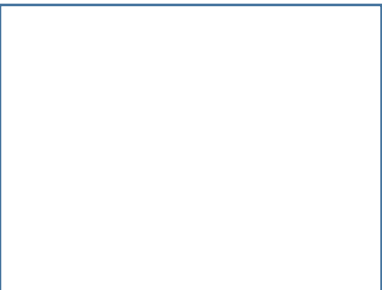


SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE PRECISIÓN

EA3HMJ 02-2.021

SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE PRECISIÓN

- Descripción básica
- Factor a considerar
- El reto de la precisión necesaria
- El problema mecánico Backlash
- Comparación slewgear vs convencional
- La elevación
- Sensor elevación
- El azimut
- Verificar el Backlash
- Medir el Backlash
- Influencia del Backlash
- Rotor con Encoder integrado
- Selección tipo Encoder: magnético
- Selección tipo Encoder: óptico
- Montaje Encoder en la montura
- Prueba estabilidad medida de los Encoder
- Montaje Encoder en la montura con multiplicación
- Montaje real
- Resolución
- Recomendaciones montaje
- Problemas comunes
- Ruego y preguntas



DESCRIPCIÓN BÁSICA



Para la recepción de una señal débil con parábola se deben de cumplir dos requisitos

1. Disponer de un receptor de bajo ruido, alta ganancia y estabilidad en frecuencia
2. Disponer de un buen sistema de apuntamiento y seguimiento

El apuntamiento depende de varios factores:

La precisión con la que podemos movernos.

La precisión en medir la posición en que nos encontramos.

La repetitividad de las medidas y movimientos.

En la practica de los dos ejes que movemos el azimut es el que más complicado es controlar.

Para elevación lo más acertado es usar un actuador lineal.



FACTOR A CONSIDERAR

LOBULO RADIACIÓN 3dB

Cuanto menor sea nuestro lóbulo de radiación, más concentrada será la señal que recibiremos y más posibilidades de éxito tendremos en la recepción de señales débiles.

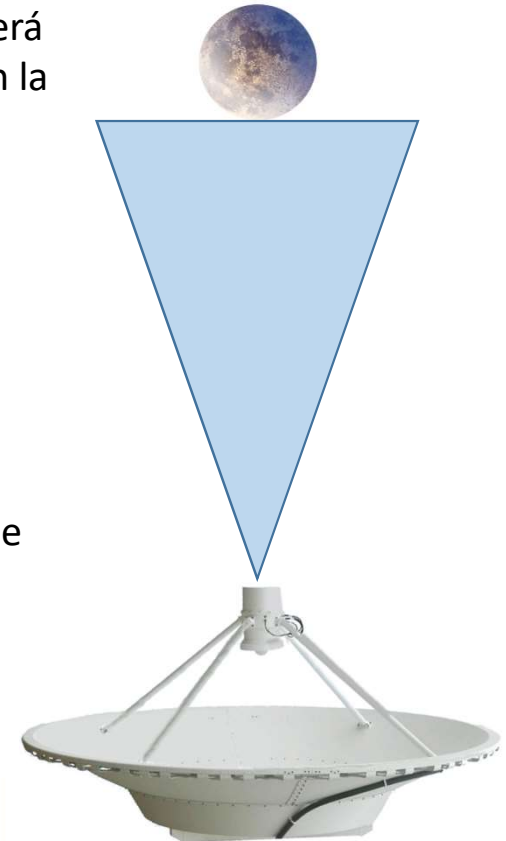
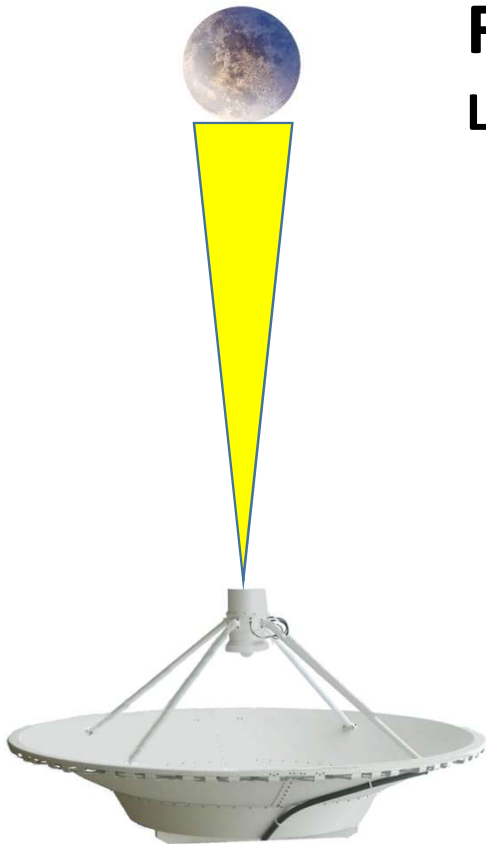
Este valor indica cada cuantos grados la señal decae 3dBs.

Este factor depende de dos parámetros:

1. Frecuencia de trabajo
2. Diámetro de la parábola

En esta tabla vemos el valor de este factor para distintas medidas de parábola y su influencia en la señal recibida de la luna.

Frecuencia MHz	Lobulo 3dB (grados)				Porcentaje iluminación Luna			
	Diámetros (cm)				Diámetros (cm)			
	120	180	240	300	120	180	240	300
1200	14,58	9,72	7,29	5,83	2803,8%	1869,2%	1401,9%	1121,2%
8000	2,19	1,46	1,09	0,88	421,2%	280,8%	209,6%	169,2%
10000	1,75	1,17	0,88	0,7	336,5%	225,0%	169,2%	134,6%
24000	0,73	0,49	0,36	0,29	140,4%	94,2%	69,2%	55,8%
47000	0,37	0,25	0,19	0,15	71,2%	48,1%	36,5%	28,8%
76000	0,23	0,15	0,12	0,09	44,2%	28,8%	23,1%	17,3%



EL RETO DE LA PRECISIÓN MECÁNICA

Queremos montar un sistema con una resolución de 0.01° sin tener que dejarnos mucho dinero para poder usar nuestro sistema en frecuencias $>10\text{GHz}$.

Esto nos reduce el ámbito de búsqueda en el mercado.

Entre las distintas opciones con un grado aceptable de precisión podemos elegir entre:

1. Alfaspid, plug&play, económico.
2. EGIS, plug&play, más profesional pero mucho más caro
3. Slewgear hay que ingeniárselas para instalarlo, pero es una opción económica con un gran resultado.



EL PROBLEMA MECÁNICO - BACKLASH

El mayor problema de la mecánica de tracking es el backlash.

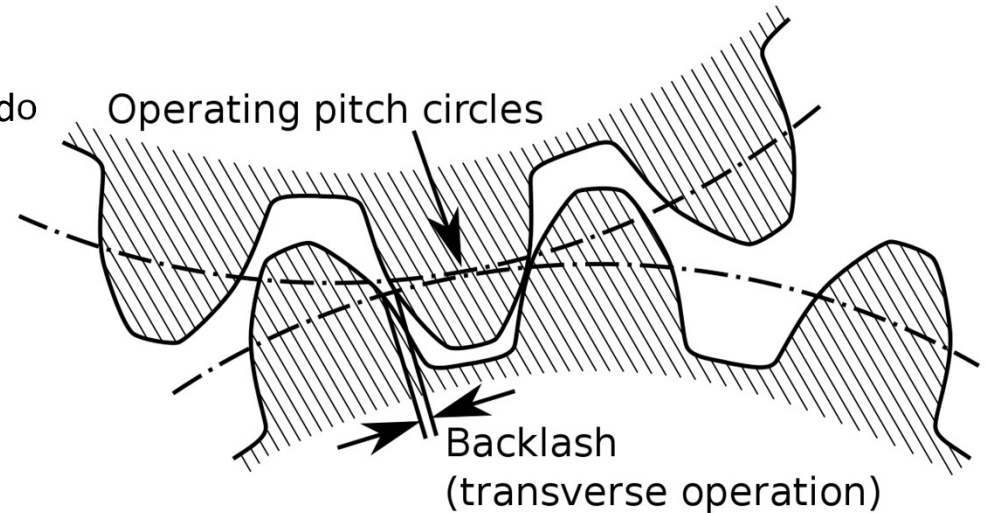
Este efecto se produce por la holgura de los engranajes cuando se hace un cambio de sentido.

Este fenómeno es intrínseco al ajuste de los engranajes.

Aunque hay vendedores que garantizan el ZERO backlash, es imposible de eliminar por completo.

Por lo que solo nos queda tres opciones:

1. Ignorarlo y ajustar nuestro sistema periódicamente
2. Corregirlo en el software de seguimiento (complicado)
3. Corregirlo en el montaje



COMPARACION SLEWGEAR vs CONVENCIONAL

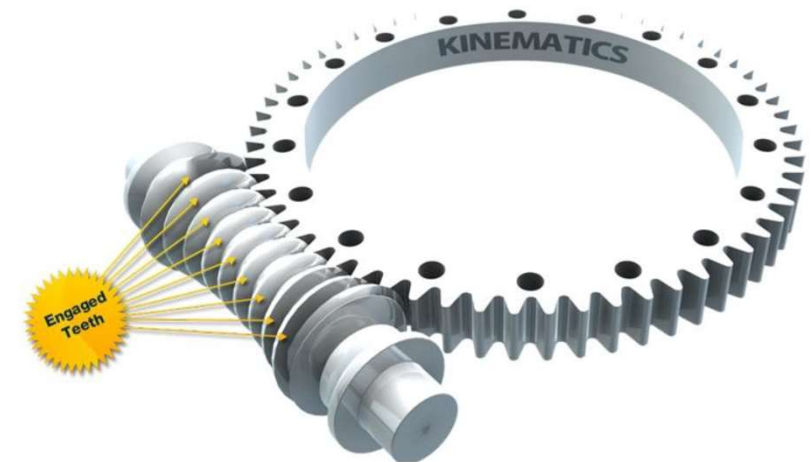
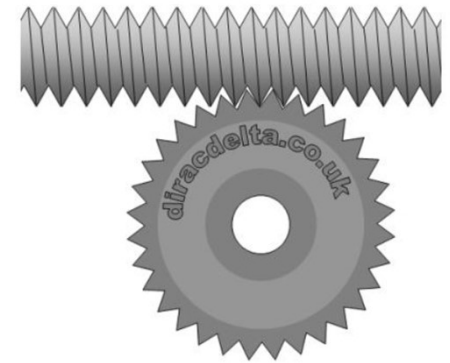
El sistema de engranaje helicoidal convencional se caracteriza por:

- Un backlash casi nulo, pero es susceptible a los cambios de temperatura.
- Solo uno o dos dientes del engranaje enganchados durante la rotación del husillo.
- Alto desgaste por fuerzas estáticas al autobloquear, pero menor fricción.
- Limitación de fuerzas transmisibles

El sistema slewgear se caracteriza por:

- La forma del husillo sigue el contorno del engranaje
- Área de contacto mejorada en los dientes de los engranajes
- Hasta 11 dientes en contacto con el husillo
- Capacidad de torsión y resistencia a la carga de impacto muy mejoradas.

Por estos argumentos elegimos la opción Slewgear para azimuth.



LA ELEVACIÓN

Un actuador lineal es la mejor opción para elevación.

Acomete dos funciones:

- Movimientos precisos y repetitivos
- Aportación de rigidez mecánica a nuestro sistema

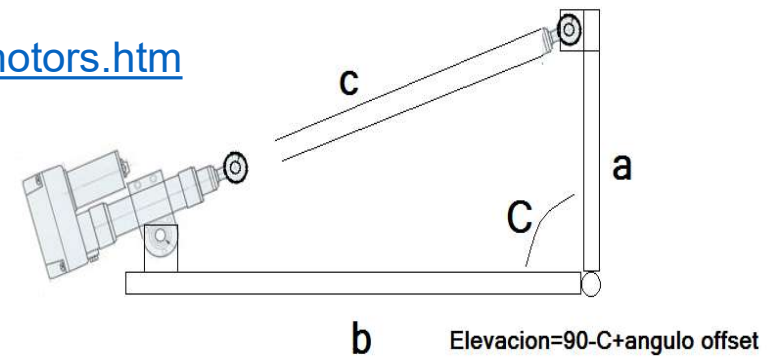
Debemos de calcular bien los dos apoyos del actuador de forma que:

- Cuando el actuador este recogido tengamos la máxima altitud
- Cuando el actuador este expandido tengamos la mínima elevación.

La marca SUPERJACK JAEGER modelo QARL3636+ HEAVY es una gran opción.

Su coste ronda los 240€.

http://www.satellitesuperstore.com/satellite_diseqc_motors_36_volt_motors.htm



SENSOR DE ELEVACIÓN

Como sensor de elevación la mejor opción es un inclinometro digital.

El modelo SOLAR-360 de **Level Developments Ltd** se adapta perfectamente a nuestras necesidades y sus principales características son:

- Rango absoluto de $\pm 180^\circ$
- Salida RS485.
- Compensación de temperatura.
- Estanqueidad IP67.
- Precisión $\pm 0.07^\circ$
- Resolución (@1Hz BW) 0.002°

- Coste ronda los 200€, pero merece la pena la inversión.

<https://www.leveldevelopments.com>



EL AZIMUT

Este rotor, que conocimos en el Meeting 2015 in Örebro, presentado por DL1YMK y SA6BUN, tiene las siguientes características:

- Modelo SD3 de coresundrive.com
- Par 614 Nm
- Motor 24V reducción 580:1 encoder magnético incremental integrado.
- Husillo reducción 62:1
- Velocidad de giro 0.048 rpm

Su coste ronda los 500€. Pero no hay proveedores en EU y hay que importarlo de china directamente.

ON7UN 6m dish



VERIFICAR EL BACKLASH

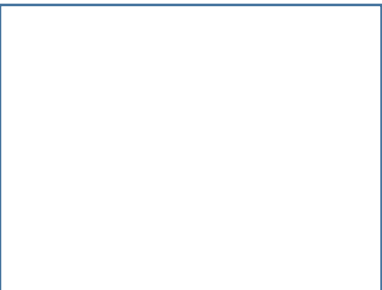
Los dos primeros montaje que hice del rotor me hicieron dudar del backlash que el fabricante nos garantizo, inferior a $0,1^{\circ}$ para el modelo SD3.

En el tercer montaje decidí medirlo para saber realmente lo que es.



En el video se observa el movimiento producido por el efecto de backlash.

La posición esta invertida, la parte superior es donde se conecta el mástil.



MEDIR EL BACKLASH

Con un poco de ingenio se pude medir.

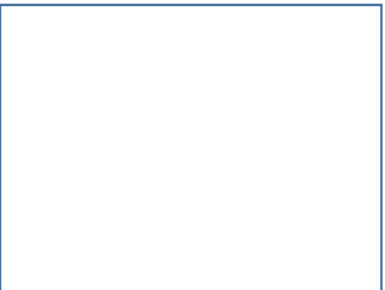
Al disponer de una base circular de longitud 785,4mm nos facilitara la medida.

Pegamos una regla impresa en la base circular con una resolución por línea de 0,05mm.



En el video se puede apreciar que el rotor se mueve tres rayas.

Por lo que el valor real de backlash de este rotor es de $0,3^\circ$ aprox.



INFLUENCIA DEL BACKLASH

Usamos la luna como objeto de seguimiento.

En la tabla se remarca en amarillo la perdida parcial de iluminación y en rojo la total al aplicar el backlash al lóbulo de la parábola.

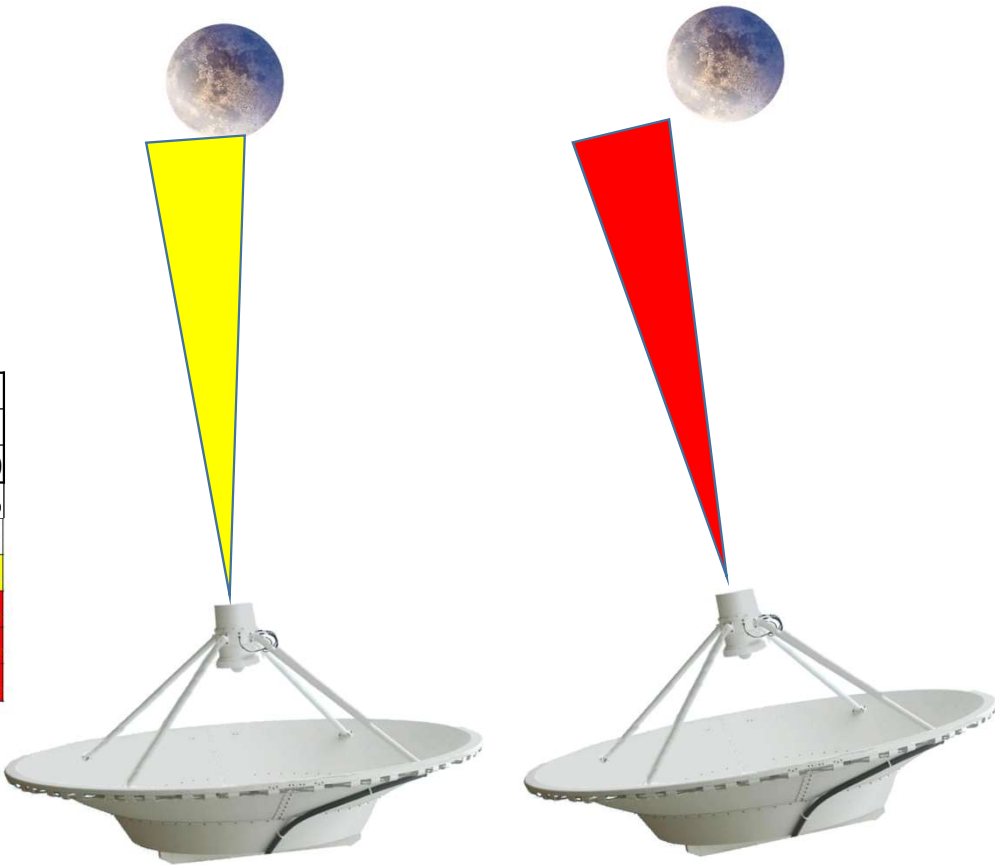
LUNA		
Distancia media	384400	kms
Diametro ecuatorial	3476	kms
Diametro aparente desde la tierra	0,52	°

Backlash 0,3°

Frecuencia MHz	Lobulo 3dB (grados)				Porcentaje de iluminacion			
	Diámetros (cm)				Diámetros (cm)			
	120	180	240	300	120	180	240	300
1200	14,28	9,42	6,99	5,53	2746,2%	1811,5%	1344,2%	1063,5%
8000	1,89	1,16	0,79	0,58	363,5%	223,1%	151,9%	111,5%
10000	1,45	0,87	0,58	0,4	278,8%	167,3%	111,5%	76,9%
24000	0,43	0,19	0,06	-0,01	82,7%	36,5%	11,5%	-1,9%
47000	0,07	-0,05	-0,11	-0,15	13,5%	-9,6%	-21,2%	-28,8%
76000	-0,07	-0,15	-0,18	-0,21	-13,5%	-28,8%	-34,6%	-40,4%



En el video se aprecia el efecto cuando estas en seguimiento del sol en 24 GHz, la medida es relativa de SN.



ROTOR CON ENCODER INCREMENTAL INTEGRADO

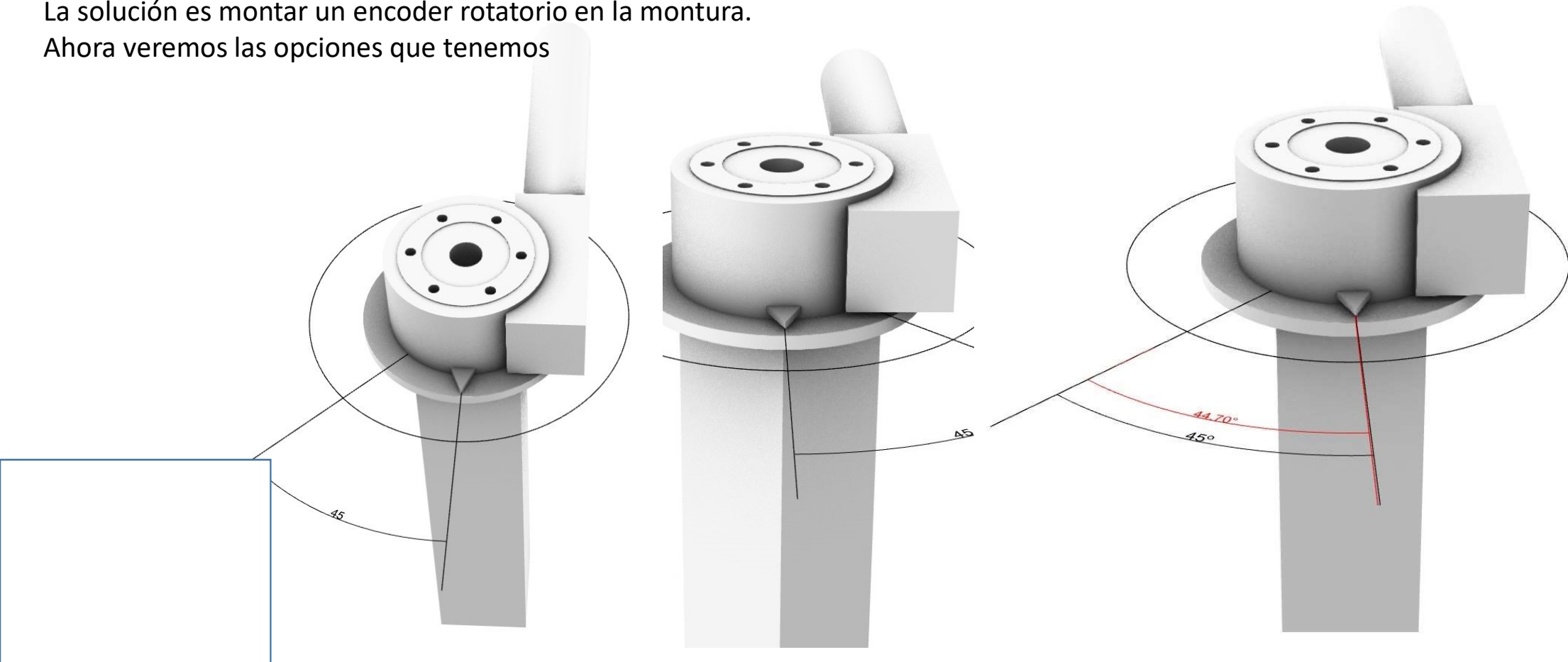
El encoder incremental da 2 pulsos por vuelta del motor. La reducción del motor es 580:1 y el husillo 62:1, se necesitan 71920 pulsos/360°.

Cuando se produce un cambio de sentido, el motor gira 30 revoluciones (60 pulsos) y el rotor no se mueve.

En la practica si nos movemos desde 0° a 45° y volvemos a 0° nos quedaremos en 0,3° absolutos.

La solución es montar un encoder rotatorio en la montura.

Ahora veremos las opciones que tenemos



SELECCIÓN TIPO DE ENCODER ABSOLUTO: MAGNÉTICO

Fabricado por <https://oidencoder.com> 15 bits de resolución y la precisión lineal puede alcanzar 0,01 °. En la práctica hay oscilaciones de 5 bit.

La carcasa de hierro tiene una estanqueidad IP54 y el eje y rodamiento IP65.

La comunicación es por RS485 protocolo MODBUS-RTU a una velocidad máxima de 115200 bauds.

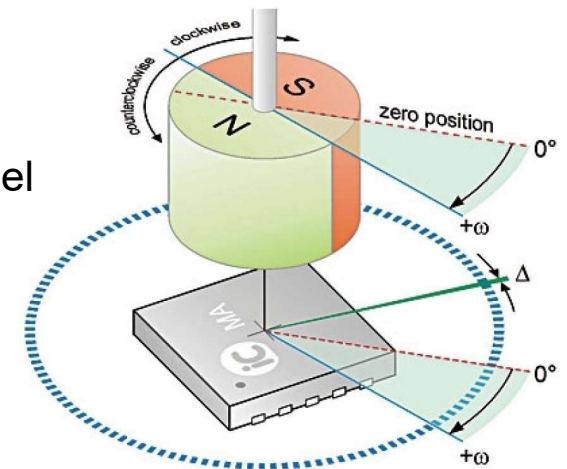
Consiste en: imán fijo en el eje del motor y sensores Hall montados en una superficie fija frente al imán, donde el eje central del imán debe alinearse con el centro de los sensores Hall IC dentro de un pequeño orificio entre ellos (0.5-2 mm).

Cuando un eje está girando, el imán genera un campo magnético.

La matriz de sensores Hall convierte las fluctuaciones del campo magnético en una señal digital proporcional al ángulo de rotación según el efecto Hall.

La figura ilustra el funcionamiento principal del codificador rotatorio magnético absoluto.

Como puede verse, el sentido de giro se puede determinar con respecto a la posición cero. La posición cero es la primera posición desde la que comienza el sensor.



Coste 40€ .

SELECCIÓN TIPO DE ENCODER ABSOLUTO : OPTICO

Fabricante TWK Modelo 58-S8192GKD01

Salida binaria Gray 13 bits.

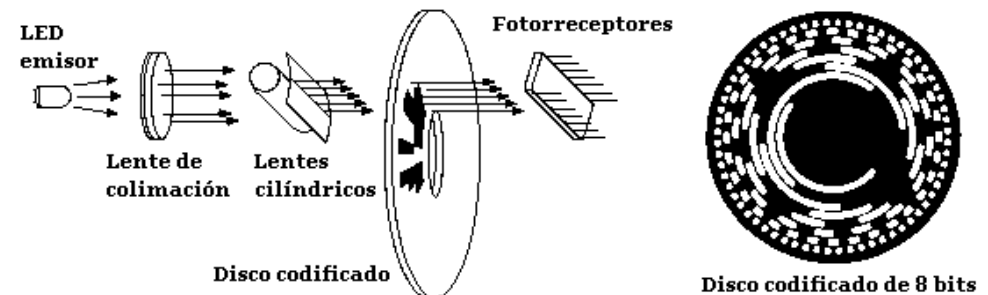
El encoder tiene una estanqueidad IP65.

Tiene una estabilidad muy buena y no varía ningún bit.

Un encoder se compone básicamente de un disco conectado a un eje giratorio. El disco está hecho de vidrio y se encuentra “codificado” con unas partes transparentes y otras opacas que bloquean el paso de la luz emitida por la fuente de luz.

A medida que el eje rota, el emisor infrarrojo emite luz que es recibida por el sensor óptico generando los pulsos digitales a medida que la luz cruza a través del disco o es bloqueada en diferentes secciones de este.

Coste 140€.

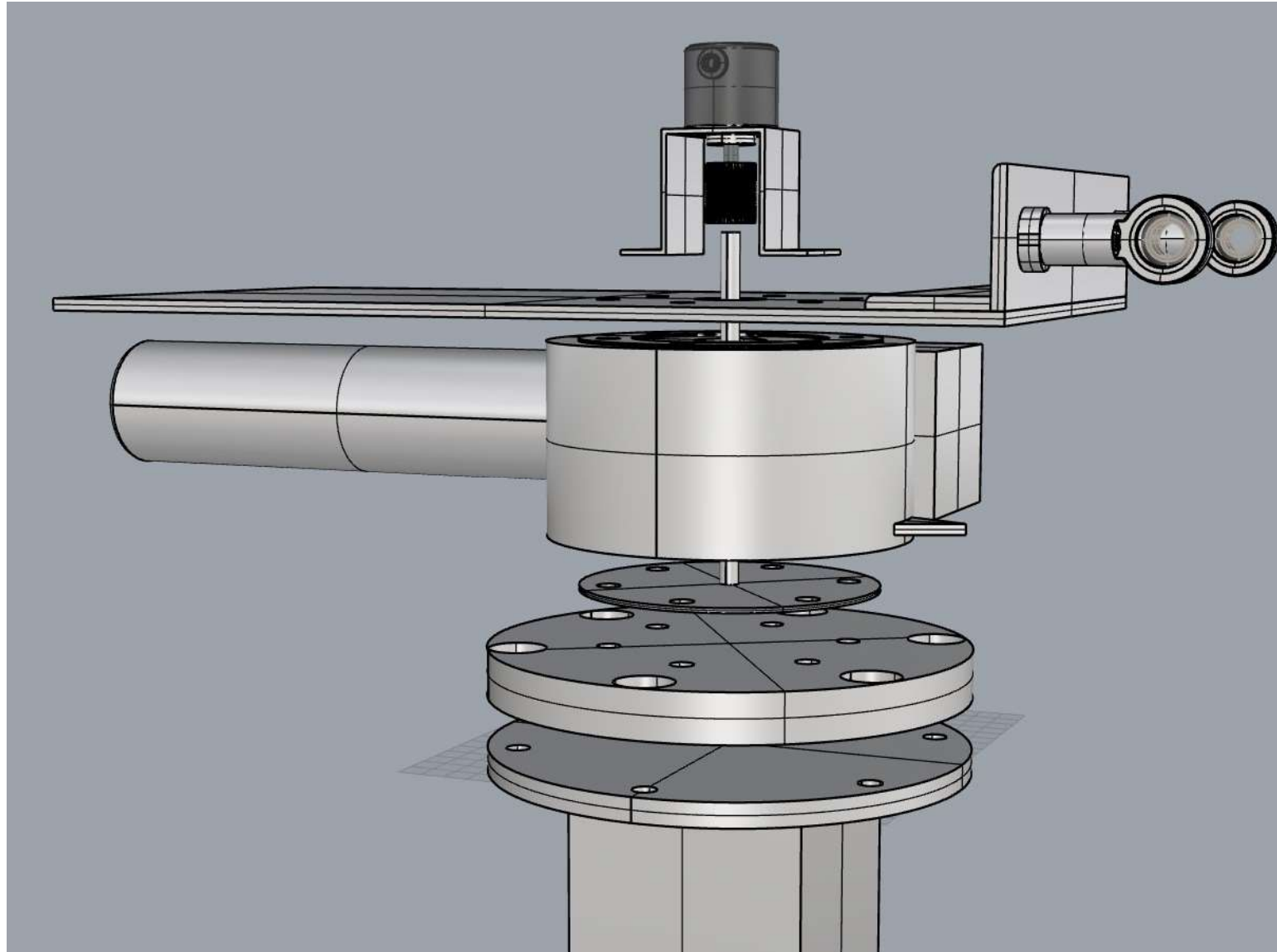


MONTAJE DE ENCODER EN LA MONTURA

Solidario al mástil se monta un eje.

El encoder se monta sobre un soporte en el soporte de la parábola. Este soporte gira solidariamente con el rotor.

Mediante un acoplador se unen el encoder y el eje. De forma que cuando gire el rotor el eje esta fijo y gira el encoder junto con el soporte y rotor a una relación de 1:1.



PRUEBA ESTABILIDAD MEDIDA DE LOS ENCODERS

He montado el encoder óptico en una parábola y el magnético en otra parábola para el azimut.



En el video nos tenemos que fijar en la posición de azimut.

El encoder magnético no es estable pero al encoder óptico le falta resolución.

He medido el baile del encoder magnético y es de 5 bits, este problema lo podemos compensar con multiplicación en la relación encoder-rotor.

Magnetico 15 bits		Posicion por numero de bits																											
Multi	resolucion	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
7	0,0015695	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
6	0,0018311	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
5	0,0021973	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
4	0,0027466	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
3	0,0036621	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
2	0,0054932	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15
1	0,0109863	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31

En la tabla Podemos ver el efecto de distintas multiplicaciones y el comportamiento con el incremento de bits.

No témenos seguridad en la estabilidad de medida por mucho que aumentemos la multiplicación.



En el video se aprecia el comportamiento con distintas multiplicaciones.

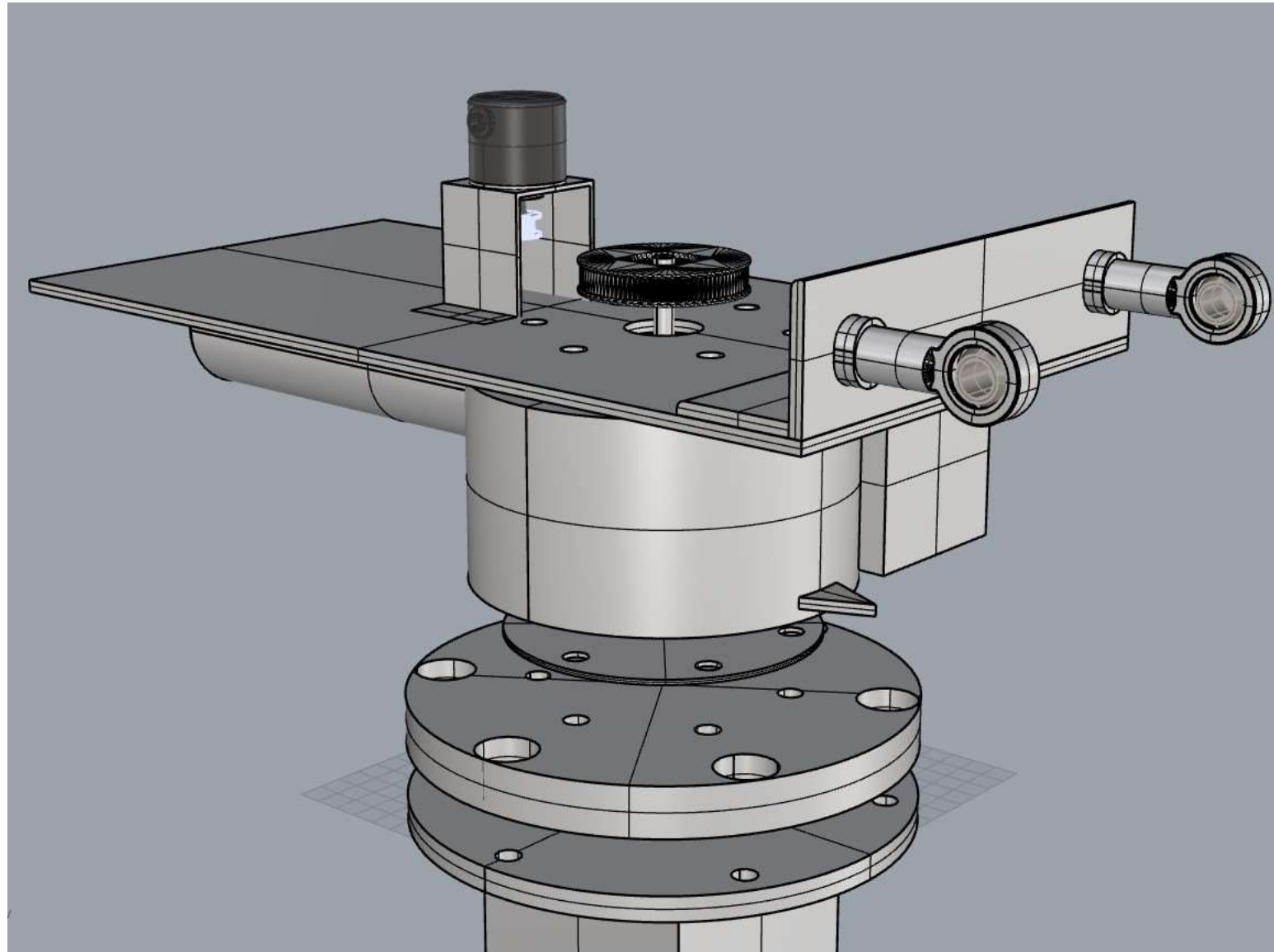
MONTAJE DE ENCODER EN LA MONTURA CON MULTIPLICACION

Solidario al mástil se monta un eje con un piñón de $20 \cdot n$ dientes.

El encoder se monta sobre un soporte en el soporte de la parábola desplazado del centro. Monta un piñón de 20 dientes.

Mediante una correa se unen el encoder y el eje.

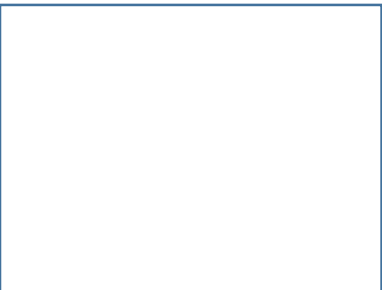
De forma que cuando gire el rotor el eje esta fijo y gira el encoder junto con el soporte y rotor con una relación de $2 \cdot n : 1$.



MONTAJE REAL



Como se aprecia en las fotos el sistema es fácil de montar.



RESOLUCIÓN

El encoder óptico es la opción más segura pero necesitamos multiplicar para mejorar la resolución.

Multiplicacion		2	3	4	5	6	7	8
Incremento en bits		1		2				4
Numero de bits	13	14		15				16
Resolucion en grados	0,0439	0,022	0,0146	0,011	0,0088	0,0073	0,0063	0,0055

Con una multiplicación de x5 ya conseguimos el objetivo. EN la tabla se ve que cada salto de un bit corresponde con un salto de 0.01°.

Utilizaremos un piñón de 20 dientes en el encoder y de 40, 60,80,100,120,160 en el eje del rotor.

Hasta 120 dientes se pueden conseguir en paso 2 mm tipo GT2 y para dientes de 160 tenemos que usar paso de 0.080” 2.032 mm tipo MXL.

En aliexpres podéis encontrar este material.

Optico 13 bits		Posicion por numero de bits											
Multi	resolucion	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
6	0,0073242	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	
5	0,0087891	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	
4	0,0109863	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	
3	0,0146484	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	
2	0,0219727	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24	
1	0,0439453	0,04	0,09	0,13	0,18	0,22	0,26	0,31	0,35	0,40	0,44	0,48	

RECOMENDACIONES MONTAJE

Utilizar tornillos de calidad 12.9 en lugar de los normales de 8.8.

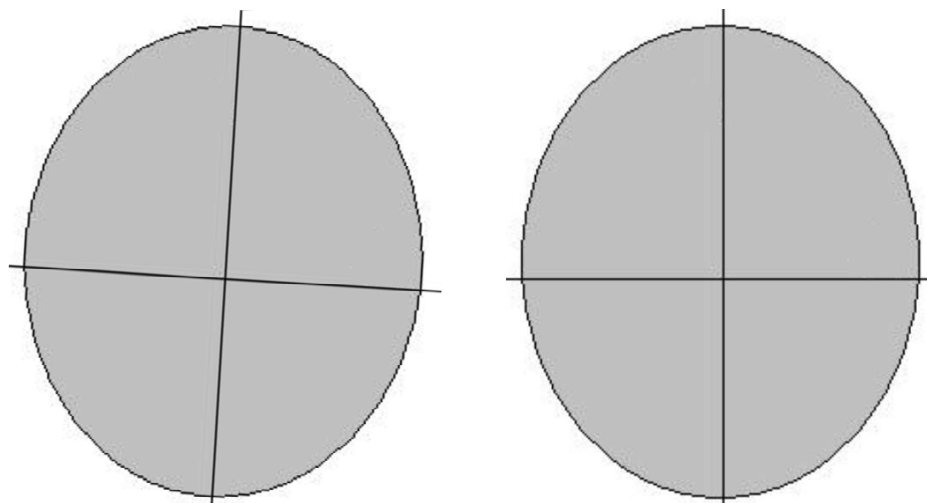
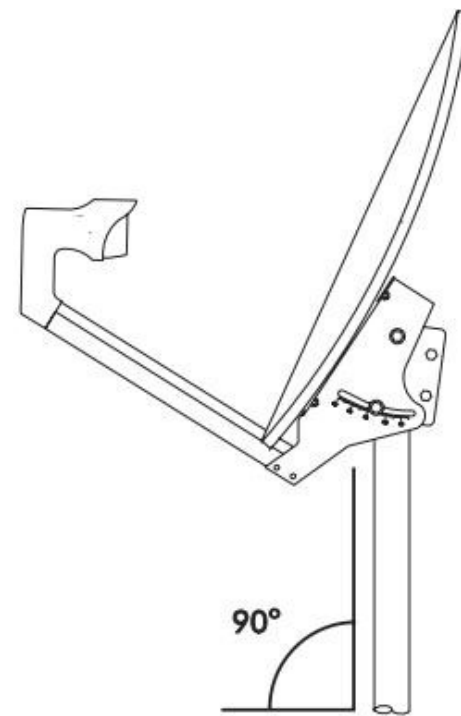
Usar arandelas bloqueo tipo nord lock.

Usar pasta de montaje en los tornillos.

Usar dinamométrica para garantizar el apriete, si no se dispone usar palanca y apretar fuerte (la pasta impedirá que se gripe el tornillo).

Asegurar la máxima verticalidad del mástil de la parábola.

Alinear la parábola.



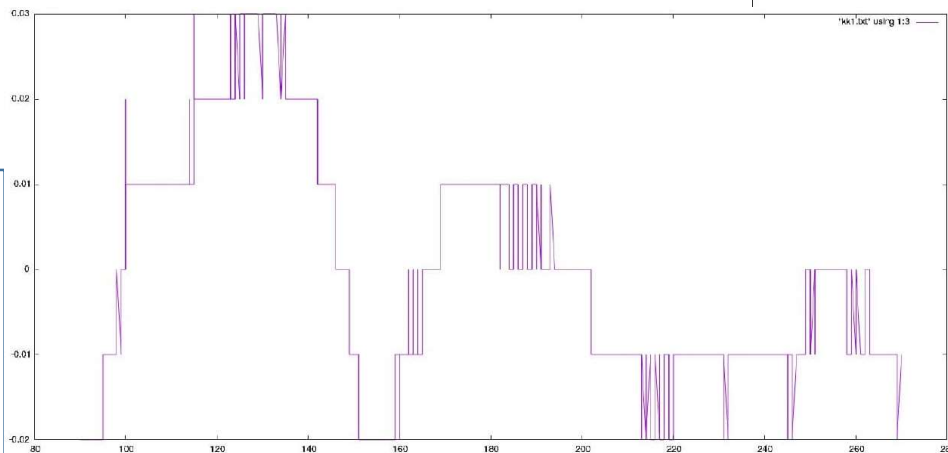
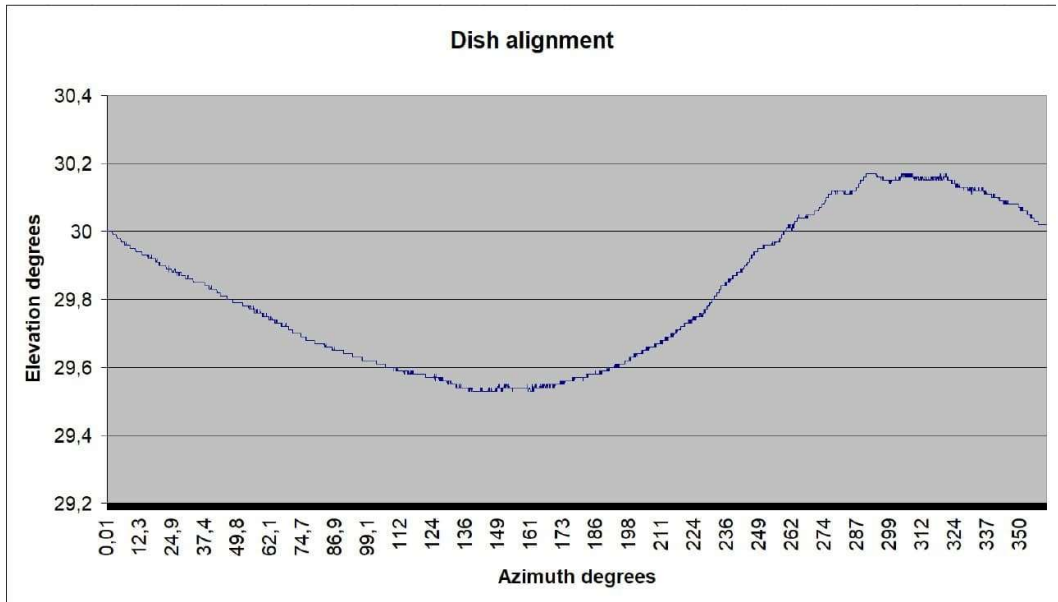
PROBLEMAS COMUNES

El más común de los problemas es la alineación de la parábola, que a pesar de poner el mástil bien perpendicular, el resultado es malo.

Este grafico es de una rotación de mi parábola después de haber alineado el mástil.

Con el grafico sabemos donde tenemos que mover para que quede bien.

Una vez corregido, pasamos de 0.6° a 0.05° , que es un valor aceptable.





**En memoria
de mi amigo
Jose Luis EA5IOT
SK 10/2020**

Encoder 13 bits óptico

<https://www.ebay.es/itm/TWK-ELEKTRONIK-ROTARY-ENCODER-KBE-58-S8192-G-K-D01-FREE-SHIP/280952453283>

Encoder 15 bits magnético, type 1

<https://es.aliexpress.com/item/4000830344279.html?spm=a219c.12010615.8148356.2.71eb1cefbMdsD1>

Polea GT2 T20, 6mm o 8mm para encoder

<https://es.aliexpress.com/item/32642429070.html?spm=a219c.12010612.8148356.6.5d8f66feFRFHbG>

Multipliación x4

Polea GT2 T80, 8 mm, Fit Width 6mm

<https://es.aliexpress.com/item/32808804964.html?spm=a219c.12057483.0.0.47b4352dc3QenR>

Correa GT2, 6mm, 252GT2

<https://es.aliexpress.com/item/32590979879.html?spm=a219c.12010612.8148356.4.4fe229ddeplCgQ>

Multipliación x5

Polea GT2 T100, 8 mm, Fit Width 6mm

<https://es.aliexpress.com/item/33011649388.html?spm=a219c.12010612.8148356.1.52e966feQf7fcu>

Correa GT2, 6mm, 280GT2

<https://es.aliexpress.com/item/32356427477.html?spm=a219c.12010612.8148356.4.208229ddUBW1Sy>

Multipliación x6

Polea GT2 T120, 8 mm, Fit Width 6mm

<https://es.aliexpress.com/item/33014158442.html?spm=a219c.12057483.0.0.176837e299Ue9z>

Correa GT2, 6mm, 302GT2

<https://es.aliexpress.com/item/32739215128.html?spm=a219c.12010612.8148356.1.175929ddASLkiG>

Multipliación x8

polea 20T MXL, 6mm (Big Hub), For belt width 6mm

<https://es.aliexpress.com/item/871134110.html?spm=a219c.12010612.8148356.1.7ca66a1eXC4HC5>

Polea 160T MXL, 8mm, For belt width 6mm

<https://es.aliexpress.com/item/32988615762.html?spm=a219c.12010612.8148356.19.b4c33613VRiz47>

Correa B177MXL025, Teeth 177

<https://es.aliexpress.com/item/568775215.html?spm=a219c.12010612.8148356.38.6c588517MlxJLI>