secundario, fija a la carcasa de actuador. El proceso se ha dividido en 4 fases distintas entre ellas, las cuales representan la secuencia seguida por el dispositivo para pasar de la actuación secundaria a la primaria.

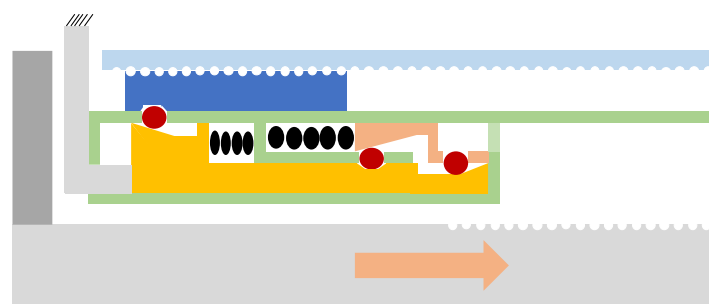
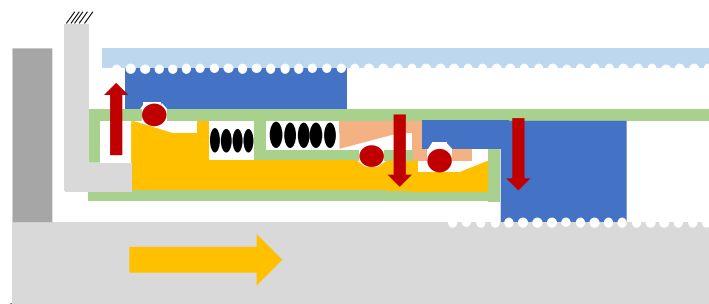
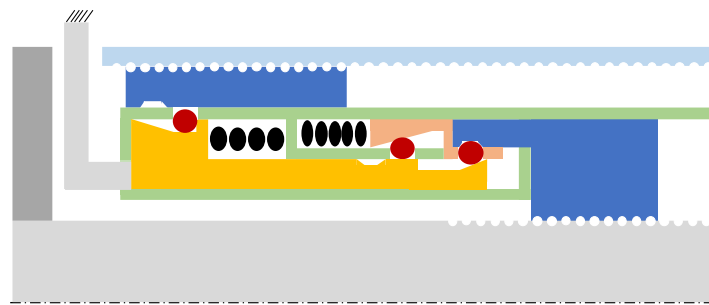
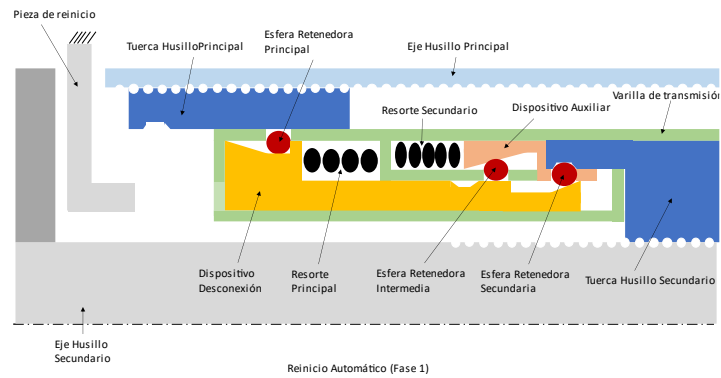


Ilustración 36 Secuencia de reinicio mediante esferas retenedoras

La primera fase consiste en el aproximamiento del dispositivo de desconexión mediante la tuerca del husillo secundario a la pieza de reinicio. El motor secundario se actúa hasta que el husillo secundario llega a su posición extrema, encarando la pieza de reinicio.

En la segunda y tercera fase, como se ha descrito anteriormente, mediante una pequeña sobrecarrera ubicada en la posición retraída del actuador, la cual únicamente es utilizada para reiniciar el dispositivo, se ejerce una fuerza de compresión entre el dispositivo de desconexión y la pieza de reinicio, a través del motor secundario, el cual se recuerda que es el motor activo por el momento. Esta fuerza es la responsable de la compresión del resorte principal a la par del acoplamiento de la tuerca del husillo principal con el dispositivo de desconexión. Para ello, es de extrema importancia ubicar previamente la tuerca del husillo principal en dicha posición. Al ser una prueba de verificación se presupone que este husillo principal no ha sido bloqueado y se puede actuar sobre él. Como se ha detallado en apartados anteriores, el desplazamiento del dispositivo de desconexión además conlleva el desacople de la tuerca del husillo secundario, el cual ahora queda libre y puede volver a su posición de inicio en la cual ejerce la función de casquillo. Simultáneamente, el dispositivo auxiliar vuelve a su posición natural, descomprimiendo el resorte secundario y bloqueando la esfera intermedia en conjunto con el dispositivo de desconexión.

Para finalizar, la cuarta fase corresponde con el conjunto en la posición de actuación principal, exactamente igual que antes de la prueba de verificación.

Cabe destacar que esta prueba se puede realizar un elevado número de veces, tanto en banco de ensayos como montado en el sistema final, aumentando así la fiabilidad del conjunto y disminuyendo la tasa de fallo del dispositivo de desconexión.

Como se ha mencionado antes, el principal problema de este mecanismo de desconexión son los elementos de transmisión de cargas entre el husillo y la varilla de transmisión. En este caso esos elementos son las esferas retenedoras. Estas esferas, por su geometría, no tiene una gran superficie de contacto con los diferentes elementos a retener. Además, estos elementos se retienen por medio de planos inclinados, lo que hace que la carga aplicada en el actuador no pase al husillo, a través de las esferas, como cortante puro, y por ello, se reduce la capacidad de carga del mecanismo de desconexión. Aun siendo un sistema de retención adecuado para cargas bajas, en la aplicación de la aeronáutica y aeroespacial supondría un gran reto pasar las elevadas cargas aplicadas en el actuador a través de este mecanismo de desconexión, con una alta probabilidad de fallo.

9.1.2. Reconfiguración mediante pasadores

En la Ilustración 37 se ven representadas en su mitad superior tanto la tuerca del husillo principal (azul) y del secundario (azul) como el dispositivo de desconexión (amarillo) acoplado al eje de salida (verde). También se distinguen, el eje del husillo principal (azul celeste) y el eje del husillo secundario (gris). Ambos con un carril helicoidal ranurado a lo

largo de su longitud por donde circularán las bolas del husillo, formando así dos conjuntos de husillos de bolas totalmente funcionales. Además, se puede apreciar cómo las tuercas de los husillos tienen unos orificios en el lado opuesto al lado del carril de bolas, el cual, servirá para acoplarse al dispositivo de desconexión mediante unos pasadores (rojo). El mecanismo se finaliza con dos resortes que actúan los pasadores, mencionadas anteriormente, y un resorte helicoidal (negro).

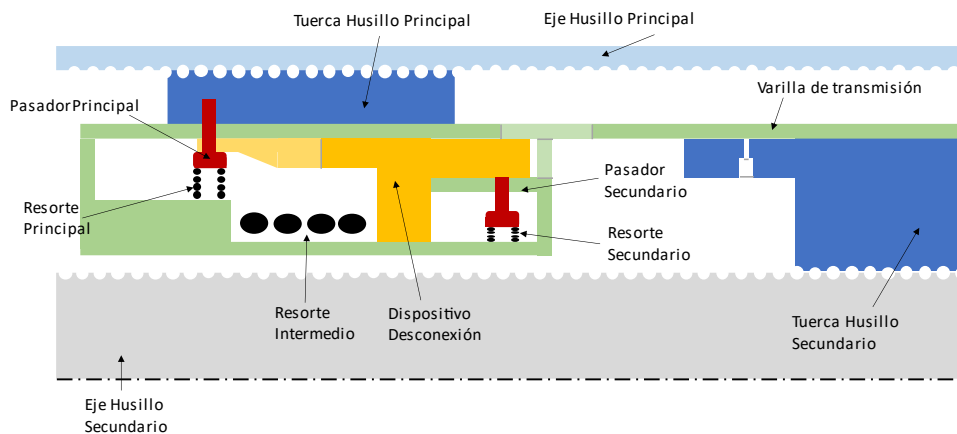


Ilustración 37 Diseño de detalle mediante pasadores

Al igual que en el caso anterior, se presentan las dos posiciones de funcionamiento. Estas se componen de la posición de funcionamiento principal y secundaria. Más adelante se detallará el proceso seguido por el mecanismo para pasar de una posición a la otra y de esta forma conseguir librarse del bloqueo mecánico.

En la posición de funcionamiento principal, Ilustración 38, se observa cómo el pasador principal (rojo) está en contacto con la tuerca del husillo principal (azul) y la varilla de transmisión (verde). En esta posición además se observa cómo el pasador secundario queda retenido por medio del dispositivo de desconexión al cual se le está aplicando la fuerza del resorte intermedio y en consecuencia lo mantiene en dicha posición. Esta es la posición del mecanismo antibloqueo en el modo de funcionamiento natural y la cual va a soportar las cargas aplicadas durante un largo periodo de tiempo.

En la Ilustración 39, se aprecia la posición de funcionamiento secundaria. En este caso es el pasador secundario (rojo) el que entra en contacto con la tuerca del husillo secundario (azul) y la varilla de transmisión (verde). También se aprecia cómo el dispositivo de desconexión, en este caso, ha sido desplazado hacia la izquierda liberando el desplazamiento de traslación del pasador secundario y mediante una rampa, forzando el desplazamiento del

pasador principal. Se observa cómo este pasador queda por debajo de la superficie de la varilla de transmisión, permitiendo así el desplazamiento de la tuerca secundaria sobre la tuerca primaria, si esta quedara bloqueada en una posición intermedia.

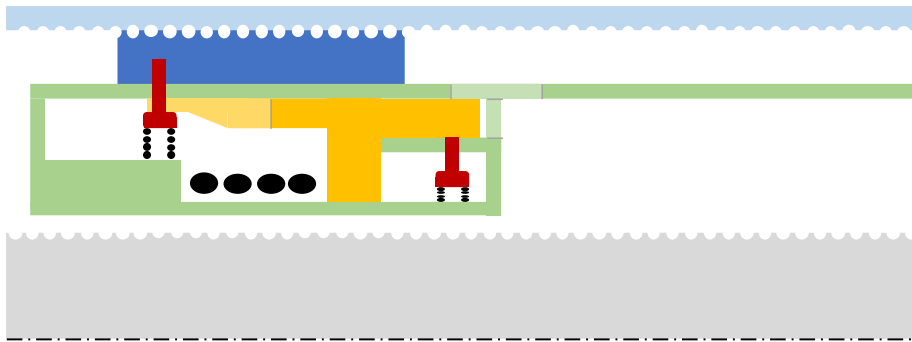


Ilustración 38 Funcionamiento principal mediante pasadores

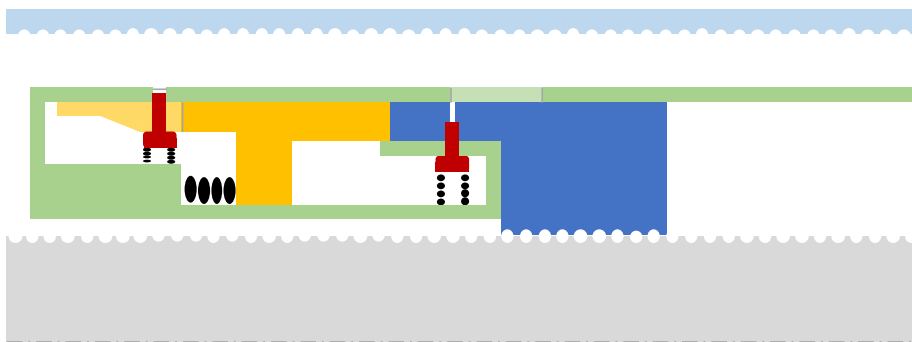


Ilustración 39 Funcionamiento secundario mediante pasadores

Una vez conocidas las posiciones principales y secundarias de actuación del mecanismo antibloqueo, es conveniente explicar y detallar el proceso de acople y desacople entre una

posición y la otra, representado en la Ilustración 40. Esta secuencia es la responsable de un correcto funcionamiento del dispositivo.

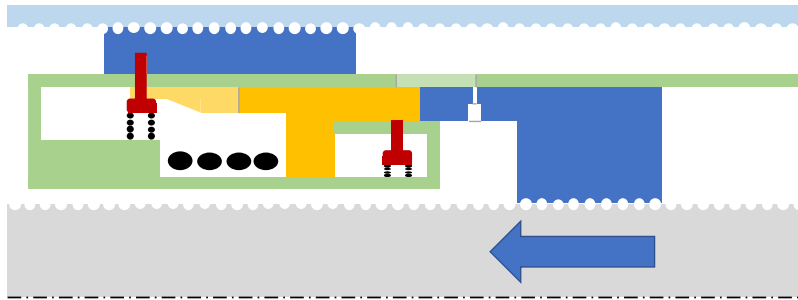
El proceso de reconfiguración se compone de tres fases, las cuales ocurren un intervalo de tiempo muy bajo.

Inicialmente, en la primera fase, el actuador está operando a través del modo de actuación principal. Tras la detección de una bajada de prestaciones o bloqueo del husillo principal, el motor secundario se acciona y permite el movimiento de la tuerca del husillo secundario. Para esto, es necesario que la tuerca del husillo secundario tenga restringida la rotación sobre su eje. Esto se consigue mediante un elemento de antirrotación establecido entre la tuerca y la varilla de transmisión del actuador, el cual tampoco puede girar ya que tiene el giro impedido por medio de la carcasa, que está fija. De esta forma, actuando el motor secundario se opera la tuerca secundaria y se aproxima hasta la posición en la que se encuentra, en el momento del bloqueo, el mecanismo antibloqueo.

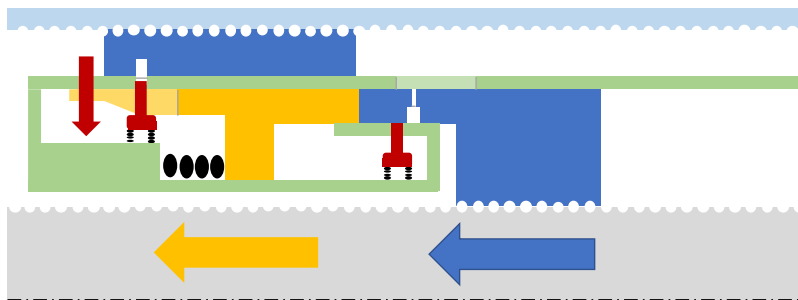
En la segunda fase, una vez la tuerca del husillo secundario ha alcanzado la posición del mecanismo antibloqueo, se sigue actuando el motor secundario y con ello la tuerca del husillo secundario avanza a través del mecanismo antibloqueo, empujando y desplazando el dispositivo de desconexión hacia la izquierda y de esta forma comprimiendo el resorte intermedio. La rampa ubicada en el extremo del dispositivo de desconexión realiza la función de desacople forzado de la tuerca principal, sacando el pasador principal de la tuerca. Se puede observar cómo gracias al resorte principal, el pasador está siempre en contacto con el dispositivo de desconexión.

En la tercera fase, una vez el pasador principal ha salido de la tuerca primaria y ha llegado a su posición retraída completa, el dispositivo de desconexión libera el desplazamiento en traslación del pasador secundario y la tuerca secundaria avanza hasta que se acopla con el pasador secundario. Se observa que existe contacto continuado entre el pasador y la tuerca secundaria a través del resorte secundario, lo que permite que el pasador se introduzca automáticamente en el orificio de la tuerca cuando este coincide con la posición del pasador. Este tipo de acople elimina errores de tolerancias en las piezas y permite el acople del secundario asegurando el desacople del principal. Como se ha mencionado antes, cabe destacar que los pasadores están continuamente presionados mediante unos resortes principales y secundarios, los cuales facilitan el acople y desacople con sus respectivas tuercas.

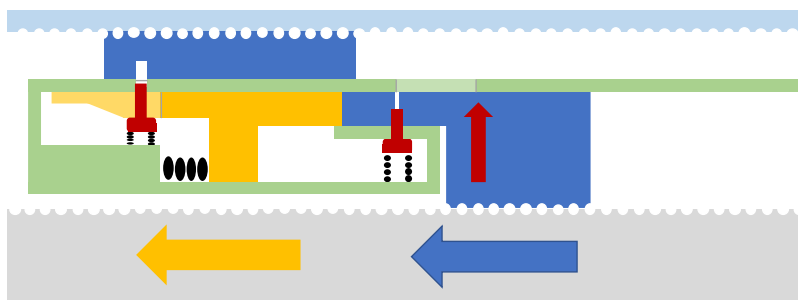
Tras el transcurso de todas las fases, el actuador queda en su posición de funcionamiento secundaria, posición representada con anterioridad en el diseño de detalle, en la cual el actuador mantiene una operatividad completa constituyendo así un actuador lineal electromecánico de alta fiabilidad a fallo mecánico, verificable y reinicialable.



Reconfiguración (Fase 1)



Reconfiguración (Fase 2)



Reconfiguración (Fase 3)

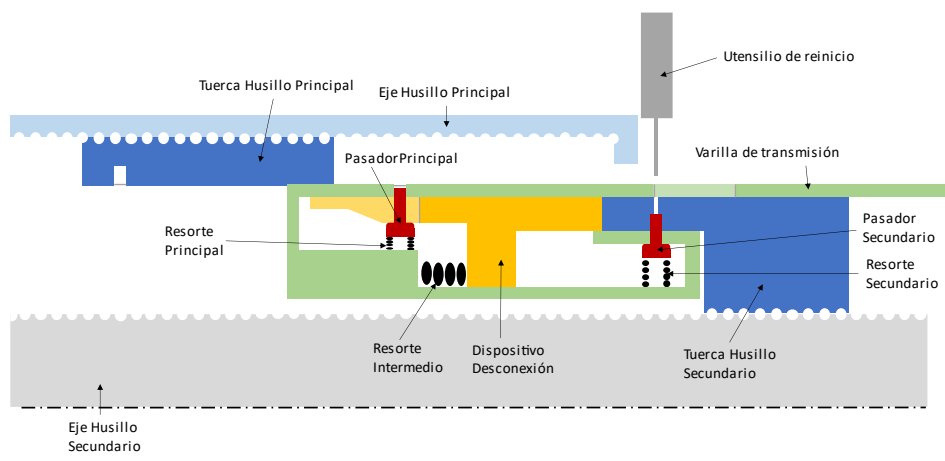
Ilustración 40 Reconfiguración mediante pasadores

Al igual que en el caso de reconfiguración mediante esferas retenedoras, la actuación es verificable y reinicial. El proceso de reinicio se compone de tres fases fácilmente diferenciables, las cuales se van a describir a continuación, Ilustración 41.

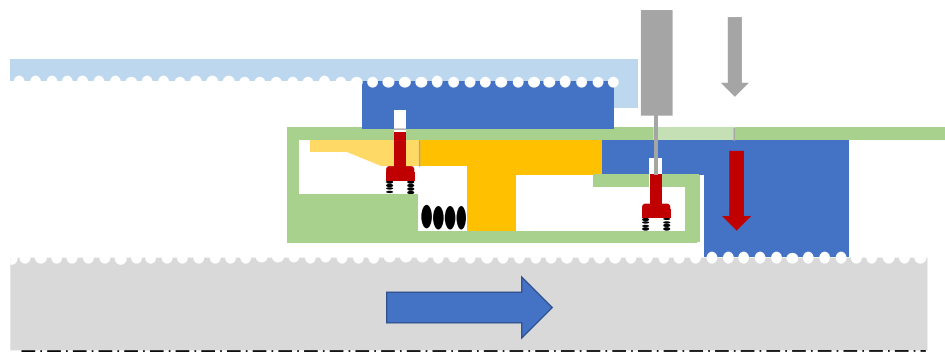
La primera de ellas se compone de la ubicación del mecanismo antibloqueo en la posición de reinicio. Esta posición, se consigue ubicando la tuerca secundaria en la posición de extensión completa del actuador. En dicha posición, parte del mecanismo antibloqueo queda fuera del eje del husillo principal permitiendo de esta forma realizar el reinicio manual del dispositivo. Entonces, para poder acceder al interior y permitir la utilización del utensilio de reinicio se debe quitar una pieza determinada de la carcasa y desde proceder a comenzar el reinicio del dispositivo. El utensilio de reinicio se compone de un aro de diámetro variable con unos salientes mediante los cuales se presionarán los pasadores secundarios.

En la segunda fase, mediante el utensilio de reinicio, se aplica una carga lo suficientemente elevada en los pasadores secundarios, la cual vence la fuerza realizada por los resortes secundario, y de esta forma se consigue devolver los pasadores a sus posiciones de funcionamiento principal. A su vez, al igual que es de gran importancia ubicar la tuerca secundaria en una posición determinada, también es de gran importancia ubicar la tuerca primaria en su posición de carrera máxima, para conseguir de esta forma acoplar el pasador principal a la misma tras el reinicio. De lo contrario, el dispositivo de reconfiguración se reiniciaría, pero quedaría totalmente inoperable, ya que de este modo no habría ninguna fija mediante los pasadores a la varilla de transmisión.

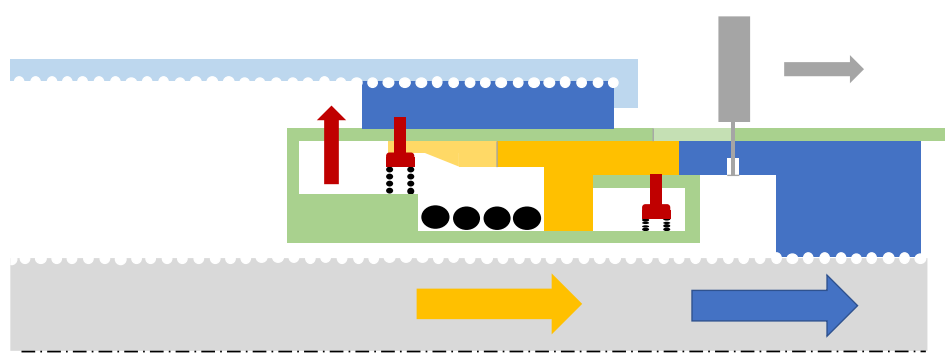
En la tercera y última fase, se retira la tuerca secundaria. Esto es posible por una sobrecarrera ubicada en el extremo de extensión del eje del husillo secundario. Esta sobrecarrera es únicamente utilizada para el reinicio del dispositivo y no como carrera de funcionamiento natural del actuador. La posición fija de la tuerca en la parte final de la sobrecarrera del actuador es la posición determinada de inicio, posición en la que el actuador está funcionando en su modo principal y la tuerca secundaria hace las funciones de casquillo para la varilla de transmisión. Tras el desplazamiento de la tuerca secundaria a esta posición, el dispositivo de desconexión, a su vez, se desplaza también hacia la derecha por medio de la fuerza ejercida a través del resorte intermedio. De esta forma se bloquea así el desplazamiento de traslación del pasador secundario y devolviendo el pasador principal a su posición de acople con la tuerca principal.



Reinicio (Fase 1)



Reinicio (Fase 2)



Reinicio (Fase 3)

Ilustración 41 Secuencia de reinicio mediante pasadores

9.1.3. Conclusión diseño de detalle

Para concluir, se comparan y estudian los dos diseños conceptuales presentados. En el caso de la reconfiguración mediante esfera, se aprecia la gran ventaja que tiene el reinicio automático, mediante una sobrecarrera actuada mediante el motor secundario, por lo que no hace falta ningún utensilio de reinicio ni el desarme de la carcasa, como ocurre en la reconfiguración mediante pasadores. Por otro lado, como ya se ha comentado con anterioridad, la superficie de contacto entre las esferas y los planos de apoyo es muy pequeña, añadiendo a esto que al ser los planos de contacto con estas esferas planos inclinados, las cargas aplicadas no pasan al dispositivo como cortante puro, disminuyendo de esta forma la capacidad de carga del actuador. Esto no ocurre en el caso de la reconfiguración mediante pasadores, donde el pasador tiene una gran superficie de contacto tanto en la tuerca como en la varilla de transmisión. Además, al ser las superficies de contacto perpendiculares a la aplicación de las cargas, estas se transformarían en cargas de cortante puro, aumentando así la capacidad de carga del actuador.

Al ser un proyecto dirigido al sector aeronáutico y al ámbito aeroespacial, donde las cargas a soportar pueden llegar a ser de unas decenas de kN, se ha optado por la reconfiguración mediante pasadores, la cual da al actuador la solidez, capacidad de carga y fiabilidad necesaria para este tipo de operaciones. Para terminar, cabe destacar que al ser el reinicio una secuencia de comprobación no es de especial importancia que este se realice automáticamente. Se concluye que en ningún momento se va a dar el caso en el que se quisiera volver a la posición principal en pleno funcionamiento, ya que se da por hecho que si el actuador se ha reconfigurado a su posición secundaria es debido a un bloqueo del husillo principal. Es por ello por lo que un reinicio manual es aceptable, para hacer las comprobaciones pertinentes cada un determinado tiempo.

9.2. Diseño funcional y Modelización

El diseño funcional comprende la descripción geométrica de las distintas piezas, de tal forma que el conjunto formado por ellas sea totalmente fabricable y montable. Para ello se ha de llevar a cabo un proceso de estudio de detalle de las distintas geometrías adoptadas por dichas piezas, y adaptarlas, primeramente, al tipo de fabricación seguido de la secuencia de montaje. Como se ha mencionado, una vez se tienen las piezas definidas constructivamente, se ha de tener en cuenta que estas piezas se han de montar para formar un conjunto, por tanto, se debe definir las distintas uniones pertinentes que permitan un correcto y fácil montaje de estas piezas.

A continuación, se van a detallar los distintos requisitos de las piezas que forman el conjunto, con el objetivo de modelizarlas posteriormente mediante el software de modelización 3D denominado Catia V5. Estos requisitos se basarán en la optimización del proceso de fabricación, así como el proceso de montaje.

- Eje Husillo Principal

Esta pieza es una pieza de revolución, por lo que será fabricada en torno. El eje del husillo principal es un cilindro hueco, con un carril helicoidal en su cara interior, a lo largo de su longitud, por donde circularán las bolas. En la Ilustración 42 se puede visualizar la pieza diseñada tanto en corte como al completo.

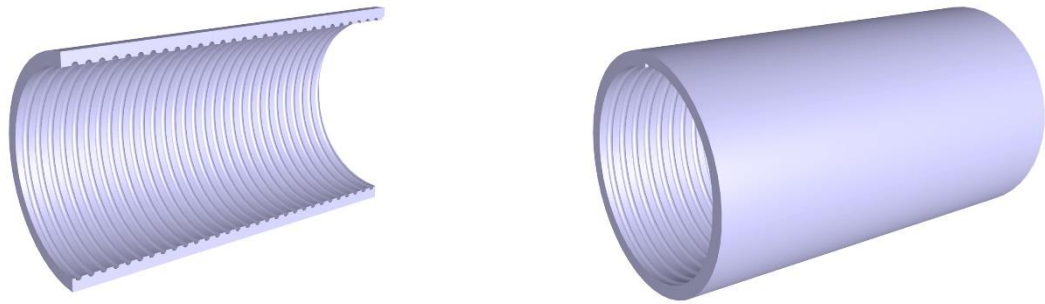


Ilustración 42 Eje husillo principal

- Tuerca Husillo Principal

La tuerca del husillo principal es una pieza de revolución y por tanto se fabricará en torno. Esta se compone de un cilindro hueco. Por la superficie exterior se realizará un canal helicoidal, de las mismas características que el del husillo principal, con el objetivo de cerrar el carril de bolas. Además, por su cara interior se le realizarán unos orificios, los cuales serán los responsables de alojar los pasadores y de esta forma transmitir las cargas del dispositivo. La tuerca del husillo principal se visualiza en la Ilustración 43.



Ilustración 43 Tuerca husillo principal

- Eje Husillo Secundario

Esta pieza es una pieza de revolución, por lo que será fabricada en torno. Esta pieza es un eje cilíndrico macizo con un carril helicoidal a lo largo de su longitud, por donde circularán las bolas. En la Ilustración 44 se visualiza la pieza diseñada.

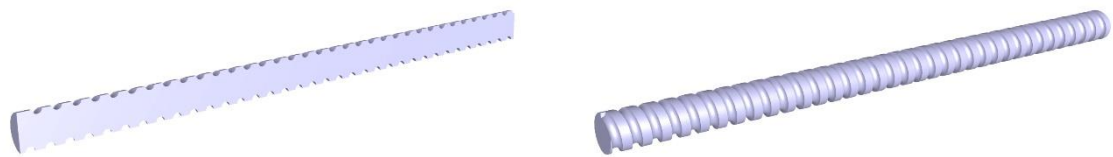


Ilustración 44 Eje husillo secundario

- Tuerca Husillo Secundario

La tuerca del husillo secundario es una pieza de revolución por lo que será fabricada en torno. Se compone de un cilindro hueco, con un carril helicoidal semejante al del eje husillo secundario por su superficie interior. Para realizar el acople de la tuerca con la varilla de transmisión, se torneará una zona de mayor diámetro interior donde irán ubicados los orificios pertinentes que permitan el acople de los pasadores a la rueda secundaria. En la Ilustración 45 se puede visualizar la pieza Tuerca del Husillo Secundario.



Ilustración 45 Tuerca husillo secundario

- Varilla de transmisión

La varilla de transmisión se compone principalmente de una parte de revolución, por lo que se fabricará en torno. La varilla de transmisión se compone de un cilindro hueco con uno de sus extremos macizo y plano.

Por otra parte, se han de diseñar dos piezas pertenecientes a la varilla de transmisión, las cuales sirvan de soporte al dispositivo de desacople y dispositivo de desconexión. Estas piezas serán de revolución, atornilladas a lo largo de la circunferencia del eje. De esta forma, se podrá acceder al interior de dichas piezas, para montar el resto de los elementos que componen el dispositivo de reconfiguración.

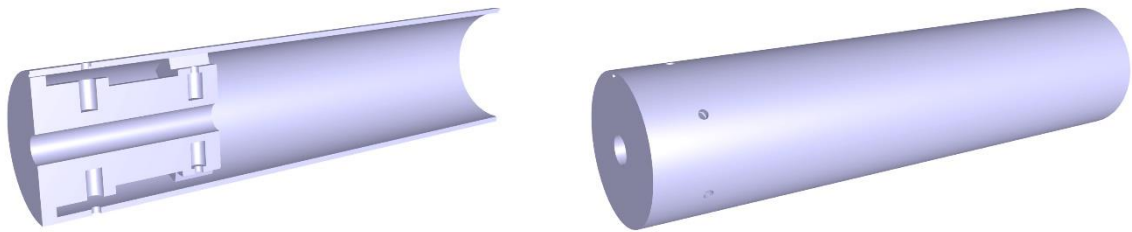


Ilustración 46 Varilla de transmisión

- Dispositivo de Desconexión

El dispositivo de desconexión es una pieza de revolución maciza y por tanto se fabricará en torno. Esta es una única pieza diseñada con sus rampas y caladuras permitientes con el objetivo de cumplir con las funciones del dispositivo de desconexión. Es la pieza que mejores tolerancias ha de tener ya que es la responsable del correcto desplazamiento de los pasadores.



Ilustración 47 Dispositivo de desconexión

- Pasadores

Los pasadores, son piezas de catálogo de tipo cilíndrico, de un tamaño determinado para cumplir con éxito la función de retención de las partes móviles.

Para determinar el tamaño de los pasadores se ha tenido en cuenta la fuerza media que estos deben soportar. De inicio se supone una carga axial media de 40000N, este caso representa la actuación de uno de los actuadores electromecánicos de la tobera vectorial de un avión de combate. El dispositivo de desconexión se compone de 6 pasadores los cuales reciben la carga por igual. Para este caso de estudio se valora el uso correcto de solamente 4 de ellos, aumentando la seguridad del sistema. Por ello cada pasador ha de soportar un total de 10000N a cortadura pura.

El material de los pasadores es acero 17-4 PH, un material resistente y de alta capacidad de carga. Los valores técnicos de este material son: Tensión última 860 MPa, tensión de fluencia 725 MPa, tensión a cortante 433.95 MPa. Al ser la fuerza la tensión a cortante por el área, se obtiene un radio mínimo de pasador de 2.71mm. Para ser más precisos, se ha decidido multiplicar este por un factor de corrección de 1.47 obteniendo de esta forma un radio de pasador de 8mm. En la Ilustración 48 se puede observar el pasador de doble diámetro diseñado.



Ilustración 48 Pasador

- Resorte Intermedio

Un único resorte concéntrico al eje del actuador. Este ha de ser calculado y posteriormente fabricados por una empresa especialista. Se ha decidido que el material del resorte sea cobre-berilio ya que es un material idóneo para este tipo de actuaciones. Además, tiene un límite a tensión ultima elevado, de 1280 MPa, lo cual ofrece al dispositivo la posibilidad de soportar grandes fuerzas. A la hora de calcular el resorte se han de tener en cuenta las fuerzas de fricción que aparecen en el pasador, ya que son estas las que tiene que contrarrestar para

poder hacer la reconfiguración. El resorte representado ha de ser estudiado y analizado para las funciones a desarrollar por el actuador, Ilustración 49.



Ilustración 49 Resorte intermedio

A continuación, en la Ilustración 50, se muestra el conjunto final con todas las piezas correctamente montadas. Se han coloreado según los colores explicativos del diseño de detalle y funcional, visto con anterioridad, para facilitar al lector su diferenciación. Se puede visualizar el conjunto completo, destacando su compacidad y fácil modo de actuación a la hora de detectar el bloqueo mecánico.

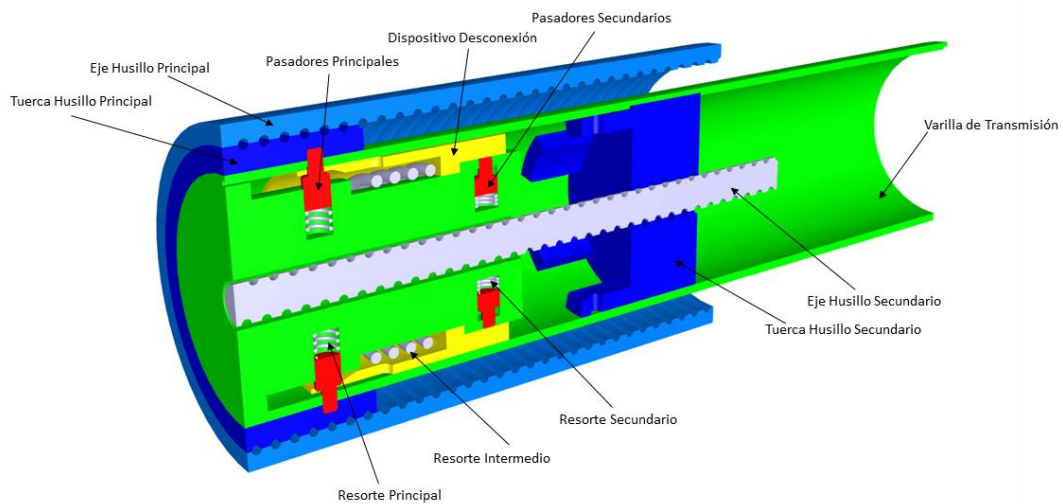


Ilustración 50 Mecanismo de desconexión 3D

9.3. Impresión 3D

Una vez que se ha completado el diseño y se ha verificado el correcto funcionamiento teórico de este, se comienza la fase de fabricación de un modelo de ingeniería. Se ha decidido realizar un modelo de ingeniería del mecanismo antibloqueo en 2D. De esta forma será mucho más fácil ver el movimiento entre las distintas piezas, ya que el diseño representaría un corte del dispositivo, y conseguir de esta forma localizar posibles puntos de fallos y opciones de mejora en el mecanismo antibloqueo. Este proceso se lleva a cabo utilizando la impresora 3D ubicada en las instalaciones de la empresa SENER Aeroespacial. La impresora 3D en concreto es la Stratasys Dimension 1200es, Ilustración 51, y el material utilizado es termoplástico ABSplus.



Ilustración 51 Stratasys Dimension 1200es

El procedimiento de impresión se realiza siguiendo los pasos mencionados a continuación. Primero, cada pieza del modelo de ingeniería, previamente diseñada en CatiaV5, se exporta al ordenador de la empresa en el formato STL, ya que este formato se centra solo en leer la geometría de la parte 3D, independientemente de las texturas o los colores. Mediante el software CatalystEX se convierte el archivo STL en un trabajo de impresión 3D, incluyendo la base como cualquier soporte necesario para facilitar su fabricación. CatalystEX proporciona una visión 3D del modelo antes de la impresión, además ofrece la habilidad de escalar los modelos 3D al tamaño deseado, la elección de la posición y orientación de tu modelo en la plataforma de fabricación y una cola capaz de gestionar muchos trabajos de impresión, incluyendo los tiempos y consumos de material estimados.

Una vez que la información ha sido procesada, comienza la impresión de la pieza. Dentro de la impresora, el filamento de plástico viaja a través de un tubo hasta el cabezal de impresión donde es calentado hasta un estado semilíquido y extrusionado en capas finas y precisas. La impresora inyecta capa por capa hasta que la pieza esté completa. Cuando la impresora 3D termine su trabajo, se deben separar los dos materiales utilizados en la impresión, el material de soporte y el material de la pieza.

Para separar estos dos materiales se inserta la pieza recién fabricada en soda cáustica y una solución de agua caliente, a una temperatura de 60°C bajo la influencia de placas térmicas. Las propiedades de este líquido permiten que el proceso de separación se lleve a cabo correctamente y de una manera más segura. Una vez se tienen todas las piezas impresas se procede al montaje del modelo de ingeniería y la comprobación del mecanismo diseñado.

9.3.1. Fabricación y montaje modelo de ingeniería

En este apartado se va a recopilar, de forma resumida, los pasos seguidos a la hora de realizar el modelo de ingeniería del mecanismo antibloqueo. El modelo de ingeniería va a ser una impresión 3D de la representación del corte en alzado del mecanismo, para así poder analizar y visualizar el funcionamiento de la reconfiguración. La sección representada coincide con el plano que interseca los pasadores y resortes por la mitad. En la Ilustración 52, se puede observar el diseño de detalle.

Para comenzar, se decide diseñar una base sólida, con respecto a la cual se moverán los diferentes componentes. Esta base contendrá todos los elementos fijos del mecanismo antibloqueo, en este caso, el eje del husillo principal y secundario. Seguido, en contacto con estas dos representaciones de los ejes principales y secundarios, se situarán tanto la tuerca primaria como secundaria, con los sus orificios pertinentes donde se alojarán los pasadores. Además, estas tuercas tendrán en su reverso dos pasadores adicionales los cuales atravesarán la base por medio de dos carriles guía. Estos carriles servirán para poder dar movimiento a las tuercas desde la parte trasera del conjunto y de esta forma simular el accionamiento de los husillos.

Por otro lado, la varilla de transmisión se fabricará de una sola pieza para facilitar el montaje del modelo de ingeniería. Esto no es así en el mecanismo antibloqueo original, en el cual consta de tres partes separables. En el interior de la varilla de transmisión se aloja el dispositivo de desconexión, también representado en corte. El dispositivo de desconexión se desliza sobre la varilla de transmisión a la hora de la reconfiguración. La varilla, a su vez, llevará también en su reverso un par de pasadores, los cuales, estarán guiados en su movimiento de traslación por medio del mismo carril ranurado utilizado por la tuerca secundaria.

Para dar movimiento de traslación a las tuercas principales y secundarias se diseñarán también unas agarraderas las cuales irán situadas en la parte trasera de la base y mediante las

cuales se podrá ejecutar la reconfiguración del dispositivo. Por otro lado, en la parte delantera del conjunto se instalará un acrílico para poder así tapar y visualizar el funcionamiento del modelo de ingeniería del mecanismo antibloqueo.

Para finalizar, se han buscado en catálogos los resortes y pasadores necesarios para finalizar con el modelo de ingeniería. Por ello, los dimensionamientos de las distintas piezas antes mencionadas han sido adaptados a estos productos comerciales. También se ha decidido instalar helicoils para facilitar el montaje y desmontaje de las piezas sin dañar el conjunto por lo que también se comprarán en comercio. Por último, también se necesitarán lijas, pegamento y tijeras las cuales también son prestadas por esta empresa.

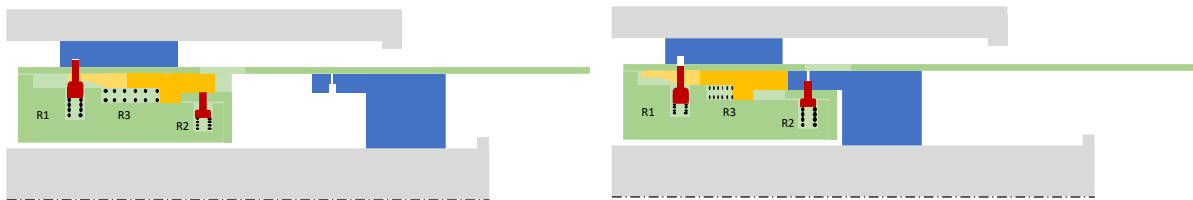


Ilustración 52 Ilustración del modelo de ingeniería

Resortes: Leroy Merlin, 29.5mm x 9.9mm, 3N/mm

Pasadores principal y secundario: RSComponentes, L 20mm, d 4mm Código RS:270-580

Pasadores de guiado: RSComponentes, Pasador cilíndrico 20mm, d 4mm Código RS:270-580

Helicoils: RSComponentes, M4 x 0.7 6mm, Código RS:471-005

Tornillería: Leroy Merlín, tuercas en acero con cabeza redonda y 16 mm Ref. 82582757

Papel lija, herramientas, pegamento y utensilios de montaje, SENER Aeroespacial

Como se ha mencionado antes, los alojamientos de los resortes han sido calculados debidamente para que los muelles se mantengan precargados en todo momento con una tensión adecuada para el correcto funcionamiento del mecanismo. A continuación, se representan las diferentes configuraciones del modelo de ingeniería con los valores calculados, Ilustración 53.

Muelle de Leroy Merlín L=29.5mm K=3N/mm

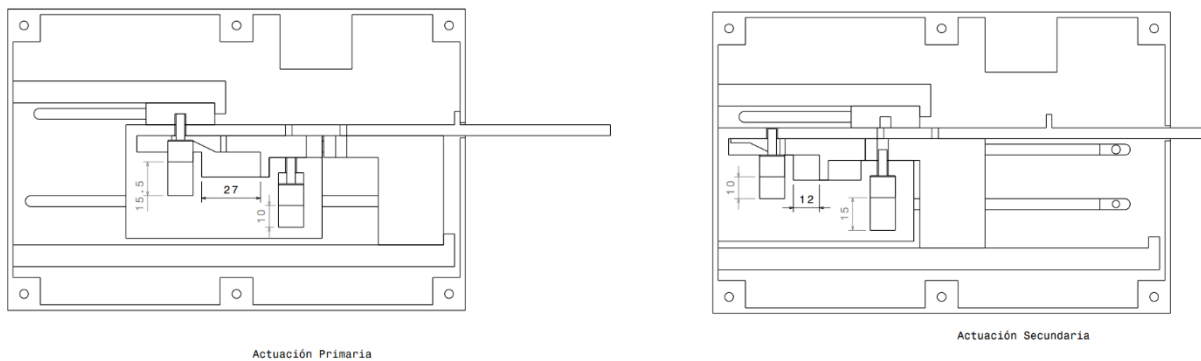


Ilustración 53 Dimensionamiento alojamiento resortes

Actuación Principal

F1=42N F2= 58.5N F3=7.5N

Actuación Secundaria

F1= 58.5N F2=43.5N F3=52.5N

Para la selección de los pasadores, se ha optado por elegir unos pasadores cilíndricos de catálogo y acoplarlos a una base de mayor diámetro. Por lo tanto, los pasadores son de doble diámetro, el de mayor tamaño de 10mm de diámetro y el segundo de 5mm. Las longitudes son 10mm y 12mm respectivamente. Los pasadores se han obtenido del catálogo de MISUMI. A continuación, se muestran los utensilios y piezas adquiridas comercialmente. Ilustración 54, en la fila superior de izquierda a derecha el útil para montar helicoils, los helicoils y tornillería. En la fila inferior de izquierda a derecha una pieza de lija, resortes y pasadores.



Ilustración 54 Utensilios y piezas comerciales

A continuación, se presentan el modelado CAD del modelo de ingeniería, en sus diferentes configuraciones Ilustración 55 e Ilustración 56. Este diseño es el que se enviará a la impresora 3D mediante un conjunto de archivos STL formado por las piezas a imprimir.

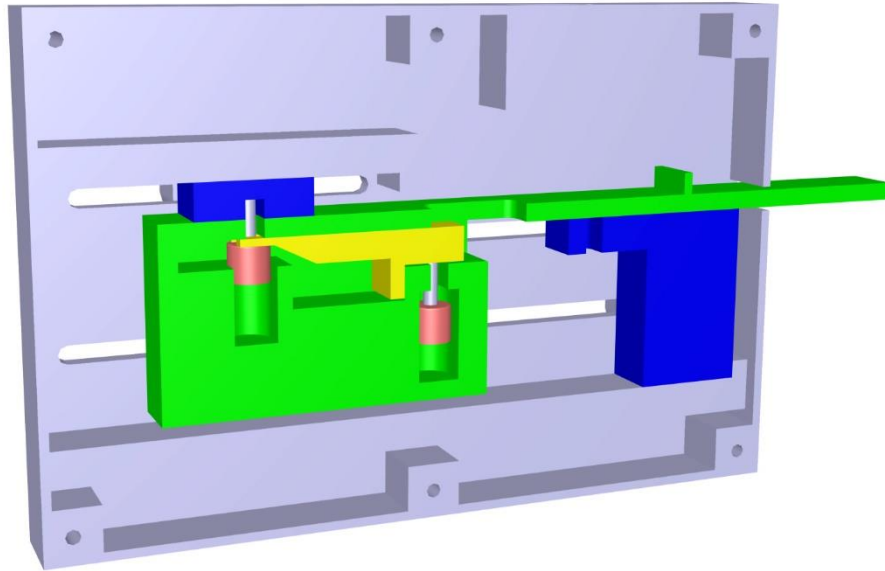


Ilustración 55 Diseño ingeniería 3D actuación principal

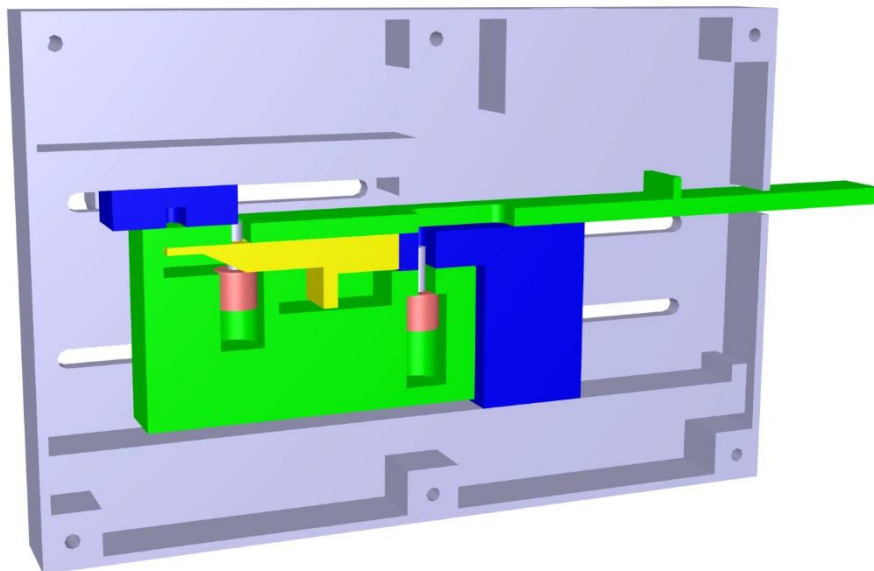


Ilustración 56 Diseño ingeniería 3D actuación secundaria

Una vez se ha verificado que las piezas encajan y el funcionamiento del mecanismo se simula correctamente, se procede a imprimir cada una de las piezas mediante el procedimiento descrito anteriormente. Una vez se han impreso todas las piezas y con los resortes y pasadores comerciales adquiridos, se finaliza el apartado con el montaje del conjunto. Seguido, en la Ilustración 57, se muestran las piezas impresas mediante la impresora 3D.

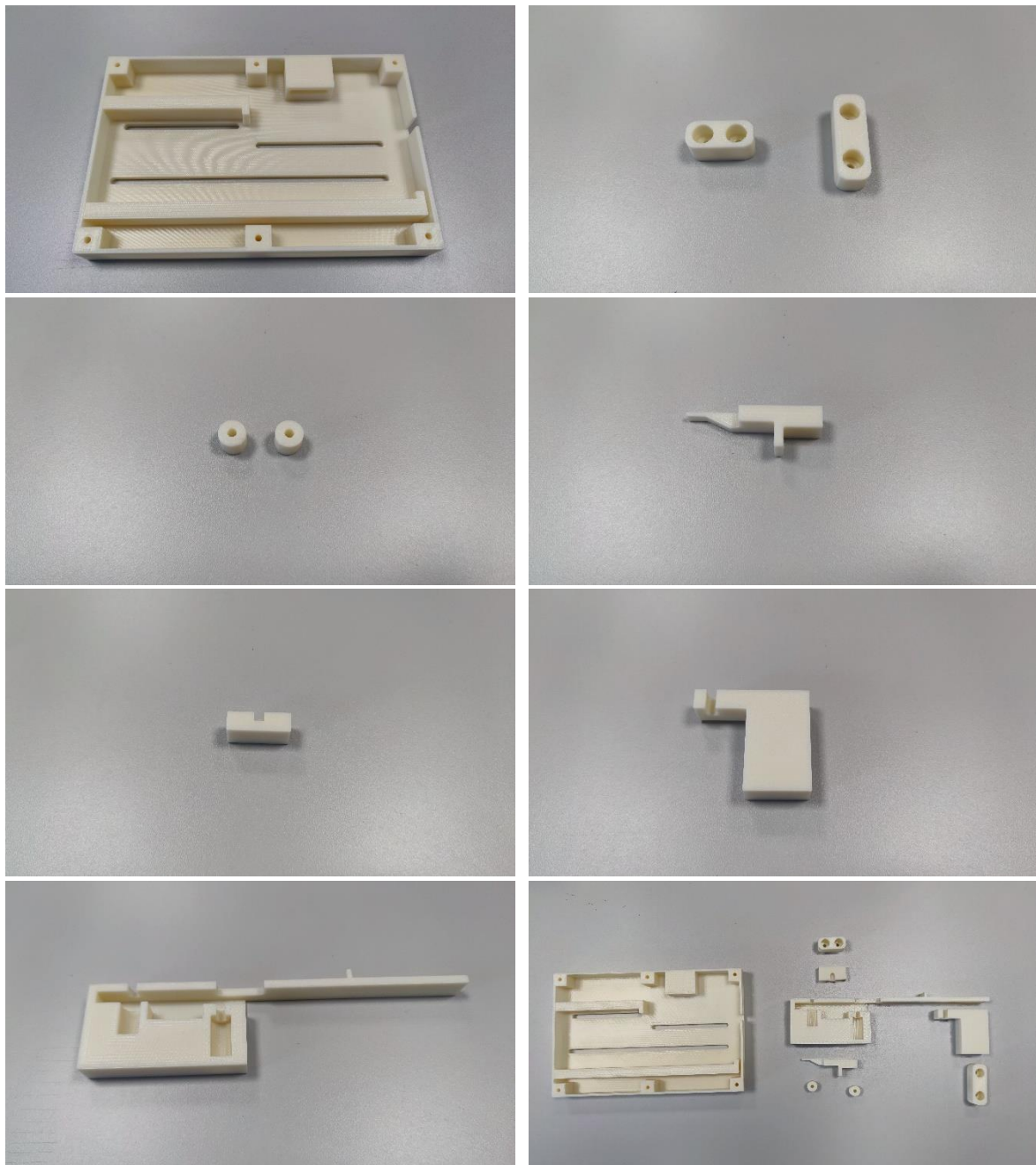


Ilustración 57 Impresión de piezas 3D

Los principales pasos para proceder a montar el conjunto son:

- Lijado de las piezas para la obtención de un buen contacto cara con cara.
- Realización de la rosca para los helicoils y la instalación de estos.
- Unión de los pasadores con sus respectivos cuerpos cilíndricos.
- Atornillado de las tuercas.
- Acoplamiento de los tres resortes en sus oportunos alojamientos.
- Instalación delacrílico en la parte frontal
- Atornillado del conjunto

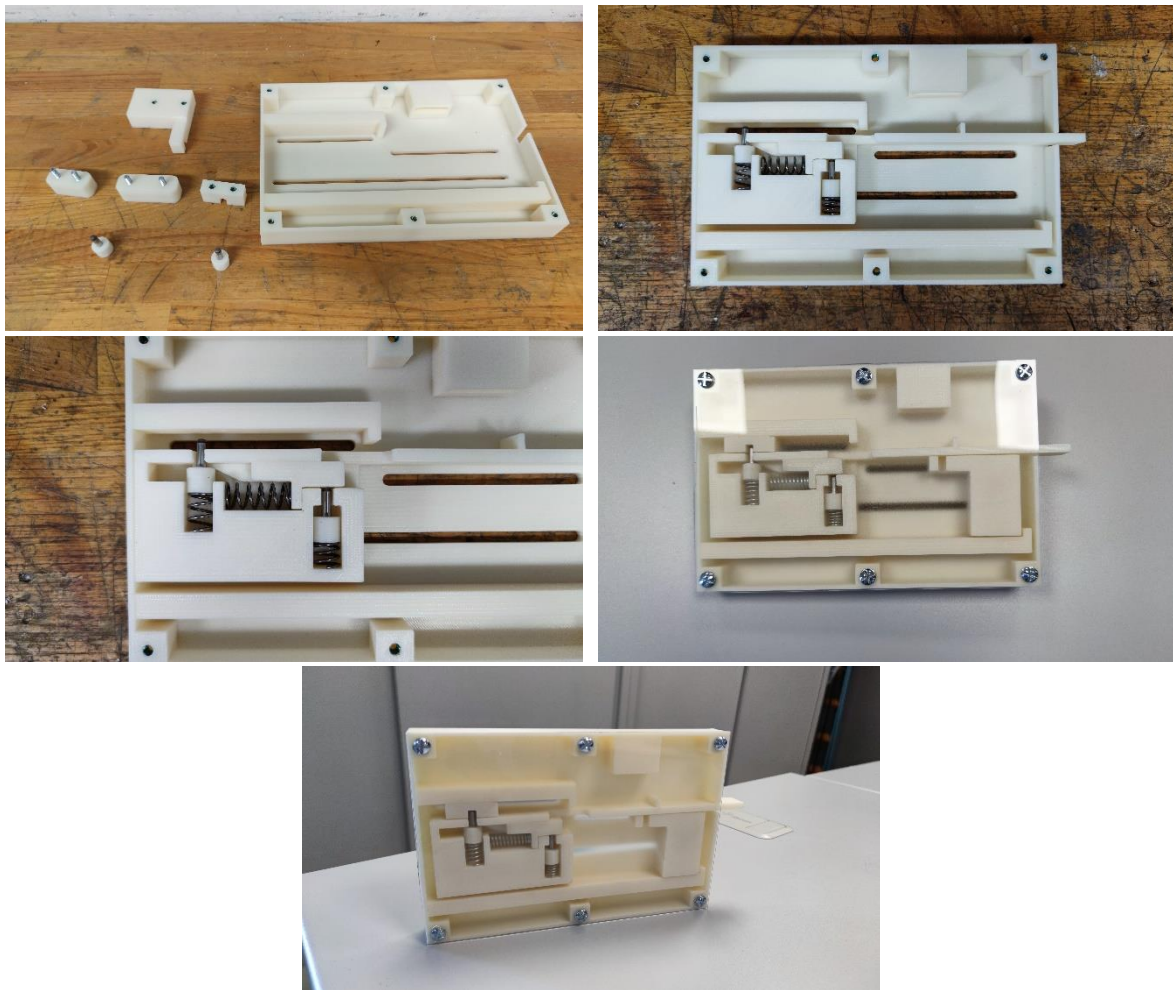


Ilustración 58 Secuencia de montaje del modelo de ingeniería

Tras el correcto montaje, se observa que la pieza dispositiva de desconexión, la cual ha sido previamente diseñada con una única uña, no es lo suficientemente rígida para realizar su función y además por un tema de visualización del conjunto, se decide modificar esta pieza añadiendo una segunda cuña por su parte frontal. De esta forma la pieza abraza el pasador principal y tanto su funcionalidad como visibilidad de operación mejoran drásticamente. Tras esta modificación, se comienza un análisis funcional del dispositivo. Se realiza la

reconfiguración y se observa que se ejecuta en un intervalo de tiempo muy pequeño y además mostrando solidez al conjunto. De esta forma se pasa de una configuración bloqueada a una sin bloquear de una manera muy fiable. Por último, se reconfigura el mecanismo y se realizan una serie de pruebas más para concluir con el resultado satisfactorio del diseño y montaje del conjunto. A continuación, se muestra la nueva pieza fabricada, Ilustración 59 y el útil de reinicio, Ilustración 60.



Ilustración 59 Dispositivo desconexión (una uña) (izq.) y nuevo dispositivo de desconexión (dos uñas) (dcha.)



Ilustración 60 Útil de reinicio

A continuación, se presenta el resultado final del modelo de ingeniería, Ilustración 61. El conjunto incluye todas las piezas impresas y compradas comercialmente como los pasadores, resortes y acrílico frontal, todo sujeto mediante tornillos.

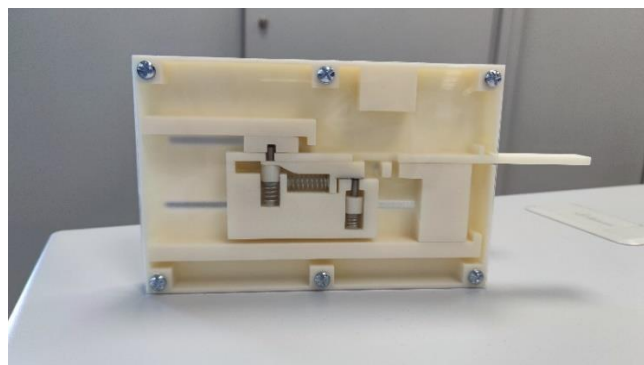


Ilustración 61 Resultado final modelo de ingeniería

Por último, en la Ilustración 62 e Ilustración 63 se presentan los dos modos de funcionamiento principales del modelo de ingeniería. Se observa cómo en el primer caso es la tuerca principal la que está en contacto con el pasador principal y en el segundo caso es la tuerca secundaria, la que tras la reconfiguración, está en contacto con el pasador secundario.

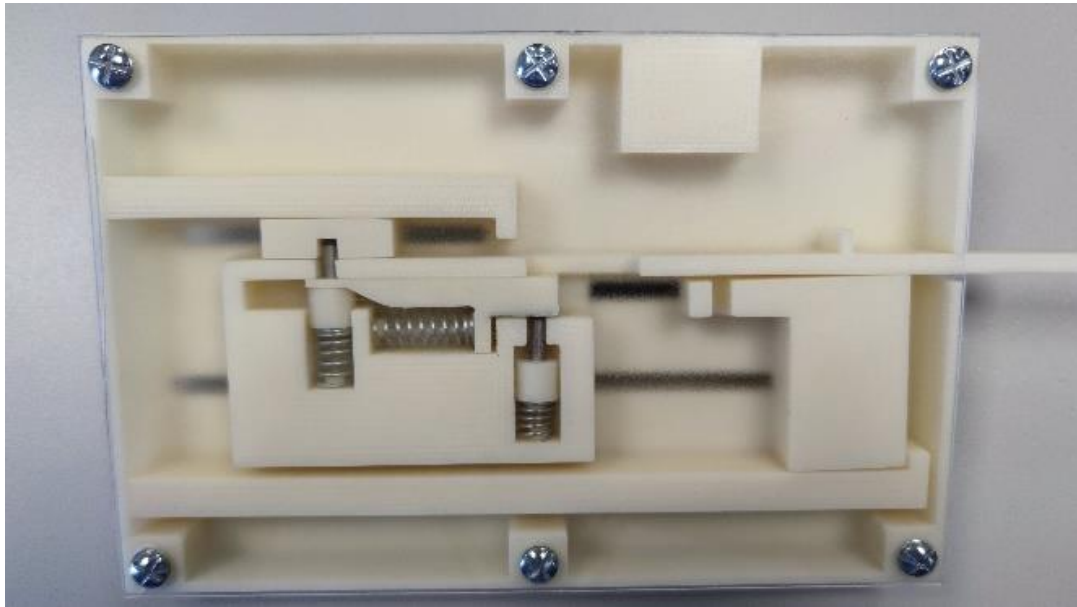


Ilustración 62 Modelo de ingeniería actuación principal



Ilustración 63 Diseño ingeniería actuación secundaria

9.3.2. Conclusión modelo de ingeniería

En conclusión, se observa el correcto funcionamiento del conjunto. Se destaca la alta velocidad de reconfiguración y la solidez del conjunto una vez reconfigurado. Por lo tanto, tras el estudio del funcionamiento del modelo de ingeniería, se demuestra que es posible buscar una solución puramente mecánica al problema del bloqueo mecánico en actuadores lineales electromecánicos y por ello abre una nueva vía de desarrollo de actuadores novedosos.

El modelo de ingeniería permite ver en sección cómo se realizaría la reconfiguración en tiempo real, además de poder visualizar el reinicio del actuador el número de veces que se desee, verificando de esta forma la mayor parte de los requisitos mencionados en apartados anteriores.

10. TAREAS Y DIAGRAMA DE GANTT

10.1. Tareas

Esta sección recopila los pasos realizados desde el comienzo hasta la finalización del proyecto. Iniciando con las diferentes fases del trabajo, estas se agrupan en diferentes paquetes de trabajo (PT) y tareas (T) las cuales han sido realizadas durante el análisis y diseño del mecanismo antibloqueo. De esta forma se pueden visualizar todas las tareas conjuntamente y organizarlas para así concluir con un orden de ejecución, duración y coste del proyecto. Tras la realización del proyecto puede haber algún percance o inconveniente que resulten tareas retrasadas o por el contrario algún suceso que haga que se adelante alguna tarea. Todas estas alteraciones afectan al desarrollo del proyecto y se ven reflejados en el diagrama de Gantt, el cual se va a presentar más adelante.

A continuación, se recopilar los paquetes de trabajo y las tareas en las que se ha dividido el desarrollo de trabajo. Se realiza una breve descripción de esta e ira acompañada de los recursos necesarios, la duración de la tarea y los entregables obtenidas tras su finalización.

PT.1. Contexto, Beneficios y Objetivos

El primer paquete de trabajo a desarrollar en todo el proyecto es la redacción de los apartados contexto, beneficios y objetivos. Estas secciones inician con un simple análisis del proyecto, seguido de la redacción de estos. Esta tarea es esencial para tener un buen punto de partida y conseguir una buena base formativa para lograr el buen desarrollo del proyecto.

T.1. Redacción

- Descripción: Se expone toda la información recopilada. Se hace con especial interés en el contexto, para lograr mostrar al lector el ámbito en el que se desarrolla el trabajo y los beneficios que trae la finalización del este.
- Recursos materiales: Ordenador.
- Duración: 2 semanas.
- Entregables: Contexto, Objetivos y Alcance, Beneficios.

PT.2. Estado del Arte

El segundo paquete de trabajo consiste en realizar el Estado del Arte. Se comienza con una búsqueda intensa de información, comenzando con los diferentes tipos de actuadores y sus usos seguido, más específicamente, de los distintos mecanismos antibloqueo existentes en el mercado. A continuación, se redacta y explica al lector la tecnología actual.

T.2.1. Recopilación

- Descripción: Se recopila toda la información relacionada con los actuadores y mecanismos antibloqueo.
- Recursos materiales: Ordenador.
- Duración: 4 semanas.
- Entregables: Bibliografía de páginas webs, patentes e informes consultados.

T.2.2. Redacción

- Descripción: Se expone toda la información estudiada. Se prioriza el actuador lineal electromecánico y los mecanismos antibloqueo que se asemejan y cumplen parte de las especificaciones del mecanismo a diseñar.
- Recursos materiales: Ordenador, Informes de Ingeniería.
- Duración: 2 semanas.
- Entregables: Escrito Estado del arte.

PT.3. Descripción del mecanismo

En este apartado se lleva a cabo el tercer paquete de trabajo el cual integra la descripción y el estudio del funcionamiento del mecanismo. En la tarea se detalla la función de los distintos mecanismos antibloqueo ya patentados. También abarca la selección del mecanismo antibloqueo propuesto, incluyendo la comprensión de la redundancia a bloqueo mecánico impulsada por los cambios de configuración del actuador.

T.3. Redacción.

- Descripción: Se describe el mecanismo en su forma más sencilla y se estudia el cambio de topología del actuador, causado por el sistema antibloqueo.
- Recursos materiales: Ordenador, Estado del Arte.
- Duración: 8 semanas.
- Entregables: Escrito Mecanismo antibloqueo.

PT.4. Modelización

Para realizar el estudio del mecanismo, primeramente, se ha de realizar el diseño de detalle y funcional del mecanismo antibloqueo. Luego se debe diseñar en CatiaV5 el mecanismo en sí, para posteriormente, estudiar los movimientos derivados de cada una de sus configuraciones, observando un funcionamiento correcto.

T.4.1. Redacción.

- Descripción: Esta tarea incluye la redacción e ilustración del diseño de detalle y funcional del mecanismo. Estos diseños ayudan a la comprensión y al estudio del mecanismo.
- Recursos materiales: Ordenador, Escrito Mecanismo Antibloqueo.
- Duración: 4 semanas.
- Entregables: Escrito Metodología: diseño de detalle y funcional.

T.4.2. Modelización 3D.

- Descripción: Partiendo de planos del mecanismo, se realiza el diseño en 3D de las diferentes piezas y se ensamblan.
- Recursos materiales: Ordenador, CatiaV5, Diseño de detalle y funcional.
- Duración: 4 semanas.
- Entregables: Archivos STL, Imágenes.

PT.5. Fabricación del modelo de ingeniería

Este paquete de trabajo incluye la impresión del conjunto de piezas del modelo de ingeniería mediante la impresora 3D y su posterior montaje. Después se realizará el análisis de movilidad del mecanismo, obteniendo los puntos favorables y desfavorables del mismo.

T.5.1. Impresión

- Descripción: Una vez diseñado el mecanismo antibloqueo, se transfiere la información del modelo de ingeniería a la impresora 3D.
- Recursos materiales: Ordenador, CatalystEX, Impresora 3D, Archivos STL.
- Duración: 1 semana.
- Entregables: Piezas del modelo de ingeniería.

T.5.2. Montaje

- Descripción: Ensamblaje de las distintas piezas del modelo de ingeniería consiguiendo así el conjunto final.
- Recursos materiales: Piezas del modelo de ingeniería.
- Duración: 1 semana.
- Entregables: Modelo de ingeniería.

PT.6. Desarrollo de memoria.

A lo largo de la ejecución de las tareas mencionadas, se va desarrollando en paralelo la memoria. Este proceso es el más extenso, ya que comienza con el paquete de trabajo número uno y finaliza con el cinco. Recoge el tiempo total requerido para la realización completa del trabajo.

T.6. Desarrollo

- Descripción: Con todas las tareas realizadas correctamente, se seleccionan cuales se van a presentar en este trabajo.
- Recursos materiales: Ordenador.
- Duración: 26 semanas.
- Entregables: Memoria.

10.2. Diagrama de Gantt

Por medio del diagrama de Gantt, se puede visualizar la representación cronológica de todas las tareas realizadas a lo largo del proyecto, donde se puede apreciar la planificación seguida y la duración de cada una de las distintas tareas. Primeramente, sirve para evaluar el tiempo necesario que va a durar cada tarea y el orden de realización de estas. Como se mencionará posteriormente, existe la posibilidad de que ocurran inconvenientes a lo largo del desarrollo del proyecto y por ello este esquema inicial se vea modificado. Para evitar confusiones, el diagrama de Gantt que se presenta a continuación es la presentación final de todos los tiempos requeridos en cada tarea, una vez resueltos los inconvenientes sucedidos.

Primeramente, se ha formulado una tabla recopilando cada tarea realizada, en conjunto con sus datos más relevantes como indicar que tareas necesitan de tareas antecesoras o predecesoras, Tabla 77.

La existencia de tareas antecesoras y predecesores sucede por varios motivos. Primeramente, suele ser causa de que una tarea se base de la información obtenida de otra para poder ser desarrollada, por lo que se necesita un documento previo. Segundo, puede darse la situación de que no haya el número de medios de trabajo suficientes para poder realizar dos o más tareas simultáneamente. Por ejemplo, en el caso de este proyecto, el medio limitante era el ordenador, con el cual solo se podía buscar información, procesar renderizados, etc. de tarea en tarea.

	Identificación	Predecesora	Duración
<i>PT.1. Contexto, Beneficios y Objetivos</i>			
<i>T.1. Redacción</i>	A	-	2 semanas
Finalización Contexto, Beneficios y Objetivos		A	
<i>PT.2. Estado del Arte</i>			
<i>T.2.1. Recopilación</i>	B	A	4 semanas
<i>T.2.2. Redacción</i>	C	B	2 semanas
Finalización Estado del Arte		B C	
<i>PT.3. Descripción del mecanismo</i>			
<i>T.2. Redacción.</i>	D	C	8 semanas
Finalización mecanismo antibloqueo		D	
<i>PT.4. Modelización</i>			
<i>T.4.1. Redacción</i>	E	D	4 semanas
<i>T.4.2. Modelización 3D</i>	F	E	4 semanas
Finalización modelación		E F	
<i>PT.5. Fabricación modelo de ingeniería</i>			
<i>T.5.1. Fabricación</i>	G	F	1 semana
<i>T.5.2. Montaje</i>	H	G	1 semana
Finalización análisis de movilidad		G H	
<i>PT.6. Desarrollo de memoria</i>			
<i>T.6. Desarrollo</i>	I	-	26 semanas
Entrega del trabajo		I	

Tabla 7 Planificación de tareas

A continuación, se presenta el diagrama de Gantt, Ilustración 64, el cual es una representación gráfica de los tiempos requeridos por cada tarea y el orden de ejecución las mismas. La duración estimada total del proyecto es de 26 semanas, con fecha de inicio el 1 de febrero de 2022, y fecha objetivo de finalización el 30 de agosto de 2022. Se puede observar cómo todas las tareas van una detrás de otra, sin opción de compaginar dos o más tareas al mismo tiempo. Esto es debido al limitante de recursos, en concreto el uso de un único ordenador y autor del trabajo.

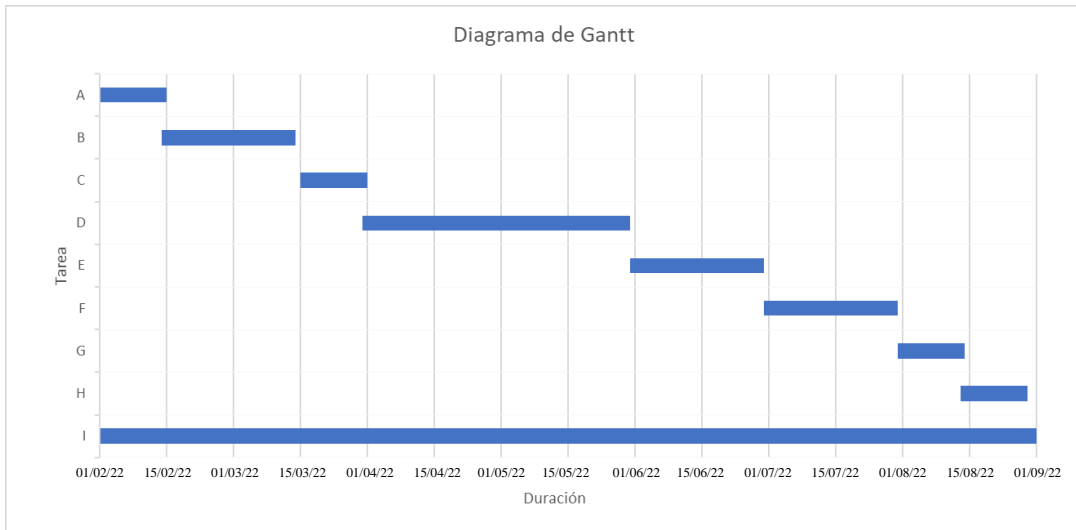


Ilustración 64 Diagrama de Gantt

11. ANÁLISIS DE RIESGOS

Este apartado analiza los distintos problemas que pueden aparecer durante el proyecto. Por ello, se han clasificado los riesgos más importantes y se han recopilado sus consecuencias. También, se tiene en cuenta la probabilidad de que un riesgo ocurra o no y cuáles son los métodos a llevar a cabo para evitar o reducir su impacto en el proyecto.

A continuación, se clasifican los riesgos que pueden ocurrir durante el trabajo, estos se clasifican según su tipología:

Pérdida de datos:

Al realizar cada tarea del trabajo se generan un alto número de documentos y datos vitales para su posterior uso, que pueden llegar a perderse por un fallo técnico del ordenador. El principal punto de este fallo podría ser un colapso o apagado involuntario del ordenador, dando como resultado la eliminación involuntaria de toda la parte del trabajo realizado hasta el momento y todos documentos no guardados.

Por otro lado, la probabilidad de que ocurra es relativamente alta ya que pueden existir un gran número de fallos en el ordenador que puedan acabar en la eliminación de la documentación y datos recopilados hasta el momento. Por lo tanto, es vital importancia incorporar un sistema de prevención. Para llevar a cabo este sistema, y no perder el trabajo desarrollado, los documentos debe guardarse en la red y periódicamente, de forma automatizada cada 10/15 minutos, de esta forma el daño se reduciría significativamente. Si se tuviera un apagón o pérdida del ordenador, podría recuperar el archivo de la red desde cualquier otro dispositivo y se tendrá la documentación completa hasta la última copia automática.

Riesgos técnicos:

Esta sección recopila todos los problemas técnicos que puedan aparecer a medida que avanza el trabajo.

Por una parte, los posibles fallos que puedan producir los distintos softwares instalados en el ordenador pueden fallar durante su ejecución, por causa de la gran cantidad de datos y difícil de difícil tratamiento que se está llevando a cabo por dicho programa, pueden conllevar a una congelación temporal del ordenador y por tanto al retraso del trabajo. Por otro lado, puede ocurrir que el uso del software sea muy complejo. Un gran número de programas informáticos, tienen un nivel de dificultad bastante alto, lo cual conlleva a retrasos desarrollo de la sección del trabajo por tiempo dedicado al aprendizaje.

La probabilidad de que ocurran este tipo de riesgos es bastante moderada. El principal suceso es el retraso del proyecto por pérdida de tiempo. Un plan de prevención adecuado para este evitar este problema sería clasificar que tipos de programas van a ser utilizados a lo largo

de todo proyecto, y evaluar su capacidad y dificultad de uso, pudiendo variar así tanto el ordenador, para que tenga más capacidad de trabajo o el conocimiento sobre el uso del programa haciendo un curso de aprendizaje anterior.

Riesgos externos:

Por último, esta sección recoge los diferentes problemas que por desgracia no es posible tener un control sobre ellos. Entre muchos, se pueden mencionar incendios, fallos eléctricos y enfermedades. Las consecuencias de este tipo de sucesos son a menudo irreparables, por lo que, aunque deben considerarse, no se puede actuar para solucionarlos. Por el contrario, la posibilidad de que suceda alguno de estos fenómenos es relativamente baja. Una de las mejores soluciones, ya mencionadas anteriormente, es guardar una copia del desarrollo del proyecto en la nube, en red, para que este pueda ser accesible desde cualquier dispositivo y de esta forma poder retomar el trabajo sin percance alguno.

12. ASPECTOS ECONÓMICOS

A la hora de elaborar el desglose de los gastos, se han considerado los siguientes apartados:

Horas internas

Corresponde al trabajo realizado por el ingeniero junior e ingeniero senior, Tabla 88. En este apartado, se evalúan las horas dedicadas al trabajo por cada rango y el coste por hora que supone cada uno.

- Ingeniero Senior, se estiman 150 horas de trabajo con un coste unitario de 60 €/h.
- Ingeniero Junior, se estiman 672 horas de trabajo con un coste unitario de 20 €/h.

Horas internas			
Trabajador	Horas	Coste/Hora	Total
Ingeniero Senior	150	60	9.000 €
Ingeniero Junior	672	20	13.440 €
		Total	22.440 €

Tabla 8 Presupuesto Horas internas

Amortizaciones

Se componen de los utensilios y medios utilizados para desarrollar el proyecto y que tienen un tiempo de uso específico, Tabla 99.

- Mobiliario de oficina: puesto de trabajo, silla, mesa, ...
- Ordenador de trabajo, utilizado exclusivamente por el alumno durante los 7 meses en los que efectúa el proyecto. Valorado en 1.000€ con un periodo de amortización de 3 años.
- Paquete de Office para empresas, por un valor de 105 € al año, utilizado durante los 7 meses.
- Licencia Catia V5, por un valor de 500€ al año, utilizado durante los 7 meses.

Amortizaciones				
Concepto	Vida Útil	Uso	Coste	Total
Mobiliario	8 años	7 meses	500 €	37 €
Ordenador	3 años	7 meses	1000 €	195€
Office	1 año	7 meses	105 €	62 €
CatiaV5	1 año	7 meses	500 €	292 €
			Total	586 €

Tabla 9 Presupuesto Amortizaciones

Bienes fungibles

Se incluyen los gastos en material útil para este trabajo, Tabla 1010. Se evalúa por número de unidades consumida por cada bien.

- Material de oficina: cuadernos, bolígrafos, calculadora, ...
- Piezas fabricadas en 3D para el montaje del mecanismo antibloqueo.
- Bibliografía consultada en red y biblioteca.

Bienes fungibles			
Concepto	Unidades	Coste	Total
Material	1	50 €	50 €
Piezas	1	150 €	150 €
Bibliografía	1	400 €	400 €
		Total	600 €

Tabla 10 Presupuesto Bienes fungibles

A continuación, Tabla 11, se recoge el presupuesto al completo:

Horas internas	22.440 €
Amortizaciones	586 €
Bienes Fungibles	600 €
Subtotal	23.626 €
Imprevistos (10%)	2.363 €
Total	25.989 €

Tabla 11 Gastos totales del proyecto

El presupuesto final es de veinticinco mil novecientos ochenta y nueve.

13. CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegan tras la finalización de un trabajo de esta relevancia son muchas, ya que el transcurso del proyecto ha incidido en muchos aspectos diferentes.

La recopilación de información ha estudiado los diferentes tipos de actuadores existentes en la industria entre los que destacan los neumáticos, hidráulicos, electrohidrostáticos y electromecánicos. En lo que se refiere a los actuadores electromecánicos antibloqueantes, obtienen una redundancia interna a fallo mecánico y por ello no es necesario usar dos actuadores independientes en paralelo. Este mismo actuador puede seguir operando gracias a una reconfiguración local. Esto conlleva a ahorrar en materiales, montaje y mantenimiento para la empresa, lo que significa reducir costos. Por lo tanto, se puede decir que el actuador con mayor proyección en este sector es el actuador lineal electromecánico antibloqueante.

En lo que conlleva al diseño y análisis del mecanismo antibloqueo, tras el estudio realizado de las diferentes variantes, se concluye en un actuador telescópico. Este sistema, a través de la reconfiguración del mecanismo antibloqueo, cambia su flujo de transmisión de cargas entre un husillo principal y uno secundario. Se ha diseñado de tal forma que soporte elevadas cargas de trabajo, ya que uno de los objetivos de estos actuadores es acoplarlos a sistemas aeronáuticos y aeroespaciales en los cuales los niveles de las cargas son exigentes.

El uso de software de diseño asistido también es muy útil para visualizar correctamente el conjunto de componentes diseñados debido a que permite presentar las ideas de una manera fácil y dinámica, cuya consecuencia directa es la creación de nuevas piezas que a menudo son muy difíciles de representar en papel. Además, gracias a nuevas tecnologías como máquinas 3D, se pueden imprimir estas piezas fácilmente y de una manera muy económica. Este es el caso del modelo de ingeniería realizado en este trabajo. Tras la impresión del conjunto y análisis de la funcionalidad de este, se concluye que el mecanismo de bloqueo es idóneo para cumplir con estas funciones.

13.1. Líneas futuras

Mediante este trabajo se llega a la conclusión del gran valor y potencial que tienen los actuadores antibloqueantes, los cuales pueden desarrollar múltiples funciones en diversos ámbitos de la industria. Los actuadores antibloqueantes suponen una gran ventaja en la reducción de peso, mantenimiento y aumento de fiabilidad de los sistemas y por ello una disminución de gasto notable en adquisiciones, ya que estos podrían realizar la acción de varios actuadores redundantes. Es por esto por lo que se ha demostrado que es más eficiente el uso de un único actuador con un mecanismo antibloqueo que otras configuraciones de sistemas redundantes como el híbrido.

Es por ello por lo que, uno de los objetivos de este proyecto es impulsar a que se siga investigando en esta línea de trabajo, para conseguir una metodología general que consiga

diseñar los mecanismos antibloqueo óptimos específicos para cada sector. Por lo tanto, considerando el actuador antibloqueante propuesto en este trabajo, una línea de investigación futura sería la fabricación completa de este mismo. Este podría ser construido, al igual que el modelo de ingeniería realizado en el trabajo, por medio de impresoras 3D y tras la realización del montaje, se obtendría una línea de estudio muy amplia y con mucha proyección en el ámbito de los ensayos funcionales.

14. BIBIOGRAFÍA

- [1.] CLR, Actuadores lineales o rotativos, <https://clr.es/blog/es/actuadores-lineales-rotativos/>
- [2.] Direct Industry, Photo, https://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/82491-16209386.jpg.
- [3.] ClasificacionDe, Actuador Hidráulico, <https://www.clasificacionde.org/tipos-de-actuadores/#Hidraulicos>.
- [4.] GRHCN, Actuadores Electrohidrostáticos, <https://es.grhcn.net/electro-hydrostatic-actuators/>.
- [5.] SPIEGATO, Actuador electromecánico <https://spiegato.com/es/que-es-un-actuador-electromecanico#:~:text=Un%20actuador%20electromec%C3%A1nico%20es%20un%20objeto%20dispositivo>.
- [6.] WIKIPEDIA, Husillo de rodillos, tops de husillos de rodillos, https://en.wikipedia.org/wiki/Roller_screw#:~:text=The%20four%20commercially%20available%20types,%20recirculating%20and%20bearing%20ring.
- [7.] HMONG, Tuerca-tornillo https://hmong.es/wiki/Roller_screw.
- [8.] A2015- EADS-D-DEL21.17-006-R1.0, D21.17 – Report about jam free and jam tolerant design concepts, Alexander Naubert.
- [9.] A review of electromechanical actuators for More/All Electric aircraft systems, Guan Qiao, Geng Liu, Zhenghong Shi, Yawen Wang, Shangjun Ma1 and Teik C.
- [10.] A Review of Techniques to Mitigate Jamming in Electromechanical Actuators for Safety Critical Applications, Yameen M. Hussain, Stephen Burrow, Leigh Henson, Patrick Keogh.
- [11.] Aerospace Actuators 2, Signa-by-Wire and Power-by-Wire, Jean Paul Bourrieres.
- [12.] Jam Tolerant Electromechanical Actuation Systems and Methods of Operation, J.

Flatt, US 2009/0108130.

- [13.] Explosively Separable Coupling, W. Dickie, US 3,265,408.
- [14.] Health and Usage Monitoring System (HUMS) Strategy to enhance the Maintainability & Flight Safety in a Flight Control Electromechanical Actuator (EMA), Ricardo de Arriba, Alberto Gallego.
- [15.] Reinicialable decoupling device for actuators, Alexander Naubert, Markus Christmann, US 9,365,286 B2.

15. ANEXO I: Normativa Aplicable

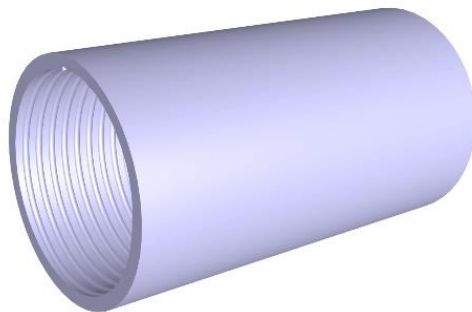
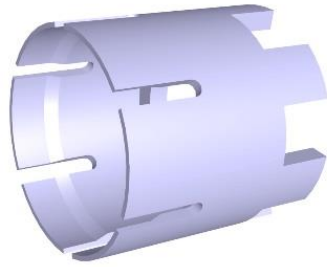
A la hora de diseñar y analizar mecanismos robóticos debe seguirse la norma ATA 27. La norma ATA (Asociación del Transporte Aéreo), recoge la documentación para el mantenimiento de los sistemas individuales de las aeronaves comerciales. Esta es un estándar de referencia común.

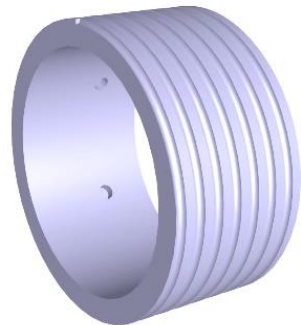
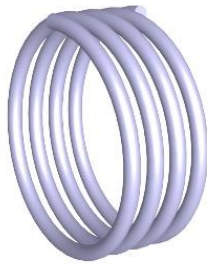
La norma fue publicada en 1956, pero hoy en día, se encuentra en pleno cambio por el sistema ATA ISPEC 2200, que surgió en el año 2000 abarcando las necesidades de los nuevos sistemas implementados en las aeronaves.

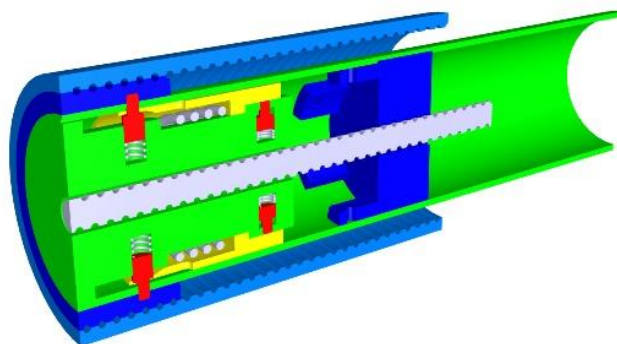
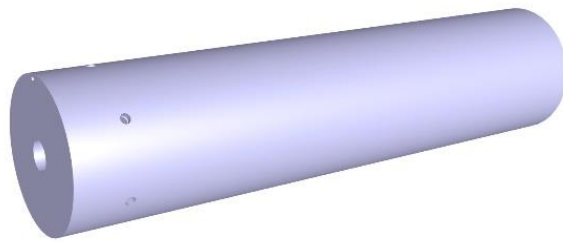
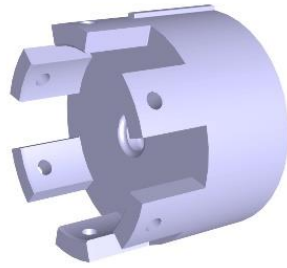
En concreto la norma ATA 27, recopila la documentación sobre los controles de vuelo. Esta, a su vez, se divide en diferentes subgrupos como general, descripción, control, protección, operación normal y operación anormal. Dentro de este último apartado, operación anormal, se recoge la información necesaria para el correcto funcionamiento de la aeronave en caso de bloqueo mecánico.

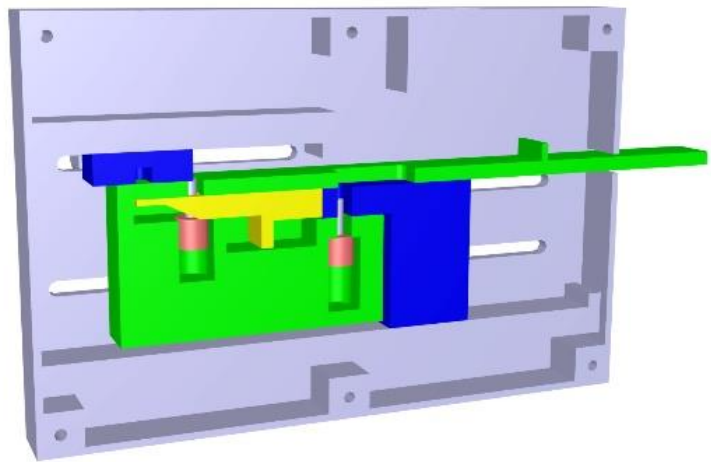
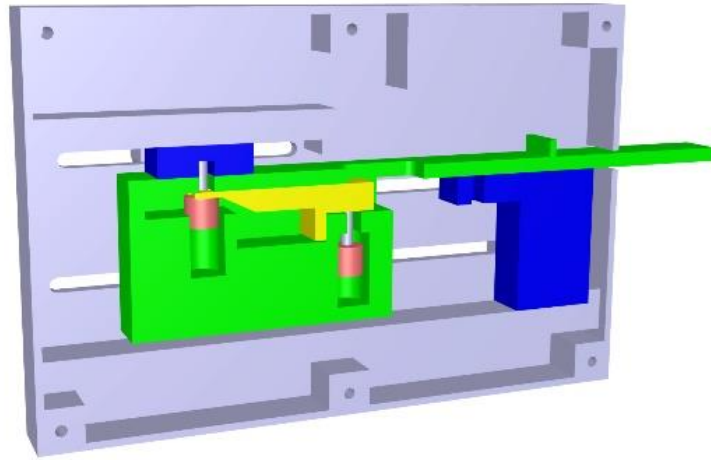
16. ANEXO II: Piezas y resultados

Para finalizar este trabajo, se ha agregado a este anexo los destinos componentes del mecanismo antibloqueo, así como una representación completa del actuador.









17. ANEXO III: Tareas y Diagramas

	Identificación	Predecesora	Duración
<i>PT.1. Contexto, Beneficios y Objetivos</i>			
<i>T.1. Redacción</i>	A	-	2 semanas
Finalización Contexto, Beneficios y Objetivos		A	
<i>PT.2. Estado del Arte</i>			
<i>T.2.1. Recopilación</i>	B	A	4 semanas
<i>T.2.2. Redacción</i>	C	B	2 semanas
Finalización Estado del Arte		B C	
<i>PT.3. Descripción del mecanismo</i>			
<i>T.2. Redacción.</i>	D	C	8 semanas
Finalización mecanismo antibloqueo		D	
<i>PT.4. Modelización</i>			
<i>T.4.1. Redacción</i>	E	D	4 semanas
<i>T.4.2. Modelización 3D</i>	F	E	4 semanas
Finalización modelación		E F	
<i>PT.5. Fabricación modelo de ingeniería</i>			
<i>T.5.1. Fabricación</i>	G	F	1 semana
<i>T.5.2. Montaje</i>	H	G	1 semana
Finalización análisis de movilidad		G H	
<i>PT.6. Desarrollo de memoria</i>			
<i>T.6. Desarrollo</i>	I	-	26 semanas
Entrega del trabajo		I	

