



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE DIFERENTES CONFIGURACIONES PARA EL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE COMANDOS EN UN PARACAIDAS AUTONOMO

Informe Técnico: DMA-xxx/xx

Revisión: /

Proyecto: PIDDEF 038/14 – Paracaídas Comandado Autónomo

Fecha: 10 de Julio de 2018

Autor:

Ing. Juan Jromei

Revisor:

Ing. Andrés Liberatto



DISEÑO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE DIFERENTES CONFIGURACIONES PARA EL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE COMANDOS EN UN PARACAIDAS AUTONOMO

Por

Juan Jromei

RESUMEN

En el marco del proyecto PIDDEF 038/14 – Paracaídas Comandado Autónomo se realizó un estudio sobre los posibles sistemas de accionamiento que puedan ser adaptables y funcionales al sistema de control que comanda al paracaídas autónomo. Posterior al análisis, en consistencia con los datos obtenidos de este, se realizaron propuestas de diseños, todas dentro del sistema que utiliza una “polea” accionada por un servomotor para recoger o liberar las líneas de comando del velamen. De estos diseños, surgió la necesidad de construir los correspondientes prototipos para la realización de ensayos y pruebas que concluyeran en las definiciones del diseño final.

En este informe se presenta el análisis previo, el desarrollo de los diseños preliminares y la fabricación y construcción de los prototipos posteriormente probados junto con los resultados que derivaron en el diseño final del sistema de accionamiento para los comandos del paracaídas.

Córdoba, 10 de Julio de 2018



ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	3
2. DESARROLLO.....	3
2.1. Requerimientos	3
2.2. Configuración general.....	4
2.3. Diseño para el primer prototipo.....	5
2.3.1. Selección del servo motor.....	5
2.3.2. Selección de la polea y líneas de comando	5
2.3.3. Diseño de cubierta de polea	6
2.3.4. Resultados y conclusiones del primer prototipo	8
2.4. Diseño para el segundo prototipo	9
2.4.1. Selección del servo motor.....	9
2.4.2. Diseño de la polea y selección de líneas de comando.....	9
2.4.3. Diseño de cubierta de polea	11
2.4.4. Resultados y conclusiones del segundo prototipo	13
2.5. Diseño para el prototipo de 100Kg.....	13
2.5.1. Selección del motor	13
2.5.2. Diseño de la polea y selección de líneas de comando.....	15
2.5.3. Diseño de cubierta de polea	16
2.5.1. Resultados y conclusiones del tercer prototipo	16
3. RESULTADOS.....	17
4. CONCLUSIONES	17
5. REFERENCIAS.....	17
6. ANEXOS	17

1. INTRODUCCIÓN

Para la ejecución de movimientos en el vuelo del paracaídas autónomo es necesario contar con un sistema que permita tener el control de los mandos del velamen en todo momento y ejecute las acciones ordenadas por la computadora de vuelo de forma precisa.

El paracaídas en desarrollo cuenta con dos comandos que hay que controlar, siendo estos dos controles de “alergones”. El desarrollo de este informe intenta presentar de forma resumida y sencilla el proceso de diseño del sistema de accionamiento automático de estos comandos.

2. DESARROLLO

2.1. Requerimientos

El paracaídas en estudio cuenta con dos líneas de comandos para lograr el control. Al igual que en los paracaídas utilizados para el salto de personas en donde las líneas se dejan caer hasta la altura de los hombros para que puedan ser tomadas por el usuario (FIGURA 1), en este caso las cuerdas de los comandos caen desde el velamen juntándose con las bandas de suspensión.

Para tener el control del paracaídas en toda la misión, desde que es lanzado hasta que llega al suelo, se debe garantizar que el sistema de accionamiento tire y/o libere las líneas con total libertad en el momento que lo requiera la computadora de vuelo. Por lo tanto es necesario que el accionamiento sea “limpio”, sin la existencia de fuerzas externas, más que las propias del velamen, ni obstrucciones que compliquen el movimiento y generen desplazamientos erróneos, o el enredo de las líneas.



FIGURA 1 : Líneas de comando en un paracaídas personal

Otra de las condiciones para este sistema de accionamiento surge del deseo de lograr un sistema general compacto, con la integración de todos los elementos de control y medición dentro de un único bloque, es decir, una única “caja” que contenga todos los sistemas. Desde el punto de vista físico es deseable evitar elementos sobresalientes que puedan dañarse con facilidad o generar



roturas al conjunto ante eventuales colisiones. Por lo tanto, los sistemas de accionamiento debían alojarse dentro de esta “caja” contenedora.

Ante la posibilidad de desarrollar en un futuro sistemas de lanzamiento con mayor capacidad de carga, la necesidad de utilizar velámenes de mayor tamaño generara demanda de mayores fuerzas y recorridos en los mandos. Es por esto que se planteó como otro requerimiento de diseño la posibilidad de que el sistema de accionamiento sea escalable. Con esto se buscó lograr un diseño fácilmente adaptable a diferentes tamaños de paracaídas.

Debido a la falta de normas que permitan obtener valores máximos de fuerzas requeridas para accionar los mandos, se utilizó un criterio basado en el accionamiento de comandos de paracaídas personales y la experiencia de personas que practican el paracaidismo. Se propuso utilizar como **valor de fuerza máxima un 10% del peso del conjunto sistema (velamen y equipos) y carga a lanzar:** $F_{max\ comando} = (W_{sistema} + W_{carga}) \cdot 0,1$

Este criterio resulta bastante conservador, condicionando en este caso el dimensionado a servomotores con exceso de potencia y por ende tamaño. Por este motivo se pretende mejorar la apreciación de la fuerza en mandos en futuros diseños.

2.2. Configuración general

En el inicio de la elección de la configuración del sistema, con el fin de facilitar la generación de ideas propias desde elementos funcionales se fijó la atención en sistemas de accionamiento de líneas, cuerdas, cables utilizados en otras aplicaciones. De esto se vio que no son muchas las opciones para obtener el movimiento y las fuerzas necesarias para el accionamiento de los comandos del paracaídas y de forma autónoma. Prácticamente sin realizar análisis profundos sobre muchas opciones **se decidió utilizar una rueda/polea que enrolle o libere la línea de comando movida por una planta de poder tal como un motor.**

Analizando las características de la polea de accionamiento, para lograr un correcto funcionamiento surgieron algunas necesidades y posibles problemas a tener en cuenta que limitan al mecanismo en su diseño detallado:

- En primer lugar la cuerda que esté recogida debe permanecer contenida en un lugar sin exposición para evitar el enganche con cualquier elemento del sistema.
- La extracción y/o retracción de la línea debe ser precisa ya que dependen de ello las maniobras que se pretende haga el paracaídas en vuelo, pudiendo ser errónea la trayectoria que tome el vehículo en caso de que un comando “tire” o “suelte” más o menos cuerda de lo que necesita.
- Asociado a la necesidad anterior se nota otro inconveniente cuando alguna de las líneas pierde tensión debido a los movimientos del paracaídas. En dicho caso el problema está en la extracción de la misma ya que no se puede empujar una cuerda a lo largo de su eje por no tener ésta rigidez. La misma se flexiona pudiendo generar atascos.

Por otro lado se puede considerar como ventajas que el uso de una polea permite lograr un conjunto compacto. Además, el acople de la misma al eje de un motor es fácil de lograr permitiendo facilidad en el armado del conjunto.

Respecto de la planta de poder **la primera elección que se realizó fue sobre un servomotor.** Algunas de las ventajas que presenta esta solución son:

- Sistema completo: El servomotor es un sistema integrado, con su controlador incluido, a diferencia de, por ejemplo, el motor paso a paso que requiere de un controlador conforme a la necesidad del funcionamiento.
- La instalación es compacta y simple: El sistema es eléctrico, por lo que la instalación de cableado para la alimentación y control resulta compacta.

- Hay una amplia variedad de producto comercial: Existe una amplia gama de servomotores en el mercado lo que permite, por lo menos en primera instancia, elegir entre muchos tipos evitando el diseño y fabricación de estos.
- Se da la posibilidad de escaleado del sistema: Es posible escalear el sistema ante la necesidad de mayor fuerza en los mandos, eligiendo un servomotor más potente.

2.3. Diseño para el primer prototipo

El principal objetivo del primer prototipo de paracaídas guiado fue el de probar y ajustar los algoritmos de control por lo que los esfuerzos no fueron puestos en el desarrollo físico del sistema. Por simplicidad y bajo costo la primera caja contenedora se construyó en madera. La misma se armó con paneles calados para permitir el fácil acceso a los sistemas electrónicos. Naturalmente, por la necesidad de libertad de obstáculos en el recorrido de los comandos y buscando cumplir con los requerimientos de tener un sistema compacto se concluyó en ubicar los servomotores dentro del interior de la caja dejando las poleas del lado externo. Por supuesto que el vínculo entre la polea y el servomotor, en este caso el eje del mismo, debe quedar al acceso desde el exterior de la caja.

2.3.1. Selección del servo motor

El servo motor seleccionado para el primer prototipo es un **HI TEC** modelo **HS-785HB** (FIGURA 2). Este equipo es muy utilizado en el mundo del hobby. El mismo tiene rango de recorrido en ambos sentidos de giro, siendo de 3 1/2 vueltas por lado. El torque que genera, dependiendo del voltaje de alimentación es de 11.02 [kg cm] para 4.8V y de 13.18 [kg cm] para 6.0V (hoja de datos en ANEXO A)



FIGURA 2 : Servo motor HI TECH HS-785HB

2.3.2. Selección de la polea y líneas de comando

El eje del servomotor viene provisto de un estriado macho y un alojamiento roscado para colocar un tornillo que funciona como traba sobre la polea o el brazo que se adapte (FIGURA 2). Debido a la complejidad que significaba para esta etapa realizar un estriado hembra sobre una polea fabricada se consideró utilizar una polea que viene provista con el servo. Esta es de material plástico y tiene un doble canal con las dimensiones que se ven en la FIGURA 3.

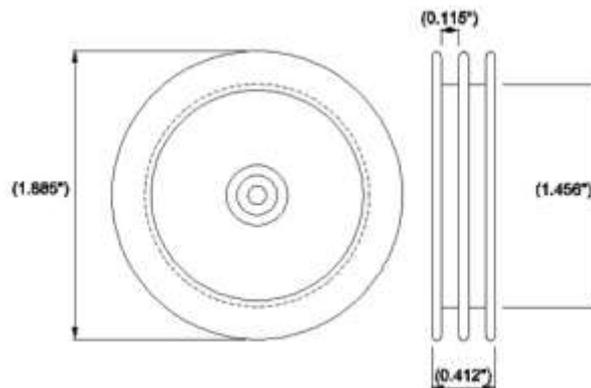


FIGURA 3 : Polea doble FRL Servo motor HI TECH HS-785HB referencia

Para la línea de comando se seleccionó una cuerda con una rigidez elevada y con un diámetro menor al ancho de los canales de la polea siendo para evitar el atasco siendo $\phi_{lcomando} = 1,5 [mm]$. En este caso, como la cuerda entra en la ranura ocupando la totalidad de su ancho se apilara sobre si misma vuelta a vuelta. La longitud máxima de cuerda que puede acumularse en la polea sin que se salga de la ranura es aproximadamente:

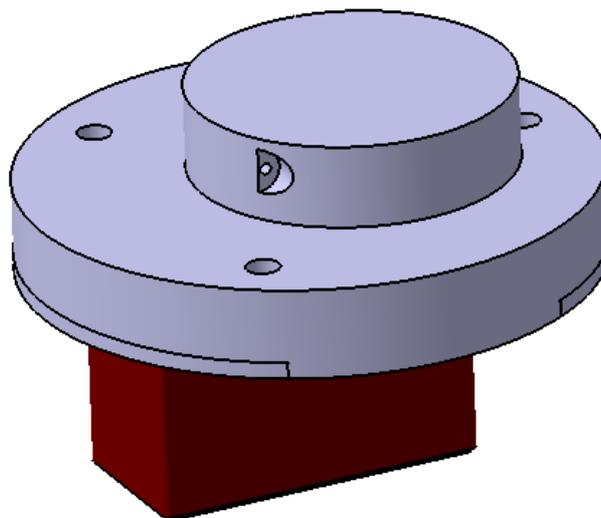
$$L_{max} = 400 [mm]$$

El recorrido total necesario para los comandos del velamen del primer prototipo es de 300 [mm] por lo que no hubo inconvenientes en cubrir esta longitud con la polea propuesta.

2.3.3. Diseño de cubierta de polea

Para mantener en su lugar la cuerda que se encuentra recogida en el carrete y permitir el accionamiento del comando sin los inconvenientes mencionados anteriormente es necesario cubrir la totalidad de la polea con una tapa/cubierta contenedora. Esta, a su vez debe permitir salir o ingresar la línea de comando libremente.

En la : Primer prototipo de servo actuador con cubierta FIGURA 4 se puede ver el conjunto armado



con el diseño logrado para la cubierta.

FIGURA 4 : Primer prototipo de servo actuador con cubierta

En la FIGURA 5 se puede ver con detalle que el conjunto está formado por: la cubierta de la polea (1) que a su vez hace de soporte del sistema, por donde pasan y se toman los tornillos de fijación a la caja, la polea (2), una placa de soporte (3) donde se fija el servo y además cierra por debajo el conjunto y por último el servo (4).

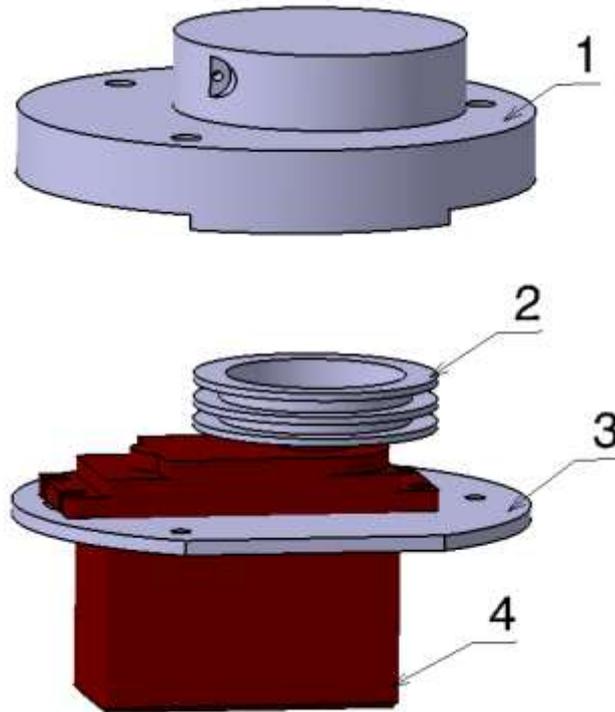


FIGURA 5 : Componentes del primer prototipo de servo motor

Se puede apreciar en las imágenes el orificio en la tapa por donde sale la línea de comando. Este orificio es tangente a la circunferencia de la cara interna de la tapa, es decir, las paredes que cubren la polea. Este detalle se puede ver mejor en la FIGURA 6 donde se muestra un corte realizado en un plano perpendicular al eje de giro del servo ampliado bien la zona del orificio.

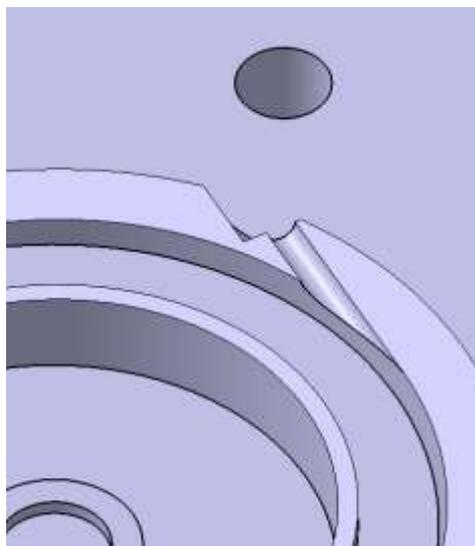


FIGURA 6 : Detalle (corte) del orificio de pasaje de la línea de comando

Para evitar atascos de la cuerda por apriete de la misma entre la polea y la cubierta se evitó una separación que sea mayor al 50% del diámetro de la cuerda. En este caso se diseñó la tapa con un diámetro interno que permita una separación de 0,5 [mm] . En la FIGURA 7 Se puede ver el detalle con el valor de la separación entre la polea y la pared interna de la cubierta.

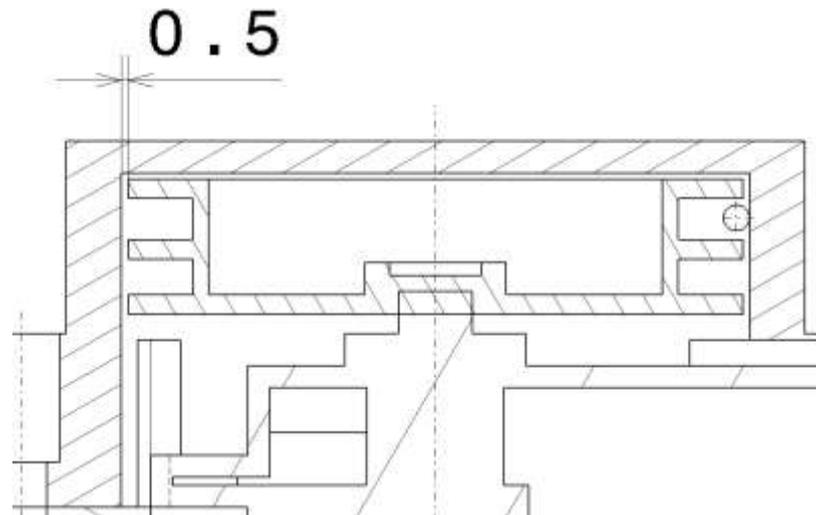


FIGURA 7 : Detalle del interior del sistema

El material utilizado para construir la cubierta y la placa soporte de este prototipo fue la Resina Acetálica (POM) ya que es un plástico liviano, altamente mecanizable y económico.

2.3.4. Resultados y conclusiones del primer prototipo

Para la primera configuración de caja contenedora se propuso ubicar el sistema de accionamiento de comandos en sus laterales tal como se ve en FIGURA 8



FIGURA 8 : Configuración caja contenedora primer prototipo

De los ensayos realizados en tierra y los que se realizaron en vuelo se pudo detectar un solo inconveniente: Se produjeron varios atascamientos de la cuerda dentro de la cubierta.

Se pudo observar que esto es debido a la poca rigidez de la línea, que al salir ante la acción de la polea perdía rigidez longitudinal y se “doblaba” hacia adentro del sistema.



Otro de los motivos de atasco fue el solapado de la cuerda dentro de la ranura de la polea debido al apilamiento entre vuelta y vuelta. La elección del diámetro de la cuerda no fue correcta ya que con un poco de tensión se podía ingresar en el ancho de la ranura de la polea con dos diámetros de cuerda, quedando esta trabada.

Estos inconvenientes, sumado a la necesidad de evolucionar en el diseño para acercarse más al diseño final llevaron a concluir que:

- Se debía realizar una búsqueda para una línea de comando con mayor rigidez.
- En función de la línea de comando que se elija se debería realizar un diseño de polea que evite los problemas antes mencionados.

2.4. Diseño para el segundo prototipo

Para el diseño del segundo prototipo se planteó solucionar los inconvenientes encontrados en el prototipo inicial y generar los lineamientos generales para el diseño del sistema final. Entonces en esta etapa y a diferencia del primer prototipo, se dedicó tiempo en el diseño de la evolución del mecanismo de accionamiento.

Manteniendo el concepto general planteado inicialmente de utilizar un conjunto formado por el servomotor y la polea las tareas de mejoras fueron centradas en encontrar una línea de comando que pueda ser utilizada sin inconvenientes generados por la falta de rigidez. Esto llevo a pensar en la utilización de cables de acero. Por otro lado y para mejorar el devanado o enrollado de la línea se desarrolló una polea con un canal helicoidal.

Además de los cambios nombrados, para este nuevo diseño también se tuvo que tener en cuenta un incremento del peso en el equipo completo (paracaídas + caja) ya que la caja contenedora del segundo prototipo cambió sustancialmente, mejorando su estructura. Por otro lado, se cambió el velamen por lo que también se modificaron los recorridos máximos de los comandos. Esto llevo a la revisión de las dimensiones del conjunto actuador.

2.4.1. Selección del servo motor

El servomotor HI TECH HS-785HB cubrió la necesidad de fuerza en el mando para el segundo prototipo por lo que se decidió seguir utilizándolo.

2.4.2. Diseño de la polea y selección de líneas de comando

Debido a los problemas expuestos en el primer prototipo con respecto a la cuerda utilizada como línea de comando, se tomó la decisión de buscar un elemento con mayor rigidez para que no tenga posibilidad de deformarse como una cuerda y genere los atascamientos sufridos.

Se consideró utilizar líneas plásticas tales como filamentos de pvc o nylon® pero después de experimentar con ellas se llegó a la conclusión que puede sufrir desgaste muy rápidamente. Por otro lado, no son confiables ya que pueden fracturarse si se producen dobleces muy pronunciados.

Después de esto, se pensó como opción más factible el uso de cable de acero. Como hay una gran variedad en el mercado que se diferencian en características tales como: cantidad de hilos, diámetro, con núcleo blando, material del núcleo, recubrimiento, etcétera, se seleccionó un cable con la suficiente rigidez para no deformarse inadecuadamente, que tuviese buena calidad de terminación y un diámetro adecuado. Entonces, el cable seleccionado cuenta con un diámetro de $\varnothing_{lcomando} = 1,8 [mm]$. Este, cuenta con un núcleo de plástico que lo hace un poco más flexible que los que no lo tienen.

Las mejoras en la polea se llevaron a cabo pensando en la baja flexibilidad de la línea de comando, en comparación con la cuerda, además del deseo de mejorar el arrollamiento de la misma. Para esto se planteó el diseño de una polea con una ranura que permita alojar el cable sobre la misma. Para evitar el apilamiento del cable, que no admite deformaciones, el mismo debe ir arrollándose vuelta a vuelta una al lado de la otra. Por este motivo la ranura debe recorrer la superficie de la polea de forma helicoidal.

En la FIGURA 9 se puede ver en un dibujo el corte de la polea con la ranura helicoidal recorriendo la superficie cilíndrica de la misma:

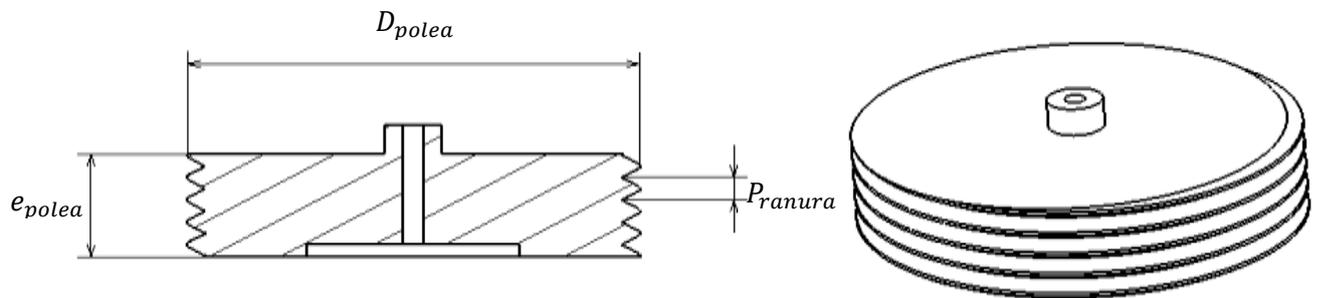


FIGURA 9 : Corte y perspectiva de la polea con ranura helicoidal

El diámetro de la polea depende de la fuerza necesaria para deflectar los comandos, siendo este:

$$D_{polea} = \frac{2 \cdot T_{motor}}{F_{comando}}$$

Con:

T_{motor} Torque entregado por el motor

$F_{comando}$ Fuerza en el comando

El espesor de la polea depende del paso que tenga la ranura helicoidal pudiendo ser aproximadamente:

$$e_{polea} = N \cdot P_{ranura}$$

Con:

N Numero de vueltas del cable sobre la polea.

Pero el número de vueltas va a depender de la longitud necesaria para recorrer todo el comando y del diámetro de la polea:

$$N = \frac{L}{l_{vuelta}}$$

Siendo: $l_{vuelta} = \pi \cdot D_{polea}$ por lo tanto:

$$e_{polea} = \frac{L}{\pi \cdot D_{polea}} \cdot P_{ranura}$$

Por supuesto que el paso P_{ranura} dependerá del espesor de la ranura y de la separación entre vuelta y vuelta de ranura.

La forma del perfil de la ranura quedó definida por las posibilidades constructivas de la polea. En este caso el método de fabricación más claro fue el de mecanizado utilizando un torno como máquina herramienta. Por lo tanto, la forma del perfil se definió por una de las formas más comunes de las herramientas de corte, siendo esta triangular. Como el objetivo de la ranura es contener el cable de comando no es inconveniente que la forma de la misma sea diferente de la forma de la sección del cable, siempre y cuando este último quede resguardado completamente dentro del canal. Para ello se tuvo en cuenta la profundidad de mecanizado de tal forma que el diámetro del cable quede completamente dentro.

Para evitar desgaste tan prematuro en la polea debido al rozamiento con el cable de acero, se decidió fabricar la misma de aluminio.



Con una fuerza máxima en el mando F_{max} = y una longitud de recorrido máxima L_{max} = las dimensiones de la polea resultaron:

$$D_{polea} =$$

$$e_{polea} =$$

2.4.3. Diseño de cubierta de polea

Nuevamente, la función de la cubierta de la polea es evitar que el cable de comando se salga de la ranura. Al igual que en el prototipo anterior, se diseñó la cubierta para que la separación entre la cara interior de esta y la polea sea mínima, de tal forma que el cable no tenga más opción que ir enrollándose en la ranura.

Con el uso del cable de acero se presentó el inconveniente de que este, al estar enrollado se comporta como un resorte, y busca desenrollarse, haciendo fuerza sobre la cara interna de la cubierta, que obviamente evita que esto ocurra. Pero esta fuerza que genera el cable a su vez produce un aumento de la fricción. Por este motivo se decidió seguir utilizando plástico de bajo coeficiente de fricción para la cubierta. Para realizar una selección dentro de la cantidad de plásticos que existen en el mercado local se realizó una sencilla tabla de valoración con las cualidades más importantes para el fin buscado (TABLA 1). Dentro de estos se seleccionó como material para la cubierta al Polietileno (UHMW) ya que además de tener una resistencia al desgaste por fricción excelente, los coeficientes de fricción son relativamente bajos. Además, el material puede ser provisto por proveedores locales sin problemas y el costo es relativamente bajo comparado con algún teflón con carga.

	Resistencia al desgaste por fricción	Coef. de fricción estático (s/acero)	Coef. fricción dinámico (s/acero)
Teflón virgen	MUY BAJA	0,06 a 0,09	0,13
Teflón con vidrio (15% de carga en peso)	MEDIANA	0,10 a 0,13	0,15 a 0,24
Teflón con vidrio (25% de carga en peso)	BUENA	0,11 a 0,15	0,17 a 0,27
Teflón con bronce (40% de carga en peso)	MEDIANA	0,08 a 0,10	0,14 a 0,23
Teflón con bronce (60% de carga en peso)	BUENA	0,08 a 0,11	0,15 a 0,24
Teflón con grafito (15% de carga en peso)	MEDIANA	0,08 a 0,10	0,15 a 0,18
Teflón con vidrio y MoS2 (15%vidrio y 5%MoS2 de carga en peso)	BUENA	0,08 a 0,10	0,15 a 0,27
Teflón con carbón-grafito (25%carbon de carga en peso)	MEDIANA	0,10 a 0,13	0,15 a 0,27
Teflón con carbón-grafito (33%carbon de carga en peso)	BUENA	0,11 a 0,15	0,16 a 0,28
POM	REGULAR	0,35 a 0,40	0,25 a 0,40
GRILON	BUENA	0,31 a 0,54	0,27 a 0,53
Polipropileno	REGULAR	-	0,3 a 0,45
Polietileno (UHMW)	MUY BUENA	0,2 a 0,25	0,15 a 0,2

TABLA 1: Materiales disponibles para la fabricación de la cubierta de polea

Como la polea es considerablemente más robusta que la utilizada en el primer prototipo, y los momentos generados por la fuerza de los comandos son mayores, se decidió instalar un rodamiento en la parte superior de la misma para que tenga un eje de trabajo sobre la cubierta y de esta forma evitar la flexión en la unión con el servomotor. Se seleccionó un rodamiento de bola con el código **W61900 2RZ**. La polea tiene un eje que trabaja dentro de la pista interna del rodamiento

En la FIGURA 10 se puede ver el conjunto del segundo prototipo que está formado por: la cubierta de la polea (1) que a su vez hace de alojamiento del rodamiento (2), la polea (3), la placa de soporte (4) donde, al igual que el prototipo anterior, se fija el servo y además cierra por debajo el conjunto y por último el servo (5).

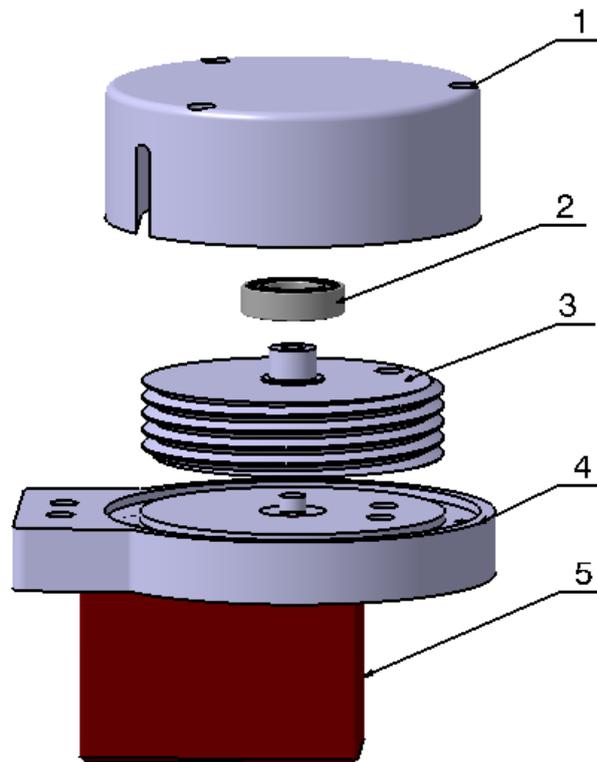


FIGURA 10 **Diseño del segundo prototipo de servo motor**

La placa de soporte (4) en este prototipo se diseñó más robusta para que pueda contener y sostener el servo, alojar la cubierta y los bulones que fijan la misma. El conjunto no necesita ser armado sobre una superficie de soporte ya que es la placa la que vincula las partes y a su vez es el soporte por donde se fija el sistema a la caja contenedora del paracaídas.

Un detalle a tener en cuenta en este prototipo es la salida del cable de comando desde el interior de la cubierta. Como en este caso el cable tiene movimiento a lo largo del espesor de la polea ya que se enrolla vuelta a vuelta una al lado de la otra sin solaparse, la salida del mismo es ahora una ranura en lugar de un agujero. En la FIGURA 11 se puede apreciar este detalle.

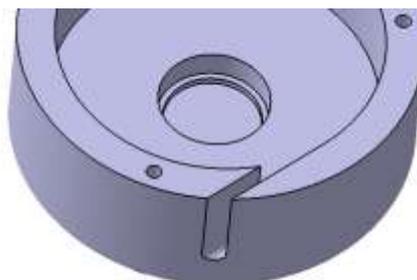


FIGURA 11 : **Detalle de la ranura de pasaje de la línea de comando**

2.4.4. Resultados y conclusiones del segundo prototipo

Este prototipo fue probado exigentemente para ver su comportamiento y descartar cualquier tipo de atasco del cable dentro del conjunto. Se realizaron ensayos con ciclos de enrollado y desenrollado múltiples veces a lo largo de un periodo prolongado de tiempo y variando la tensión del cable. Los resultados en estos ensayos fueron muy buenos pudiéndose garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo sin, por lo menos en el corto periodo de vida posibilidades de atasco del cable.

Al momento de la redacción de este informe no se realizaron ensayos o pruebas del prototipo completo en vuelo.

En la FIGURA 12 se puede ver el conjunto instalado en la caja contenedora. Se aprecia que la ubicación dada fue al costado de la caja, tal como en el caso anterior, con la diferencia de que la caja tiene dimensiones diferentes a la del primer prototipo y esta es completamente cerrada.



FIGURA 12 : Segundo prototipo de accionamiento de comandos instalado

2.5. Diseño para el prototipo de 100Kg

El tercer prototipo de esta familia de servo accionadores de comandos se encuentra en estos momentos en etapa de fabricación y ajuste del diseño. El diseño detallado de la polea y la cubierta son consecuencia del diseño del segundo prototipo ya que, sin contar detalles, es una copia de este con un tamaño mayor.

En el caso del servomotor como los requerimientos aumentaron se tuvo que seleccionar un motorreductor y un sistema de censado de posición angular de la rueda independiente al mismo.

2.5.1. Selección del motor

Para este prototipo de accionador de comandos, teniendo siempre en cuenta el producto final, se fijaron los siguientes requerimientos para la selección de la planta de poder:

- El error angular máximo permitido para el actuador debe ser de $1[^\circ]$.
- La longitud total de comando que se debe recoger/extender es de 1200 [mm].
- El barrido angular del servo debe ser de varias vueltas en ambos sentidos.
- Los 1200 [mm] de comando deben ser recogidos/extendidos en menos de 3 segundos.

- La fuerza máxima que se realiza durante la recolección/extensión de la cuerda es de 100 [N].
- La fuerza de régimen que se realiza durante la recolección/extensión de la cuerda es de 60 [N].
- La fuerza de frenado deseable debe rondar los 20 [N].
- El radio de la polea no debe ser superior a 60 [mm].
- Las dimensiones de los actuadores deben ser reducidas. Deben entrar en un volumen aproximado de 200x100x100 [mm].
- El peso debe ser tan bajo como resulte posible. Un valor deseado es por debajo de 1.5 [Kg] por actuador.
- El eje del actuador debe resistir cargas de corte de más de 150 [N].
- El costo debe ser razonable.
- El motor puede ser del tipo "moto-reductor" o "paso a paso".

Con estos requerimientos, ponderando las opciones por el alcance y las posibilidades del proyecto y la accesibilidad que se tienen al material disponible en el mercado se decidió que la planta de poder de los actuadores de este prototipo último sea un motorreductor de origen nacional.

El motorreductor seleccionado es de la marca **Ignis**, y **es el modelo** (FIGURA 13) (**hoja de datos en ANEXO B**).



FIGURA 13 : Motorreductor IGNIS

Una de las ventajas que presentaba el uso de servomotores es la de contar con un sistema integrado, con el controlador del motor in situ. Este además permite tener el conocimiento de la posición angular del eje de salida y, por lo tanto, con un protocolo de armado del conjunto servo-polea-línea de comando poder conocer cuanta línea se liberó o recogió.

Con la selección de un motorreductor todo lo dicho anteriormente queda descartado. Por esto fue necesaria la búsqueda de un controlador para los motores. Por otro lado, y para poder seguir teniendo conocimiento de la posición de la polea se optó por utilizar un potenciómetro multivuelta que permita censar esto. En la 0 Se muestra el potenciómetro de la marca **Bourns modelo...** que fue seleccionado. El eje de este elemento debe ser vinculado a la polea y por lo tanto al eje del motorreductor en una posición fija para que puedan girar en conjunto.



FIGURA 14 : Potenciómetro multivuelta Bourns

En el siguiente inciso se muestra la solución para vincular el potenciómetro al conjunto.

2.5.2. Diseño de la polea y selección de líneas de comando

Al momento no fue seleccionado ningún cable para utilizar como línea de comando, pero, previa verificaciones de cargas admisibles, posiblemente se utilice el mismo cable de acero que en el prototipo anterior.

Como se dijo anteriormente, el diseño de la polea se mantuvo del prototipo anterior ya que los resultados obtenidos con la polea ranurada helicoidalmente fueron excelentes. Para este caso se fijó el diámetro máximo de la polea en $D_{polea} = 120 [mm]$ por una cuestión de optimización del tamaño.

El diseño de la ranura de la polea es igual a la del prototipo anterior.

El vínculo con el eje del motorreductor se realiza con un encastre cilíndrico sin juego y con traba de chaveta para evitar el giro entre ellos.

Se decidió ubicar el potenciómetro por arriba de todo, es decir, que el potenciómetro sea vinculado directamente a la polea desde arriba generando un conjunto unido en "serie". La FIGURA 15 muestra el diseño de la polea y se puede ver el detalle del encastre para el eje del potenciómetro. Como este eje es completamente cilíndrico, requiere de un trabajo de frezado para generar la cara plana que haga de traba sobre la polea y evite el giro entre ellos.

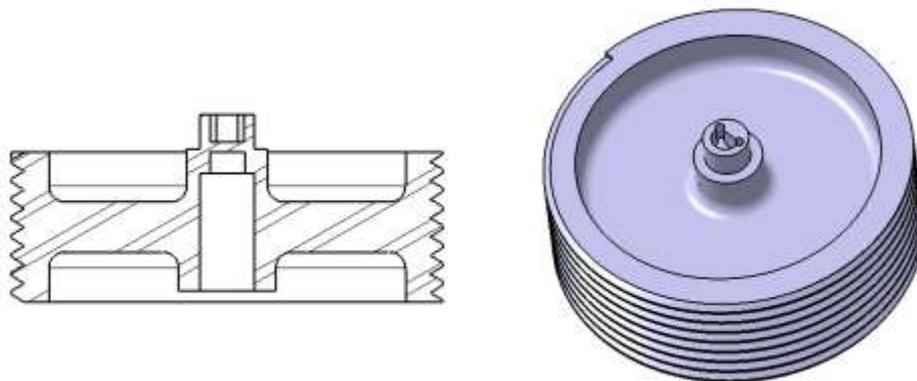


FIGURA 15 : Polea del prototipo ultimo

Al igual que en el prototipo anterior, en este caso se mantiene el rodamiento en la cabeza de la polea como segunda bancada de esta.

Para mejorar la dureza y resistencia de la polea se decidió fabricar la misma de ALUMINIO 7075 (Ergal).

Para reducir el peso se quitó material excedente del centro de la misma.

Para dar dimensiones a la polea se fijó un diámetro que no supere el máximo establecido siendo este de $D_{polea} = 80 [mm]$. Con la longitud máxima de recorrido de comando en $L = 1200 [mm]$ y un

paso aproximado de $P_{ranura} = 3.5 [mm]$, de las ecuaciones del inciso 2.4.2 se fija un espesor de polea de aproximadamente $e_{polea} = 30 mm$].

2.5.3. Diseño de cubierta de polea

Para este prototipo, la cubierta de la polea sufrió algunas modificaciones que tienen que ver con el soporte del potenciómetro, pero la cara interna que cubre el cable sobre la polea sigue siendo igual al anterior diseño. Nuevamente, por los resultados obtenidos anteriormente, el material utilizado para esta cubierta es el mismo que en el prototipo anterior, Polietileno (UHMW).

En el diseño de esta cubierta se agregó una tapa superior que cubre el potenciómetro. Además, se realizó un orificio axialmente, sobre la pared de la cubierta de la polea para el pasaje de los cables de alimentación y datos de este hasta el interior de la caja. Se puede ver en detalle la cubierta con el potenciómetro en la FIGURA 16

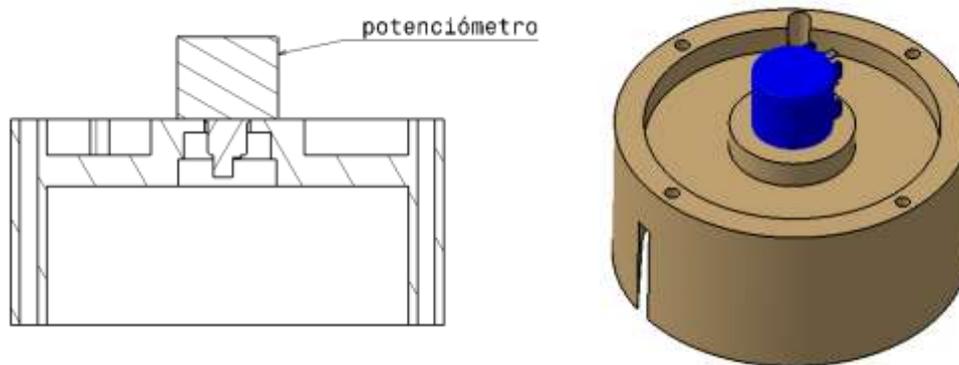


FIGURA 16 : Cubierto de polea para el prototipo ultimo (con potenciómetro)

2.5.1. Resultados y conclusiones del tercer prototipo

A la fecha no se han fabricado los componentes que lo conforman. Se continúa revisando el diseño buscando detalles y posibles inconvenientes que puedan surgir.

La FIGURA 17 muestra el conjunto con la última versión de sus componentes (sin el motorreductor).

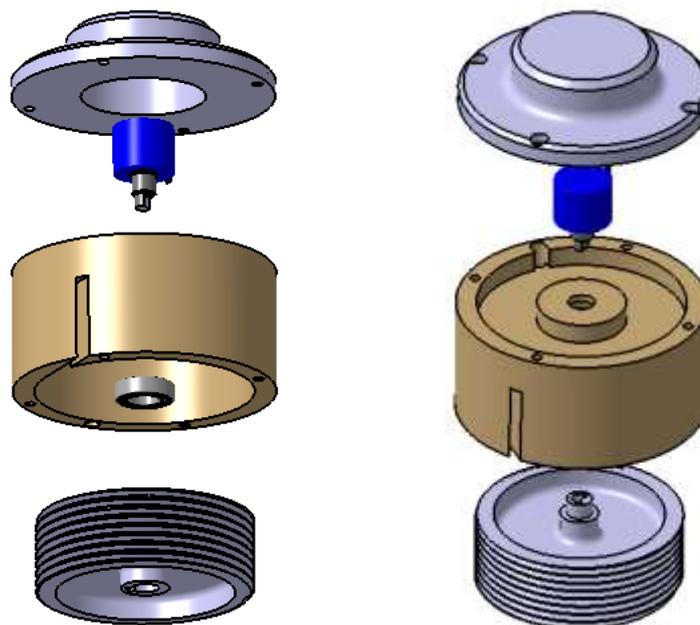


FIGURA 17 : Prototipo ultimo de sistema de accionamiento de línea de comando

Por último, en la FIGURA 18 se puede ver la “mockup” del prototipo completo (caja contenedora más sistemas de accionamientos). La ubicación de los accionamientos de comandos en este prototipo es, a diferencia de los anteriores, en una de las caras frontales de la caja. En este caso también se prescindió de la placa soporte que se utilizó anteriormente ya que todo el conjunto, polea, cubierta y motorreductor (en el interior de la caja) va montado sobre la placa de la caja.

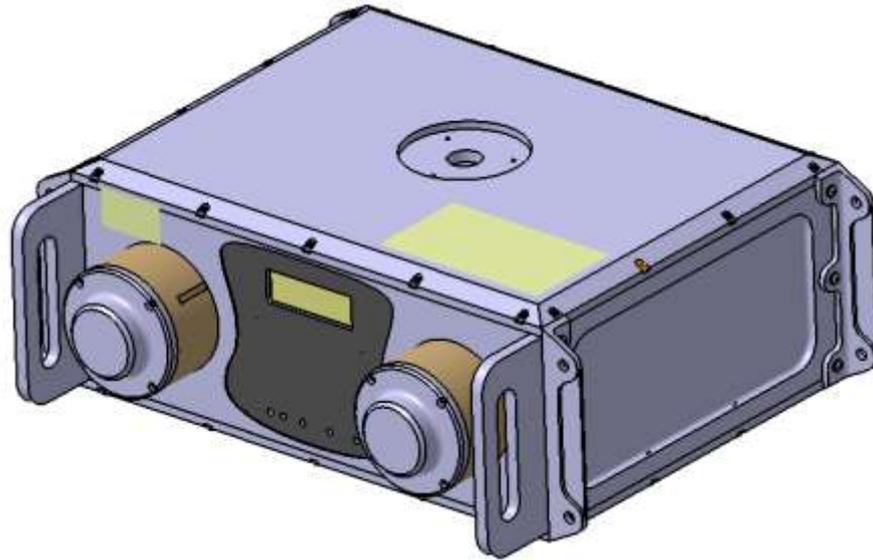


FIGURA 18 : Caja completa prototipo último

3. RESULTADOS

Después de un primer intento con la utilización de una cuerda como línea de comando y una polea con ranura única, los resultados demostraron que esa configuración no es óptima para la utilización en un sistema de accionamiento de líneas de comandos de un paracaídas ya que los constantes atascos condicionaron el buen funcionamiento del mismo.

Los resultados obtenidos con la configuración propuesta para el segundo prototipo, utilizando un cable de acero como línea y una polea con una ranura helicoidal fueron excelentes. Esto llevo a que la propuesta para el tercer y último prototipo, previo al diseño final del equipo sea la misma.

4. CONCLUSIONES

Se concluye que:

Se llegó al diseño de un sistema de accionamiento de comandos para un paracaídas autónomo cumpliendo con las necesidades del mismo.

Se pudo probar que la configuración finalmente definida es confiable para realizar el control del paracaídas en vuelo.

Es necesaria en el futuro cercano la realización de pruebas con el cumplimiento de misiones completas para la verificación del correcto funcionamiento del conjunto completo en un plan real.

5. REFERENCIAS

6. ANEXOS

ANEXO A: *Datasheet* servo motor HI TECH **HS-785HB**

Dimensions	2.32" x 1.14" x 1.96" (59 x 29 x 50mm)
Product Weight	3.88 oz. (110g)
Output Shaft Style	24 tooth (C1) spline
Voltage Range	4.8V - 6.0V
No-Load Speed (4.8V)	1.68sec/360°
No-Load Speed (6.0V)	1.4sec/360°
Stall Torque (4.8V)	152.75 oz./in. (11kg.cm)
Stall Torque (6.0V)	183 oz./in. (13.2kg.cm)
Max PWM Signal Range (Standard)	600-2400µsec
Travel per µs (out of box)	1.57°
Max Travel (out of box)	2826°
Pulse Amplitude	3-5V
Operating Temperature	-20°C to +60°C
Current Drain - idle (4.8V)	8mA/
Current Drain - idle (6.0V)	8.7mA
Current Drain - no-load (4.8V)	230mA
Current Drain - no-load (6V)	285mA
Continuous Rotation Modifiable	Yes
Direction w/ Increasing PWM Signal	Clockwise
Deadband Width	8µs
Motor Type	3 Pole Ferrite
Potentiometer Drive	Indirect Drive
Feedback Style	5KΩ Potentiometer
Output Shaft Support	Dual Ball Bearings
Gear Type	Straight Cut Spur
Gear Material	Karbonite
Wire Length	11.81" (300mm)
Wire Gauge	22AWG