



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Y FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

TITULACIÓN DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ESP. MECÁNICA

**ESTUDIO SOBRE INSTALACIÓN, MONTAJE Y
FUNCIONAMIENTO DE UN CODIFICADOR PARA
DETERMINAR POSICIÓN Y VELOCIDAD DE UN
VEHÍCULO ELÉCTRICO**

ALUMNO

CARLOS PELAYO VILLAR PÉREZ

JUNIO 2013

DIRECTOR

JOSÉ LUIS TORRES MORENO

Índice

1. Objeto y alcance de estudio	4
2. Introducción.....	6
2.1 – Situación general de los vehículos eléctricos.....	7
2.2 – Baterías.....	10
2.3 – Redes de infraestructura.....	11
2.4 – Diferencia económica entre VE y vehículo convencional.....	12
2.5 – Vehículos híbridos.....	13
2.6 – Situación de los VE en España (Programa MOVELE)	15
2.7 – Monitorización en vehículos eléctricos.....	16
3. Metodología.....	20
3.1 – Codificadores incrementales	21
3.1.1 – Introducción	21
3.1.2 – Funcionamiento	22
3.1.3 – Otros tipos de encoders.....	24
3.2 – Solución propuesta	25
3.3 – Proceso de mecanizado.....	43
3.3.1 – Fresado.....	45
3.3.2 – Torno	48
3.3.3 – Oxicorte	50
3.3.4 – Simulación mediante WinUnisoft	52
3.4 – Pruebas de funcionamiento	60
3.4.1 – Buses.....	60
3.4.2 – Bus local PCI	62
3.4.3 – PCI-TMC-12A	64
3.4.4 – Chip 8254	67
3.4.5 – Instalación y conexión del Encoder.....	76
3.4.6 – LabView	78
3.5 – Proceso de montaje	86
4. Resultados	94
5. Conclusiones y trabajos futuros	97
6. Bibliografía	100

7. Anexos	103
7.1 – Data-Sheet Coche eléctrico. MODELO ALSO. Distribuidor Tesur.	104
7.2 – Data-Sheet Codificador DRS-61	109
7.3 – Data-Sheet Tarjeta PCI-TMC-12A	113
7.4 – Códigos CNC y planos de mecanizado.....	114
7.5 – Catálogo de piñón y rueda	116
7.6 – Catálogo de acoplamientos flexibles.....	119
7.7 – Características del rodamiento seleccionado.....	121
7.8 – Proceso de montaje	122
7.9 – Tablas utilizadas para el cálculo de tolerancias	124
8. Planos	126

1.

Objeto y alcance de estudio

La misión de este trabajo técnico consiste en el estudio de un codificador incremental situado en una rueda del coche eléctrico disponible en la Universidad de Almería para conocer su velocidad. Para ello se ha diseñado un mecanismo para su inserción en el vehículo, así como de un programa realizado mediante Labview con la finalidad de probar el funcionamiento de dicho codificador. Finalmente se describen de igual modo el proceso de montaje del mecanismo citado, los problemas observados durante el mismo y las soluciones propuestas.

El vehículo sobre el cual tendrá lugar la instalación del Encoder es el que se muestra en la Figura 1.



Figura 1.1: Coche eléctrico disponible

2.

Introducción

2.1 – Situación general de los vehículos eléctricos

La invención del vehículo mediante el uso de combustión interna fue uno de los mayores logros del siglo XX. Previo a ese descubrimiento, el uso de petróleo como fuente de energía consistía en el 3% de la demanda total de energía.

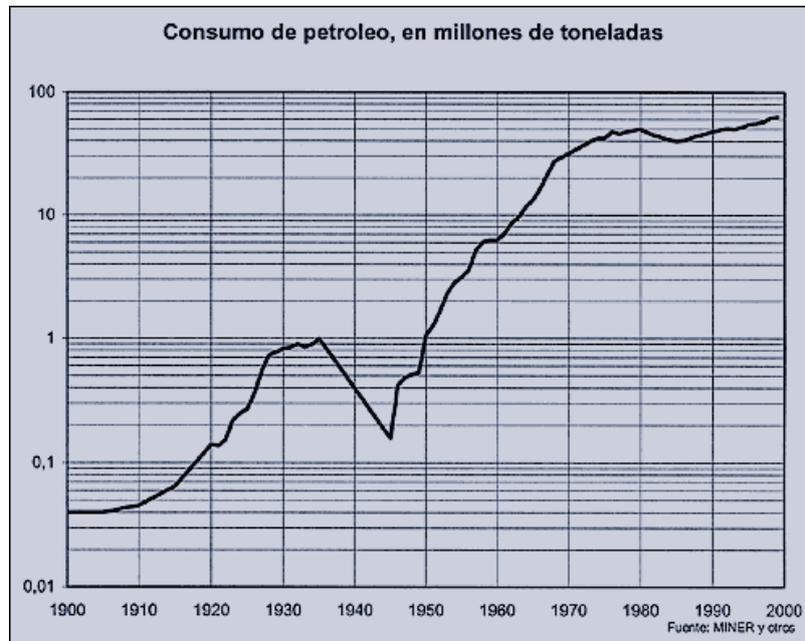


Figura 2.1.1: Consumo de petróleo a lo largo del siglo XX [1]

Desde los años 70, cuando tuvo lugar la 1ª crisis del petróleo, se comenzó a tener una inquietud acerca del futuro de dicha energía, llegando al punto de iniciar una búsqueda de nuevas fuentes de energía, más baratas y que pudieran ser obtenidas de forma más independiente. Dicha crisis, junto con los estudios realizados durante los años 80 y 90 sobre la contaminación en el planeta, especialmente el denominado “efecto invernadero”, que podría acabar con la capa de ozono de la atmósfera debido al excesivo uso de todo tipo de gases, dio pie a una nueva conciencia relativa a la investigación sobre el uso de energías renovables más favorables con el medio ambiente. Junto con esos estudios, otra razón que impulsó el inicio de la investigación de vehículos eléctricos ha sido el hecho de que cada vez quedan menos reservas de petróleo, lo que aumenta su precio considerablemente.

Los vehículos eléctricos (VE) ya fueron testados antes de los propios vehículos de combustible. Sin embargo, fueron desplazados por estos últimos debido a que necesitaban un enorme tiempo de recarga para un óptimo funcionamiento y a la dificultad para almacenar grandes cantidades de energía, lo cual sigue siendo hoy en día el principal problema.

Un aspecto que resulta ser clave en los vehículos (tanto de combustible como eléctricos) es el concepto de eficiencia, es decir, el porcentaje de fuente de energía que realmente se aprovecha en el vehículo.

Los vehículos de combustible tienen una eficiencia que ronda el 25%. Dicho esto, resulta obvio que presentan muchas pérdidas de rendimiento, aunque por otro lado, un informe elaborado por el Gobierno de Francia ("Mission vehicle 2030" de 2008) prevé un mayor futuro para estos vehículos, debido principalmente a esas ineficiencias, explicando que aún son posibles grandes mejoras en el aprovechamiento del combustible y la emisión de contaminantes.

A pesar de que los vehículos eléctricos pueden lograr eficiencias de alrededor del 90% (debido en gran parte a que la mecánica va directamente acoplada a las ruedas), como se comentó anteriormente, su principal problema consiste en conseguir la creación de unas baterías que permitan una autonomía considerable y un tiempo de recarga cada vez menor.

A causa de este problema, resulta aún muy complicado el uso de vehículos eléctricos para desplazamientos de más de 200km. A pesar de que se sigue investigando en nuevas baterías de ion-litio que puedan almacenar mayores cantidades de energía, vehículos completamente eléctricos ya pueden verse por la calle, siendo empleados por ayuntamientos para servicios de limpieza o en universidades para desplazamiento y pruebas.

Actualmente, y a causa de los estudios medioambientales tratados anteriormente, los gobiernos de todo el mundo han comenzado a tomar medidas para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera con la intención de reducirlas para 2020 en un 20% respecto a 1990. Como se puede apreciar en la figura 2.1.2, los límites para Europa son mucho menos exigentes que en el caso de Estados Unidos.

Comparación de límites de emisiones de CO₂ para vehículos de pasajeros

	Europa	EE.UU.
2008	160 g/km	240 g/km
2012	130 g/km	190 g/km
2015	115 g/km	180 g/km
2020	100 g/km	160 g/km

Fuente: Comisión Europea y CAFÉ: Corporate Average Fuel Economy.

Figura 2.1.2: Límites de emisiones de CO₂ previstos hasta 2020

Es por ello por lo que se han incrementado las investigaciones con los siguientes vehículos:

- **Vehículos microhíbridos:** suponen una reducción del consumo de combustible del 5% al 10%. En ellos, el motor deja de funcionar al inmovilizar el vehículo, encendiéndose de nuevo al soltar la palanca de freno.
- **Vehículos mildhíbridos:** proporcionan una reducción del consumo de gasolina entre un 10% y un 20%. Su funcionamiento de basa en una parada del motor cuando el coche se detiene, obteniéndose energía adicional en el momento de acelerar.
- **Vehículos híbridos:** su reducción de consumo se sitúa entre el 20% y 40%. El uso de la energía eléctrica se limita a situaciones de baja velocidad.
- **Plug-in híbridos:** fueron implantados en 2010, con una reducción de consumo del 40% al 60%. Funcionan con energía eléctrica durante las primeras 100 millas recorridas (unos 160 km) funcionando después como un híbrido normal.
- **Vehículos eléctricos:** funcionan completamente con energía eléctrica, reduciendo el consumo de gasolina en un 100%.

Alrededor de todo el mundo, han tenido lugar alianzas entre empresas y gobiernos con la intención de impulsar la investigación y el desarrollo de los VE, destacando la PBP (Project Better Place) o Renault-Nissan. La primera centra sus esfuerzos en la construcción de una red de recarga, incluyendo estaciones de servicio, habiendo alcanzado acuerdos con países como Portugal, Canadá, Estados Unidos o Japón. Mientras tanto, la alianza Renault-Nissan tiene como objetivo la implantación y el desarrollo de la infraestructura de los VE.

Una vez siendo introducido el concepto de vehículo eléctrico, así como de las circunstancias que han dado pie a su investigación, los principales puntos que merecen gran atención en su desarrollo y que resultan necesario solucionar son los siguientes:

- Creación de baterías que consigan almacenar grandes cantidades de energía, que permitan mayores autonomías, y que del mismo modo reduzcan su coste todo lo posible.
- El desarrollo de su infraestructura, la cual no existe en la actualidad.
- La disminución de la diferencia de costes entre un VE y un vehículo convencional.

2.2 - Baterías

Como se ha reflejado anteriormente, el principal obstáculo para la implantación de los vehículos eléctricos en el parque móvil actual radica en la limitada cantidad de energía que las baterías hasta ahora desarrolladas son capaces de almacenar.

Las mejoras que deben ser resueltas lo antes posible tratan sobre una mayor provisión de energía, menor peso y tamaño, ciclo de vida prolongado, ciclo de carga profundo, mayor seguridad y bajo coste. El tiempo de recarga es otro punto a tener en cuenta, siendo actualmente de entre 2 y 8 horas, aunque el proyecto de PBP incluye una reducción del mismo hasta tan sólo unos minutos.

Comparación densidad de energía y coste de las baterías

	Coste (€/Wh)	Ciclo de Vida (Nº ciclos de recarga)	Densidad Energía (Wh/kg)
Plomo Ácido	0,15	500 – 1.000	30-40
Níquel Metálico	0,60	1.000 – 2.000	71
Iones de Litio	0,30,4	+7.000	105-170

Figura 2.2.1: Comparación entre tipos de baterías

Como se muestra en la Figura 2.2.1, las principales baterías utilizadas y desarrolladas hasta ahora para los vehículos eléctricos son de plomo ácido, de níquel metálico y de ión-litio, siendo éstas últimas las más que presentan mayores ventajas hoy en día, ya que, como se puede apreciar, no tienen un coste demasiado elevado y permiten mayores ciclos de recarga y capacidad de almacenamiento. Sin embargo, su principal inconveniente es su rápida degradación y sensibilidad a altas temperaturas. Esto último obliga a la instalación de sistemas de seguridad que conllevan un aumento de peso y del coste.

Por otro lado, las baterías de níquel metálico son utilizadas en vehículos híbridos, donde la electricidad sólo es requerida a bajas velocidades y no es necesario un mayor nivel de almacenamiento de energía. Aunque en estas baterías, dicho nivel sigue siendo elevado, y su precio es muy alto.

Refiriéndose al coste, estimaciones elaboradas en los últimos años indican que la instalación de la batería puede suponer el 75% del coste total del vehículo eléctrico. Teniendo en cuenta que el kWh tiene un precio de 360€, una batería de 22 kWh llega a alcanzar los 8.000€.

Una alternativa propuesta por PBP consiste en el “leasing”, cuya función es la de reemplazar baterías agotadas, por otras cargadas previamente, en sus estaciones de servicio. Con esta técnica de mercado, PBP sería propietaria de las baterías, pagando el usuario un coste mensual por su utilización.

2.3 – Redes de infraestructura

Otro factor de importancia para el desarrollo de los vehículos eléctricos es el de la implantación de una red en la que éstos puedan recargarse. Aparte de que los puntos de recarga puedan situarse en las propias casas de los usuarios, se estudia la posible creación de estaciones de servicio, o “electrolineras”, concepto ideado por PBP, basado en la idea de tener un lugar donde los VE puedan recargar sus baterías en cuestión de minutos o cambiarlas directamente.

La ventaja que presentan estas estaciones de servicio es que, siempre en el caso de que exista una red muy amplia, los vehículos eléctricos puedan recorrer mayores distancias al irse recargando las baterías. Otra circunstancia favorable consiste en que se puedan vender los VE sin batería para reducir su precio, pagando el “leasing” anteriormente mencionado.

También se está trabajando en la creación de postes de recarga que pueden ser utilizados mediante tarjetas específicas.

Como resulta obvio, para el proyecto de implantación de dichas “electrolineras”, ha sido necesaria la realización de un estudio a partir de ciertas hipótesis y puntos de partida, a partir de los cuales se pueda calcular la cantidad de energía necesaria (no sólo para una estación de servicio en concreto, sino para el conjunto de todas ellas), el número de VE por estación al día o el tamaño necesario para la construcción de una batería.

A partir de hipótesis formuladas tras llevar a cabo investigaciones relacionadas con el número de vehículos (eléctricos y de combustible), el estado y uso actual de las baterías, consumo de combustible en todo el país y nº de estaciones de servicio disponibles, se ha llegado a la conclusión de los siguientes puntos:

1. Demanda eléctrica de 85.000 GWh/año (alrededor de una tercera parte de la demanda total en España).
2. Demanda de potencia de 9.500 MW para recargas distribuidas a lo largo de un día, siendo de 28.500 MW si tienen lugar en periodos de 8 horas.
3. Número medio de repostajes de 811 recargas/día, por lo que más de 6.800.000 vehículos necesitarían ser recargados al menos una vez al día.

4. Batería estándar de 33 kWh para recorrer más de 250 km sin necesidad de recarga.
5. Dimensión de batería (teniendo en cuenta lo anterior) de un cubo de medio metro de lado.

Sin embargo, estudios realizados por REE para 2014 indican que el sistema actual no podría proporcionar la demanda indicada en el primer punto, que consiste en 228 GWh/día, siendo de 138 GWh/día la disponible.

A partir de los puntos 2 y 3 se establece que cada electrolinera necesitaría una potencia media de 1.100 kW para recargas cada 24 horas, o de 3.300 kW para recargas cada 8 horas, así como recintos de 15m² para almacenar baterías.

Resulta vital el desarrollo de las fuentes de energía renovables para abastecer a estas estaciones de servicio, no únicamente para disminuir todo lo posible las emisiones, sino para su uso exclusivo en temporadas de baja demanda energética.

Como resulta obvio a la vista de los puntos anteriores, se producirá un aumento en el consumo de electricidad en los próximos años. Aunque a medio plazo se podrán satisfacer las demandas energéticas con las centrales eléctricas actuales, se está investigando en la implantación de los “smart grids”. Estas redes permitirán el intercambio de energía eléctrica entre el vehículo y la red de distribución por medio de tecnología digital. De esta forma, la batería se carga y se descarga en función de las necesidades de la compañía eléctrica. Este último caso se da cuando se requiere almacenar energía para responder a picos de demanda de electricidad.

Es por ello, que las compañías deben planificar el tipo de tecnología que deben usar, los costes a asumir, los proveedores con los que trabajar y prever los modelos de negocios que pueden surgir para desarrollar estas redes. Y por supuesto, resulta necesario trabajar con los fabricantes y vendedores de VE para conocer el material requerido en relación con la recarga de batería.

2.4 – Diferencia económica entre VE y vehículo convencional

Se estima que existe una diferencia de precio de entre 8.000€ y 17.000€ respecto a los vehículos eléctricos y los convencionales. Como se ha comentado previamente, casi el 75% del precio de un VE lo forman solamente las baterías, aunque, como también se ha visto, se están intentando desarrollar nuevas baterías con menor coste.

Teniendo en cuenta los precios del petróleo y la estimación acerca de la cantidad de gasolina a utilizar y del coste actual (el litro actual se sitúa entre 0,8

y 1,7€), existe la posibilidad de recuperar la inversión a lo largo del ciclo de vida del VE, siendo calculado en unos 4 años. Ésto en principio limita que el uso de los vehículos eléctricos sea limitado actualmente, los cuales son utilizados principalmente en ciertas empresas y organismos públicos.

Las principales opciones tenidas en cuenta para incentivar la compra de vehículos eléctricos durante estos próximos años, y que suponen disminuir su elevado coste, son las dos siguientes:

- El modelo de “leasing” propuesto por PBP, en el que el usuario paga una cierta cantidad periódica para utilizar y recambiar baterías y utilizar la red de recarga.
- Subvenciones por parte del Gobierno.

2.5 – Vehículos híbridos

El principio de funcionamiento de este tipo de vehículos consiste en un motor de combustión apoyado por uno o más motores eléctricos. Sin embargo, la misión principal de su batería no es la de almacenar grandes cantidades de energía para liberarlas a lo largo de mucho tiempo, sino que interviene en todo momento en ciclos de carga y descarga. Hoy en día, estos vehículos se pueden ver en las calles con normalidad. El primer vehículo híbrido comercializado fue el Toyota Prius, en 1997.

Su principio básico de funcionamiento consiste en el uso de baterías a bajas velocidades, cambiando a motor convencional cuando se necesita mayor potencia. En la figura 2.5 se puede contemplar el funcionamiento de los vehículos híbridos.

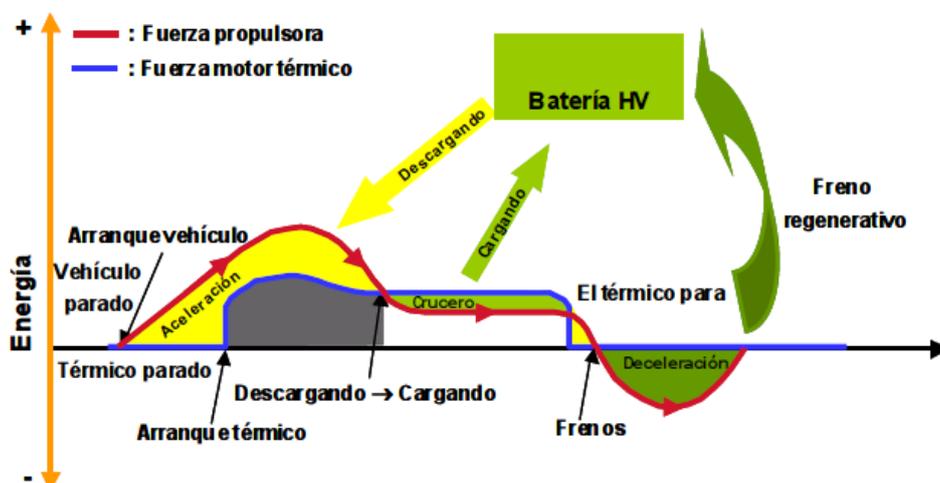


Figura 2.5: Gráfico sobre el funcionamiento de un vehículo híbrido

En el momento de arrancar, la batería ofrece toda la energía necesaria al motor eléctrico para permitir el arranque del vehículo. A partir del momento en que la velocidad y la aceleración son suficientes desde el punto de vista de la eficiencia, se inicia el motor de combustión, el cual ayuda al eléctrico en la propulsión.

Cuando el conductor sitúa el vehículo en el punto de cruce, en el que no demanda aceleración, sino mantener la velocidad, el motor térmico le entrega potencia al vehículo y a la batería para su recarga, situándose en una zona de funcionamiento óptima en relación a prestaciones y consumo. Cuando el vehículo decelera y frena, el motor de combustión se para y se carga la batería por medio del sistema de freno regenerativo.

Este tipo de vehículos presentan las siguientes ventajas:

- Menor consumo de combustible que los coches convencionales y, por lo tanto, reducción de emisiones al medio ambiente, sobretodo en ambientes urbanos.
- Mejora de la eficiencia energética ahorro de combustible, en comparación con los vehículos convencionales, favoreciendo el desarrollo sostenible y disminuyendo la dependencia energética.
- Doble eficiencia, al suprimir la mayor parte de las pérdidas de potencia y recuperación de energía cinética en procesos de frenado y deceleración para su uso inmediato. Esta energía cinética se transforma en eléctrica mediante el frenado regenerativo, y se guarda en una batería de alta tensión, favoreciendo su recarga.
- Disminución de contaminación acústica en ciudad, gracias a su funcionamiento silencioso. En zonas urbanas, los híbridos funcionan en la mayoría de casos con energía eléctrica, al no ser requerida una gran aceleración, siendo su sonido casi inapreciable. Esto no pasa fuera de las ciudades, donde se alcanzan mayores velocidades y se requieren mayores aceleraciones.

Su principal inconveniente es el alto precio de las baterías que utilizan (de níquel metal-hidruro).

Actualmente se está trabajando en la investigación de los vehículos híbridos enchufables (PHEV), que permiten una recarga de las baterías a partir de la red eléctrica. Con este tipo de vehículos se pretende el uso exclusivo del motor eléctrico en distancias cortas, pudiendo usar la tecnología híbrida en recorridos interurbanos. Como se puede apreciar, todo apunta a que consigan posicionarse como una alternativa seria al vehículo eléctrico puro, cuyo principal inconveniente se sabe que es su bajo nivel de autonomía, especialmente para distancias largas. Desde el punto de vista ecológico, se

espera que consigan unas reducciones de CO₂ de hasta el 30% con respecto a los vehículos híbridos tradicionales.

2.6 – Situación de los VE en España (Programa MOVELE)

Durante el año 2009, el sector del transporte constituía el 39% del consumo del total de energía en España, siendo el mismo totalmente dependiente del 98% de los productos petrolíferos. Tan sólo el transporte en carretera suponía un 25,4% de las emisiones de CO₂ en el país, correspondiéndole un 80% del consumo del transporte en general y el 90% de sus emisiones de CO₂. [2]

El Plan General de Automoción planteó un conjunto de líneas estratégicas de actuación con el objetivo de favorecer el cambio hacia modos de transporte más eficientes, la promoción de tecnologías de propulsión alternativas a las convencionales, una reducción de la dependencia del petróleo y la disminución de las emisiones de gases perjudiciales para el medio ambiente.

Para ello, se creó el Proyecto MOVELE, cuya principal misión consiste en el Impulso al Vehículo Eléctrico en España, el cual sigue dos planes de acción divididos en 2 etapas: de 2010 a 2012 y de 2012 a 2014. Se pretende del mismo modo que las energías renovables supongan un 40% de la generación eléctrica en España para 2014 (actualmente constituyen el 20%).

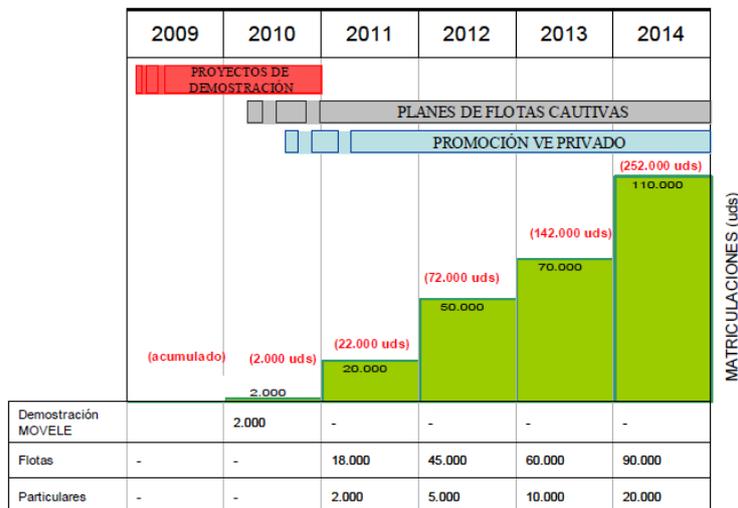


Figura 2.6: Previsión de VE entre los años 2010-2014

Sin embargo, el principal objetivo de este Proyecto es el de conseguir la presencia de 250.000 vehículos eléctricos en España para el año 2014. Según el Plan de Acción 2012-2014, se establecen 4 líneas de actuación para conseguirlo, que a su vez incluyen ciertas medidas [3]:

- **Fomento de la demanda:** consistente en las acciones que impulsen las flotas públicas y privadas, subvenciones para la compra de particulares y programa de ventajas urbanas para los usuarios de vehículos eléctricos.

De este modo, se pretende que los VE tengan un coste máximo de 6.000€ (con un coste de 240 millones en 2011 y 2012) y que dichos programas de ventajas urbanas sean aplicados en las 145 poblaciones españolas de más de 50.000 habitantes.

- **Industrialización e I+D+i:** articulación de programas de fomento del desarrollo e industrialización de los vehículos eléctricos en España, sus componentes y equipos de entorno y programa de I+D+i.
- **Fomento de la infraestructura de recargas y gestión de la demanda:** programa de despliegue de la infraestructura de recarga y medidas de apoyo al vehículo eléctrico y de carga en horas valle.

El Programa prevé que existan para 2014 unos 62.000 puntos en domicilios particulares; 263.000 puntos en aparcamientos de flotas; 12.150 en aparcamientos públicos, y 6.200 en vías públicas.

- **Programas transversales:** acciones de comunicación y marketing estratégico, aspectos regulatorios, normativos y de supresión de barreras legales, formación profesional específica y especializada.

2.7 – Monitorización en vehículos eléctricos

Esta tecnología consiste en el uso de un equipo específico que va embarcado en el vehículo y monitoriza, registra o valida parámetros clave del vehículo o para el servicio. Mediante una tarjeta SIM, como la de un teléfono móvil, se transmite información del vehículo en tiempo real. El tipo de información recogida es, por ejemplo, la posición GPS, si las puertas están abiertas, el nivel de carga de las baterías o si el vehículo está enchufado. Adicionalmente se utiliza un lector de tarjetas RFID en el cristal frontal de los coches que permite la apertura y cierre de las puertas sin la necesidad de llaves a las personas autorizadas previamente.

Previamente, se han contemplado los intentos de los Gobiernos mundiales para implantar un uso cada vez más frecuente de los vehículos eléctricos, con vistas a reducir emisiones de CO₂ al medio ambiente, así como del consumo de petróleo. Este último hecho motiva al estudio de este tipo de vehículos en todo tipo de situaciones. Conocer toda la información posible acerca de ellos durante su funcionamiento, podría resultar clave para mejorarlos y dejarlos

como el principal vehículo utilizado, por encima del de combustión. Posiblemente este hecho se dé en un futuro un tanto más lejano siempre y cuando se superen los obstáculos mencionados.

Es por ello, que el uso de sensores tanto en vehículos eléctricos como en vehículos convencionales resulta clave para un óptimo funcionamiento de los mismos, ya sea para aumentar su vida útil, permitir una conducción eficiente o evitar accidentes de cualquier tipo.

La Universidad de Almería, al disponer del vehículo reflejado en la Figura 1.1, se compromete a colaborar en la investigación acerca de recopilar toda la información posible acerca del coche, siendo este estudio una pequeña parte de la misma. Aunque aquí nos centraremos concretamente en un sensor que lleve el control de la velocidad del vehículo, resulta importante comentar acerca de otros tipos de sensores y elementos que cumplan distintas tareas dentro del vehículo.

1) Brújula magnética

Tiene como principal objetivo informar sobre la orientación del vehículo. A diferencia del GPS que indica la posición exacta del mismo, la brújula indica la dirección que lleva en relación con los puntos cardinales. El vehículo lleva integrada una brújula magnética de la empresa KVH, cuyo modelo es el C100.



Figura 2.7.1: Brújula magnética

2) Radar

Dentro del vehículo estudiado, su finalidad es la de llevar un control de la velocidad lineal del mismo. La diferencia entre las funciones del radar y del Encoder reside en una posible mayor inexactitud de este último a la hora de conocer la velocidad del vehículo a partir de la velocidad angular de las ruedas, debido en mayor medida a posibles deslizamientos del vehículo en los que la rueda permanece inmóvil (por ejemplo en situaciones de lluvia). Del mismo modo, también se complementan, sirviendo el codificador de apoyo para comprobar un correcto funcionamiento del radar, obviamente en condiciones favorables.



Figura 2.7.2: Radar

El radar incluido en el vehículo pertenece a la marca LH AGRO, siendo el modelo Compact II Radar.

3) Bordes sensibles

Los bordes sensibles de seguridad son empleados para la protección de aristas de partes móviles en los puntos que presentan peligros de aplastamiento o impacto especialmente en equipos automáticos de manutención y en el paro de puertas motorizadas, pero también como accionadores de emergencia, interruptores para discapacitados, detección de presencia en asientos de vehículos, etc. [2]

Los bordes sensibles instalados pertenecen a la empresa SafeWork, modelo SKL25-40.

4) Codificador absoluto

Su función consiste en controlar el ángulo que gira el volante durante el funcionamiento del vehículo. Ésto resulta importante a la hora de conocer si existe algún problema con las ruedas delanteras, cuando se quiera realizar un giro con el vehículo.

El funcionamiento de este sensor se comentará más adelante, una vez se haya introducido y explicado el codificador incremental, el cual goza de mayor importancia, al ser el núcleo del presente estudio.

5) Cámara Kinect

Aunque su función principal consiste en servir como complemento para numerosos videojuegos de la consola XBOX 360 de Microsoft, también puede ser utilizada dentro del vehículo estudiado como detector de obstáculos.



Figura 2.7.3: Cámara Kinect

6) DGPS

Con este aparato, el conductor del vehículo conocerá la posición del vehículo. El DGPS localiza automáticamente como mínimo 3 satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la salud del satélite (si debe o no ser considerado para la toma de la posición), su posición en el espacio, su hora atómica, etc.

La posición del receptor (situado en el vehículo) se obtiene mediante un proceso de trilateración, el cual consta de los 3 siguientes pasos [5]:

- Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- Obteniendo información de dos satélites queda determinada una circunferencia que resulta cuando se intersecan las dos esferas en algún punto de la
- Teniendo información de un cuarto satélite, se elimina el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud).



Figura 2.7.4: Receptor GPS

3.

Metodología

Una vez visualizada la importancia de monitorizar los vehículos eléctricos, el estudio se centrará en comprender el uso de los codificadores incrementales para controlar la velocidad y posición de dichos vehículos. Para ello, en primer lugar, resulta necesario introducir el concepto en sí de codificador incremental y sus distintos modelos de funcionamiento.

Tras ello, se contemplará la solución propuesta para su inserción dentro del vehículo, atendiendo a su fragilidad de uso. El sistema ideado necesita de la mecanización de ciertas piezas, cuyos procesos también requieren ser profundizados en detalle, así como de la maquinaria utilizada.

Previo a su colocación definitiva, resultan necesarias una serie de pruebas con la finalidad de comprobar el perfecto estado del codificador y su correcto funcionamiento. Para ello, se utilizarán y explicarán la tarjeta de adquisición de datos PCI-TMC-12A y el programa Labview.

Finalmente, se desglosará el proceso de montaje del sistema propuesto, explicándolo paso a paso y citando posibles problemas surgidos durante el mismo junto con las soluciones llevadas a cabo para solventarlos.

3.1 – Codificadores incrementales

3.1.1 – Introducción



Figura 3.1.1: Codificador incremental DRS61

Los Encoders son unos sensores cuya principal función es la de transformar un movimiento rotatorio o angular en una serie de impulsos digitales, que pueden ser usados para controlar desplazamientos angulares o lineales. Dichos impulsos eléctricos pueden ser elaborados mediante control numérico (CNC), controles lógicos programables (PLC) u otros sistemas de control. En nuestro caso, el Encoder utilizado es de tipo incremental, y está pensado para medir la velocidad y la posición del vehículo eléctrico en el cual está integrado.

El codificador del que se dispone es de tipo óptico, y consta de un disco dividido en huecos opacos y transparentes del mismo tamaño, un foto emisor y un foto receptor.

El codificador del que disponemos es de la marca Sick-Stegmann, cuyo modelo es el DRS61, mostrado en la figura 3.1.1. Las características técnicas del

mismo vienen incluidas en su DataSheet, adjuntado al presente estudio en los anexos.

3.1.2 - Funcionamiento

El disco formado por huecos opacos y transparentes gira con el eje conectado a la corona alrededor del buje de la rueda trasera izquierda. El foto emisor genera unos rayos infrarrojos que son dirigidos hacia el disco. Al otro lado, está situado el foto-receptor, el cual genera los impulsos eléctricos.

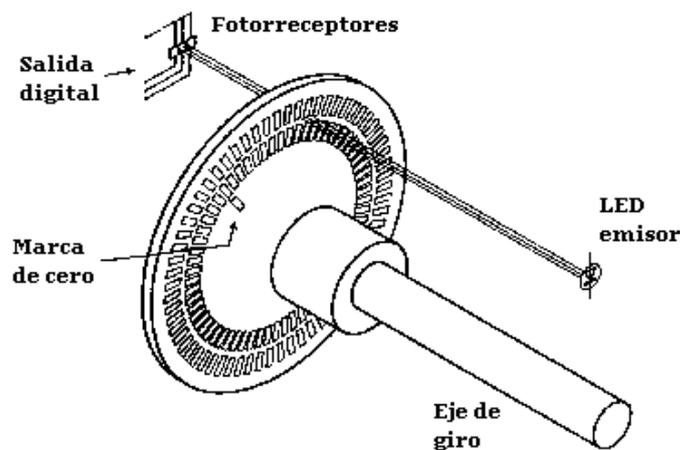


Figura 3.1.2: Esquema del encoder incremental

Cuando el haz de rayos no traspasa el disco, es decir, choca con la parte opaca del mismo, el receptor genera una señal de 0 voltios. Por el contrario, si los rayos traspasan un hueco transparente, éstos llegan hasta el receptor, obteniéndose una señal de 1 voltio.

Al girar el disco, se alternarán los impulsos de 0 y 1 con una frecuencia directamente proporcional a la velocidad angular del disco.

Estas señales de salida se presentan normalmente como dos trenes de impulsos, en forma de ondas cuadradas y desfasadas en 90° eléctricos, los cuales son conocidos comúnmente como “canal A” y “canal B”. El primero nos indica la velocidad de rotación, mientras que el segundo nos permite conocer el sentido de giro, al estar desfasado 90° respecto del primero. También podemos encontrarnos un tercer canal “Z” o “cero” que nos proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder, en el cual se genera solo un impulso por vuelta, para conocer cuándo se ha dado una vuelta completa. [6]

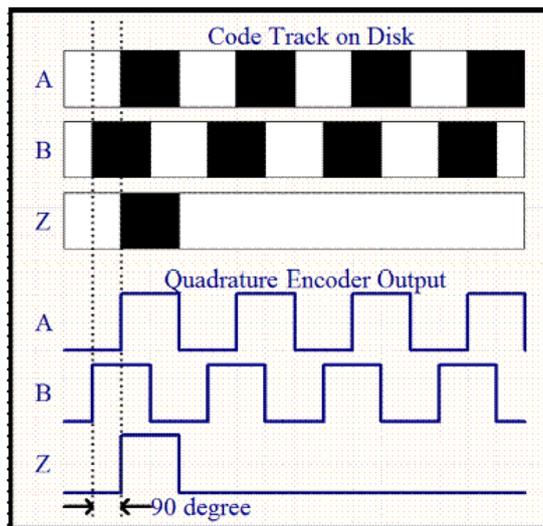


Figura 3.1.3: Canales A, B y Z (sentido antihorario)

En la figura 2, los huecos negros son en los que la luz atraviesa un hueco del disco y alcanza el sensor. En ese caso el disco gira en sentido antihorario, mientras que en la figura 3 el sentido es horario.

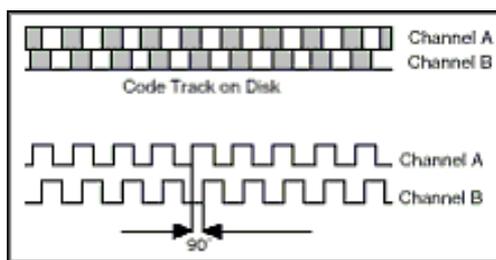


Figura 3.1.4: Canales A y B (sentido horario)

Cuando se requiere más resolución, es posible para el contador computar los márgenes de dirección y rastreo de la serie de pulsos de un canal, el cual duplica (x2) el número de pulsos contados para una rotación o pulgada de movimiento. Al contar ambos márgenes de dirección y de rastreo de ambos canales darán una resolución x4. [7]

Otro concepto a tener en cuenta es la resolución, que se trata del número de pulsos eléctricos que se generan durante una revolución del eje del codificador. Para el Encoder con el que se ha trabajado, como luego se verá en el capítulo 3.4.6, la resolución es de 1024 pulsos por vuelta. Ésto nos servirá para poder calcular la velocidad angular a la que gira el eje, y por tanto para calcular la velocidad lineal del vehículo.

Este último hecho es posible gracias a la acción del canal Z, o canal de referencia, ya que cuando se genere el único pulso asociado a dicho canal, el contador entenderá que se ha realizado una vuelta completa al eje y volverá a contar desde el principio.

3.1.3 – Otros tipos de encoders

Dentro de los encoders incrementales, podemos encontrar también aquellos con fases de conmutación integradas que se utilizan normalmente como retroacción a bordo del motor. Éstos proporcionan otras señales eléctricas adicionales a la salida y que simulan las fases de hall típicas de los motores de conmutación de tipo brushless. Las señales se generan ópticamente bajo la forma de 3 ondas cuadradas, desfasadas 120° una de otra.

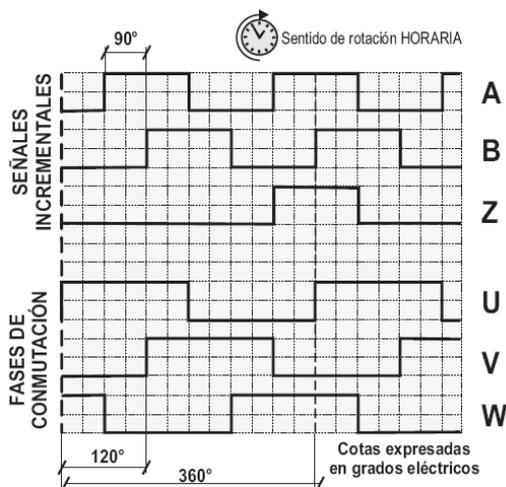


Figura 3.1.5: Representación gráfica con fases de conmutación

También para controlar la retroacción a bordo del motor se pueden utilizar los Encoders sinusoidales, cuyo principio de funcionamiento es el mismo que el de los incrementales, aunque las señales de salida no son de tipo digital, sino analógicas de ondas senoidales. La principal razón para el uso de este tipo de Encoder es la de aumentar las prestaciones dinámicas por encima de los demás sistemas.

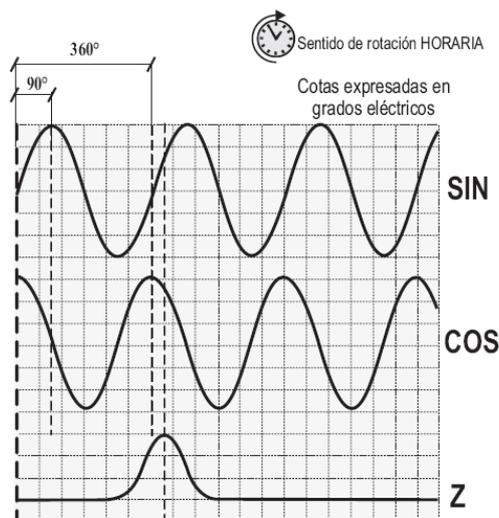


Figura 3.1.6: Representación gráfica del Encoder sinusoidal

Finalmente, el Encoder absoluto funciona igual que el incremental, con la salvedad de que la posición queda determinada a partir de la lectura del código de salida, en vez de la lectura del número de impulsos realizados desde el cero. Ésto evita que la cuenta de los pulsos se pierda cuando se cote la alimentación, como podría suceder en el codificador incremental, en el que dicho conteo lo lleva un contador externo. [8]

Como se puede apreciar en la figura 3.1.7, cada posición angular del disco tiene una codificación única, para cada cual, la señal luminosa generada se codifica en código Gray.

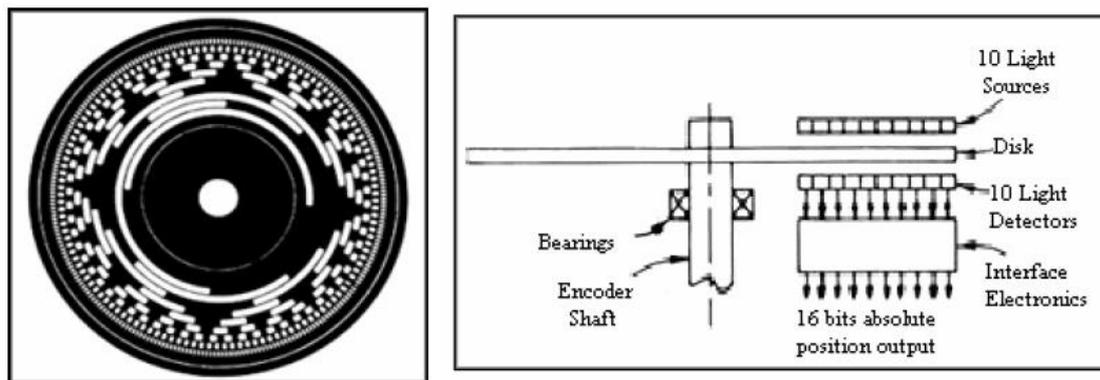


Figura 3.1.7: Codificador absoluto y estructura física del mismo

3.2 – Solución propuesta

La inserción del codificador incremental en el vehículo resulta ser un tema muy delicado, ya que un diseño erróneo según el caso requerido puede provocar un mal funcionamiento del sensor, o su completa rotura.

El sistema propuesto para su instalación dentro del vehículo consiste en un mecanismo basado en un engranaje que traspase la rotación de la rueda trasera izquierda al eje del codificador. Para ello se necesita la mecanización de una serie de piezas que faciliten esa rotación y que eviten el movimiento relativo del Encoder con respecto del eje de la rueda.

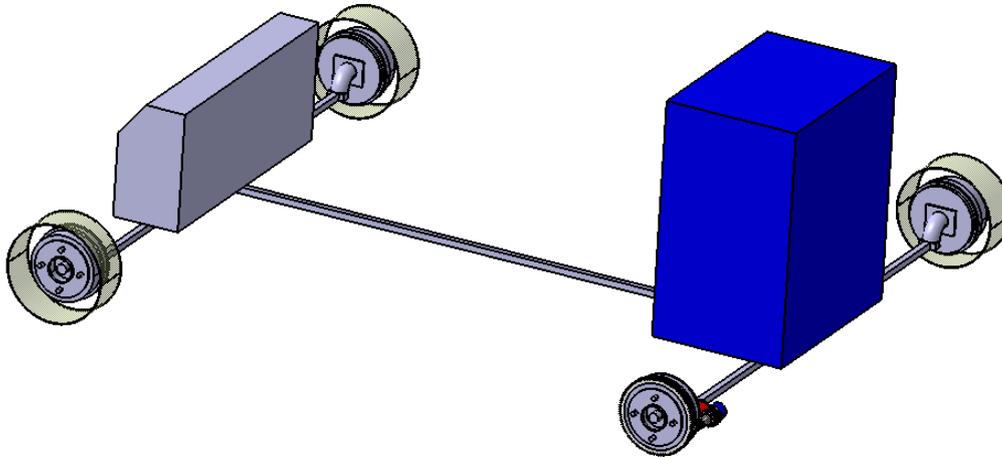


Figura 3.2.1: Esquema del chasis del vehículo eléctrico

En la figura 3.2.1, se puede observar un croquis a grandes rasgos de cómo sería el chasis completo junto con los elementos importantes del vehículo. La caja azul representa la batería, en la parte trasera del vehículo, mientras que la caja gris hace referencia al motor eléctrico. Se comprueba que el codificador está situado en la rueda izquierda trasera, como se ha comentado previamente. A continuación se muestra el conjunto entero de rueda con sistema propuesto.

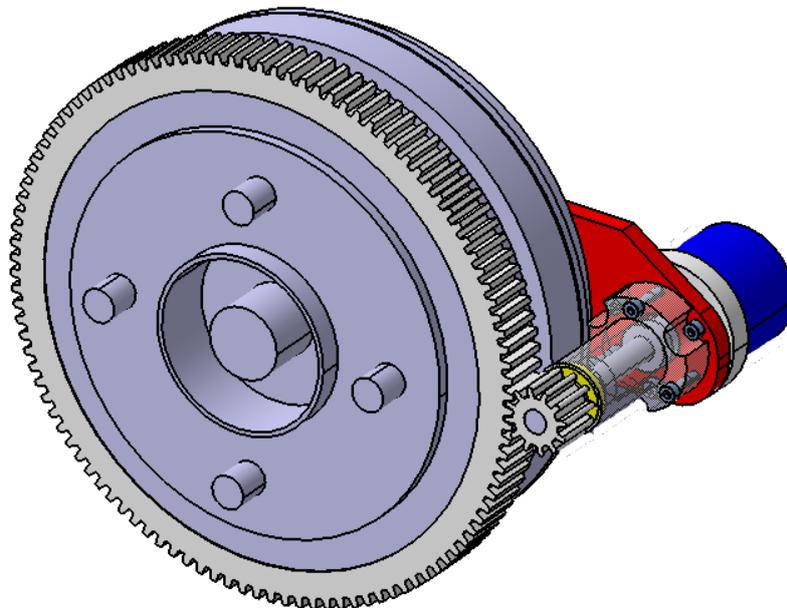


Figura 3.2.2: Sistema ideado para la inclusión del Encoder

Las piezas que resultan necesario ser mecanizadas para favorecer la inserción del Encoder son:

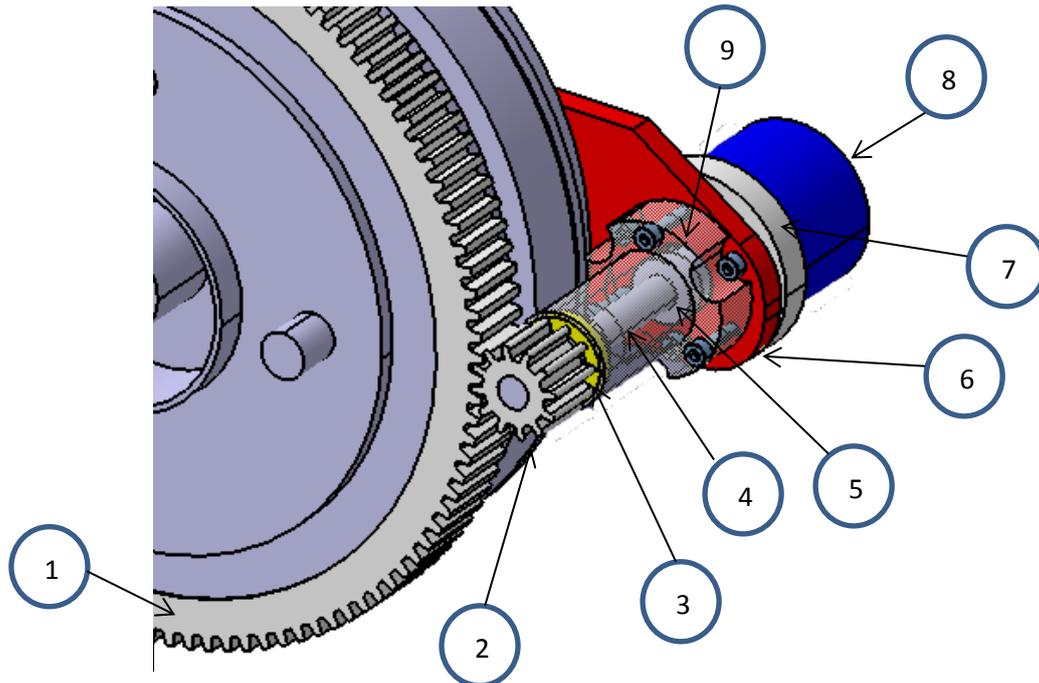


Figura 3.2.3: Componentes del sistema planteado

1 – Corona de 110 dientes y módulo 2, acoplada al piñón, con una circunferencia primitiva de 110mm. Esta pieza inicialmente era maciza, a la cual se le realizó una eliminación de material mediante fresadora para poder ser situada en el cárter del tambor de freno, donde ha sido fijada por soldadura.

2 - Piñón de 12 dientes y módulo 2, con una circunferencia primitiva de 12mm de radio. Para su inserción en el rodamiento, se requiere que posea un cuello mecanizado mediante torno de diámetro 17mm.

3 – Rodamiento 17x26x5 alojado en el soporte de nylon.

4 – Barra calibrada de 10mm de diámetro y 60mm de longitud. Se le han realizado 3 taladros:

- Taladro coaxial en un extremo, para su inserción en el Encoder.
- Taladro roscado M3 para su fijación con el Encoder mediante un prisionero.
- Taladro en el extremo contrario para su fijación con el piñón.

5 – Acoplamiento flexible para ejes de distinto diámetro.

6 – Soporte de 4mm de retal de chapa, cuya finalidad es la de conseguir que la distancia relativa entre el mecanismo del Encoder y el eje de la rueda siempre sea el mismo. Esta pieza se ha obtenido mediante máquina oxicorte, siendo los taladros realizados en fresadora.

7 – Disco de porexpán que separa el codificador de la placa metálica y que permite la inclusión del acoplamiento flexible.

8 – Encoder DRS-60-61

9 – Soporte de nylon obtenido en torno a partir de un cilindro de poliamida 6 de 46mm de diámetro. El hueco interior ha sido realizado mediante fresadora.

Para el diseño por ordenador de las piezas se ha utilizado el programa CATIA. Resulta interesante comenzar con una pequeña introducción acerca de los sistemas CAD, para explicar lo importante que resulta hoy en día el uso de los mismos en el diseño por ordenador en los procesos de ingeniería.

En la realización de la mayoría de las actividades de diseño se cuenta con una amplia gama de productos software, los cuales son ampliamente reconocidos y aceptados por lo que consiguen aportar y por los beneficios que se consiguen con su uso.

Hay, del mismo modo, una gran variedad de opciones de paquetes de tipo CAD-CAE-CAM, que ofrecen un soporte muy importante en el área del diseño en detalle, especialmente en los temas relacionados con el dibujo de piezas, ensamblaje de conjuntos, verificación dimensional, cálculo del volumen de materiales, etc. Cada uno de ellos, ofrece ciertos beneficios, los cuales se detallan a continuación [9]:

- Herramientas CAD (Diseño asistido por ordenador). Con este tipo de software, el objetivo consiste en crear, modificar, analizar y optimizar el diseño de ingeniería mediante el uso de computadoras. Para la realización de este trabajo, se han utilizado CATIA y AutoCad como software de este tipo.
- Herramientas CAE (Ingeniería asistida por ordenador). Permiten la comprobación del comportamiento de los diseños realizados mediante programas CAD ante distintas solicitaciones, vibraciones, temperaturas, etc., para su validación.
- Herramientas CAM (Fabricación asistida por ordenador). Simulan y optimizan la fabricación de distintas piezas en maquinaria destinada a la mecanización mediante el uso de códigos CNC (Control Numérico por Computadora) a partir del diseño de las mismas realizado con programas CAD. En este trabajo, se ha requerido el uso del programa WinUnisoft.

Como se puede prever a partir de lo anterior, el uso de sistemas CAD facilita el diseño industrial de forma enorme, ya que el ingeniero puede modificar y

manipular las piezas con mucha mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Por otro lado, es muy sencillo mover los diseños CAD dentro de redes informáticas, lo cual favorece que se puedan compartir con diseñadores situados en lugares distintos, para poder trabajar como un equipo.

También, como se ha expuesto anteriormente, se puede simular el funcionamiento de un producto diseñado para concluir si cumple los requerimientos esperados ante cualquier situación que se pueda presentar en el uso de dicho producto. Finalmente, también es una gran ventaja el hecho de poder simular su fabricación y mecanización mediante códigos de control numérico, lo cual conlleva a la eliminación de errores del operador y a la reducción de los costes de mano de obra, junto con la constante precisión y el uso óptimo previsto de las máquinas. Esto puede reducir más aún los costes de fabricación y aumentar el periodo de vida útil de las herramientas de corte y manipulación.

Los primeros sistemas CAD surgieron en 1982, con la creación de la empresa AutoDesk, que tenía como objetivo desarrollarlos a precios competitivos, lo cual resultaba casi imposible en aquella época. Desde entonces, y especialmente con la aparición de otras empresas del sector, estos sistemas han ido cobrando mayor importancia con el tiempo, teniendo para 1997 un volumen de mercado que se acercaba a los 100.000 millones de dólares en EEUU y a los 25.000 millones de euros en Europa.

A continuación, se detallarán los programas CAD utilizados para la realización de este trabajo:

a) AutoCAD

Creado por Autodesk, su principal uso se basa en la creación de planos y diseños en 2D y 3D, aunque estos últimos son menos usados, ya que son más sencillos de usar en programas más potentes como SolidWorks o CATIA.

En este proyecto, se ha utilizado para representar engranajes y ciertos dibujos que faciliten la comprensión de la información expuesta.

b) CATIA

Es un programa perteneciente a la empresa Dassault Systems, cuya filosofía gira en torno no sólo del diseño de productos, sino también de su ciclo de vida y del análisis de los mismos.

CATIA incorpora herramientas para integrar todas las actividades de desarrollo del producto, incluyendo tareas tales como diseño de estilo y forma, análisis de ingeniería, simulación de funcionamiento, etc.

Mediante este software, se han realizado los diseños de las piezas que se necesitan para insertar el codificador en la rueda trasera izquierda, así como el croquis representado en la Figura 3.2.1.

Una vez tratados los sistemas utilizados para la representación de diseños por ordenador, a continuación se expondrán las piezas realizadas, explicando sus características.

Se debe mencionar, que las piezas se diseñan por separado, mediante la opción "Part design", ensamblando unas con otras en un conjunto con "Assembly design". El centro de referencia escogido es tal que la rueda izquierda trasera quede a una altura $Z=-600\text{mm}$, con el eje de la rueda pasando por $X=-915\text{mm}$ y con $Y=905\text{mm}$ respecto del plano XZ.

1) Corona y piñón

Constituyen la base del sistema ideado para introducir el codificador incremental. La corona está pensada para transportar la velocidad angular de la rueda que rodea hasta el piñón. Este último, a partir de la relación de transmisión del engranaje transmitirá su velocidad de giro a lo largo de la barra que se le insertará hasta el Encoder, que mediante su funcionamiento enviará la información hasta el ordenador de a bordo del vehículo.

Tanto la corona como el piñón han sido elegidos del catálogo de elementos de transmisión de la empresa Debosa, el cual se incluye en los anexos al final del presente proyecto.

Debido a que el disco del buje de la rueda tiene un diámetro de 194mm, la corona seleccionada debe tener un mayor diámetro primitivo. Por lo tanto, a partir del catálogo, se llega a la conclusión de que se utilizará una rueda dentada cilíndrica sin cubo cuyo modelo es DM28110, cuyas características son las siguientes:

- Módulo: 2
- Diámetro primitivo (D_p): 220mm
- Diámetro de cabeza (D_e): 224mm
- Número de dientes (Z): 110
- Ancho de diente (h): 20mm
- Diámetro interior (D): 20mm

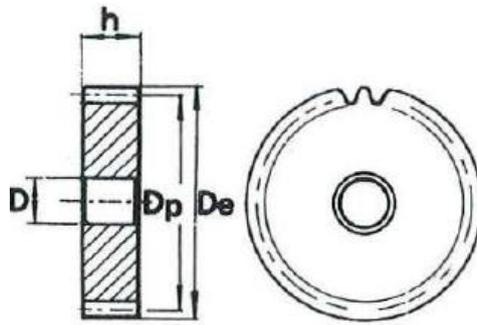


Figura 3.2.4: Dimensiones de la corona

Como se ha indicado, su diámetro interior es de 20mm, aunque una vez adquirida la rueda se le realizará un proceso de fresado para adecuar el diámetro a los 194mm del disco del buje. La elección del módulo 2 se explica debido a que para que la rueda y el piñón engranen, deben tener el mismo módulo.

Por lo tanto, para la elección del piñón, se ha tenido en cuenta que la barra que actúa como eje debe ser de 10mm de diámetro para conectarla con el codificador. Así, se decide el uso de un piñón modelo PM28012 con las siguientes características:

- Módulo: 2
- Diámetro primitivo (D_p): 24mm
- Diámetro de cabeza (D_e): 28mm
- Número de dientes (Z): 12
- Ancho de diente (h): 20mm
- Ancho total (H): 35mm
- Diámetro trasero (d): 18mm
- Diámetro interior (D): 10mm

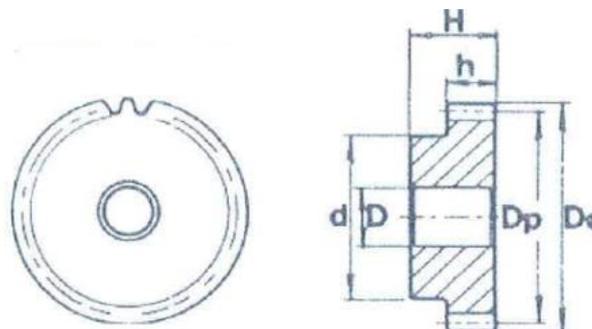


Figura 3.2.5: Dimensiones del piñón

La elección de este piñón, y por tanto de la rueda, se realiza a partir no sólo del diámetro interior, como se ha comentado previamente, sino también del ancho total. Para un correcto funcionamiento del sistema propuesto, la longitud de 35mm es la adecuada para la inclusión del mismo.

El siguiente esquema representa los engranajes utilizados:

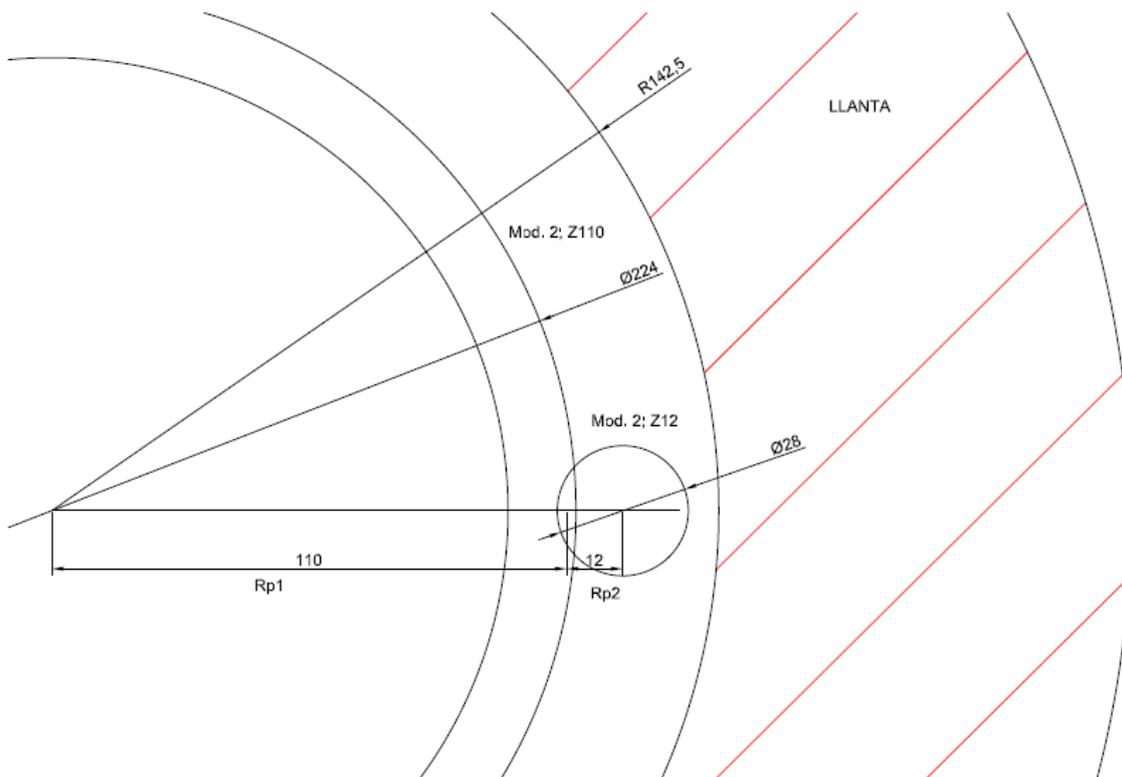


Figura 3.2.6: Croquis con las dimensiones del engranaje

El diseño mediante CATIA se realizó a partir de las circunferencias de base. Su cálculo es el siguiente:

$$r_b = r_p - (r_a - r_p)$$

Siendo r_b el radio de base, r_a el radio de cabeza y r_p el radio primitivo. Obtenemos que el radio de base de la corona es de 108mm y el del piñón de 10mm.

Después se debe realizar el cálculo del paso, es decir, distancia entre puntos homólogos de dos dientes consecutivos de una misma rueda, medida sobre la circunferencia primitiva de referencia. Este paso debe ser el mismo tanto para corona como para piñón, para que sus dientes engranen.

$$p = \frac{2\pi r_p}{z} = \frac{2\pi 110\text{mm}}{110} = 6.2831\text{mm}$$

A partir de dicho cálculo, y el diseño de ambas piezas tras dibujar las circunferencias de base, primitiva y de cabeza con la función “Sketch” y extruirlas mediante la función “Pad”, se dibuja un diente de cada pieza sobre la circunferencia de base correspondiente. La anchura de los dientes en la primitiva debe ser de 6,2831mm. En este punto, tenemos lo siguiente:

El resto de dientes se colocan utilizando la función “Circular Pattern”, seleccionando los Pads referentes a cada diente, trazando una recta que pase por el centro de los diámetros interiores e indicándole el número de repeticiones y un ángulo de distancia entre cada diente. Para determinar este ángulo utilizamos el teorema del coseno.

Dicho teorema indica que conociendo la longitud de 3 lados de un triángulo, podemos calcular cada uno de los ángulos. Los 6.2831 mm se refieren a la distancia medida sobre el arco, pero podemos utilizar esa distancia como una línea recta, obteniendo el siguiente triángulo.

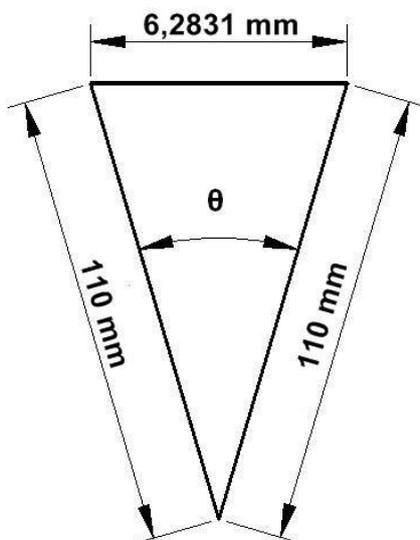


Figura 3.2.7: Cálculo del ángulo entre dientes en la corona

Como se puede apreciar, las medidas no son las correctas, sino que se ha utilizado un triángulo al azar para visualizar el teorema con mayor facilidad. De este modo, ya podemos calcular el ángulo θ .

$$\theta = \arccos\left(\frac{110^2 + 110^2 - 6.2831^2}{2 \cdot 110 \cdot 110}\right) = 3.2715^\circ$$

Para el piñón, utilizamos la ecuación para conocer la longitud del arco de una circunferencia, para de esta forma calcular el ángulo entre dientes. Sabiendo que dicha longitud es el paso, tenemos que:

$$L = \frac{2\pi \cdot r_p \cdot \theta}{360^\circ} \Rightarrow \theta = \frac{360^\circ \cdot 6.2831 \text{ mm}}{2\pi \cdot 12 \text{ mm}} = 30^\circ$$

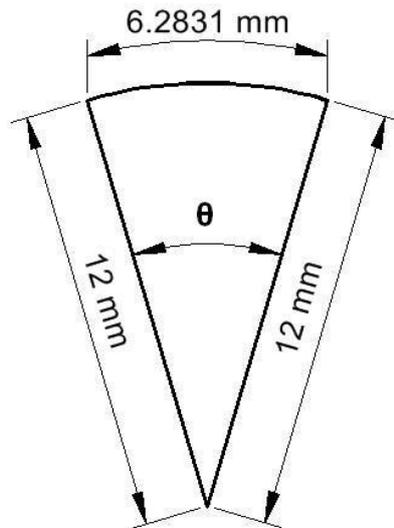


Figura 3.2.8: Cálculo del ángulo entre dientes en la corona

Finalmente, una vez aplicamos las matrices circulares, obtenemos la pieza completa, quedando representada en la siguiente figura:

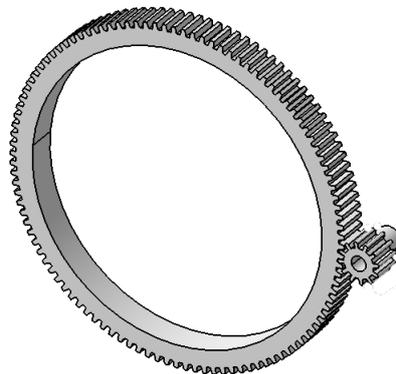


Figura 3.2.9: Corona y piñón diseñados mediante Catia

Una vez el sistema esté montado, el giro de la rueda producirá una velocidad angular en la corona, que le transmite otra velocidad distinta al piñón, que será mayor ya que su radio es menor. Ésto se explica debido a la existencia de una relación de transmisión sobre la que actúan el número de dientes y los diámetros.

En el punto P de engrane, la velocidad ejercida tanto por el piñón como por la rueda, deben ser el mismo.

$$v_1 = v_2 \Rightarrow \omega_1 \cdot r_{p1} = \omega_2 \cdot r_{p2}$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{p2}}{r_{p1}} = \frac{\frac{m \cdot z_2}{2}}{\frac{m \cdot z_1}{2}} = \frac{z_2}{z_1}$$

Siendo ω la velocidad angular, i la relación de transmisión, r_p el radio primitivo, m el módulo y z el número de dientes.

Previamente se ha comentado que la corona no se ha obtenido tal y como la queremos directamente a partir del fabricante, sino que se lleva a cabo un fresado con el objetivo de obtener un diámetro interior de 194 mm, que es igual al diámetro del disco del buje de la rueda, el cual cubre los frenos.

En el apartado 3.5, referente al proceso de montaje del sistema, se podrá observar que para introducir la corona sobre el disco del buje, se somete la primera a un proceso de calentamiento, con la intención de dilatar el diámetro interior y favorecer dicho ensamblaje. Sin embargo, anteriormente se le aplica a ambos elementos unas tolerancias dimensionales para producir un ajuste con apriete, es decir, que el diámetro del disco del buje (que actúa como un eje) sea mínimamente mayor que el de la corona (la cual actúa como un agujero).

El ajuste aplicado es **194H8/t6**. A continuación se muestran los cálculos justificativos. Las tablas que sirven como referencia están incluidas en el documento 7.8 de los anexos:

Agujero (Corona)

- 194 → Grupo 10 → $180 < d \leq 250$ mm [Tabla 7.7.1]
- H → $D_i = 0$ μm [Tabla 7.7.4]
- 8 → IT8 → $T = 72$ μm [Tabla 7.7.2]

$$D_s = D_i + T = 72 + 0 = 72 \mu\text{m}$$

$$D_M = D_N + D_s = 194 + 0.072 = 194.072 \text{ mm}$$

$$D_m = D_N + D_i = 194 - 0 = 194 \text{ mm}$$

Eje (Disco del buje)

- 194 → Grupo 10 → $180 < d \leq 250$ mm [Tabla 7.7.1]
- t → $d_i = +166$ μm [Tabla 7.7.3]
- 6 → IT6 → $t = 29$ μm [Tabla 7.7.2]

$$d_s = d_i + t = 166 + 29 = 195 \mu\text{m}$$

$$d_M = D_N + d_s = 194 + 0.195 = 194.195 \text{ mm}$$

$$d_m = D_N + d_i = 194 + 0.166 = 194.166 \text{ mm}$$

Como los diámetros del eje son mayores que los del agujero, tenemos un ajuste con apriete.

$$\text{Apriete Máximo (AM)} = dM - Dm = 194.195 - 194 = 0.195 \text{ mm}$$

$$\text{Apriete mínimo (Am)} = dm - DM = 194.166 - 194.072 = 0.094 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerancia del Apriete (TA)} = T + t = 0.072 + 0.029 = 0.101 \text{ mm}$$

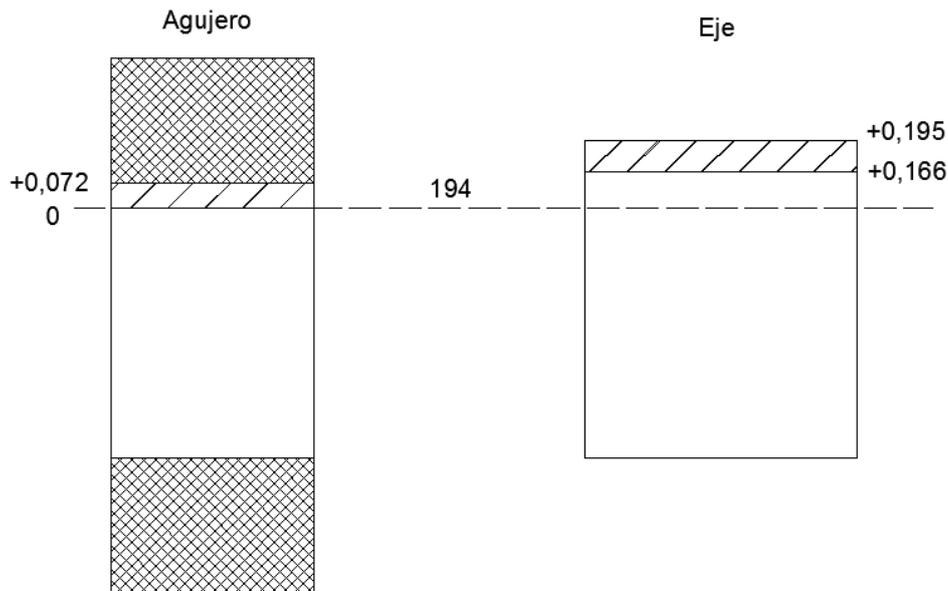


Figura 3.2.10: Representación de la tolerancia 194H8/t6

La terminología utilizada en el cálculo anterior es la siguiente:

- Dimensión nominal (DN): valor teórico que tiene una dimensión y con respecto al cual se consideran las medidas límites.
- Dimensión efectiva (de para ejes, De para agujeros): valor real de una dimensión, que ha sido delimitada midiendo sobre la pieza ya construida.
- Dimensiones límites: valores extremos que puede tomar la dimensión efectiva.
 - Máxima: dM para ejes y DM para agujeros.
 - Mínima: dm para ejes y Dm para agujeros.
- Diferencia superior (Ds en agujeros y ds en ejes): diferencia entre la dimensión máxima y la dimensión nominal.
- Diferencia inferior (Di en agujeros y di en ejes): diferencia entre la dimensión nominal y la dimensión mínima.
- Tolerancia (T en agujeros y t en ejes): variación máxima que puede tener la medida de la pieza y que viene dada por la diferencia entre las medidas límites.

2) Barra calibrada

Se trata de una simple barra de acero cuya función es la de actuar como eje que transmita la velocidad angular del piñón hasta el Encoder.

La barra ha sido diseñada con un diámetro de 10mm para que pueda ir encajada tanto en el codificador como en el piñón. Su longitud de diseño es de 80mm.

Su diseño mediante CATIA resulta ser muy simple, dibujando un croquis con la circunferencia de 5mm de radio, aplicando su extrusión de 80mm. En la siguiente figura se puede observar tanto su diseño en particular, como su inserción dentro del diámetro interior del piñón.

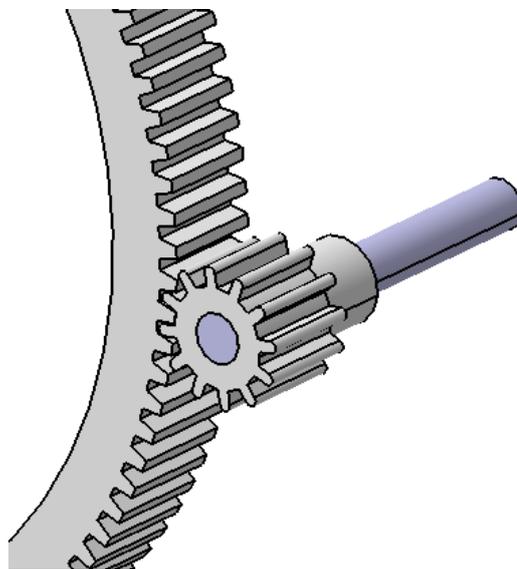


Figura 3.2.11: Barra insertada dentro del piñón (Catia)

A la barra y el agujero del piñón también se les aplica una tolerancia, siendo ésta de tipo **10J8/p7**, con los siguientes cálculos:

Agujero (Piñón)

- 10 → Grupo 3 → $6 < d \leq 10$ mm [Tabla 7.7.1]
- J → $D_s = +12$ μ m [Tabla 7.7.4]
- 8 → IT8 → $T = +22$ μ m [Tabla 7.7.2]

$$D_i = D_s - T = 12 - 22 = -10 \mu\text{m}$$

$$D_M = D_N + D_s = 10 + 0.012 = 10.012 \text{ mm}$$

$$D_m = D_N + D_i = 10 - 0.01 = 9.99 \text{ mm}$$

Eje (Disco del buje)

- 10 → Grupo 3 → $6 < d \leq 10$ mm [Tabla 7.7.1]
- p → $d_i = +15$ μ m [Tabla 7.7.3]
- 7 → IT7 → $T = +15$ μ m [Tabla 7.7.2]

$$d_s = d_i + t = 15 + 15 = 30 \mu\text{m}$$

$$d_M = D_N + d_s = 10 + 0.03 = 10.03 \text{ mm}$$

$$d_m = D_N + d_i = 10 + 0.015 = 10.015 \text{ mm}$$

Como los diámetros del eje son mayores que los del agujero, tenemos un ajuste con apriete.

$$\text{Apriete Máximo (AM)} = d_M - D_m = 10.03 - 9.99 = 0.04 \text{ mm}$$

$$\text{Apriete mínimo (Am)} = d_m - D_M = 10.015 - 10.012 = 0,003 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerancia del Apriete (TA)} = T + t = 0,022 + 0,015 = 0,037 \text{ mm}$$

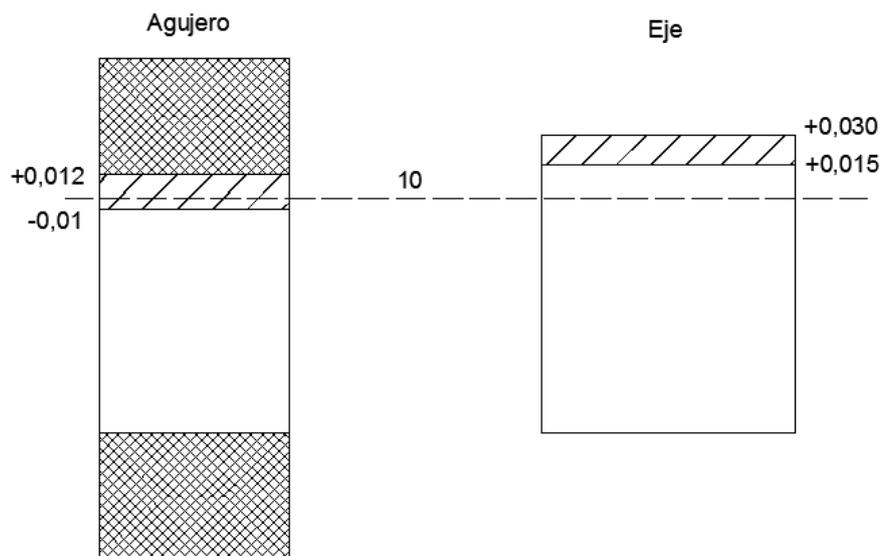


Figura 3.2.12: Representaci3n de la tolerancia 10J8/p7

3) Soporte de nylon y rodamiento

El objetivo de este soporte trata de sujetar el pi3n3n a la placa metálica que une el sistema con el eje de la rueda. Como se puede observar, fija el pi3n3n para evitar su movimiento y para que el engranaje funcione correctamente. El pi3n3n se sujeta mediante un rodamiento, el cual permite que se transmita el movimiento rotativo de la misma, a la vez que la mantiene fija. La barra queda dentro del soporte.

Para su diseño, en primer lugar se dibuja en un croquis lo representado en la figura, aplicándole después una rotación. Se comprueba que la longitud del soporte será de 60mm, para que la barra vaya completamente en su interior.

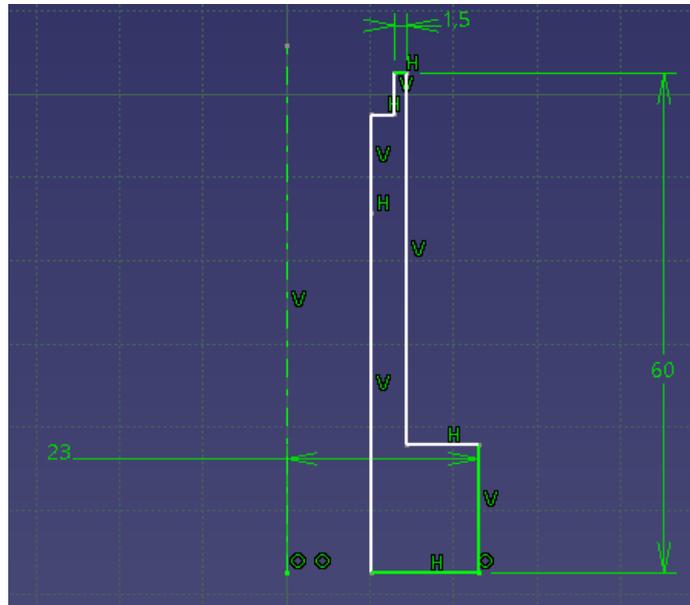


Figura 3.2.13: Croquis del soporte en Catia

Una vez se tiene la figura en 3D, los huecos que permiten el atornillado del Encoder se realizan dibujando el croquis de 3 circunferencias a las que después se les aplicará la función "Pocket".

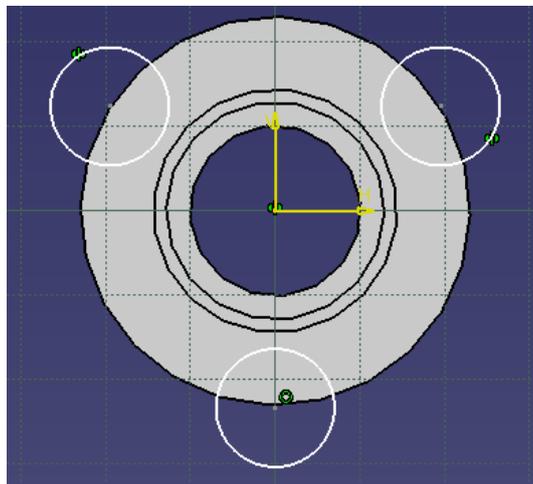


Figura 3.2.14: Croquis de los huecos del soporte en Catia

Por último, para crear los agujeros por los que atornillar el soporte a la placa metálica, se crean otros 3 círculos, esta vez sobre la superficie del soporte, a los que también se les aplica la función "pocket". Las circunferencias serán de 4mm de diámetro, para permitir el paso de tornillos de métrica 4.

La elección del rodamiento ha tenido lugar a partir del catálogo de SKF. El elegido es un rodamiento de bolas 61803-2Z, con las siguientes dimensiones:

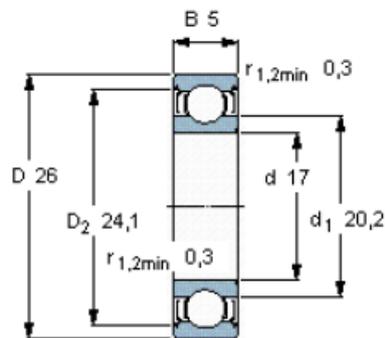


Figura 3.2.15: Dimensiones del rodamiento

Las características del rodamiento vienen incluidas en el documento 7.6 de los Anexos.

Finalmente, se diseña este último, realizando el croquis y extruyéndolo. Al insertarlo junto con el soporte dentro del conjunto, obtenemos la siguiente representación.

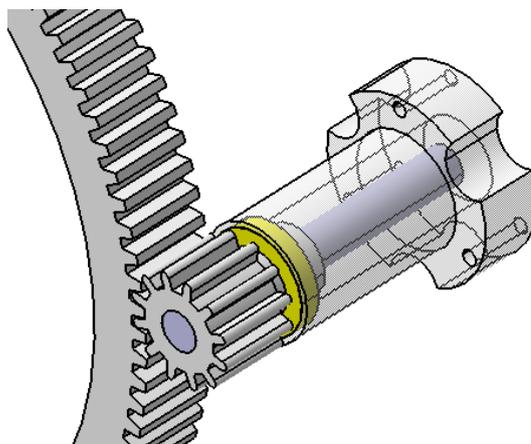


Figura 3.2.16: Conjunto de corona, piñón, barra, rodamiento y soporte en Catia

4) Acoplamiento flexible

A partir del catálogo incluido en el documento 7.6 de los anexos, se toma la decisión de escoger un acoplamiento flexible que evite la rotura o el daño del eje del codificador ante cualquier sollicitación. Su funcionamiento se basa en permitir cierta desalineación angular entre el eje del Encoder y la barra que lleva la aceleración angular.

El número de referencia del acoplamiento elegido es 703.19.2232, de la empresa Boston Gear, el cual tiene las siguientes características:

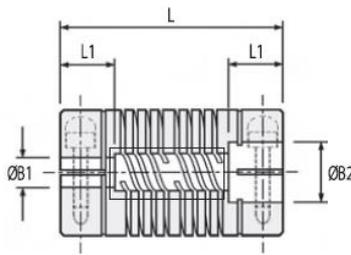


Figura 3.2.17: Dimensiones del acoplamiento

- Longitud total: 28 mm
- Longitud para ejes: 6.5 mm
- Diámetro total: 19.1 mm
- Diámetro máximo para ejes: 10 mm
- Masa: 41 g
- Par máximo admisible: 8 Nm
- Desalineamiento angular: 7°
- Desalineamiento paralelo: 0.25 mm
- Tornillos de métrica 4

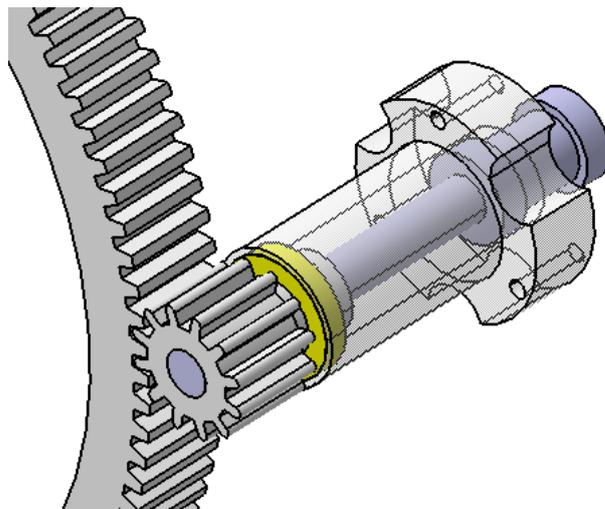


Figura 3.2.18: Conjunto diseñado, incluyendo acoplamiento flexible

5) Placa metálica

Su función consiste en unir el sistema diseñado con el eje de la rueda trasera del vehículo. Con esto se consigue principalmente que no se produzcan movimientos relativos entre el eje y el sistema, para que siempre se muevan juntos de igual forma. Por ejemplo, al pasar por encima de un badén, el Encoder asciende la misma altura que el eje, evitando que piñón y rueda desengranen y que el propio codificador se rompa.

Su diseño resulta muy sencillo, quedándose únicamente en el dibujo de su silueta con el croquis, y aplicando la función “Pad”. Los agujeros para los tornillos también se dibujan, utilizando para este caso la función “Pocket”

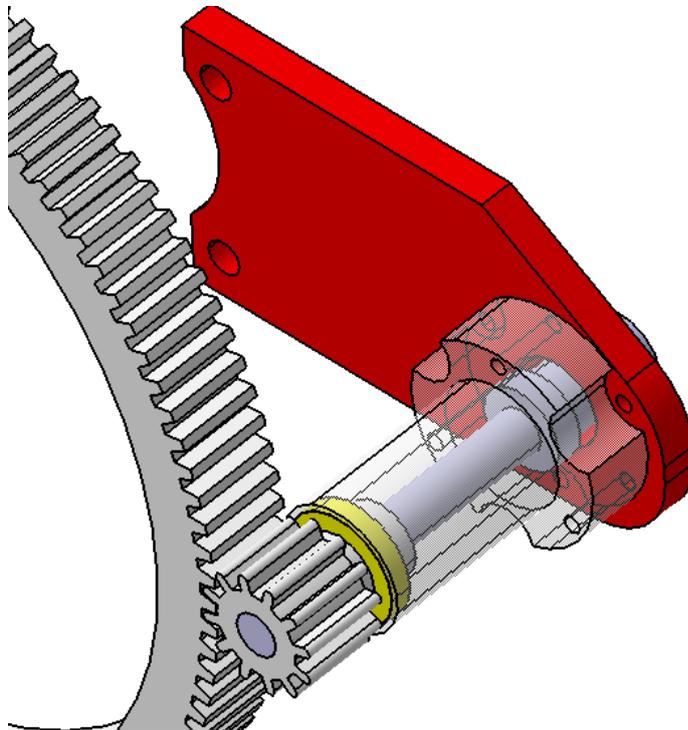


Figura 3.2.19: Sistema diseñado, incluyendo la placa metálica

6) Disco separador

Al incluir el acoplamiento flexible, se crea una separación entre el codificador y la placa metálica, que puede ser fatal para el sistema diseñado a la hora de estar en funcionamiento. Es por ello, que este problema se soluciona incluyendo un disco de porexpán, de 10mm de espesor, 27.5mm de diámetro interior y 57.6mm de diámetro exterior.

Se le realizarán agujeros que permitan atornillar el Encoder a la placa y que se puedan incluir las tuercas a los tornillos del soporte.

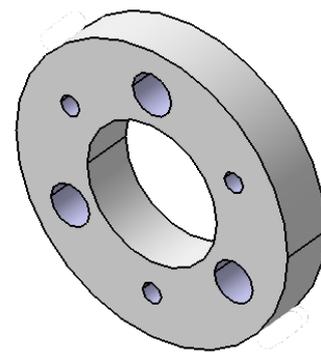


Figura 3.2.20: Disco separador

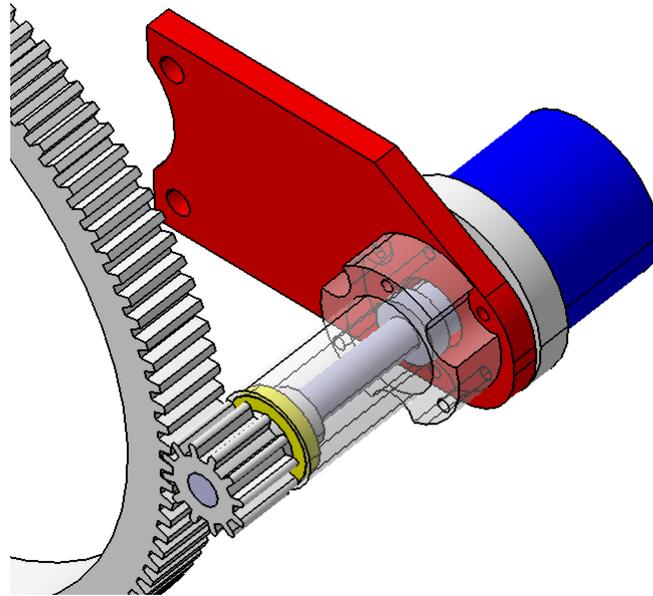


Figura 3.2.21: Conjunto de las piezas del sistema, diseñadas en Catia

También se han representado otros elementos que influyen en el sistema, como el Encoder, el eje o el disco del buje sobre el que va insertada la corona. Dicha representación se ha realizado para facilitar la comprensión del sistema propuesto. El conjunto total de piezas diseñadas, incluyendo las detalladas en los apartados anteriores, viene reflejado en la Figura 3.2.21.

3.3 – Proceso de mecanizado

Para las piezas que han sido diseñadas para su mecanización mediante torno y fresadora, se ha recurrido al uso de WinUnisoft, que se trata de un programa de Control Numérico por Computadora (CNC), el cual está dotado de un editor y un simulador para programas en código ISO de torno y fresadora, así como de un gestor de datos de herramientas, orígenes, brutos, máquina, etc. necesarios para definir un mecanizado. Las principales características de WinUnisoft son las siguientes:

- La edición de programas de CNC con ayuda gráfica para cada una de las funciones ISO programables.
- La simulación en 3D de programas de CNC, permitiendo visualizar diferentes planos y puntos de vista. La simulación puede realizarse visualizando la trayectoria de la herramienta sobre el sólido o mostrando la trayectoria seguida por la punta de la herramienta. La verificación de las dimensiones permiten analizar si la programación es la correcta.

- La definición de todos los parámetros necesarios para la configuración de la máquina, así como del bruto de partida y las herramientas a utilizar. Todos los datos necesarios para definir el mecanizado de una pieza y su verificación en el simulador son gestionados de forma sencilla en el gestor del programa.

Sin embargo, el programa mencionado sólo es empleado para simulación, como se ha comentado. Una vez que se compruebe que se realizan los procesos correctos, utilizamos los códigos CNC generados (incluidos en los anexos de este trabajo) en el torno o en la fresadora, según corresponda. El control del mecanizado en estas máquinas es llevado por programas que utilizan herramientas CAM. Resulta obvio pues, que las operaciones realizadas mediante el software WinUnisoft son exactamente las mismas que se llevan a cabo con ambas máquinas.

Cualquier software de este tipo se basa en un conjunto de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, destinados para controlar las tareas de fabricación. El Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de códigos especiales y de geometría de los componentes. La creación de los programas de piezas se realiza hoy en día, en la mayoría de casos, mediante distintos software informáticos especiales que crean un vínculo entre sistemas CAD y CAM. Las características de ambos sistemas son aprovechadas tanto por diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones.

Además de la información de CAD que describe el contorno de un componente de ingeniería, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación en la base de datos informática, y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas para producirlo. La Fabricación Integrada por Computadora (CIM) aprovecha plenamente el potencial de esta tecnología al combinar una amplia gama de actividades asistidas por ordenador, que pueden incluir el control de existencias, el cálculo de costes de materiales y el control total de cada proceso de producción. Ésto ofrece una mayor flexibilidad al fabricante, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos.

La futura evolución incluirá la integración aún mayor de sistemas de realidad virtual, que permitirá a los diseñadores interactuar con los prototipos virtuales de los productos mediante la computadora, en lugar de tener que construir costosos modelos o simuladores para comprobar su viabilidad. También el área de prototipos rápidos es una evolución de las técnicas de CAD/CAM, en la que las imágenes informatizadas tridimensionales se convierten en modelos reales

empleando equipos de fabricación especializada, como por ejemplo un sistema de estereolitografía.

Una vez introducidos los programas CAM que utilizan códigos CNC para procesos de mecanizado, se procede a detallar estos últimos, junto con una breve información adicional referente a la máquina que se utiliza.

Sin embargo, resulta importante diferenciar previamente los tipos de movimiento existentes en las máquinas de fresado y torneado:

- Movimiento de corte: su finalidad consiste en la eliminación de material. Como se puede prever, requiere la mayor parte de la potencia necesaria para realizar el trabajo.
- Movimiento de avance: es el responsable de que en la zona de corte de la pieza haya nuevas partes para mecanizar hasta que finalice la operación correspondiente.
- Movimiento de penetración: asegura que exista una interferencia entre la herramienta y la pieza, para que se pueda realizar el movimiento de corte y para que esta última tenga la dimensión adecuada después de cada pasada.

3.3.1 - Fresado



Figura 3.3.1: Imagen general de la fresadora

El fresado es una operación mediante la cual se produce un movimiento coordinado entre una herramienta rotativa de varias puntas y un avance recto de la pieza.

Al realizar este mecanizado, los dientes de las herramientas están sometidos a enormes fuerzas de impacto y choque térmico en cada rotación, por lo que la elección del material y la geometría de la herramienta resultan clave para que pueda soportar dichas condiciones.

Los movimientos realizados por esta máquina son:

- Movimiento de corte: rotativo, ejercido por la herramienta.
- Movimiento de avance: lineal, ejercido por la herramienta o por la pieza.
- Movimiento de penetración: lineal, ejercido por la herramienta.

En la figura 3.3.2, se muestran los distintos tipos de fresado, así como los movimientos que tienen lugar en cada uno.

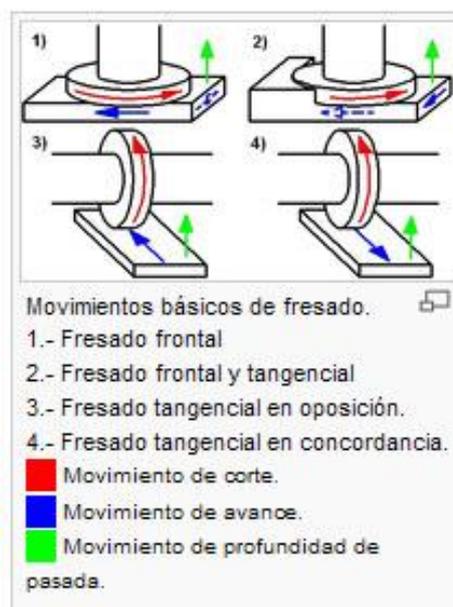


Figura 3.3.2: Movimientos de la fresadora

La máquina utilizada para realizar este proceso está disponible en las naves del CITE IV de la Universidad de Almería, siendo el modelo Optimum F100 CNC.

El fresado se ha utilizado para realizar los huecos para taladrar el soporte de nylon con el soporte de metal y los agujeros del soporte de metal, empleando para ello códigos CNC. Ésto se debe a que se requiere especial precisión para ambos casos. Para su mecanización, se ha utilizado una fresadora vertical, con el objetivo de realizar un fresado frontal, empleando una fresa cilíndrica. En la máquina utilizada, la herramienta sólo se mueve en sentido vertical girando sobre sí misma, mientras que la mesa que contiene la pieza a cortar se mueve en sentido horizontal.



Figura 3.3.3: Cuadro de mandos de la fresadora

Conociendo cuáles son las medidas necesarias para cortar, situamos la fresa en un punto donde empezar a cortar. Se introduce en la máquina un CNC elaborado previamente por ordenador con el que la fresa llevará a cabo un movimiento circular y con la profundidad necesaria. Esta operación se realiza para obtener una mayor precisión.



Figura 3.3.4: Fresadora



Figura 3.3.5: Catálogo de fresas

3.3.2 - Torno

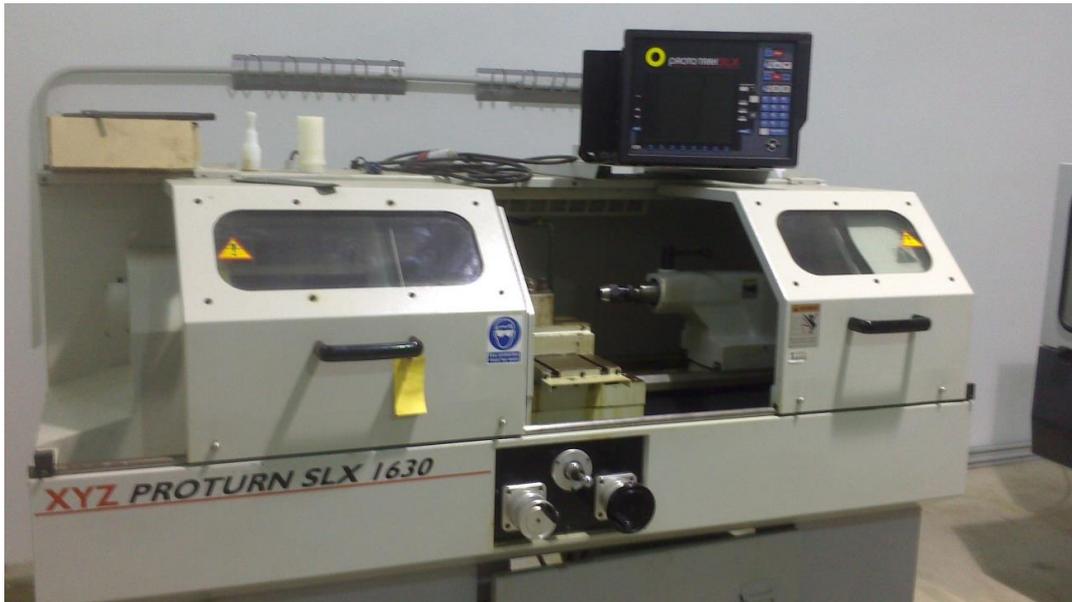


Figura 3.3.6: Vista general del torno

Esta máquina es empleada para generar piezas cilíndricas con herramientas de un sólo filo de corte. Los movimientos particulares del torno son los siguientes:

- Movimiento de corte: rotativo, ejercido por la pieza.
- Movimiento de avance: lineal, ejercido por la herramienta.
- Movimiento de penetración: lineal, ejercido por la herramienta.

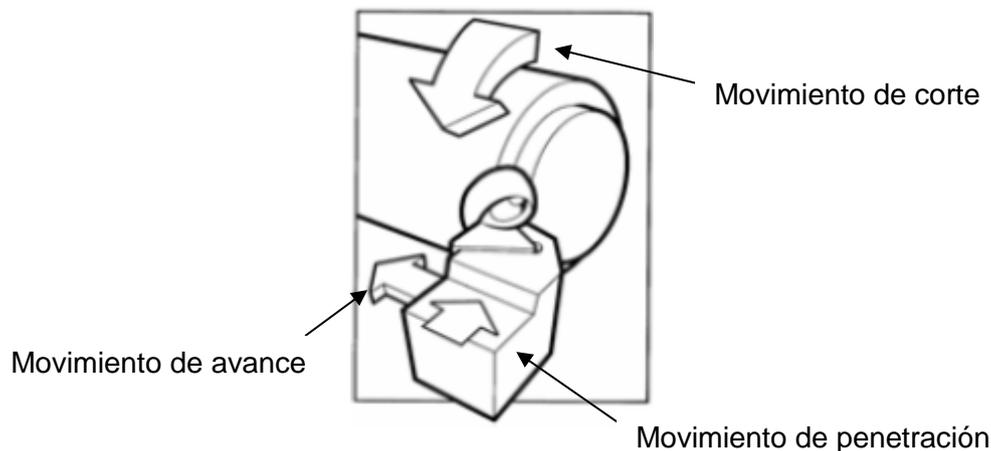


Figura 3.3.7: Movimientos del torno

La pieza inicial se coloca en el plato de sujeción, el cual le proporciona el giro rotativo responsable del movimiento de corte, consumiendo la mayor parte de la potencia requerida para este mecanizado. El carro porta-herramientas es el que realiza los movimientos de penetración y avance, apoyándose en un carro longitudinal y en otro transversal.

Como se puede observar en la figura anterior, el modelo de torno utilizado es el Proturm SLX 1630, el cual está situado en las naves del CITE IV de la Universidad de Almería.

Se necesita para realizar el corte del perfil y el interior del soporte de nylon, así como para el corte de la corona maciza.

Para el caso del soporte de nylon, se ha realizado una operación de desbaste para su perfil, ya que no interesa su acabado, sino que la superficie resultante tenga la suficiente resistencia. En esta operación se han llevado a cabo un cilindrado y un refrentado. Sin embargo, ambas operaciones se han tenido que hacer en dos niveles, ya que por la geometría de la pieza tenemos por fuera 2 cilindros de distinto diámetro. Para que se obtengan las dimensiones esperadas, se introducen previamente las instrucciones de CNC elaboradas por ordenador.



Figura 3.3.8: Plato de sujeción de la pieza y porta-herramientas

En cuanto al mandrinado de la pieza, también se han realizado cilindrado y refrentado, siendo ambos interiores. Las dos operaciones se han realizado a 3 niveles, debido a la geometría requerida de la pieza final. Mediante CNC se introducen los diámetros necesarios y la longitud de los cilindros interiores.



Figura 3.3.9: Pieza de nylon original



Figura 3.3.10: Catálogo de herramientas de corte

En la corona maciza, se utilizó torneado interior. Finalmente, para la mecanización del eje de acero que une el piñón con el Encoder se utilizó el contrapunto de forma longitudinal.

El proceso de mecanización exterior del soporte de nylon viene representado en la Figura 3.3.11, que se muestra a continuación. La pieza original de nylon está definida por la línea discontinua, mientras que la continua representa la pieza final obtenida.

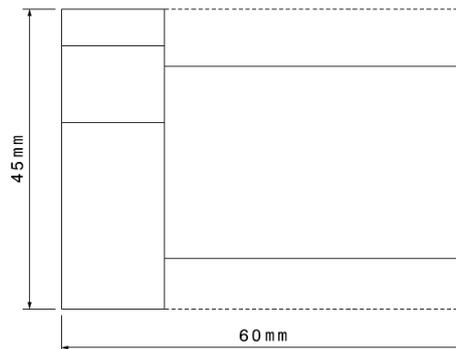


Figura 3.3.11: Mecanización exterior del soporte de nylon

3.3.3 - Oxicorte

Para la realización del soporte metálico que une el sistema del Encoder con el buje de la rueda, se necesita una máquina de oxicorte, siendo éste un proceso mediante el cual tiene lugar la separación o división de un metal.



Figura 3.3.12: Máquina de oxicorte [10]

Su funcionamiento se basa en el uso de un soplete al que se le suministra O_2 como gas comburente, junto con un gas combustible – que en nuestro caso será acetileno – para calentar el hierro del acero hasta su temperatura de ignición (unos $870^{\circ}C$), produciéndose del mismo modo una llama de precalentamiento. Cuando ésto sucede, se debe suministrar una corriente de O_2 puro, que es la que efectúa el corte. En este último paso, se produce la oxidación del metal y la retirada del material fundido y/u oxidado fuera de la pieza.

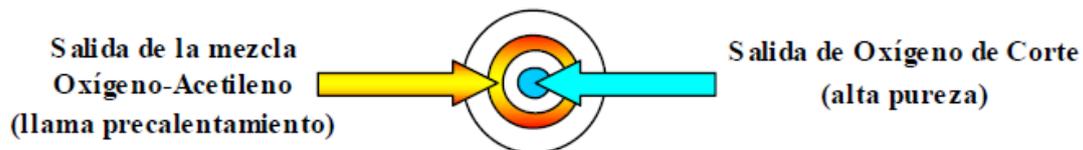


Figura 3.3.13: Salidas en el soplete

Para generar el código CNC, en primer lugar se ha recurrido a AutoCad para generar un archivo .dwg con la forma diseñada para ser cortada de la placa de metal. Tras ello, tan sólo mediante el uso del programa Lantek Expert, se podrá generar el código de Control Numérico. Antes de introducir el dibujo generado, se debe elegir la plancha de metal idónea para realizar este mecanizado. El factor más importante para tomar esta decisión es el relacionado con el espesor de la placa, que en este caso es de 40mm.

Con el programa de ordenador, se debe situar el inicio del corte en un punto exterior de lo que va a ser nuestra placa, ya que en el momento de iniciarse la llama de precalentamiento, se produce un agujero que podría dañar la pieza si lo situáramos en un borde de la misma. También hay que tener en cuenta que el centro de referencia de la máquina debe situarse en un extremo de la placa.

En la figura 3.3.14, como en el caso del soporte de nylon, se muestra la diferencia entre el metal inicial y el final. Para el soporte de metal, la pieza inicial es una placa de metal, la cual tuvo que ser introducida en la máquina de oxicorte.

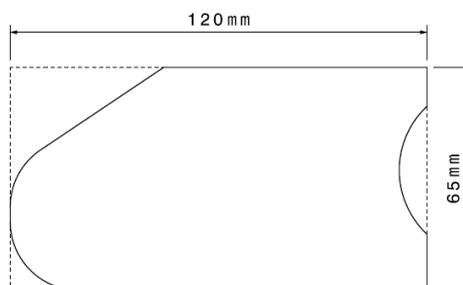


Figura 3.3.14: Mecanización del soporte de metal

3.3.4 – Simulación mediante WinUnisoft

Tras haber sido explicados los 3 tipos distintos de mecanización que han sido utilizados para el presente estudio, a continuación se detallan los pasos seguidos en la simulación mediante el software WinUnisoft [11] del soporte de nylon y del diámetro interior de la corona. Así mismo, en este proceso se generan los códigos de Control Numérico por Computadora que son necesario ser introducidos en las máquinas para que realicen los procesos.

En el anexo se incluye el conjunto de funciones CNC que son utilizados para fresa y torno. Sin embargo, en la siguiente tabla se incluyen los comandos que se han empleado para la realización de los códigos necesarios [12].

Código	Función
G0	Posicionamiento (avance rápido)
G1	Interpolación lineal
G2	Interpolación circular en sentido horario
G54	Selección sistema de coordenadas 1
G95	Velocidad de avance en mm/rev
M0	Fin del programa
M9	Apagado de bomba de líquido refrigerante

Tabla 3.3.1: Códigos CNC utilizados

En primer lugar, se procederá a simular el mecanizado del soporte de nylon con el torno Fagor-8025M. Para ello, se deben ajustar las condiciones iniciales mediante el Gestor del programa. Los límites indican la zona en la que el torno puede trabajar, siendo imposible aplicarle instrucciones para lugares fuera de dichos límites.

Límites

X Mínimo	-20	X Máximo	85.5
Y Mínimo	0.00	Y Máximo	0.00
Z Mínimo	-60.00	Z Máximo	287

Cero Referencia

Ver gráfico

Cota X	0
Cota Y	0.00
Cota Z	0

Origen PREF

Ver gráfico

Cota X	0
Cota Y	0
Cota Z	0

Figura 3.3.15: Condiciones de mecanizado

Implantados los límites, dentro del Gestor, seleccionamos el bruto idóneo, siendo un cilindro-Z en nuestro caso, sujetado por un plato-garras, y con las condiciones que se contemplan en la siguiente figura:

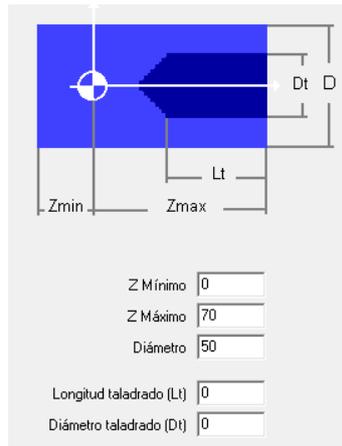


Figura 3.3.16: Condiciones de la pieza en bruto

En este punto, la máquina ya sabe en qué espacio va a trabajar y el que ocupa la pieza. Acto seguido, se seleccionan las herramientas a utilizar para realizar los cortes, que para el torno son SCLCL para desbastar exteriores y la SCLCL para desbastar interiores (T1.1 y T2.2, respectivamente).

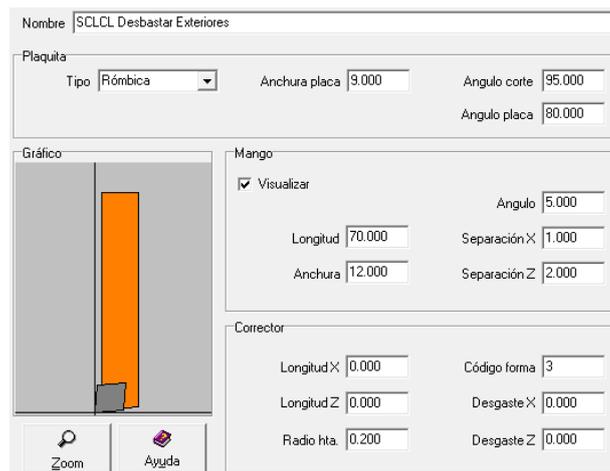


Figura 3.3.17: Condiciones de la herramienta de desbaste

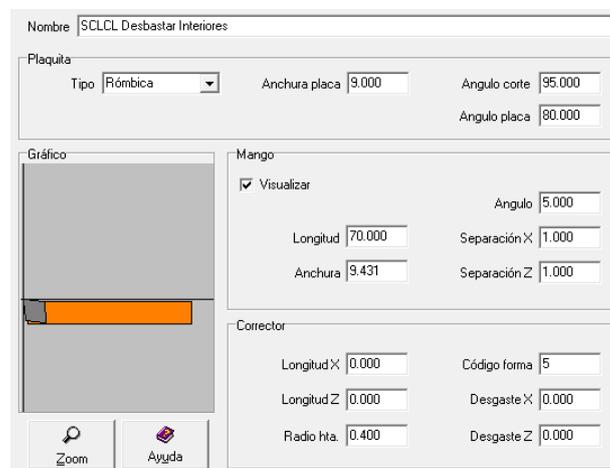


Figura 3.3.18: Condiciones de la herramienta de mandrinado

Una vez tenemos ya todos los datos necesarios relativos a la herramienta, la máquina y el bruto de la pieza, se procede a generar el código CNC correspondiente para simular la mecanización de la pieza.

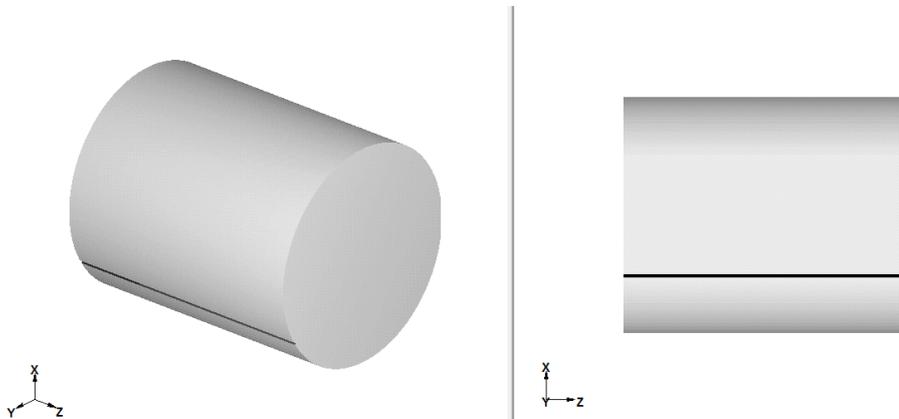


Figura 3.3.19: Situación inicial

- 1) Seleccionamos el punto de referencia mediante la función G54 (siendo el punto de coordenadas $X=0$ y $Z=0$) e introducimos la información acerca de la herramienta y su velocidad de corte (0,04 mm/rev) con la función G95.

```
N010 G54 X0 Z0
N020 G54
N030 G95 F0.04 S1000 T1.1 M4
```

- 2) Debido a que la superficie de la pieza original previa a ser mecanizada no es uniforme, se ha elegido el bruto de diámetro 50 mm, al cual se le aplica un desbaste para dejarlo en 46 mm. Con la función G0 situamos el punto al cual se mueve la herramienta para que comience a cortar, y con G1 le indicamos hasta dónde debe hacerlo, finalizando con M9.

```
N040 G0 X46 Z70
N050 G1 Z-1
N060 M9
```

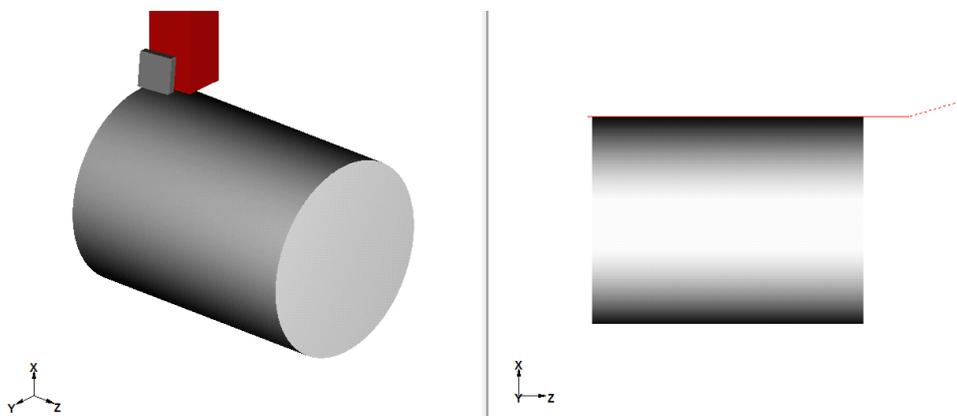


Figura 3.3.20: Pieza tras primer cilindrado recto

- 3) Para realizar un desbaste para otro diámetro menor, situamos la herramienta en el punto desde el cual se empieza a cortar (con cuidado de no dañar la pieza), indicándole como en el caso anterior hasta cuándo debe hacerlo. Nótese que en el soporte sobre el que trabajamos, realmente tenemos una superficie curva. Para mecanizarla, se recurre a la función G2, en la que se representa el punto final, el radio de curvatura (de 20 mm) y la velocidad de corte (de 0,04 mm/rev).

```
N070 G0 X50 Z70  
N080 G0 X28.794  
N090 G1 Z37.542  
N100 G2 X46 Z19.554 R20 F0.04  
N110 M9
```

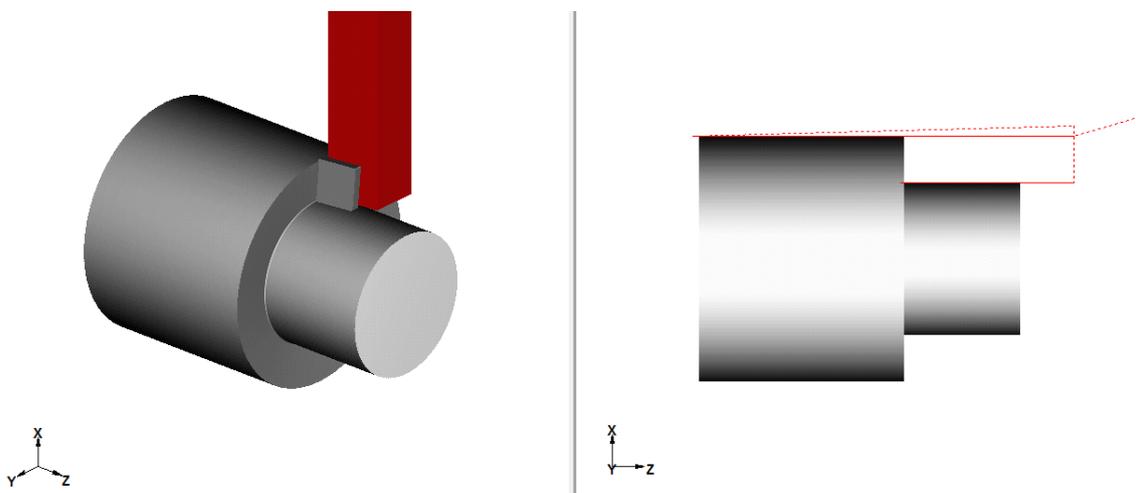


Figura 3.3.21: Pieza tras segundo cilindrado recto

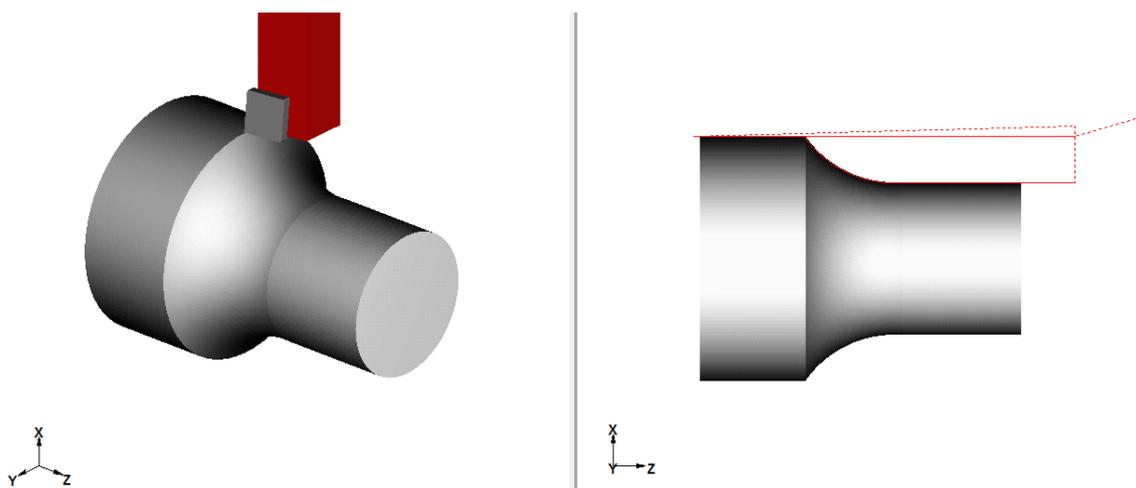


Figura 3.3.22: Pieza tras cilindrado con curvatura

- 4) El siguiente paso a realizar es el mandrinado, empleado para mecanizar diámetros interiores. Para ello, cambiamos la pieza anterior por la T2.2.

```
N120 G54  
N130 G95 F0.04 S800 T2.2 M4
```

- 5) Utilizando las funciones G0 y G1, se selecciona el punto desde el cual empezar a cortar y hasta cuál se realiza dicho corte, respectivamente. Finalmente, se sitúa la herramienta fuera del espacio de trabajo con cuidado de no dañar la pieza, y se termina todo el proceso con la función M0.

```
N140 G0 X18.862 Z70  
N150 G1 Z-1  
N160 G0 X10 Z72  
N170 G0 X25.794  
N180 G1 Z54.975  
N190 G0 X0 Z72  
N200 M9  
N210 M0
```

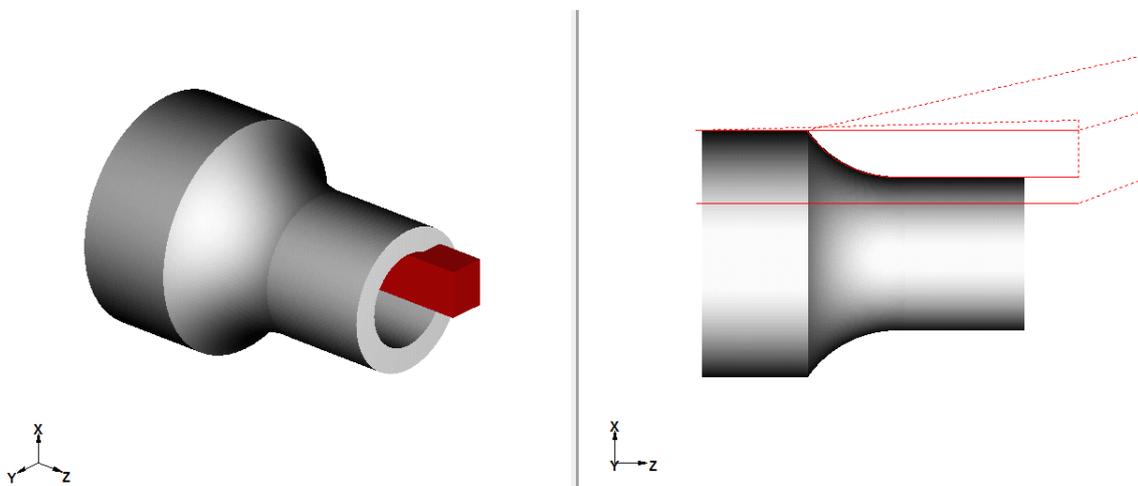


Figura 3.3.23: Pieza tras primer mandrinado

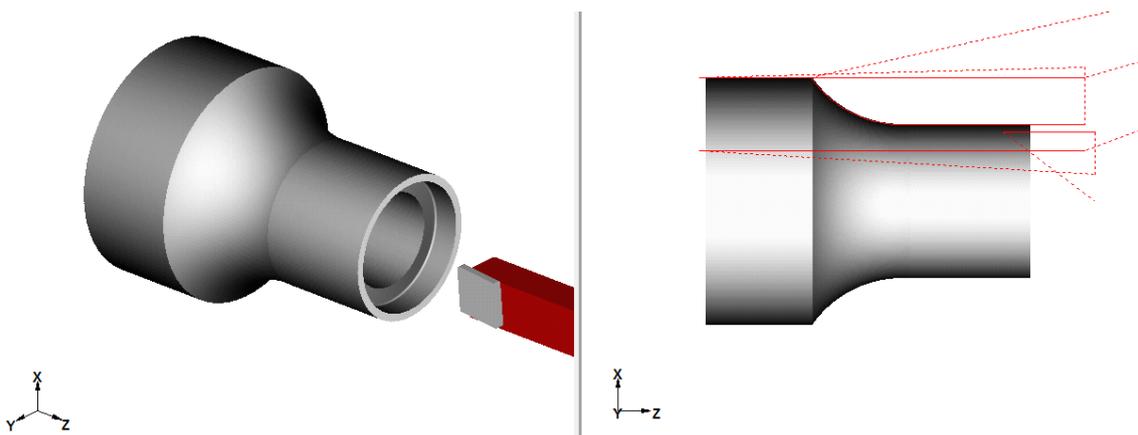


Figura 3.3.24: Pieza tras segundo mandrinado y retirada de herramienta

Se sabe que, por razones de diseño, se debe realizar un diámetro interior de 10 mm por el cual debe pasar la barra calibrada. El mencionado diámetro se lleva a cabo con una broca en el mismo torno. Sin embargo, el catálogo de brocas incluido en WinUnisoft hace imposible una correcta mecanización de la pieza, ya que daña a la misma. Para ello, el hueco interior se realiza en el torno,

utilizando la herramienta adecuada e introduciendo la instrucción en la pantalla de mando.

También se conoce que a la pieza se le debe aplicar un proceso de fresado para introducirle unos agujeros mediante los cuales se atornilla el soporte a la placa metálica, así como de 3 espacios circulares que permitan que se pueda atornillar el Encoder a la placa.

Utilizando WinUnisoft, los códigos de la fresadora son muy similares a los del torno. Como en el caso anterior, el primer paso a seguir consiste en introducir las condiciones de la máquina, es decir, el punto de referencia y el espacio límite en el que se trabaja. La fresadora elegida es Fagor-8025M.

Límites	
X Mínimo	-200
X Máximo	0
Y Mínimo	-200
Y Máximo	0
Z Mínimo	-200
Z Máximo	0

Cero Referencia	Origen PREF
Ver gráfico <input checked="" type="checkbox"/>	Ver gráfico <input checked="" type="checkbox"/>
Cota X: 0	Cota X: 0
Cota Y: 0	Cota Y: 0
Cota Z: 0	Cota Z: 0

Holgura en centésimas		
X: 0	Y: 0	Z: 0

Figura 3.3.25: Condiciones de la fresadora

Sin embargo, debido a problemas al seleccionar un cilindro como bruto, se ha tomado la decisión de elegir una simple caja. Esto no repercute negativamente sobre el proceso de mecanizado de la pieza anteriormente construida. La caja se sitúa de tal forma que su punto medio en el plano XY coincide con el punto medio del espacio de trabajo para el mismo plano. Ésto permite que dicho punto también coincida con el centro de los diámetros del cilindro mecanizado anteriormente y facilitar el trabajo a la hora de elaborar el código CNC. Sus condiciones son las siguientes:

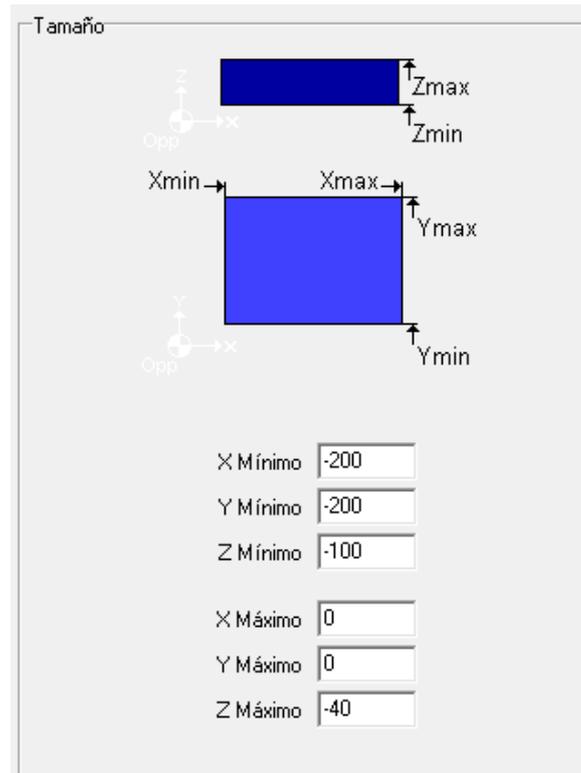


Figura 3.3.26: Dimensiones de la caja

Ya que los diámetros de los agujeros a realizar son de 15 mm aproximadamente, no existe en el catálogo inicial una herramienta con dimensiones que garanticen un corte de esa magnitud. Para ello, se crea una nueva que incluya las siguientes características:

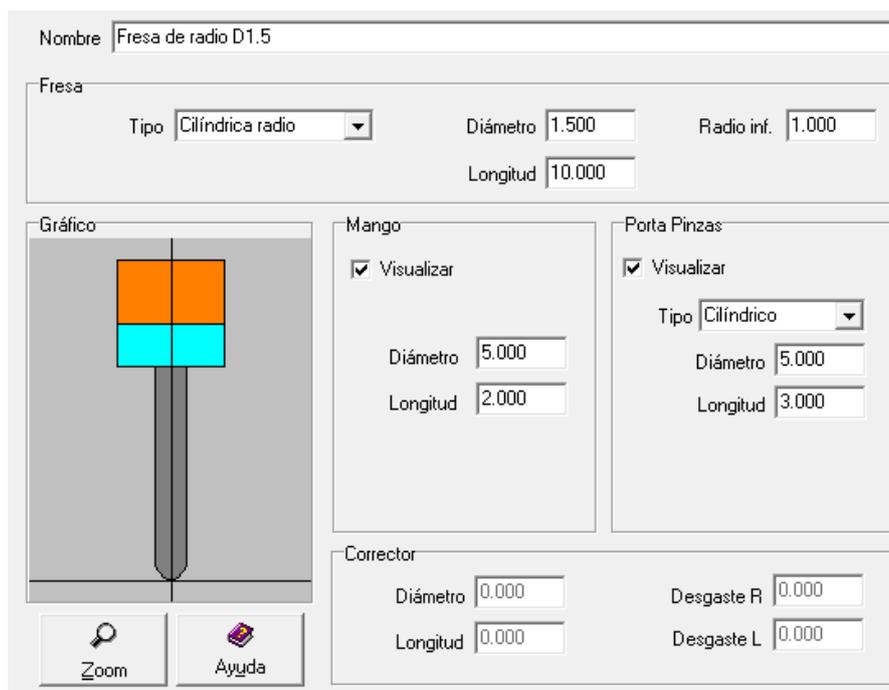


Figura 3.3.27: Características de la herramienta

Ya se puede realizar el código CNC.

- 1) Como en el torno, se sitúa la herramienta en un punto inicial y se le introduce la información relativa a la herramienta.

```
N010 G53 X-100 Y-100 Z-102
N020 G53
N030 G95 F0.04 S1000 T9.9 M4
N040 M06
```

- 2) Empleando las funciones G0 y G1, se mecanizan los agujeros que permitan que se atornille el Encoder a la placa de metal. Es por ello que la altura indicada es Z=0.

```
N050 G0 X0 Y-23.666 Z100
N060 G1 Z0
N070 G0 Z100
N080 G0 X-19.535 Y12.361 Z100
N090 G1 Z0
N100 G0 Z100
N110 G0 X19.535 Y12.361 Z100
N120 G1 Z0
```

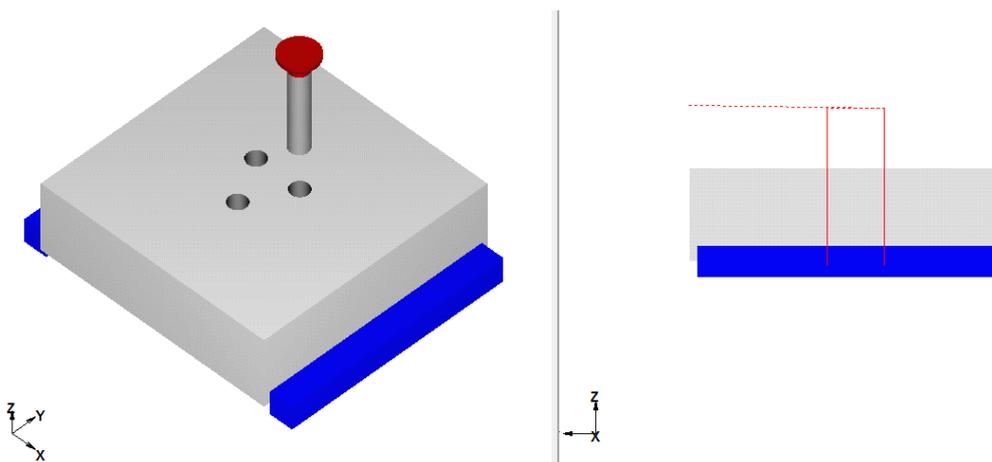


Figura 3.3.28: Situación tras fresado a altura completa

- 3) Acto seguido, se elaboran las instrucciones para que realice un corte hasta la altura Z=15.336 mm, en la cual termina el diámetro de 46 mm del soporte.

```
N130 G0 Z100
N140 G0 X0 Y23.666 Z100
N150 G1 Z15.336
N160 G0 Z100
N170 G0 X-19.535 Y-12.361 Z100
N180 G1 Z15.336
N190 G0 Z100
N200 G0 X19.535 Y-12.361 Z100
N210 G1 Z15.336
N220 G0 Z100
N230 M30
```

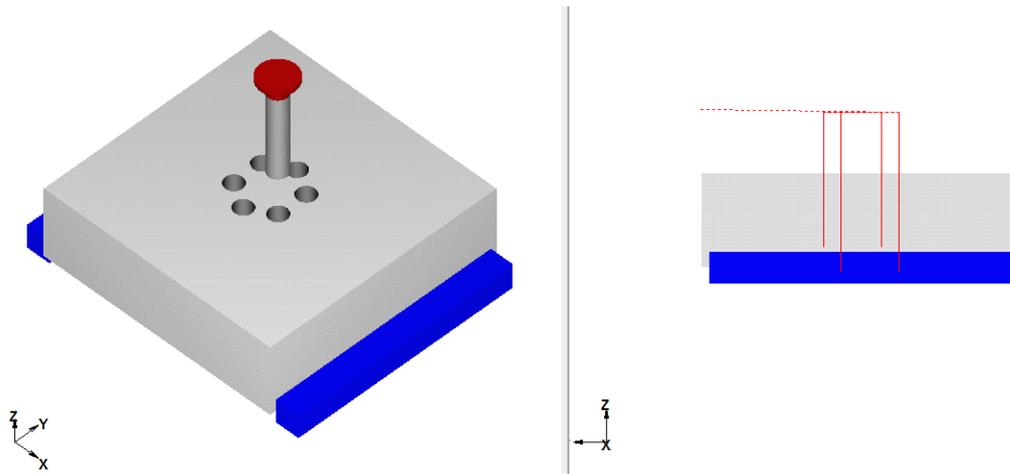


Figura 3.3.29: Situación tras segundo fresado

3.4 – Pruebas de funcionamiento

Para realizar la prueba de funcionamiento del Encoder en el coche, se ha requerido el uso del programa Labview, así como de la tarjeta PCI-TMC12-A, necesaria para operar con la información recibida a partir del codificador.

3.4.1 – Buses

En primer lugar, surge la necesidad de introducir el concepto de “buses” referidos a la informática, los cuales se refieren a conexiones físicas (tales como cables, placas de circuito impreso, etc.) que transfieren información entre los distintos componentes de una computadora, o entre distintos dispositivos hardware y una computadora. La principal misión de los buses es reducir el número de rutas necesarias para la comunicación entre los distintos componentes, al realizar las comunicaciones a través de un solo canal de datos. [13]

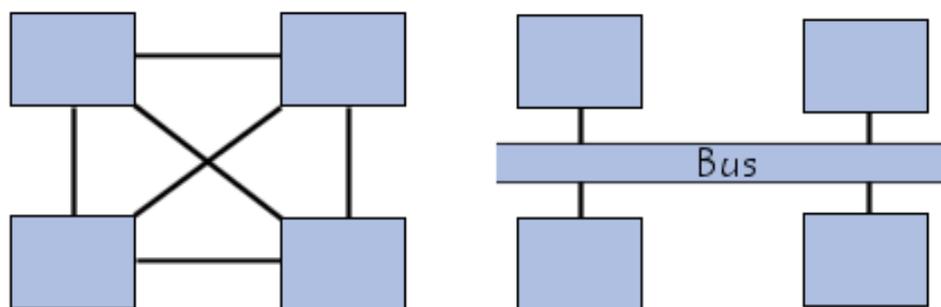


Figura 3.4.1: Importancia de la función de los buses

Los buses se caracterizan por la cantidad de información que son capaces de transmitir de forma simultánea. Dicha cantidad se expresa en bits y corresponde al número de líneas físicas mediante las cuales se envía la información en forma simultánea, denominándose “ancho” como el número de bits que un bus puede transmitir simultáneamente. Por ejemplo, un cable plano de 32 hilos permite la transmisión de 32 bits en paralelo.

La velocidad del bus se define a través de su frecuencia (expresada en Hercios), la cual indica el número de paquetes de datos que pueden ser enviados o recibidos por segundo. Cada vez que se envían o reciben estos datos podemos hablar de ciclo. Por lo tanto, la velocidad de transferencia máxima de un bus (cantidad de datos transferidos por unidad de tiempo) se puede calcular multiplicando el ancho del mismo por su frecuencia.

Se puede hablar de 3 tipos de buses:

- **Bus de datos** (Data Bus): a través del bus de datos circulan los datos entre los elementos componentes del ordenador. Estos datos pueden ser de entrada o salida respecto a la CPU. Comunican a ésta con la memoria y con los controladores de entrada/salida. Este bus también es conocido como bus de entrada/salida.
- **Bus de direcciones** (Address Bus): transmiten la posición de memoria del dispositivo con el que se desea establecer comunicación. El sentido en que circulan estas direcciones es siempre unidireccional (desde la CPU hacia la memoria principal).
- **Bus de control** (Control Bus): transporta las órdenes y las señales de sincronización que provienen de la unidad de control y viajan hacia los distintos componentes de hardware. Se trata de un bus bidireccional en la medida en que también transmite señales de respuesta del hardware.

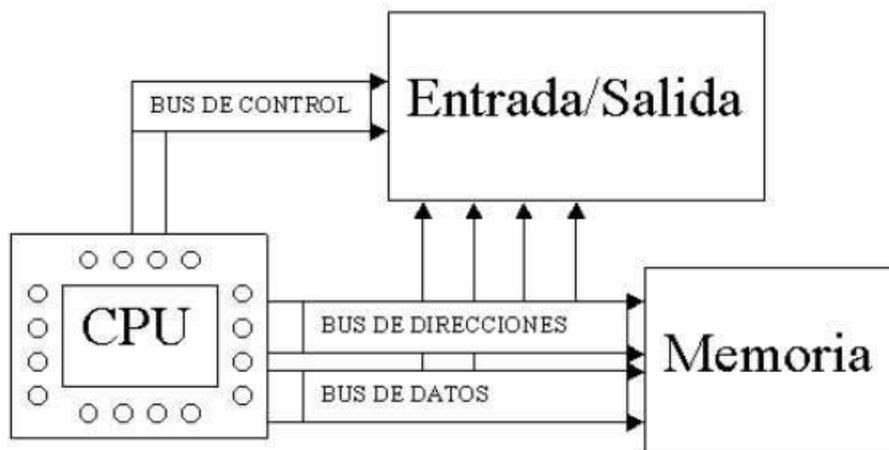


Figura 3.4.2: Distintos tipos de buses

Por último, merece atención el concepto de “chipset” (conjunto de chips), que es el componente que envía datos entre los distintos buses del equipo para que todos los componentes que forman el equipo puedan a su vez comunicarse entre sí. Está formado por:

- **Puente norte:** se encarga de controlar las transferencias entre el procesador y la memoria RAM. Es un componente muy importante para el funcionamiento de la computadora, ya que conecta la CPU con la memoria, la tarjeta gráfica y el puente sur.
- **Puente sur:** se encarga de coordinar los diferentes dispositivos de entrada y salida y algunas otras funcionalidades de baja velocidad dentro de la tarjeta madre. Este puente no está conectado a la CPU y se comunica con ella indirectamente a través del Puente norte.

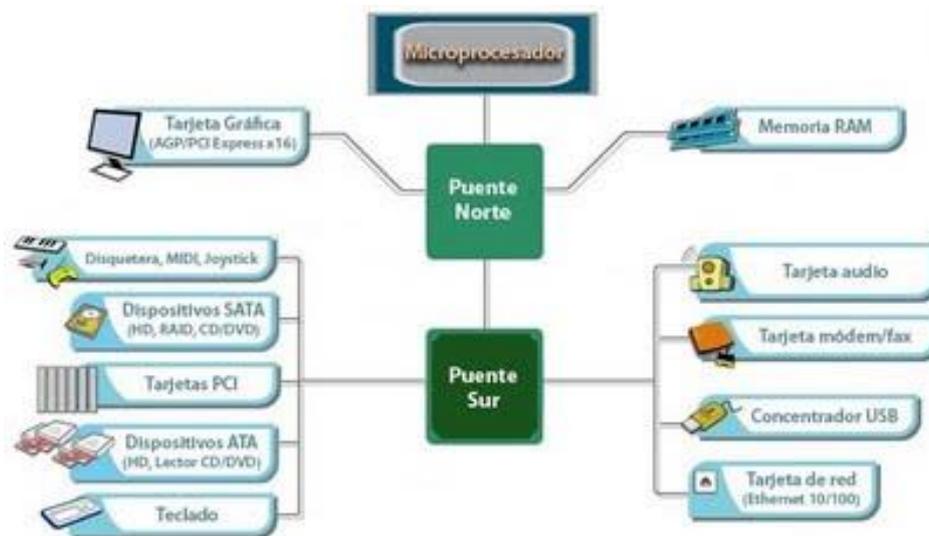


Figura 3.4.3: Puente norte y puente sur

3.4.2 – Bus local PCI

El bus local PCI (Peripheral Component Interconnect) es un bus de 32 o 64 bits con líneas de dirección y de datos multiplexadas. Su uso se orienta como mecanismo de interconexión entre controladores de periféricos altamente integrados, placas periféricas de expansión y sistemas procesador/memoria. [14]

Con el primer PCI creado por Intel en 1990, surgió el objetivo de crear un estándar industrial, que ofrezca bajo coste y su funcionamiento sea el óptimo, incluso al acomodarse a los requerimientos de sistemas futuros y se pueda utilizar en todo tipo de plataformas.

Siendo definido un bus de expansión de 32 bits con una frecuencia inicial de 33 MHz, el bus PCI trabaja en líneas multiplexadas para dirección y datos, lo cual le permite reducir el número de contactos necesarios entre los conectores y las tarjetas de extensión. Es decir, que las mismas 32 líneas son usadas alternativamente como bus de dirección y de datos.

Sin embargo, al ser el ancho de banda compartido por todos los elementos conectados al bus, cuando se le instalan demasiadas tarjetas hijas, el rendimiento del bus cae.

Las componentes e interfaces agregables PCI son independientes del tipo de microprocesador, lo cual permite que el bus local PCI pueda ser utilizado para funciones I/O, se habilite la operación concurrente del bus local con el subsistema procesador/memoria y se puedan acomodar múltiples periféricos de altas prestaciones, tales como LAN, SCSI, FDDI o HDD.

Ciertos requerimientos que van surgiendo, como visualizaciones de video y multimedia mejoradas junto con otras I/O de gran ancho de banda, fuerzan que se trabaje en una extensión transparente a 64 bits, duplicando para ello el ancho de banda del bus y ofreciendo compatibilidad con periféricos PCI de 32 y 64 bits. Debido a este hecho, también se duplica la frecuencia hasta 66 MHz.

En la siguiente figura se muestra una arquitectura PCI local bus típica, lo que no implica límites arquitecturales específicos.

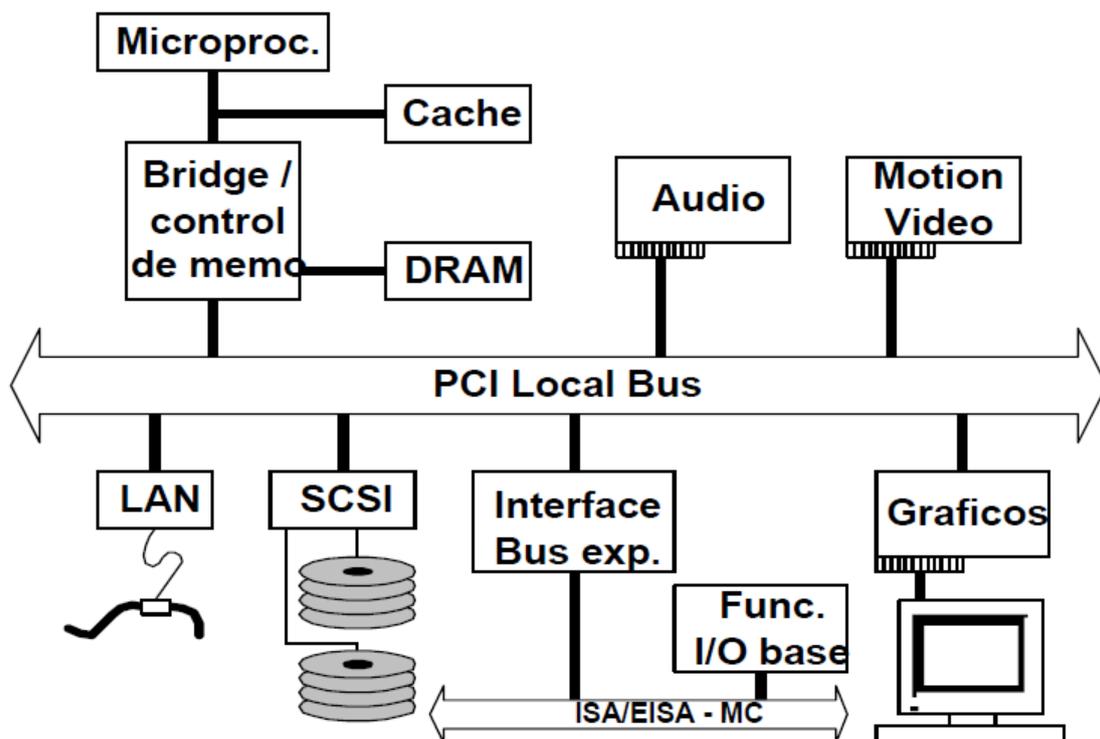


Figura 3.4.4: Bus local PCI

3.4.3 - PCI-TMC-12A

Es una tarjeta contador/temporizador que puede ser utilizada con el Bus PCI de 5V y con un sistema de “Plug and play”, y cuyo objetivo consiste en obtener fuentes de entrada/salida (I/O) desde la BIOS. La tarjeta tiene las siguientes características:

MODELO	PCI-TMC-12A
Entrada Digital	
Canales	16
Compatibilidad	5 V / TTL
Voltaje de entrada	Lógico 0: 0.8 V (max)
	Lógico 1: 2.0 V (min)
Velocidad de respuesta	2 MHz
Salida Digital	
Canales	16
Compatibilidad	5 V / TTL
Voltaje de entrada	Lógico 0: 0.4 V (max)
	Lógico 1: 2.4 V (min)
Velocidad de respuesta	2 MHz
Capacidad salida	Captación: 24 mA @ 0.8 V
	Emisión: 15 mA @ 2.0 V
Contador/temporizador	
Canales	12
Resolución	16-bit
Compatibilidad	5 V / TTL
Frecuencia de entrada	10 MHz (max)
Reloj de referencia	Interno: 8 MHz
General	
Tipo de Bus	5 V PCI, 32-bit, 33 MHz
Bus de datos	16-bit
Conector I/O	1 x DB37
Dimensiones	2 conectores de 20 pins
	150 mm x 105 mm x 22 mm
Consumo de potencia	500 mA @ 5 V
Temperatura de uso	0 ~ 60°C
Temperatura de almacenamiento	-20 ~ 70°C
Humedad	5 ~ 85% HR

Tabla 3.4.1: Características de la tarjeta PCI-TMC12A [15]

Los contadores/temporizadores pueden utilizarse para aplicaciones industriales y de laboratorio tales como conteo de pulsos o eventos, lecturas de frecuencia, medida de tiempo transcurrido, medida de anchura de pulsos, etc.



Figura 3.4.5: Tarjeta PCI-TMC12A

Para la prueba del codificador, la tarjeta PCI-TMC12A se conectó al PC disponible en el laboratorio del CITE-II de la UAL, el cual recibía energía desde las baterías del vehículo eléctrico para su funcionamiento. La conexión a la computadora se realizó mediante un conector enchufado en el puerto de salida de la tarjeta.

En primer lugar, se instaló el driver en el PC, indicándole las preferencias necesarias para su uso.

En esta tarjeta podemos encontrar 3 tipos de conectores, que se muestran en la siguiente figura:

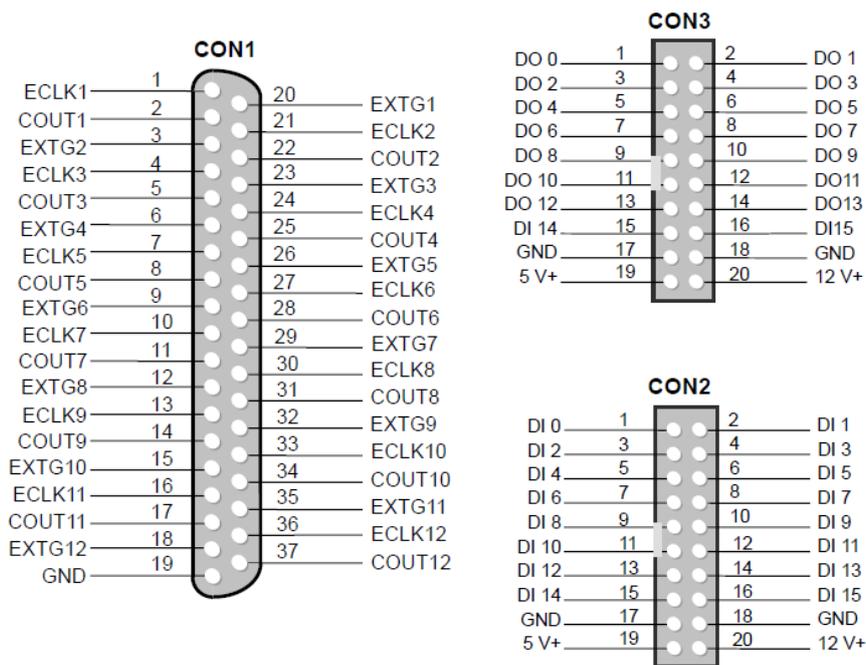


Figura 3.4.6: Conexiones en la tarjeta de contador

Para nuestro caso, hemos utilizado solamente CON3 y CON1. El primero nos ha servido para llevar toda la información recogida por la tarjeta hasta la computadora, mientras que el segundo conector tiene como función captar los pulsos generados por el Encoder.

Como se verá con posterioridad, para este último conector, se han utilizado solamente los pines 1, 19 y 21; que corresponden a las señales ECLK 1, GND y ECLK 2, respectivamente.

El funcionamiento de la tarjeta a partir de la información recibida desde el codificador se basa en el uso de los 4 chips 8254 que lleva integrados. Para la realización de este estudio, sólo se ha requerido la utilización del chip #1, dentro del cual únicamente trabajamos con los contadores 1 y 2, operando el primero con los pulsos generados por el canal A del Encoder, mientras que el segundo lo hace con los del canal B.

A continuación se procede a detallar el proceso de funcionamiento de los chips 8254.

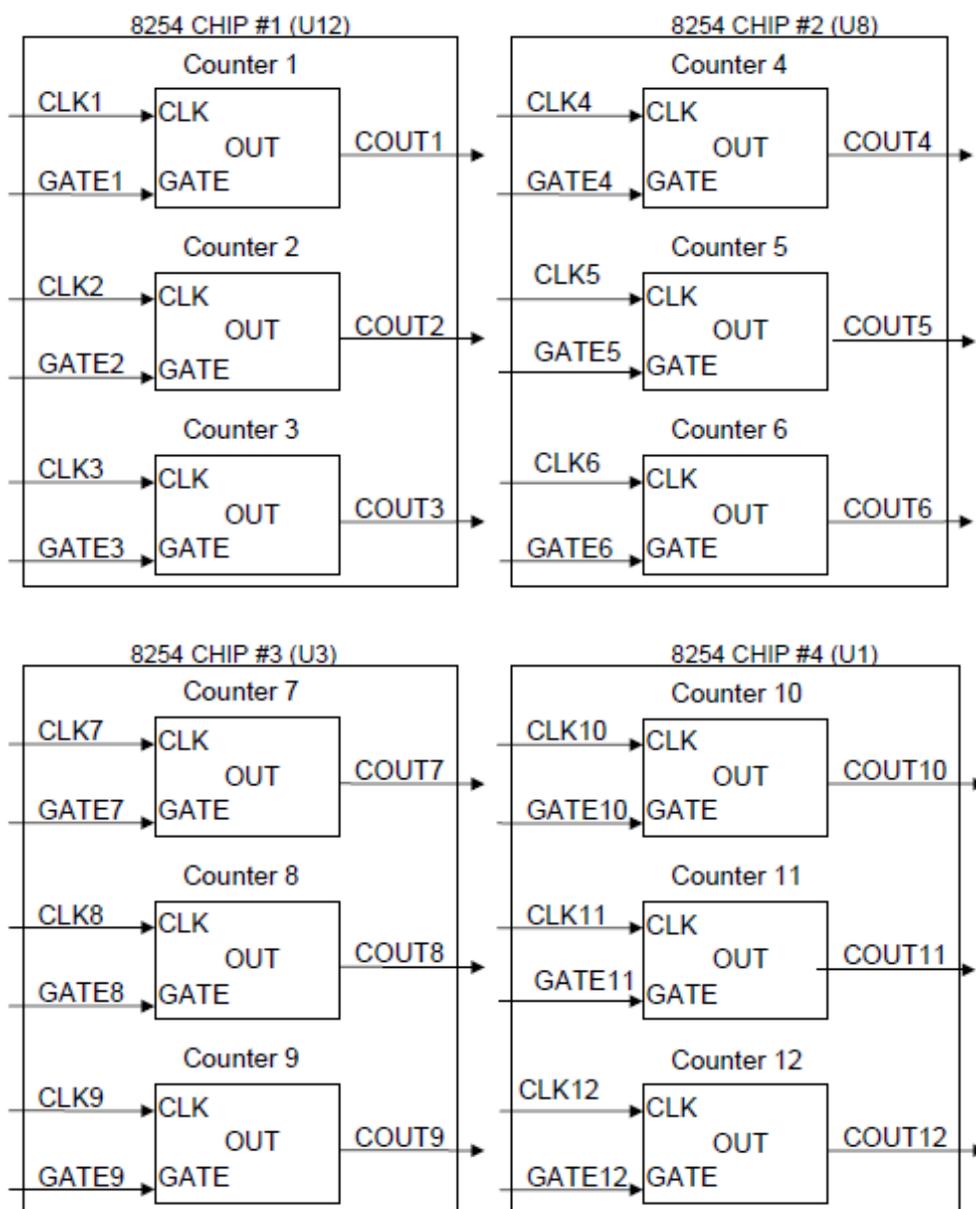


Figura 3.4.7: Chips incluidos en la tarjeta PCI-TMC12A

3.4.4 - Chip 8254

Con el objetivo de comprender la conexión del Encoder a la tarjeta para su estudio, a continuación se procederá a la explicación de los chips 8254, cada uno de los cuales contiene 3 contadores que reciben la información procedente del codificador.

El 8254 es un chip temporizador que puede ser empleado como reloj de tiempo real, contador de sucesos, generador de ritmo programable, generador de onda cuadrada, etc. El chip consta de los siguientes elementos [16]:

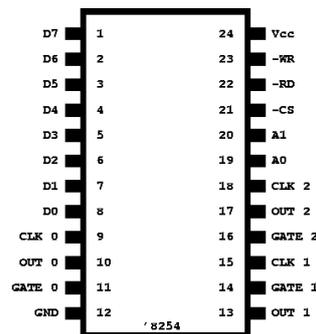


Figura 3.4.8: Componentes del chip 8254

D0 - D7	BUS de datos bidireccional de 3 estados
CLK 0	CLOCK 0, entrada de reloj al contador 0
OUT 0	Salida del contador 0
GATE 0	Puerta de entrada al contador 0
CLK 1	CLOCK 1, entrada de reloj al contador 1
OUT 1	Salida del contador 1
GATE 1	Puerta de entrada al contador 1
CLK 2	CLOCK 2, entrada de reloj al contador 2
OUT 2	Salida del contador 2
GATE 2	Puerta de entrada al contador 2
A0 - A1	Líneas de dirección para seleccionar uno de los tres contadores o el registro de la palabra de control
-CS	Habilita la comunicación con la CPU
-WR	Permite al 8254 aceptar datos de la CPU
-RD	Permite al 8254 enviar datos a la CPU

Tabla 3.4.2: Componentes del chip 8254

En la figura 3.4.9 se puede apreciar el diagrama funcional del Chip 8254.

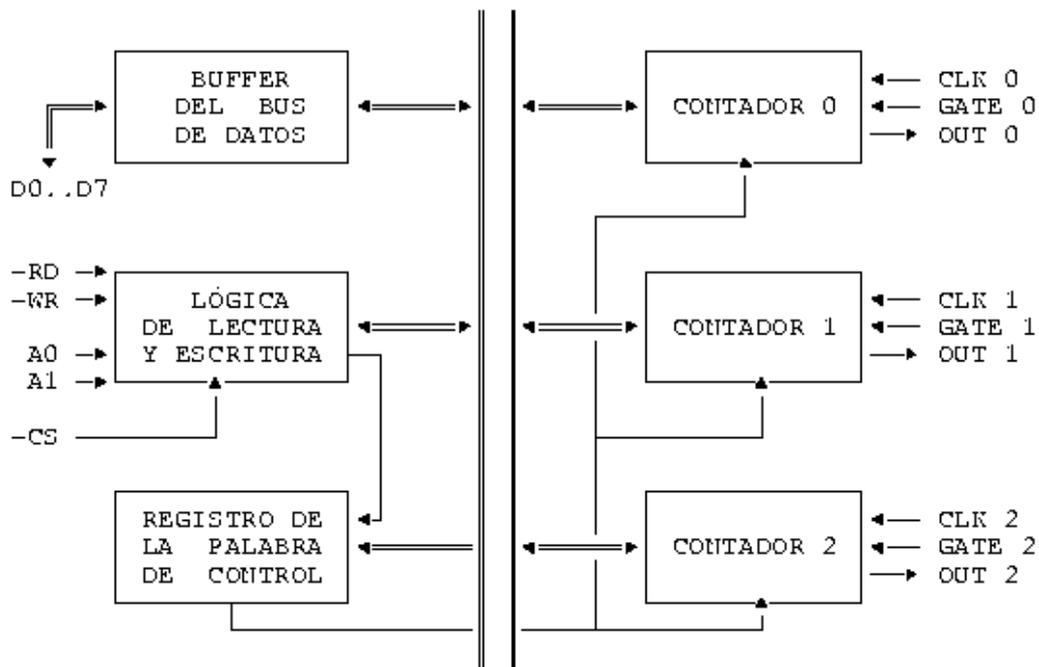


Figura 3.4.9: Funcionamiento del chip 8254

- El **buffer del bus de datos**, de 8 bits y tres estados, comunica el chip 8254 con la CPU.
- La **lógica de lectura y escritura** acepta entradas del bus y genera señales de control para las partes funcionales del chip 8254. Las líneas A0 y A1 seleccionan uno de los tres contadores o el registro de la palabra de control, para poder leerlos o escribirlos.
- El **registro de la palabra de control** es seleccionado cuando $A0=A1=1$, este registro sólo puede ser escrito (se puede obtener información de estado, como se verá más adelante, con el comando read-back del 8254, no disponible en el 8253).
- Los **contadores 1, 2 y 3** son idénticos en su funcionamiento, son totalmente independientes y cada uno de ellos puede ser programado en una modalidad diferente.

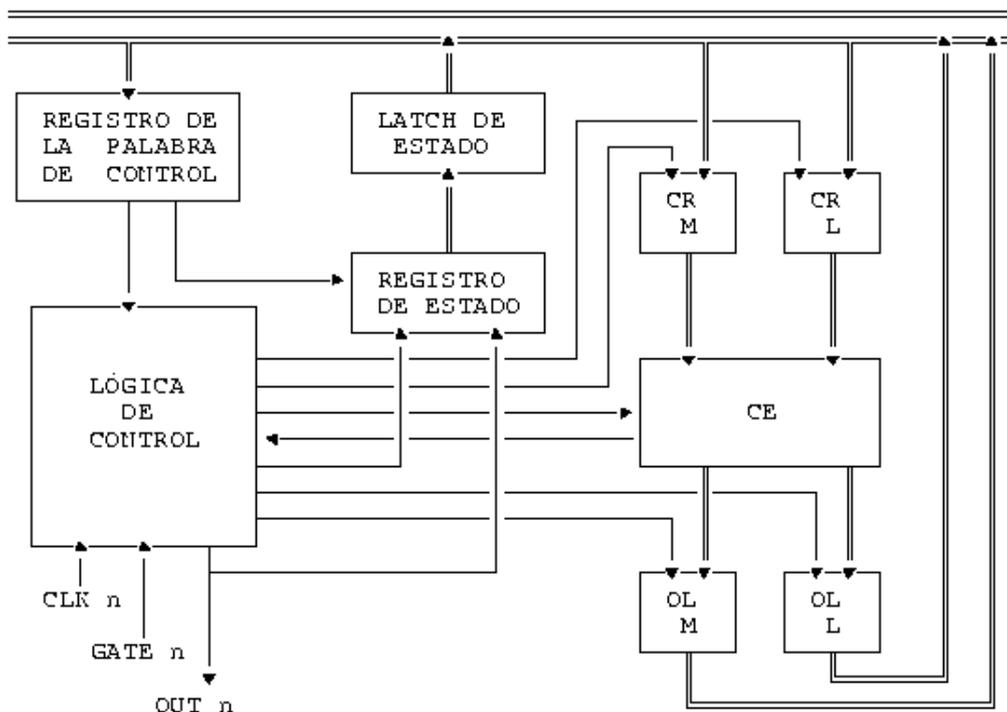


Figura 3.4.10: Funcionamiento interno del chip

Como se aprecia en la figura anterior, el registro de la palabra de control, aunque no es parte del contador propiamente dicho, afecta a su modo de funcionamiento. El registro de estado contiene el valor en curso del registro de la palabra de control y alguna información adicional (como se verá después en el comando read-back).

El contador está representado en la figura por CE (*Counting Element*) y es un contador descendente síncrono de 16 bits que puede ser inicializado. OL_M y OL_L son dos latch de 8 bits (OL significa *Output Latch*; los subíndices M y L están relacionados con el más y el menos significativo byte, respectivamente); ambos referenciados normalmente como un conjunto denominado OL a secas. Estos latches siguen normalmente la cuenta descendente de CE, pero la CPU puede enviar un comando para “congelarlos” y poder leerlos. Sin embargo, tras esa lectura continuarán siguiendo a CE.

La lógica de control del contador se encarga de que no haya dos latch activos al mismo tiempo, ya que el bus interno del chip es de 8 bits. CE no puede ser nunca leído directamente (lo que se lee es OL). De manera análoga, existe un par de registros CR_M y CR_L (CR significa *Count Register*) que almacenan la cuenta del contador y se la transmiten convenientemente a CE. Los valores de conteo se escriben siempre sobre CR (y no directamente sobre CE). La lógica de control gestiona la conexión con el exterior a través de las líneas CLK, GATE y OUT.

Para programar un contador del 8254 hay que enviar primero desde el microprocesador una palabra de control y, después, un valor de cuenta inicial. Los contadores se seleccionan con las líneas A0 y A1; el valor A0=A1=1 selecciona la escritura de la palabra de control (en la que se identifica el contador implicado). Por tanto, el 8254 ocupa normalmente 4 direcciones de E/S consecutivas ligadas a los contadores 0, 1, 2 y al registro de la palabra de control. Para enviar la cuenta inicial se utiliza simplemente el puerto E/S ligado al contador que se trate. El formato de la palabra de control es:

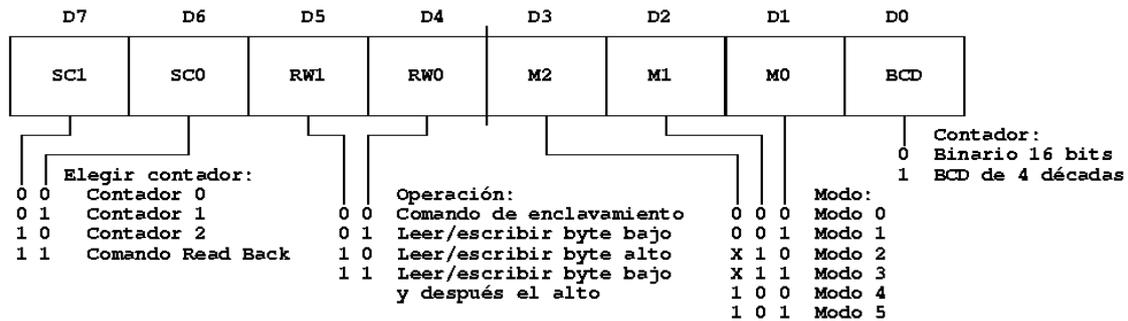


Figura 3.4.11: Palabra de control

Ajustando el bit D0 de la palabra de control se puede programar al contador para trabajar en modo binario usando 16 bits para el contador, o modo BCD, usando 4 dígitos decimales BCD.

Los bits D4 y D5 de la palabra de control indican el modo de acceso para leer o escribir el valor del contador. Esto es necesario porque cada contador es de 16 bits, pero el chip solo tiene una entrada/salida de solo 8 bits de datos. Con el modo de acceso se puede leer y escribir al contador en uno de los siguientes modos:

- Solo los 8 bits menos significativos
- Solo los 8 bits más significativos
- Primero los 8 bits menos significativos, y después los 8 bits más significativos. Para ello, se necesitan dos procesos de lectura o escritura para leer o escribir los 16 bits completos.

- **Operaciones de escritura.**

El chip 8254 es muy flexible a la hora de ser programado. Hay que tener 2 cosas en cuenta: primero, escribir siempre primero la palabra de control, antes de enviar la cuenta inicial al contador; y segundo, dicha cuenta inicial debe seguir exactamente el formato seleccionado en la palabra de control (enviar sólo byte bajo, enviar sólo byte alto, o bien enviar ambos consecutivamente).

Teniendo en cuenta que cada contador tiene su propio puerto y que la palabra de control indica el contador al que está asociada, no hay que seguir un orden especial a la hora de programar los contadores. Esto significa que, por ejemplo, se puede enviar la palabra de control de cada contador seguida de su cuenta inicial, o bien enviar todas las palabras de control para los 3 contadores y después las 3 cuentas iniciales; también es válida cualquier combinación intermedia de estas secuencias.

Un nuevo valor de cuenta inicial puede ser almacenado en un contador en cualquier momento, sin que ello afecte al modo en que ha sido programado (el resultado de esta operación dependerá del modo, como se verá más adelante). Si se programa el contador para leer/escribir la cuenta como dos bytes consecutivos (bajo y alto), el sentido común indica que entre ambos envíos/recepciones no conviene transferir el control a una subrutina que utilice ese mismo contador para evitar un resultado incorrecto.

- **Operaciones de lectura**

El valor de un contador en el chip 8254 se puede leer de 3 posibles formas.

1 – Comando Read-Back

Este comando permite leer el valor actual de la cuenta, así como averiguar también el modo programado para un contador y el estado actual de la patilla OUT, además de verificar la condición de cuenta nula (NULL COUNT) de los contadores que se indiquen. El formato del comando Read-Back es el siguiente:

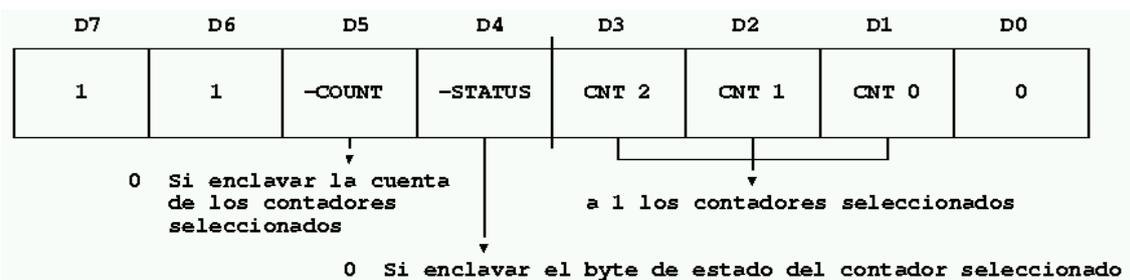


Figura 3.4.12: Read-Back

El comando Read-Back permite enclavar la cuenta en varios OL de múltiples contadores de una sola vez, sin requerir múltiples comandos de enclavamiento, poniendo el bit 5 a cero. A partir de aquí todo funciona de modo normal: los contadores permanecen enclavados hasta ser leídos, los que no son leídos permanecen enclavados, si el comando se reitera sólo actúa la primera vez reteniendo la primera cuenta, etc.

También es posible enviar información de estado al latch OL, enclavándolo para que pueda ser leído con comodidad por el puerto que

corresponda a ese contador. La palabra de estado tiene el siguiente formato:

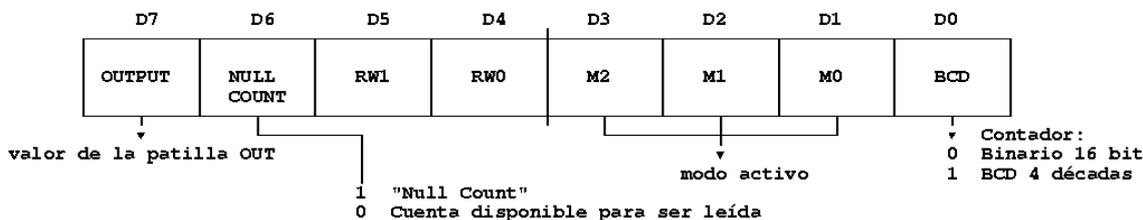


Figura 3.4.13

- Desde D0 hasta D5 se devuelve justo la misma información que se envió en la última palabra de control.
- En el bit D7 se entrega el estado actual de la patilla OUT del chip 8254, lo que permite monitorizar por software las salidas del temporizador economizando hardware en ciertas aplicaciones.
- El bit NULL COUNT (D6) indica cuándo la última cuenta escrita en el CR ha sido transferida al CE. El momento exacto depende del modo de funcionamiento del contador. Desde que se programa un nuevo valor de cuenta, pasa un cierto tiempo hasta que éste valor pasa de CR a CE, por lo que leer el contador antes de que se haya producido dicha transferencia implica leer un valor no relacionado con la nueva cuenta. Por ello, según las aplicaciones, puede llegar a ser necesario esperar a que NULL COUNT alcance el valor 0 antes de leer. El funcionamiento es el siguiente:

Operación	Consecuencias
A -Escribir al registro de la palabra de control ⁽¹⁾	NULL COUNT = 1
B -Escribir al registro contador (CR) ⁽²⁾	NULL COUNT = 1
C -Nueva cuenta cargada en CE (CR ->CE)	NULL COUNT = 0

Tabla 3.4.3: Funcionamiento del bit NULL COUNT

Notas:

- (1) - Sólo el contador especificado por la palabra de control tiene su NULL COUNT a 1. Los demás contadores, lógicamente, no ven afectado su correspondiente bit D6.
- (2) - Si el contador es programado para cuentas de 16 bits, NULL COUNT pasa a valer 1 inmediatamente después de enviar el segundo byte.

Si se enclava varias veces seguidas la palabra de estado, todas serán ignoradas menos la primera, por lo que el estado leído será el correspondiente al contador en el momento en que se enclavó por vez primera la palabra de estado.

Se pueden enclavar simultáneamente la cuenta y la palabra de estado (en un comando Read-Back con $D5=D4=0$), lo que equivale a enviar dos Read-Back consecutivos. En este caso, y con independencia de quién de los dos hubiera sido enclavado primero, la primera lectura realizada devolverá la palabra de estado y la segunda la cuenta enclavada (que automáticamente quedará de nuevo *desenclavada*).

2 – Comando de enclavamiento

Este comando se envía como si de una palabra de control se tratara ($A1=A0=1$), mientras que los bits D4 y D5 están a cero. En los bits D6 y D7 se indica el contador afectado. Los demás bits deben estar a cero para compatibilizar con futuras versiones del chip. Cuando se envía el comando, el OL del contador seleccionado queda congelado hasta que la CPU lo lee, momento en el que se “descongela” y pasa de nuevo a seguir a CE. Esto permite leer los contadores directamente sin afectar la cuenta en curso.

Se pueden enviar varios de estos comandos a los diversos contadores, cuyos OL quedarán enclavados hasta ser leídos. Si se envían varios comandos de enclavamiento al mismo contador, separados por un cierto intervalo de tiempo, sólo se considerará el primero (por tanto, la cuenta leída corresponderá al valor del contador cuando fue enclavado por vez primera).

Por supuesto, el contador debe ser leído utilizando el formato que se definió al enviar la palabra de control; aunque en el caso de leer 16 bits, las dos operaciones no han de ser necesariamente consecutivas (se pueden insertar en el medio otras acciones relacionadas con otros contadores).

Otra característica interesante consiste en la posibilidad de mezclar lecturas y escrituras del mismo contador. Por ejemplo, si ha sido programado para cuentas de 16 bits, es válido hacer lo siguiente: 1) leer el byte menos significativo, 2) escribir el nuevo byte menos significativo, 3) leer el byte más significativo, 4) escribir el nuevo byte más significativo.

3 – Leer contador directamente

Para esto, se accede a su puerto correspondiente. Para ello, se requiere inhibir la entrada CLK al contador para evitar la lectura de la cuenta durante un proceso de actualización de la misma, dando en este caso un resultado incorrecto.

- **Modos de operación**

Estas operaciones se realizan a partir de los bits D1, D2 y D3. Para programar cada contador, se envía información al CW acerca de la operación que se requiere, seguido del envío de un valor inicial de conteo. De este modo, el contador empezará a funcionar según lo previsto.

Hay 6 modos de operación, los cuales vienen reflejados en la figura:

- **Modo 0: Interrupción a final de cuenta (000)**

Se usa para contar sucesos. Tras escribir la palabra de control, el pin OUT está en estado bajo, permaneciendo así hasta que el contador alcance el 0, poniéndose así en 1, no volviendo a bajar hasta que se escriba una nueva cuenta o una nueva palabra de control. Tras cargar la cuenta inicial, el contador empieza a contar, decrementándose hasta llegar a 0.

La entrada GATE debe estar en estado alto durante el conteo. Si esto no es así, se termina la cuenta, y el conteo actual se paraliza hasta que GATE vuelve a subir.

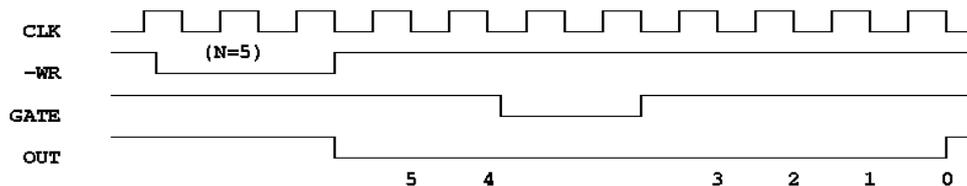


Figura 3.4.14: Modo 0

- **Modo 1: Disparo programable (001)**

El pin OUT será inicialmente alto y bajará en el pulso de reloj que sigue al flanco de subida de GATE, permaneciendo bajo hasta que el contador alcance el cero. Entonces, OUT sube y permanece activo hasta el pulso del reloj que siga al próximo flanco de subida de GATE.

Tras escribir la palabra de control y la cuenta inicial, el contador está preparado. Un flanco de subida de GATE provoca la carga del contador (desde CR hasta CE) y hace que el pin OUT baje en el próximo pulso del reloj, comenzando el pulso One-Shot de N ciclos de reloj de duración. El contador vuelve a ser recargado si se produce un nuevo flanco de subida de GATE, de ahí que OUT permanezca en bajo durante N pulsos de reloj tras la última vez que suceda esto. El pulso One-Shot puede repetirse sin necesidad de recargar el contador con el mismo valor. GATE no influye directamente en OUT.

Si se escribe una nueva cuenta durante un pulso One-Shot, el One-Shot en curso no resulta afectado, a menos, lógicamente, que se produzca un nuevo flanco de subida de GATE: en ese caso, el contador sería recargado con el nuevo conteo y el pulso One-Shot continúa hasta que este nuevo conteo termina.

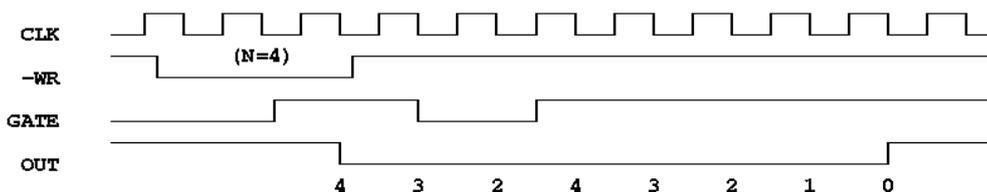


Figura 3.4.15: Modo 1

- **Modo 2: Generador de impulsos (X10)**

El contador actúa como un divisor por N, que es utilizado normalmente para interrumpir el reloj en tiempo real.

Como en otros modos, el proceso de conteo comienza una vez se envía el valor inicial. El pin OUT empieza en un valor alto, hasta que el contador llega a 1, momento en el cual, OUT se sitúa en un valor bajo durante un pulso de reloj. Tras ello, vuelve a subir y se repite el proceso.

Este modo es, por tanto, periódico, y la misma secuencia se repite indefinidamente. Para una cuenta inicial N, la secuencia se repite cada N ciclos de reloj (CLK).

- **Modo 3: Generador de onda cuadrada (X11)**

Este modo es similar al 2, con la diferencia de que la salida OUT inicialmente está en alto, pero al pasar la mitad de la cuenta pasa a estado bajo hasta que la cuenta finaliza. Este modo es también

periódico: la onda resultante para una cuenta inicial N tiene un período de N ciclos.

Para valores de cuenta impares, la duración a nivel alto de OUT será un período de reloj mayor que la duración a nivel bajo.

- **Modo 4: Pulso Strobe iniciado por software (100)**

El pin OUT empieza con un valor alto, hasta que la cuenta inicial termina, momento en el cual baja durante un pulso de reloj y vuelve a subir. El proceso se inicia cuando se escribe la cuenta inicial.

- **Modo 5: Pulso Strobe iniciado por hardware (101)**

Se trata de un proceso similar al modo 4, aunque en este caso es la entrada GATE la condicionante.

Una vez escritas la palabra de control y el valor de conteo inicial, el pin OUT se sitúa en valor alto, y el contador comienza a decrementar la cuenta desde el momento en que GATE sube. Cuando el contador llega a cero, OUT disminuye a un valor bajo durante un pulso para después volver a subir. El proceso vuelve a repetirse cuando GATE aumente.

3.4.5 – Instalación y conexión del Encoder

Para realizar las pruebas del codificador en el vehículo eléctrico, debemos contar con la tarjeta PCI-TMC-12A y el programa Labview instalado en la computadora que utilizaremos.

En este punto del trabajo aún no es necesario proceder al montaje del sistema que se ha propuesto en el punto 3.3.2, por lo que el codificador irá suelto durante el proceso de pruebas.

Observando el Data Sheet del Encoder podemos llegar a una conclusión en cuanto a la conexión de los cables con la tarjeta contador. Los pulsos del canal A son transmitidos por el cable blanco, mientras que los del canal B llegan por el rosa. El cable de toma de tierra (GND) es de color azul.

Cuando conectamos los cables procedentes desde el Encoder al CPU, como muestra la figura siguiente, necesitamos llevarlos de alguna manera hasta la tarjeta contador. En la figura 3.4.17 se contempla un croquis de la conexión.

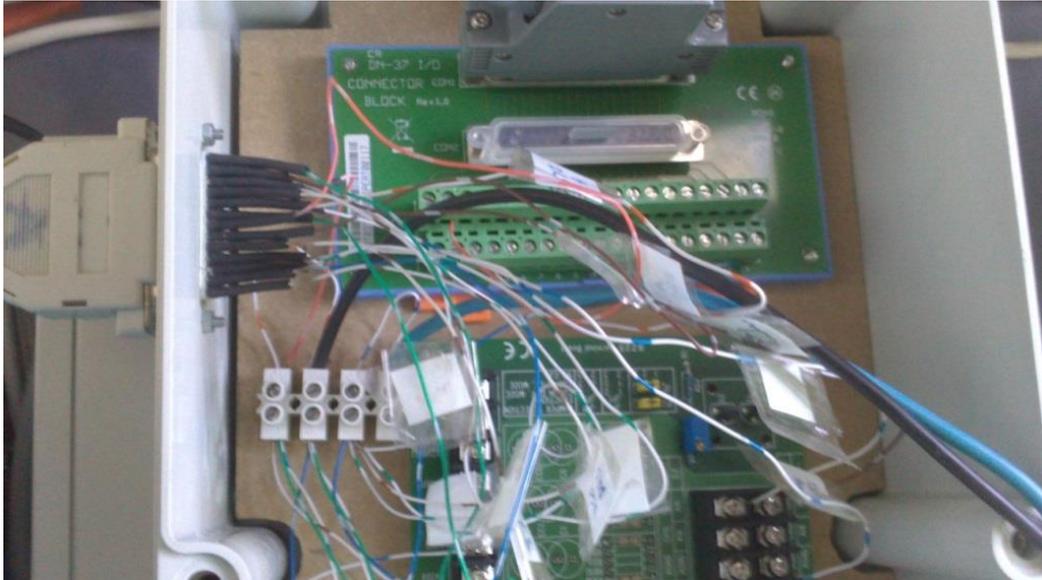


Figura 3.4.16: Fotografía con la conexión de los cables

- El cable 8 (marrón) del conector lleva la información del canal A hasta el PIN 1 de la tarjeta.
- El cable 7, de color naranja, transmite los pulsos del canal B hasta el PIN 21 de la tarjeta.
- El cable 6 (verde) es el que está conectado a tierra, siendo empalmado con las conexiones a tierra de distintos sensores incluidos en el vehículo. Este cable es llevado hasta el PIN 19 de la tarjeta de adquisición de datos.

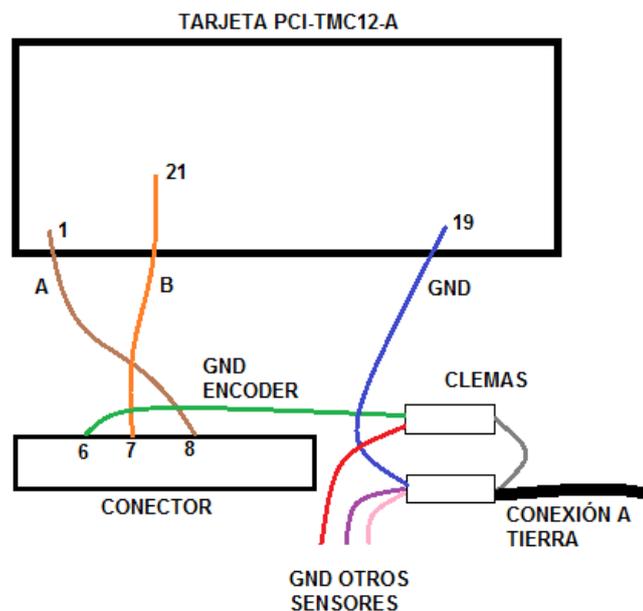


Figura 3.4.17: Esquema con la conexión de los cables

Con la información llegando por los cables a los pines citados, la tarjeta funciona de la manera explicada en el apartado 3.4.4 mediante el uso de un chip 8254.

3.4.6 - LabView

Con el codificador conectado al CPU de la forma anteriormente expuesta, el siguiente paso consiste en comprobar su correcto funcionamiento. Para ello, se recurre al uso de LabView. El mismo es una plataforma de diseño de sistemas, perteneciente a la empresa National Instruments, siendo comúnmente utilizado para adquisición de datos, control de procesos y automatización, y utiliza un sistema de lenguaje llamado G (distinto al empleado en procesos de control numérico por computadora) destinado para crear programas basados en diagramas de bloques.

Su principal objetivo es el de reducir el tiempo de desarrollo de multitud de operaciones, además de poder trabajar con todo tipo de software y hardware.

Para utilizar LabView no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito con el fin de construir las aplicaciones. Por ello, resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

Los programas de LabView se llaman “instrumentos virtuales”, que pueden funcionar del mismo modo como funciones dentro de un programa general. Cuando se trabaja con estos VI, nos encontramos con dos espacios de trabajo [17]:

- **Panel frontal:** es la interfaz gráfica del VI con el usuario. Está formado por controles e indicadores. Los primeros son parámetros de entrada que introduce el usuario para que el programa trabaje con ellos, mientras que los segundos son datos de salida que muestran los resultados.

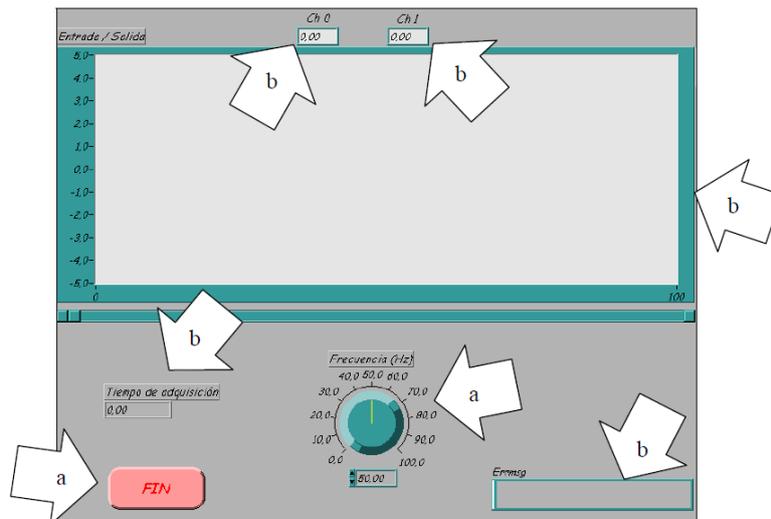


Figura 3.4.18: Panel frontal

- **Diagrama de bloques:** constituye el código fuente del VI y es donde se realiza la implementación del programa para controlar o procesar las entradas y salidas introducidas en el panel frontal. El trabajo en esta ventana se basa en el empleo de numerosas funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabView.

Los controles e indicadores procedentes del panel frontal se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.

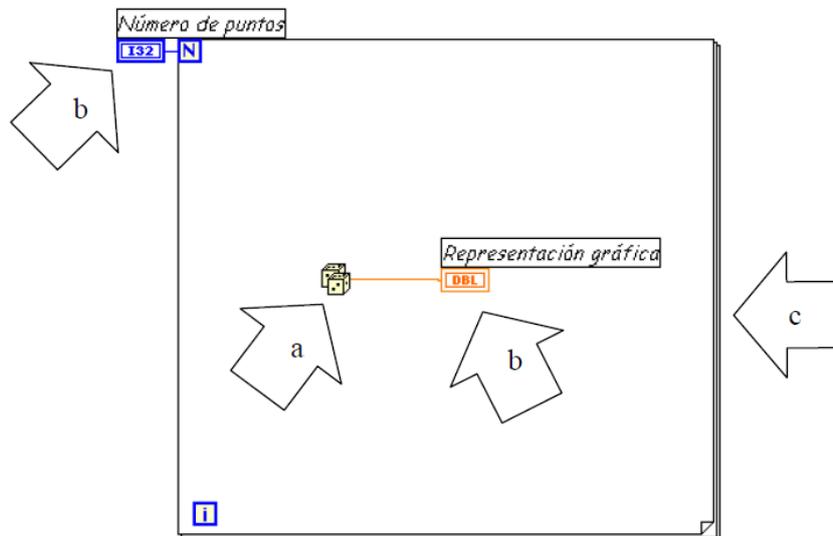


Figura 3.4.19: Diagrama de bloques

- a) Función
- b) Terminales (control o indicador)
- c) Estructura

Esta ventana se construye mediante la conexión de los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y permiten el flujo de datos. Las funciones incluidas en las bibliotecas de LabView son muy variadas, pudiendo utilizar aquellas que son de tipo aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

También podemos encontrarnos una tercera componente, llamada “conector”, que permite la inclusión del VI con el que estamos trabajando, dentro de otro VI en el que funcionará como función.

Habiendo introducido brevemente el funcionamiento de LabView, el objetivo de su uso, como se ha expuesto previamente, es el de crear un programa que permita la comprobación del correcto funcionamiento del codificador incremental. Para esto, la tarjeta PCI-TMC12A cuenta con una serie de funciones para el desarrollo de herramientas informáticas, regidas por unos códigos de configuración descritos en la siguiente tabla [18]:

Función	Descripción
TMC12_Select8254	Selección del chip a utilizar (valores entre 0 y 3)
TMC12_CounterSet	Establece el contador y su código de configuración y lo inicializa. Sólo acepta valores entre 0 y 2, debido a que la tarjeta sólo tiene 3 contadores
TMC12_CounterRead	Lectura del valor del contador
TMC12_DI	Lectura del puerto digital de entrada
TMC12_DO	Escritura en el puerto digital de salida
TMC12_DriverInit	Inicialización del driver de la tarjeta
TMC12_DriverClose	Cierre del driver de la tarjeta
TMC12_DetectBoard	Selección de tarjeta activa
TMC12_OpenBoard	El software comienza a trabajar con la tarjeta

Tabla 3.4.4: Funciones de la tarjeta PCI-TMC12A

Como se puede observar, es necesario que previo a las pruebas con LabView, se debe haber instalado el driver de la tarjeta en el PC que se utilice. En caso contrario, LabView no reconocería a la propia tarjeta. Una vez estemos trabajando con el software, en el diagrama de bloques se le indica que queremos trabajar con la tarjeta mediante la función DAQ Assistant.

A continuación se detalla el programa creado para las pruebas del codificador. Todos los pasos siguen una programación estructurada:

- 1) El primer paso consiste en inicializar el driver de la tarjeta, por lo que se emplea la función TMC12_DriverInit.

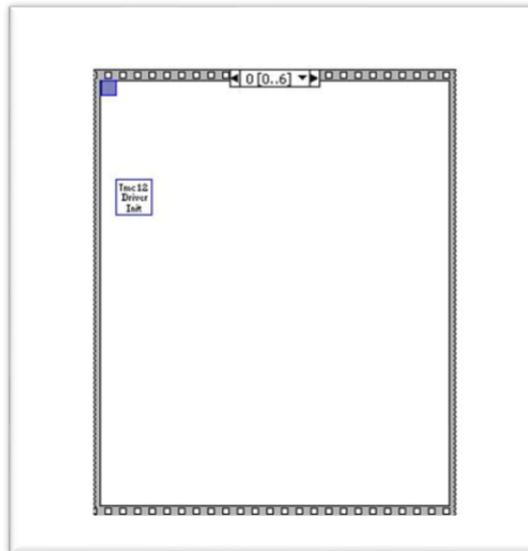


Figura 3.4.20: Inicialización del driver

- 2) Con TMC12_DetectBoard, LabView encuentra la tarjeta y mediante la etiqueta "Board No on PC", indica en el panel frontal cuál es.

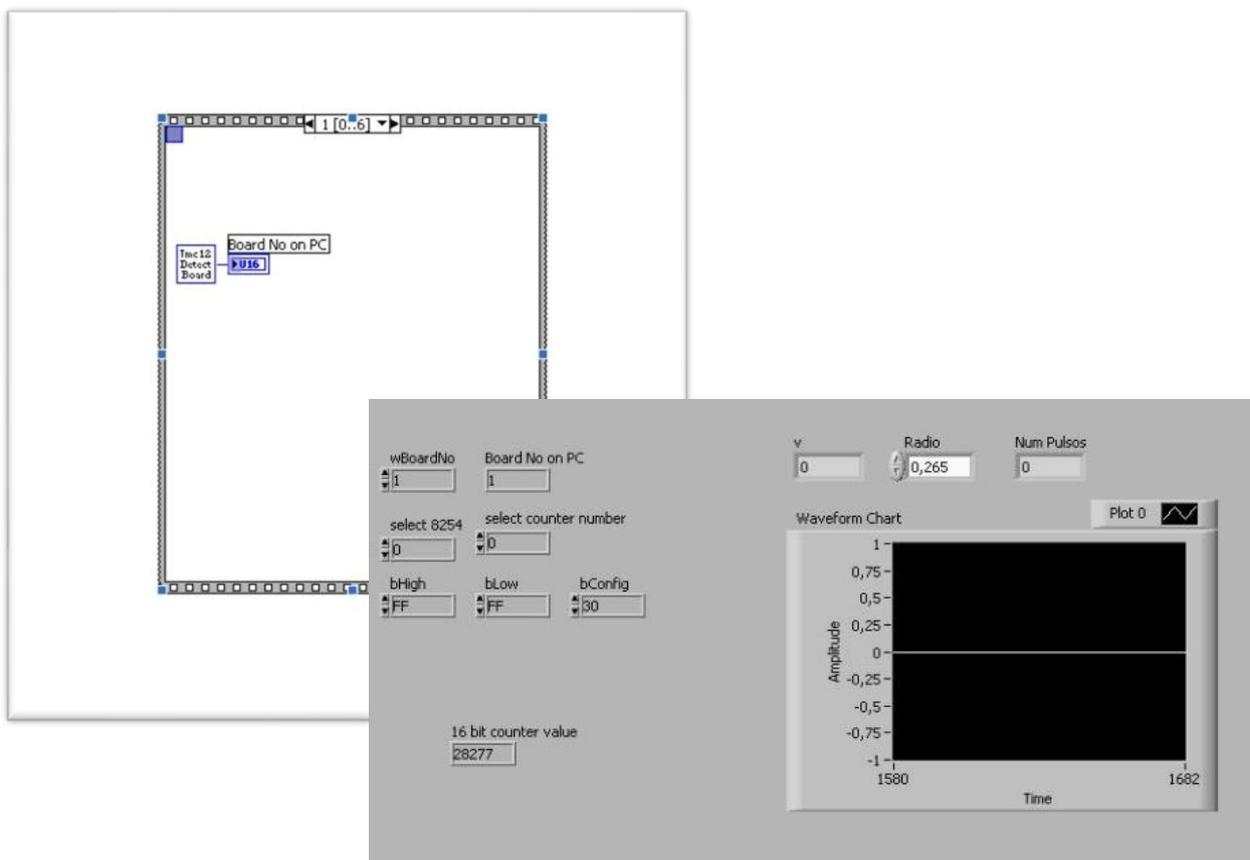


Figura 3.4.21: Selección de la tarjeta y panel frontal creado

- 3) El tercer paso consiste en activar la tarjeta para poder trabajar con ella. Para ello, es usada la función “TMC12_OpenBoard”

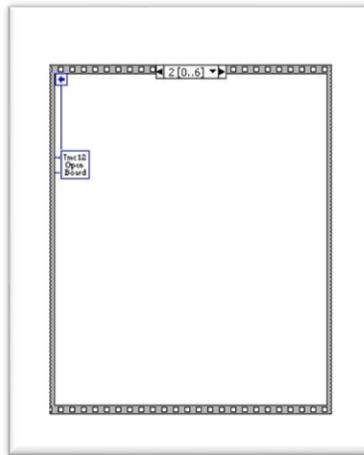


Figura 3.4.22: Inicio del trabajo con la tarjeta

- 4) El siguiente paso resulta más complejo, porque incluye estructuras lógicas y de repetición. En primer lugar, como se observa en la figura siguiente, se ha construido una estructura selectiva en la que la condición es la lectura del contador. En caso de que se esté leyendo (TRUE), mediante el panel frontal se indica el número de contador con el que se va a trabajar. Esto se consigue utilizando un indicador al que se ha llamado “select counter number”, el cual sólo admite valores entre 0 y 2, al haber sólo 3 contadores en cada chip. Por defecto situamos el valor 0, que corresponde al canal A, siendo el 1 referido al canal B.

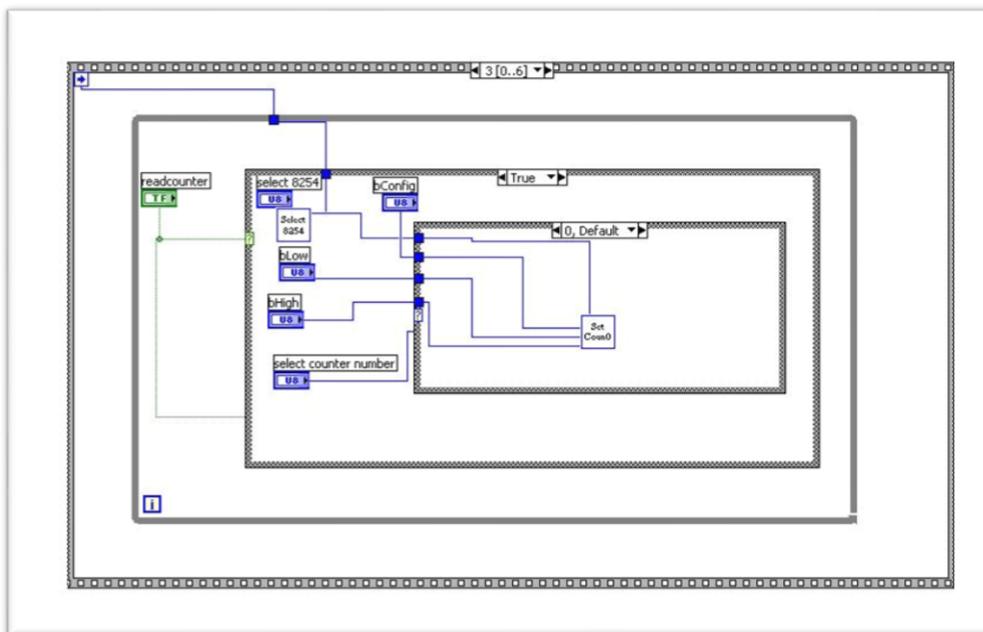


Figura 3.4.23: Selección de chip y contador. Conteo de pulsos

Escogiendo el número del chip en el panel frontal con “select 8254”, activamos del mismo modo el chip elegido en la tarjeta, para que el programa opere con él.

Tras haber sido escogidos el chip y el contador, la función “SetCount0” lleva la cuenta de los pulsos generados por el codificador.

En el momento en que no se lea desde el contador (FALSE), no se produce ninguna acción.

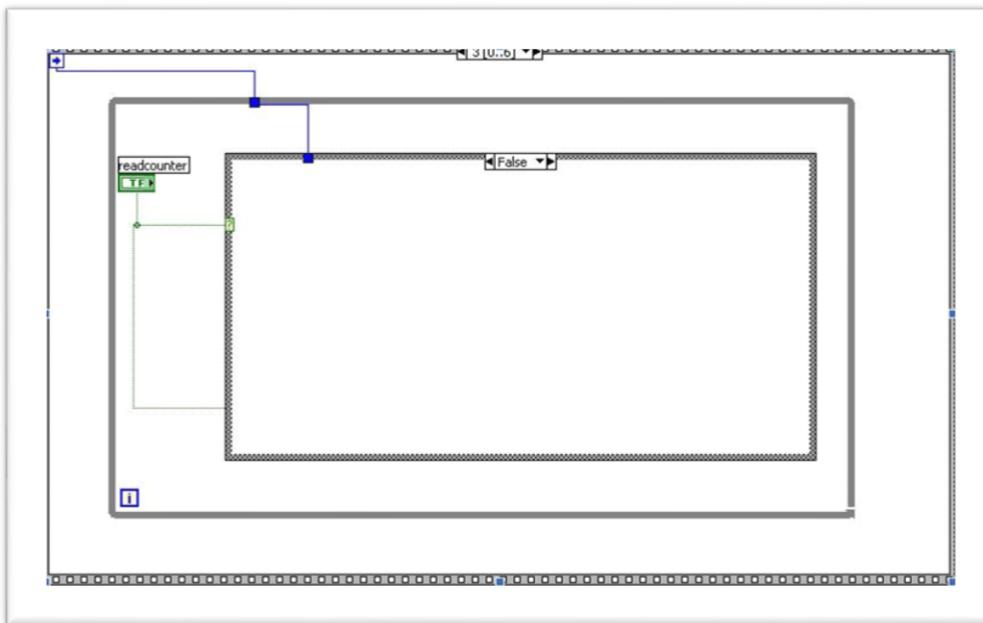


Figura 3.4.24: Situación cuando se para el conteo

- 7) A continuación, tiene lugar el cálculo de la velocidad, la cual se muestra en el panel frontal a través de un indicador numérico y una gráfica.

Cabe mencionar que previamente se le asignó al codificador una resolución de 1024 pulsos/vuelta a través del driver de la tarjeta. Esto quiere decir que, pasado a 16 bits, se cuentan 65535 pulsos por cada vuelta. Al representar el programa, una peculiaridad del codificador es que el conteo va hacia atrás, es decir, comienza en esos 65535 pulsos, terminando en 0. Desde ese punto, continúa la cuenta desde 65535.

- I. A la hora de calcular la velocidad, debemos conocer la diferencia de pulsos cada 400 ms (que es el tiempo establecido entre cada 2 tomas de datos).

Si PulsosActuales \leq PulsosAnteriores

$$\text{DiferenciaPulsos} = \text{PulsosAnteriores} - \text{PulsosActuales}$$

Sino

$$\text{DiferenciaPulsos} = \text{PulsosAnteriores} + (65535 - \text{PulsosActuales})$$

- II. A partir de la resolución establecida (1024 pulsos / vuelta), obtenemos el ángulo (en radianes) que ha girado el disco del codificador para esa diferencia de pulsos calculada previamente.

$$\text{Ángulo Girado} = \frac{\text{Diferencia Pulsos}}{1024 \text{ pulsos/vuelta}} \cdot 2\pi \text{ rad/vuelta}$$

- III. A continuación, se procede a conocer la velocidad angular del disco. Para ello, se dividen los radianes calculados por el tiempo (400 ms).

$$\text{Velocidad Angular 1} = \frac{\text{Ángulo Girado}}{\text{Tiempo}}$$

- IV. En este momento, se tiene en cuenta la relación de transmisión del engranaje diseñado ($i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$). El objetivo de este paso es el de hallar la velocidad angular de la rueda.

$$\text{Relacion} = \frac{\text{Dientes 2}}{\text{Dientes 1}} = \frac{110}{12} = 9.167$$

$$\text{Relacion} = \frac{\text{Velocidad Angular 1}}{\text{Velocidad Angular 2}} \rightarrow \text{Velocidad Angular 2} = \frac{\text{Velocidad Angular 1}}{9.167}$$

- V. Finalmente, midiendo el radio de la rueda una vez se le ha montado el neumático (r), se puede calcular la velocidad del vehículo.

$$\text{Velocidad} = \text{Velocidad Angular 2} \cdot r_{\text{rueda}}$$

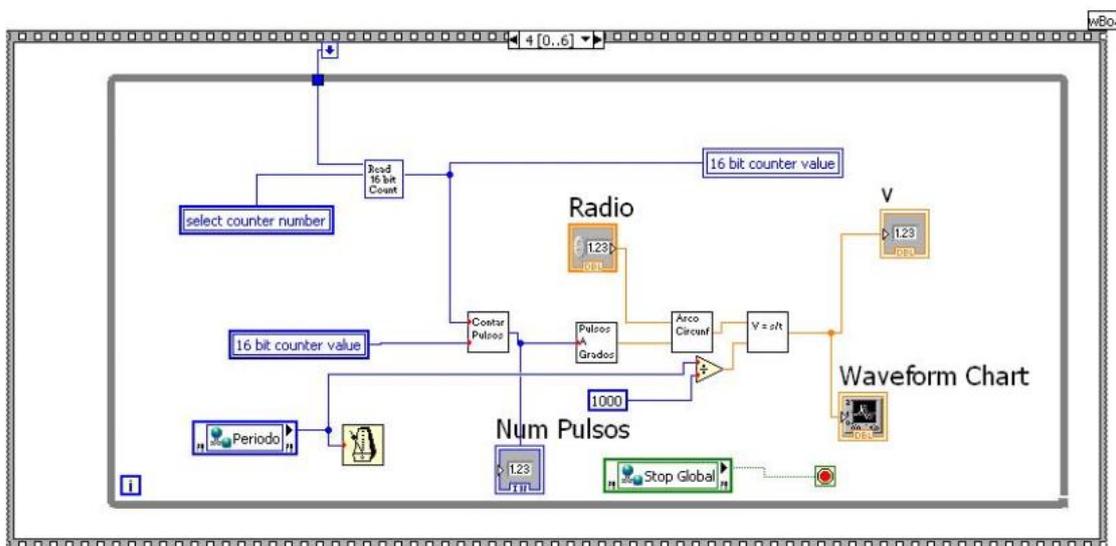


Figura 3.4.25: Subprogramas de Labview con los cálculos realizados

- 8) Finalmente, TMC12_CloseBoard cierra las operaciones con la tarjeta, y TMC12_CloseAll termina con el driver.

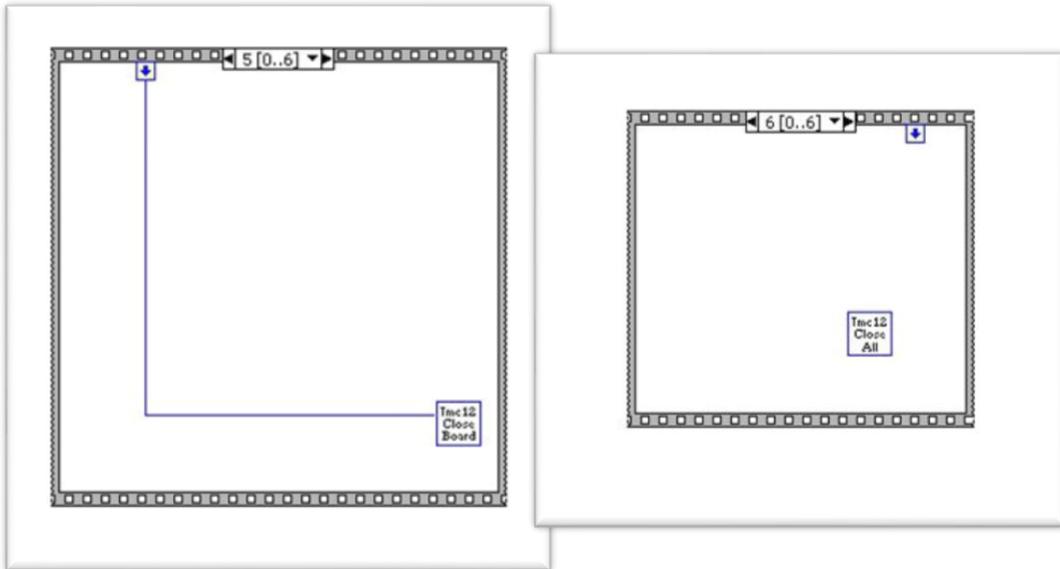


Figura 3.4.26: Cierre de la tarjeta y del programa

3.5 – Proceso de montaje

Una vez se han realizado las pruebas del Encoder, sin haberlo insertado completamente mediante el sistema propuesto, y al comprobar que su funcionamiento es el correcto, se procede al montaje de todas las piezas ya mecanizadas y la inserción, por tanto, del sensor en el vehículo eléctrico.

1 – Se calienta la corona para aumentar su diámetro interior. Ésto permite que se inserte con mayor facilidad alrededor del disco perteneciente al buje de la rueda. Una vez se enfríe, ese diámetro aumenta y la corona queda perfectamente encajada. Este paso se realiza uno o dos días antes que el resto.



Figura 3.5.1: Corona encajada

2 - Para el caso del piñón, mostrado en la figura siguiente, se le ha aplicado un prisionero de métrica 3 para sujetar el eje. Ésto permite que el eje lleve la velocidad angular a la que gira el piñón y se la transmita al codificador para que éste cree los pulsos.



Figura 3.5.2: Barra insertada en piñón

3 – Se inserta el rodamiento dentro del soporte de nylon.



Figura 3.5.3: Rodamiento insertado en soporte

4 – El conjunto de piñón-barra se inserta dentro del soporte. Para ello, se necesita lubricar el piñón, lo cual evita que se produzcan problemas al chocar con el rodamiento. Se comprueba aquí que no sobresale la barra por la parte con mayor diámetro del soporte, quedando a la misma altura. El eje tiene una longitud de 8 cm.

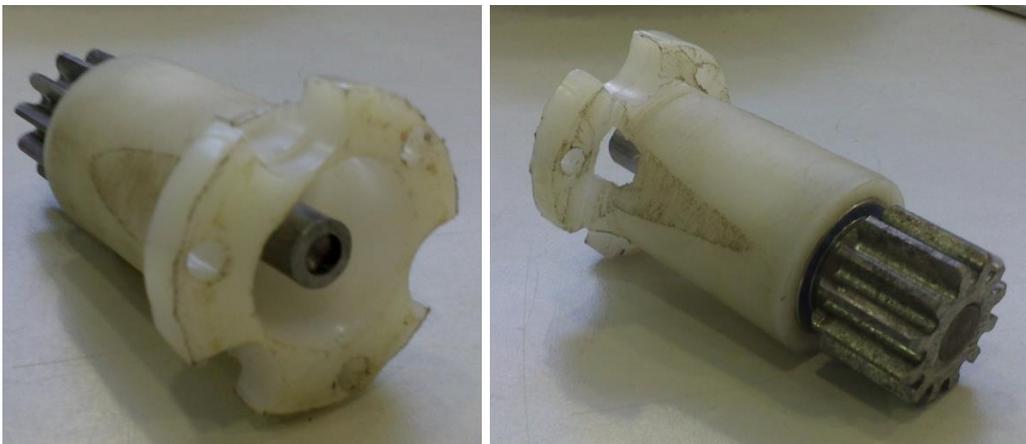


Figura 3.5.4: Conjunto montado de piñón, barra, rodamiento y soporte

En la siguiente figura se aprecia cómo quedarían entre sí las piezas ya montadas. Una vez el proceso de montaje se haya completado, se supone un perfecto engrane entre los dientes del piñón y los de la corona.



Figura 3.5.5: Situación de cómo quedarían finalmente las piezas montadas hasta el momento

5 – Como se comentó anteriormente, es muy recomendable el uso de un acoplamiento flexible en el eje del Encoder que lo una con la barra calibrada y permita un cierto movimiento para que no se rompa el eje del sensor.



Figura 3.5.6: Acoplamiento flexible montado

6 - Al incluir este acoplamiento, se crea un hueco entre el codificador y la chapa metálica que puede provocar un malfuncionamiento en el sensor. Ésto se solventa con la inclusión de un disco de porexpán de 10 cm de grosor y 3 agujeros realizados mediante fresado para facilitar el anclaje con tornillos del Encoder a la chapa y el soporte de nylon.

7 – Se atornilla el conjunto de Encoder, disco de porexpán y acoplamiento flexible a la chapa metálica que sirve de soporte. Los tornillos utilizados tienen las siguientes características:

- Métrica 4
- Longitud de cabeza: 4 mm
- Longitud total: 20 mm

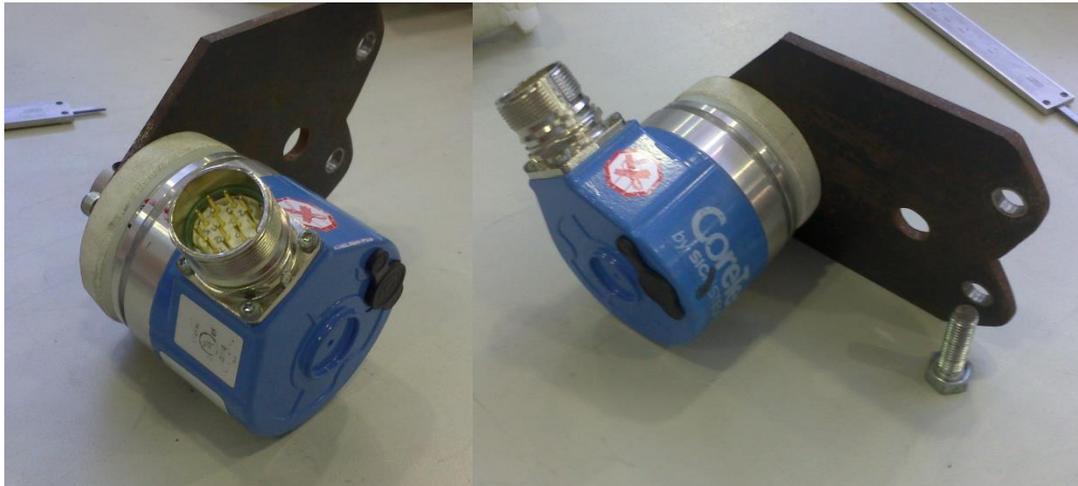


Figura 3.5.7: Montaje del codificador con la placa metálica



Figura 3.5.8: Situación del codificador respecto del conjunto anteriormente ensamblado

8 – El conjunto de piñón, barra y soporte de nylon se atornillan al soporte metálico, el cual ya incluye las piezas montadas en el punto anterior. Se utilizan los mismos tornillos usados previamente.



Figura 3.5.9: Visión general

9 – Con todos los conjuntos del Encoder y del piñón anclados al soporte metálico, ya se puede unir todo al eje de la rueda. Se necesitan unos tornillos con las siguientes características:

- Métrica 8
- Longitud de cabeza: 6 mm
- Longitud total: 32 mm

Estos tornillos vienen representados en la figura anterior, mientras que en la siguiente se puede apreciar este paso una vez finalizado.



Figuras 3.5.10 y 3.5.11: Codificador y conjunto de piñón montados sobre el vehículo

10 – Se introduce el disco del buje con la corona por encima del disco de freno. Ésto significaría el paso final en el proceso de montaje.

Sin embargo, y a pesar de los cálculos realizados del engranaje, surgió un problema: la corona y el piñón no engranaban correctamente. Este contratiempo consistía en que cierto número de dientes del piñón no llegaban a engranar con los de la corona, chocando la cabeza de otros tantos con la base de los dientes de la corona.

Lo anterior se traduce en un problema muy serio, ya que en primer lugar se produce un funcionamiento muy ruidoso cada vez que chocan los dientes de la corona y el piñón, aparte de que se pueden producir roturas en el Encoder a

partir de las vibraciones en la barra que sirve como eje, a pesar del uso de la junta flexible.

Para subsanar este problema de penetración, se recurre a un montaje en V, consistente en un pequeño alejamiento entre la corona y el piñón. Obviamente se produce un cambio en los radios primitivos de ambos, aunque la relación de transmisión se mantiene intacta.

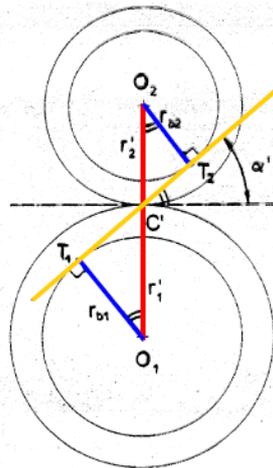


Figura 3.5.12: Engranaje

El engranaje representado tiene unos radios primitivos r_1 y r_2 , unos radios de base r_{b1} y r_{b2} y un ángulo de funcionamiento α . El punto P representa el punto en el que se produce el engrane entre la corona y el piñón. Dependiendo de las velocidades angulares de cada uno de ellos, tiene lugar una velocidad de engrane en ese punto, es decir, el número de veces que se produce engrane por unidad de tiempo.

$$v_1 = v_2 \Rightarrow \omega_1 \cdot r_{p1} = \omega_2 \cdot r_{p2}$$

Tenemos, del mismo modo, que la relación de transmisión es siempre constante, y que ésta es la relación entre las velocidades angulares, entre los radios de base y entre los números de dientes.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Al encontrarnos con un problema de penetración, la manera propuesta para solucionarlo, como se ha dicho previamente, está compuesta por un aumento de la separación entre los centros de la corona y el piñón. Como se prevé, junto a este incremento se produce un cambio en el diámetro primitivo de ambos elementos (los cuales pasan a ser r'_{p1} y r'_{p2}) y un mayor ángulo de funcionamiento (ahora representado como α'), como se muestra en la figura.

Teniendo en cuenta que:

$$r_b = r_p \cdot \cos \alpha$$

Con lo anteriormente comentado podemos observar lo siguiente:

$$i = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \frac{r'_{p2} \cos \alpha'}{r'_{p1} \cos \alpha'}$$

Al aumentar el ángulo, disminuye el coseno. Como se mantiene el valor del radio de base, para que se cumpla a partir de esa disminución del coseno, el radio primitivo debe ser mayor.

Por otro lado, como el coseno varía en la misma medida tanto en la corona como en el piñón, la relación entre los radios primitivos nuevos es la misma que la existente entre los radios de base.

$$i = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \frac{r'_{p2}}{r'_{p1}}$$

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente explicado, una vez montado todo el sistema y observando los problemas de penetración, se procede a desmontar todo lo reflejado desde los puntos 7, 8 y 9. En primer lugar se desatornilla la placa de metal de la parte trasera del disco de frenos, seguido después por el conjunto formado por el soporte y el piñón y del formado por Encoder y junta flexible.

Acto seguido se tomó la decisión de limar los agujeros de la placa metálica por los que se introducen los tornillos que la unen con el eje de la rueda. Este proceso permite un pequeño desplazamiento hacia la derecha del sistema diseñado y, por tanto, de la separación entre los centros del piñón y la corona. En las figuras siguientes se muestra reflejado el limado de los agujeros.



Figura 3.5.13: Marcas que indican la dimensión que se va a agrandar del agujero



Figura 3.5.14: Agujeros una vez han sido limados

Finalmente, tras limar los agujeros de la placa metálica, tanto la corona como el piñón fueron engrasados, para permitir un mejor engranaje. En la figura 3.5.15 se contempla todo el sistema montado.



Figura 3.5.15: Sistema completo montado

4.

Resultados

Para comprobar si el sistema propuesto es válido, debemos atender a 2 situaciones: que el codificador funcione correctamente y que no se den problemas al engranar la corona y el piñón.

En el primer caso, la idea inicial consistía en arrancar el coche y moverlo unos pocos metros con el codificador conectado a un PC industrial con el LabView llevando el control de la velocidad mediante el programa elaborado en el documento 3.4.6. Sin embargo, debido a problemas con el motor eléctrico el día de la realización de las pruebas, se recurrió a un simple giro de la rueda para comprobar que el programa recibe los datos y consigue determinar la velocidad lineal que estaría recorriendo el vehículo.

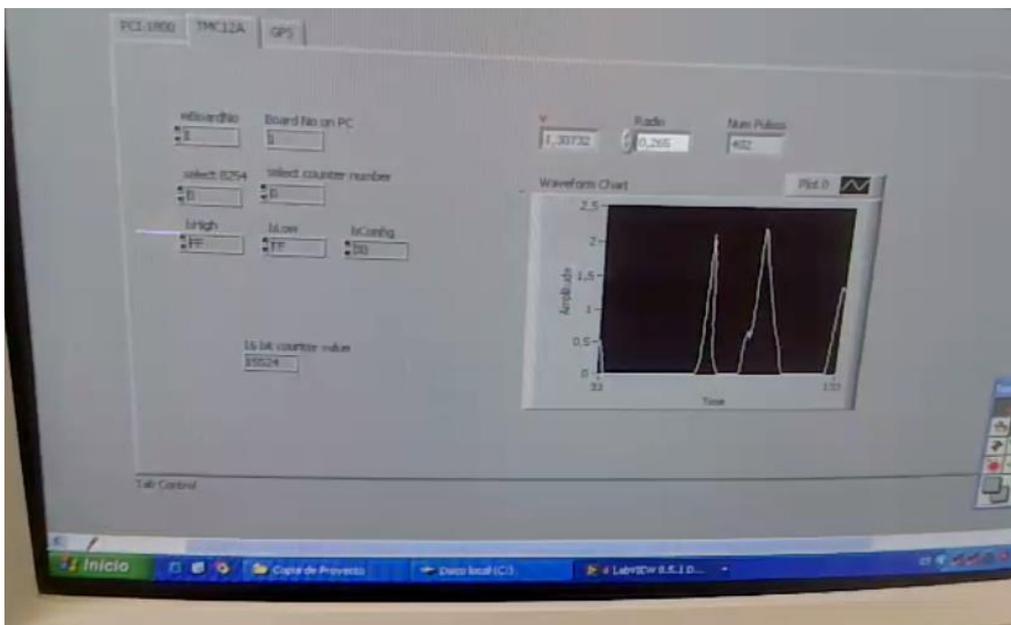


Figura 4.1: Imagen de la gráfica creada con Labview, representando la velocidad de la rueda con el tiempo

Al introducir los sensores que componen el vehículo, se explicó la diferencia entre el radar y el codificador, sirviendo el último como método de comprobación en condiciones en las que no se produce deslizamiento de la rueda.

Por otro lado, tras haber montado todo el sistema sobre la rueda trasera izquierda del vehículo, se comprueba que no se produce fricción indeseada entre la corona y el piñón, gracias en mayor medida a que ambos fueron engrasados. Este hecho es vital, ya que en el caso de interferencia o penetración se puede llegar a dañar el propio codificador debido a un movimiento vibratorio de la barra al estar funcionando el vehículo.



Figura 4.2: Sistema completo montado

Como se comentó en el documento 3.5, durante el proceso de montaje apareció el problema mencionado de interferencia, hecho por el cual resultó necesario en primer lugar un cambio en los radios primitivos del engranaje, al ser aumentada la distancia entre los centros del piñón y la corona.

5.

Conclusiones y trabajos futuros

En la realización de este estudio, se han marcado dos objetivos claros. Por un lado se debía conseguir diseñar un sistema que permitiera tomar la velocidad angular de una rueda para que, mediante el uso de un codificador incremental pudiéramos conocer la velocidad lineal del vehículo en sí. Este objetivo ha quedado cumplido tras haber ideado un sistema de engranajes que, por medio de la relación de transmisión de una corona alrededor de la rueda y de un piñón asociado a una barra, ésta última consigue llevar la anteriormente mencionada velocidad angular hasta el Encoder. Éste, gracias a su funcionamiento, la transforma en pulsos eléctricos que envía hasta el programa que finalmente calcula la velocidad lineal.

Para todo lo anterior, las competencias adquiridas han sido las siguientes:

- Diseño de un engranaje, teniendo en cuenta las dimensiones del disco de frenos y del Encoder. Del mismo modo, también se ha ofrecido una solución ante un problema de penetración.
- Capacidad para idear un sistema que permita el acoplamiento de una serie de elementos que faciliten la transmisión de la velocidad angular del piñón hasta el codificador, así como para diseñar dichas piezas mediante el manejo de un programa de diseño gráfico por ordenador.
- Elaboración de una serie de códigos CNC con programas de simulación de mecanizado para elaborar las piezas necesarias para el sistema ideado. También se ha comprendido el funcionamiento de distintas máquinas de mecanizado, como son el torno, la fresadora y la máquina de oxicorte.
- Comprensión del funcionamiento de un codificador y su relación con la electrónica, al ofrecer impulsos eléctricos que deben ser tratados por un ordenador.
- Seguimiento de una serie de pasos en el proceso de montaje, habiendo elaborado una hoja de cálculo con todos los detalles.

El segundo objetivo a seguir consistía en la toma de los datos ofrecidos por el codificador, siendo utilizados una tarjeta contador y el software LabView para trabajar con ellos. Éste resultó un tema bastante complejo, porque en primer lugar se debieron introducir detalladamente conceptos más cercanos a la informática, tales como buses PCI o el chip 8254. Es por ello que las competencias adquiridas para este objetivo han sido:

- Explicación de la importancia y el funcionamiento de los buses, especialmente del bus local PCI.

- Comprensión del objetivo de las tarjetas contador y del funcionamiento de los chips 8254 incluidos en las mismas.
- Manejo del software LabView y capacidad para conocer con exactitud las conexiones a realizar para tomar los datos ofrecidos por el codificador.

Incluir un codificador incremental en un vehículo eléctrico con la finalidad expuesta en este trabajo monográfico conlleva plantearse un sistema en el que el sensor no se encuentre expuesto a numerosos problemas que pueden presentarse, tales como una rotura del eje del mismo o un golpe que pueda ser fatal para su funcionamiento.

Es por ello, que a la hora de realizar el trabajo, han dado lugar ciertos cambios causados por problemas potenciales, los cuales tenían que ser resueltos con rapidez y eficacia. Elecciones como la del acoplamiento flexible, el disco separador o el aumento de distancia entre engranajes no estaban previstos desde el comienzo, apareciendo con el tiempo los problemas a los que hacen frente. Sin embargo, estas soluciones no sólo consiguen evitar fallos que puedan darse en el futuro, sino que también enriquecen este trabajo, ampliando conocimientos de distintos tipos.

Para el futuro, se podría proponer un estudio acerca de las estimaciones de pérdidas entre los datos recogidos por el codificador y por el radar para controlar la velocidad del vehículo en situaciones en las que se pierde el contacto del neumático con el suelo, ya sea por deslizamiento debido a lluvia o hielo, o por cualquier otra causa. La base para este trabajo estaría en la diferencia de funcionamiento de ambos sensores, siendo explicado detalladamente el del codificador en este proyecto (velocidad angular de la rueda), mientras que el del radar se explica a partir de la emisión de unas ondas, calculando la velocidad a partir de la propia de dichas ondas al rebotar con algún objeto externo.

Del mismo modo, también se podría buscar una relación entre los datos obtenidos por los sensores anteriores y la información recogida por el GPS. Como se puede prever, ésto podría servir para comprobar el correcto funcionamiento de los 3 sensores. En este último caso, se podría buscar una relación entre la velocidad calculada a partir de codificador y radar y la distancia recorrida según el GPS en determinada cantidad de tiempo.

6.

Bibliografía

Capítulo 2

- [1] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. *Guía del vehículo eléctrico*. 2009.
- [2] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España. *Estrategia integral para el impulso del vehículo eléctrico en España*. 2010.
- [3] Gobierno de España. *Real Decreto 648/2011*. 2011. Boletín Oficial del Estado
- [4] González Sánchez, Ramón. *Proyecto Fin de Carrera: Desarrollo de algoritmos de navegación reactivos de robots móviles para tareas bajo invernadero*. 2006. Universidad de Almería
- [5] Wikipedia. *Sistema de posicionamiento global*.
https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global

Capítulo 3

- [6] Eltra, 2000. *Encoder Incremental, descripción general*.
- [7] West Instruments de México, S.A. *Manual de aplicación de Encoders*.
- [8] Eltra, 2000. *Encoder Absoluto, descripción general*.
- [9] López Martínez, Alejandro. *Apuntes de teoría: Fabricación industrial*. 2013. Universidad de Almería.
- [10] López Martínez, Alejandro. *Manual Oxicorte*. 2008. Universidad de Almería
- [11] Alecop. *Guía visual de WinUnisoft*.
- [12] Centros Educativos de Difusión e Innovación Tecnológica. *Curso de CNC Torno, Manual I*.
- [13] Kioskea.net. *¿Qué es un bus informático?*
<http://es.kioskea.net/contents/pc/bus.php3>
- [14] Kioskea.net . *Bus PCI*.
<http://es.kioskea.net/faq/2274-el-bus-pci>
<http://es.kioskea.net/contents/pc/pci.php3>
- [15] ICP DAS, 2002. Manual hardware de usuario de la tarjeta de entrada y salida de contadores PCI-TMC12(A).

- [16] Departamento de Ingeniería Electrónica. *El Temporizador 8253 u 8254*. Universidad de Granada
<http://atc.ugr.es/docencia/udigital/1203.html>
- [17] Grupo Tecnología Eléctrica. *Tutorial Labview*. Universidad de Sevilla
- [18] ICP DAS, 2002. Manual software de la tarjeta de entrada y salida de contadores PCI-TMC12(A).

7.

Anexos

7.1 – Data-Sheet Coche eléctrico. MODELO ALSO. Distribuidor Tesur.



Figura 7.1: Coche eléctrico

Características:

Longitud: 2680 mm
Ancho: 1525 mm
Altura: 1780 mm
Distancia entre ejes: 1830 mm
Paso rueda delantera: 1285 mm
Paso rueda trasera: 1260 mm
Radio de giro: 4.3 m
Subida: 20 %
Autonomía: 90 Km
Velocidad máx.: 45 Km/h
Peso: 700 Kg
Peso sin baterías: 472 Kg
Peso máximo cargado: 950 Kg.
Ángulo de Ataque: 34°
Ángulo de salida: 45°
Motor: 4.3 KW.

Alimentaciones:

Voltaje Standard 48 VDC
Baterías Standard 210 A. (sin mantenimiento gel).
Motor DC Standard 4.3 KW (48 VDC).
Controlador motor standard Curtis 1268 (48 VDC)
DC-DC convertidor standard 48-12VDC 240W
Cargador a bordo: 48V25A.
2 velocidades.

Otras características:

Tracción delantera.
Dirección eléctrica
Radio CD

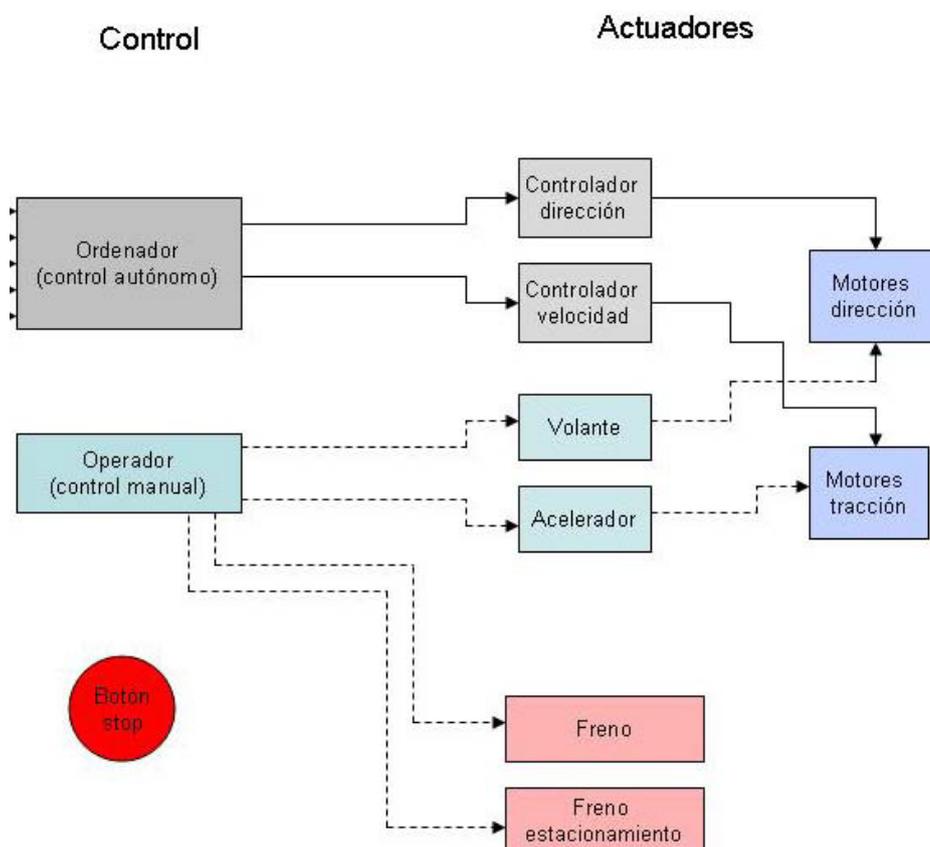


Figura 6.2: Esquema del sistema del vehículo eléctrico

Actualmente el coche eléctrico puede ser controlado tanto a nivel manual por un operador humano con a nivel autónomo (utilizando un ordenador). El sistema manual está compuesto por un volante, un pedal de acelerador y un pedal de freno. Así mismo se dispone de un freno de estacionamiento o freno de mano. El volante y acelerador actúan sobre los motores de dirección (en este caso cremallera) y motores de tracción, respectivamente. Por otro lado, se

dispone de un controlador de dirección y un controlador de velocidad a los que se les puede enviar señales desde un computador para realizar las acciones necesarias sobre los motores de dirección y tracción. Finalmente se dispone de un botón de emergencia o botón de stop (parada total de sistema, corte de energía).

En la Figura 6.3 se muestran los elementos de control del coche eléctrico.



Figura 6.3.1: Elementos de control



Figura 6.3.2: Ajuste de movimiento manual



Figura 6.3.3: Control automático



Figura 6.3.4: Control manual y botón de emergencia

En la Figura 6.3.1 aparece de izquierda a derecha:

- Botón “Dirección”: activar/desactivar dirección asistida. ON pulsado.
- Botón “manual/automático”: control ordenador o manual. ON automático.
- Botón “Of-On”: activar automático.
- Botón “Control”: control ordenador/manual. Control ON botón sacado.

En la Figura 6.3.2 aparece de izquierda a derecha (control manual):

- Botón regulador (circular): No identificado.
- Botón intermitentes (4 intermitentes)
- Botón marcha lenta o marcha rápida.
- Botón marcha adelante o marcha atrás.

En la Figura 6.3.3 aparece de izquierda a derecha (control automático):

- Botón “S1”: marcha lenta/rápida.
- Botón rojo: mover o activar automático.
- Botón “S2”: marcha adelante o atrás.
- Caja blanca y potenciómetro: velocidad de avance/retroceso.

En la Figura 6.3.4 aparecen los elementos de control manual: volante, acelerador, freno y botón de parada de emergencia (botón rojo debajo del asiento del conductor).

SENSORES

Medida	Sensor	Marca, modelo	Interfaz
Posición	DGPS	Hemifere, R100	RS232 / USB
Obstáculos	Cámara Kinect	Microsoft	USB
Obstáculos	Láser	Sick, LMS200	RS232 / USB
Orientación	Brújula magnética	KVH, C100	Entrada analógica (0.1-1.9 VDC)
Seguridad	Bordes sensibles	Safework	Entrada digital (on-off)
Velocidad angular ruedas	Codificador incremental	Sick, DRS61	Contador
Ángulo volante	Codificador absoluto	Sick, ARS60	15+1 bits digitales
Velocidad lineal	Radar	LH Agro, Compact Radar II	Contador

Resumen de entradas

- Analógicas: 1
- Digitales: 17
- RS232: 2
- USB: 1
- Contador: 2

ACTUADORES

- Velocidad de ruedas: señal analógica (potenciómetro).
- Avance lento/rápido: señal digital (botonera).
- Giro ruedas: señales analógicas (dos señales). Importante: señales de balanceo de 5 VDC, esto significa que SEÑAL1 = abs (SEÑAL2 – 5). El modo avance recto es 2.5 VDC a ambas señales. El modo giro izquierda es: cable amarillo tensión < cable blanco. El modo giro derecha es el opuesto.
- Avance hacia delante/ hacia atrás: señal digital (botonera).

Resumen de salidas

- Señales analógicas: 3
- Señales digitales: 2

Alimentaciones disponibles en el vehículo

- 43 VDC baterías generales del vehículo.
- 12 VDC varios puntos, el más accesible en el encendedor/mechero.

SISTEMA DE CONTROL

ORDENADOR INDUSTRIAL

- PCISA Intel Atom D525 1.8 GHz, 1MB DDR3, VGA, 2 ETH-GB, USB, SATA
- Disco duro S-ATA II de 250 Gb
- Backplane de 5 slots con 3 PCI BUS y 1 PCIe X1
- Fuente ATX 200W 12VDC

TARJETAS DE E/S

- Tarjeta PCI-TMC12A. Tarjeta PCI de 12 contadores 16 bits 16 DI y 16 DO
- Tarjeta PCI-1800L/S. Entradas analógicas 16 simples o 8 diferenciales, E/S digital 16 canales E TTL y 16 canales S TTL, 2 canales de salidas analógicas

7.2 – Data-Sheet Codificador DRS-61

Incremental Encoder DRS60/DRS61, servo flange

**Number of lines
1 up to 8,192**

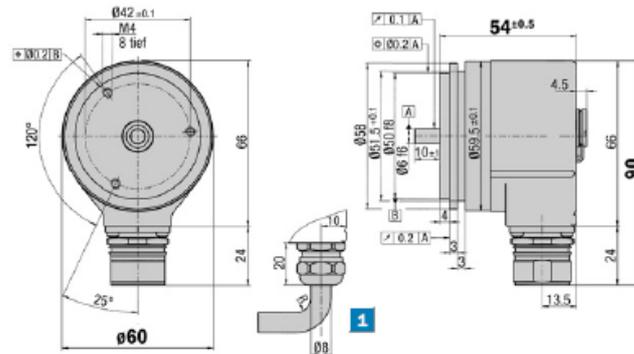
Incremental Encoder

- Connector or cable outlet
- Protection class up to IP 66
- Electrical interfaces TTL and HTL
- Zero-Pulse-Teach via pressing a button
- DRS61: number of lines and zero pulse width can be freely programmed by the customer



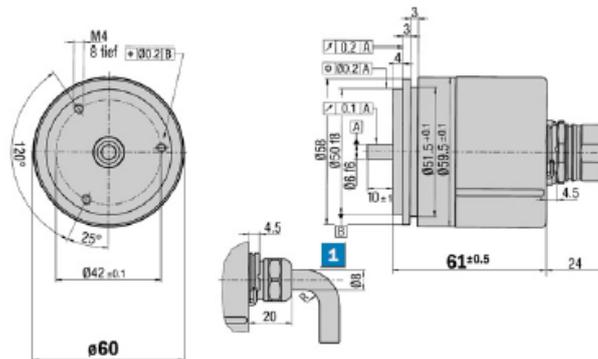
Accessories
Connection systems
Mounting systems
Programming Tool

Dimensional drawing servo flange radial



1 R = bending radius min. 40 mm General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

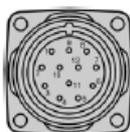
Dimensional drawing servo flange axial



1 R = bending radius min. 40 mm General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

PIN and wire allocation/cable 11 core

PIN	Signal	Wire colour (Cable outlet)	Explanation
1	\bar{B}	black	Signal line
2	Sense +	grey	Connected internally to U_s
3	Z	lilac	Signal line
4	\bar{Z}	yellow	Signal line
5	A	white	Signal line
6	A	brown	Signal line
7	N. C.	orange	Not connected
8	B	pink	Signal line
9	Screen		Housing potential
10	GND	blue	Zero volt connected to the encoder
11	Sense -	green	Connected internally to GND
12	U_s	red	Supply voltage ¹⁾



View of the connector M23 fitted to the encoder body

¹⁾ Potential free to housing
N. C. =
Not connected

Technical Data acc. to DIN 32878		DRS60/DRS61 servo flange		Flange type								
				servo								
Solid shaft	6 mm											
Number of lines per revolution	00001 up to 08192, see order info											
Electrical Interface	TTL/RS 422, 6-channel											
	HTL/push-pull, 6-channel											
Mass ⁴⁾	Approx. 0.3 kg											
Moment of inertia of the rotor	48 gcm ²											
Measuring step	90°/number of lines											
Reference signal												
Number	1											
Position ²⁾	90° or 180°											
Error limits												
binary number of lines	0.035°											
non-binary number of lines	0.046°											
Measuring step deviation												
binary number of lines	0.005°											
non-binary number of lines	0.016°											
Max. output frequency												
TTL	820 kHz											
HTL	200 kHz											
Operating torque max.												
with shaft seal	6,000 min ⁻¹											
without shaft seal ³⁾	10,000 min ⁻¹											
Max. angular acceleration	5 x 10 ⁵ rad/s ²											
Operating torque	Typ. 0.2 Ncm											
Start up torque	Typ. 0.25 Ncm											
Permissible shaft loading												
radial	20 N											
axial	10 N											
Bearing lifetime	3.6 x 10 ⁹ revolutions											
Working temperature range	- 20 ... + 85 °C											
Storage temperature range	- 40 ... + 100 °C											
Permissible relative humidity ⁴⁾	90 %											
EMC ⁵⁾												
Resistance												
to shocks ⁶⁾	50/11 g/ms											
to vibration ⁷⁾	20/10 ... 2000 g/Hz											
Protection class IEC 60529												
Connector outlet ⁸⁾	IP 65											
Cable outlet	IP 66											
Operating voltage range												
Load current TTL/RS 422, 4.5 ... 5.5 V	Max. 20 mA											
TTL/RS 422, 10 ... 32 V	Max. 20 mA											
HTL/push-pull, 10 ... 32 V	Max. 60 mA											
No-load operating current												
at 10 ... 32 V	Typ. 100 mA											
at 5 V	Typ. 120 mA											
Operation of zero-set ⁹⁾	≥ 100 ms											
Initialisation time after power on	40 ms											

²⁾ Concerning encoder with connector
³⁾ Electrical, logically linked to A and B
⁴⁾ In case, that shaft seal has been removed by customer

⁴⁾ Condensation of the optical scanning not permitted
⁵⁾ To DIN EN 61000-6-2 and DIN EN 61000-6-3

⁶⁾ To DIN EN 60068-2-27
⁷⁾ To DIN EN 60068-2-6
⁸⁾ With mating connector fitted
⁹⁾ Only with shaft stationary

Incremental Encoder DRS60/DRS61, servo flange

Number of lines
1 up to 8,192

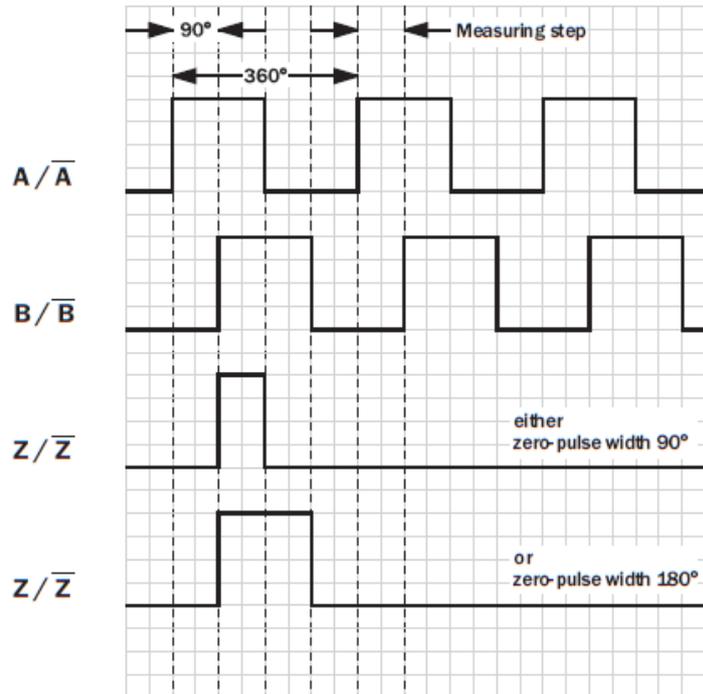
Incremental Encoder

- Connector or cable outlet
- Protection class up to IP 66
- Electrical interfaces
TTL and HTL
- Zero-Pulse-Teach via
pressing a button
- DRS61: number of lines and
zero pulse width can be freely
programmed by the customer



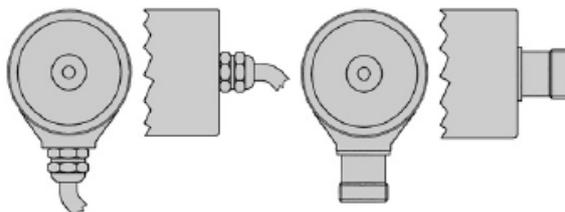
Accessories
Connection systems
Mounting systems
Programming Tool

Incremental pulse diagram



Electrical interface			
Supply voltage	4.5 ... 5.5 V	10 ... 32 V	10 ... 32 V
Interfaces/drivers	TTL (RS 422)	TTL (RS 422)	HTL (push-pull)

Connection type			
Cable radial	Cable axial	Connector radial	Connector axial



Order information

Incremental Encoder DRS60, servo flange, solid shaft

Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14
D	R	S	6	0	-		1						

Electrical interface	Mechanical interface	Connection type	Number of lines
4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 Zero-pulse width 90° = A	Servo flange, solid shaft 6 mm = 1	Connector M23, 12 pin, radial = A	Each number of lines from 00001 up to 08192 possible. Always 5 characters in clear text.
4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 Zero-pulse width 180° = B		Connector M23, 12 pin, axial = B	
10 ... 32 V, TTL/RS 422 Zero-pulse width 90° = C		Cable 11 core, radial 1.5 m = K	
10 ... 32 V, TTL/RS 422 Zero-pulse width 180° = D		Cable 11 core, radial 3 m = L	
10 ... 32 V, HTL/push-pull Zero-pulse width 90° = E		Cable 11 core, radial 5 m = M	
10 ... 32 V, HTL/push-pull Zero-pulse width 180° = F		Cable 11 core, radial 10 m = N	
		Cable 11 core, axial 1.5 m = R	
		Cable 11 core, axial 3 m = S	
		Cable 11 core, axial 5 m = T	
		Cable 11 core, axial 10 m = U	

Order example Incremental Encoder DRS60

4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 zero-pulse width 90°; servo flange; connector M23, 12 pin, radial; number of lines: 360

Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14
D	R	S	6	0	-	A	1	A	0	0	3	6	0



Incremental Encoder DRS61, servo flange, solid shaft (number of lines and zero pulse width can be freely programmed by the customer) 1

Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14
D	R	S	6	1	-		1		0	8	1	9	2

Electrical interface	Mechanical interface	Connection type	Number of lines
4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 = A	Servo flange, solid shaft 6 mm = 1	Connector M23, 12 pin, radial = A	Factory-programmed to 8,192.
10 ... 32 V, TTL/RS 422 = C		Connector M23, 12 pin, axial = B	
10 ... 32 V, HTL/push-pull = E		Cable 11 core, radial 1.5 m = K	
		Cable 11 core, axial 1.5 m = R	

Order example Incremental Encoder DRS61

4.5 ... 5.5 Volt, TTL/RS 422; servo flange; connector M23, 12 pin, radial; number of lines: 8,192 (factory-programmed)

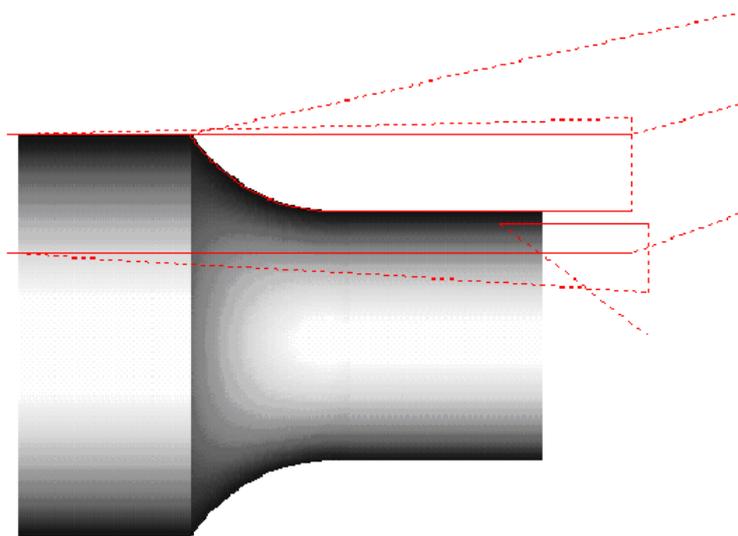
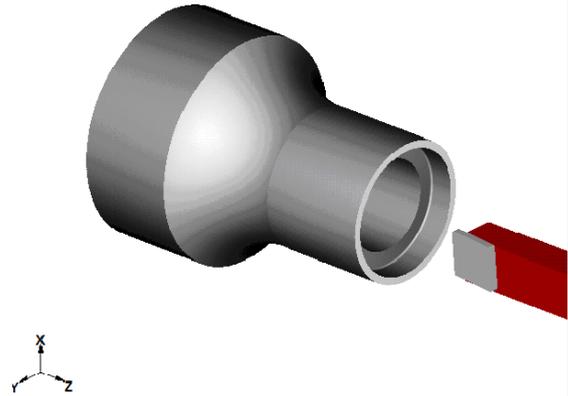
Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14
D	R	S	6	1	-	A	1	A	0	8	1	9	2

1 Please order programming tool separately (see accessories page 18)

7.4 – Códigos CNC y planos de mecanizado

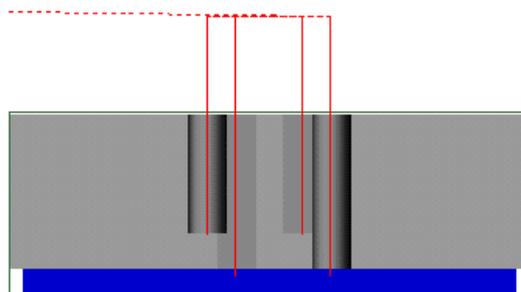
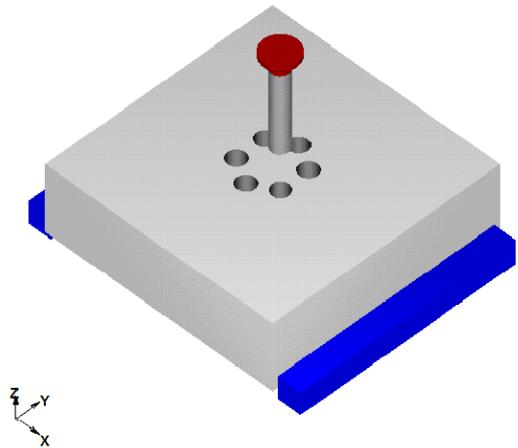
1) Mecanizado de soporte de nylon mediante torno

```
N010 G54 X0 Z0
N020 G54
N030 G95 F0.04 S1000 T1.1 M4
N040 G0 X46 Z70
N050 G1 Z-1
N060 M9
N070 G0 X50 Z70
N080 G0 X28.794
N090 G1 Z37.542
N100 G2 X46 Z19.554 R20 F0.04
N110 M9
N120 G54
N130 G95 F0.04 S800 T2.2 M4
N140 G0 X18.862 Z70
N150 G1 Z-1
N160 G0 X10 Z72
N170 G0 X25.794
N180 G1 Z54.975
N190 G0 X0 Z72
N200 M9
N210 M0
```



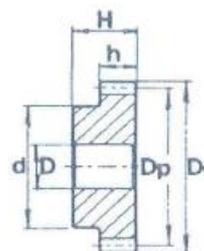
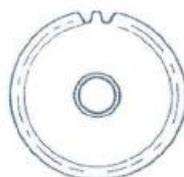
2) Mecanizado de soporte de nylon mediante fresadora

```
N010 G53 X-100 Y-100 Z-102
N020 G53
N030 G95 F0.04 S1000 T9.9 M4
N040 M06
N050 G0 X0 Y-23.666 Z100
N060 G1 Z0
N070 G0 Z100
N080 G0 X-19.535 Y12.361 Z100
N090 G1 Z0
N100 G0 Z100
N110 G0 X19.535 Y12.361 Z100
N120 G1 Z0
N130 G0 Z100
N140 G0 X0 Y23.666 Z100
N150 G1 Z15.336
N160 G0 Z100
N170 G0 X-19.535 Y-12.361 Z100
N180 G1 Z15.336
N190 G0 Z100
N200 G0 X19.535 Y-12.361 Z100
N210 G1 Z15.336
N220 G0 Z100
N230 M30
```



7.5 – Catálogo de piñón y rueda

PIÑONES MODULO CON CUBO
ROUES CYLINDRIQUES AVEC MOYEU
SPUR GEARS WITH HUB



Ancho de diente "h":
 1 = 15 mm
 1,5 = 17 mm
 2 = 20 mm
 2,5 = 25 mm
 3 = 30 mm
 4 = 40 mm
 5 = 50 mm
 6 = 60 mm

Ancho total "H" para:
 1 = 25 mm
 1,5 = 30 mm
 2 = 35 mm
 2,5 = 40 mm
 3 = 50 mm
 4 = 60 mm
 5 = 75 mm
 6 = 80 mm

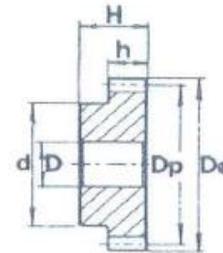
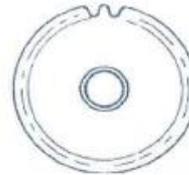
Z	Mod. 1					Mod. 1,5					Mod. 2					Mod. 2,5				
	Cod.	De	Dp	d	D	Cod.	De	Dp	d	D	Cod.	De	Dp	d	D	Cod.	De	Dp	d	D
12	PM 26012	14	12	9	4	PM 27012	21,0	18,0	14	8	PM 28012	28	24	18	10	PM 29012	35	30	22	10
13	PM 26013	15	13	10	4	PM 27013	22,5	19,5	15	8	PM 28013	30	26	20	10	PM 29013	37,5	32,5	25	10
14	PM 26014	16	14	11	4	PM 27014	24,0	21,0	17	8	PM 28014	32	28	22	10	PM 29014	40	35	28	10
15	PM 26015	17	15	12	4	PM 27015	25,5	22,5	18	8	PM 28015	34	30	24	10	PM 29015	42,5	37,5	30	10
16	PM 26016	18	16	13	4	PM 27016	27,0	24,0	20	8	PM 28016	36	32	25	10	PM 29016	45	40	32	12
17	PM 26017	19	17	14	8	PM 27017	28,5	25,5	20	8	PM 28017	38	34	25	10	PM 29017	47,5	42,5	35	12
18	PM 26018	20	18	15	8	PM 27018	30,0	27,0	20	8	PM 28018	40	36	25	10	PM 29018	50	45	35	12
19	PM 26019	21	19	15	8	PM 27019	31,5	28,5	20	8	PM 28019	42	38	25	10	PM 29019	52,5	47,5	35	12
20	PM 26020	22	20	16	8	PM 27020	33,0	30,0	25	8	PM 28020	44	40	30	10	PM 29020	55	50	40	14
21	PM 26021	23	21	16	8	PM 27021	34,5	31,5	25	10	PM 28021	46	42	30	12	PM 29021	57,5	52,5	40	14
22	PM 26022	24	22	18	8	PM 27022	36,0	33,0	25	10	PM 28022	48	44	30	12	PM 29022	60	55	40	14
23	PM 26023	25	23	18	8	PM 27023	37,5	34,5	25	10	PM 28023	50	46	30	12	PM 29023	62,5	57,5	45	14
24	PM 26024	26	24	20	10	PM 27024	39,0	36,0	25	10	PM 28024	52	48	35	12	PM 29024	65	60	45	14
25	PM 26025	27	25	20	10	PM 27025	40,5	37,5	25	10	PM 28025	54	50	35	12	PM 29025	67,5	62,5	45	14
26	PM 26026	28	26	20	10	PM 27026	42,0	39,0	30	12	PM 28026	56	52	40	12	PM 29026	70	65	50	14
27	PM 26027	29	27	20	10	PM 27027	43,5	40,5	30	12	PM 28027	58	54	40	12	PM 29027	72,5	67,5	50	14
28	PM 26028	30	28	20	10	PM 27028	45,0	42,0	30	12	PM 28028	60	56	40	12	PM 29028	75	70	50	14
29	PM 26029	31	29	20	10	PM 27029	46,5	43,5	30	12	PM 28029	62	58	40	14	PM 29029	77,5	72,5	50	14
30	PM 26030	32	30	20	10	PM 27030	48,0	45,0	30	12	PM 28030	64	60	40	14	PM 29030	80	75	55	14
31	PM 26031	33	31	25	10	PM 27031	49,5	46,5	35	12	PM 28031	66	62	45	14	PM 29031	82,5	77,5	55	16
32	PM 26032	34	32	25	10	PM 27032	51,0	48,0	35	12	PM 28032	68	64	45	14	PM 29032	85	80	55	16
33	PM 26033	35	33	25	10	PM 27033	52,5	49,5	35	12	PM 28033	70	66	45	14	PM 29033	87,5	82,5	55	16
34	PM 26034	36	34	25	10	PM 27034	54,0	51,0	35	12	PM 28034	72	68	45	14	PM 29034	90	85	55	16
35	PM 26035	37	35	25	10	PM 27035	55,5	52,5	35	12	PM 28035	74	70	45	14	PM 29035	92,5	87,5	60	16
36	PM 26036	38	36	25	10	PM 27036	57,0	54,0	35	12	PM 28036	76	72	45	14	PM 29036	95	90	60	16
37	PM 26037	39	37	25	10	PM 27037	58,5	55,5	40	12	PM 28037	78	74	50	14	PM 29037	97,5	92,5	60	16
38	PM 26038	40	38	25	10	PM 27038	60,0	57,0	40	12	PM 28038	80	76	50	14	PM 29038	100	95	60	16
39	PM 26039	41	39	25	10	PM 27039	61,5	58,5	40	12	PM 28039	82	78	50	14	PM 29039	102,5	97,5	60	16
40	PM 26040	42	40	25	10	PM 27040	63,0	60,0	40	12	PM 28040	84	80	50	14	PM 29040	105	100	70	16
41	PM 26041	43	41	30	10	PM 27041	64,5	61,5	40	12	PM 28041	86	82	55	16	PM 29041	107,5	102,5	70	16
42	PM 26042	44	42	30	10	PM 27042	66,0	63,0	50	12	PM 28042	88	84	55	16	PM 29042	110	105	70	18
43	PM 26043	45	43	30	10	PM 27043	67,5	64,5	50	12	PM 28043	90	86	55	16	PM 29043	112,5	107,5	70	16
44	PM 26044	46	44	30	10	PM 27044	69,0	66,0	50	12	PM 28044	92	88	60	16	PM 29044	115	110	70	16
45	PM 26045	47	45	30	10	PM 27045	70,5	67,5	50	12	PM 28045	94	90	60	16	PM 29045	117,5	112,5	70	16
46	PM 26046	48	46	30	10	PM 27046	72,0	69,0	50	14	PM 28046	96	92	60	16	PM 29046	120	115	70	20
47	PM 26047	49	47	30	10	PM 27047	73,5	70,5	50	14	PM 28047	98	94	70	16	PM 29047	122,5	117,5	80	20
48	PM 26048	50	48	30	10	PM 27048	75,0	72,0	50	14	PM 28048	100	96	70	16	PM 29048	125	120	80	20
49	PM 26049	51	49	30	10	PM 27049	76,5	73,5	50	14	PM 28049	102	98	70	16	PM 29049	127,5	122,5	80	20
50	PM 26050	52	50	30	12	PM 27050	78,0	75,0	50	14	PM 28050	104	100	70	16	PM 29050	130	125	80	20
51	PM 26051	53	51	40	12	PM 27051	79,5	76,5	60	14	PM 28051	106	102	70	16	PM 29051	132,5	127,5	90	20
52	PM 26052	54	52	40	12	PM 27052	81,0	78,0	60	14	PM 28052	108	104	70	16	PM 29052	135	130	90	20
53	PM 26053	55	53	40	12	PM 27053	82,5	79,5	60	14	PM 28053	110	106	70	16	PM 29053	137,5	132,5	90	20
54	PM 26054	56	54	40	12	PM 27054	84,0	81,0	60	14	PM 28054	112	108	70	16	PM 29054	140	135	90	20
55	PM 26055	57	55	40	12	PM 27055	85,5	82,5	60	14	PM 28055	114	110	70	16	PM 29055	142,5	137,5	90	20
56	PM 26056	58	56	40	12	PM 27056	87,0	84,0	60	16	PM 28056	116	112	70	16	PM 29056	145	140	100	20
57	PM 26057	59	57	40	12	PM 27057	88,5	85,5	60	16	PM 28057	118	114	70	16	PM 29057	147,5	142,5	100	20
58	PM 26058	60	58	40	12	PM 27058	90,0	87,0	60	16	PM 28058	120	116	70	16	PM 29058	150	145	100	20
59	PM 26059	61	59	40	12	PM 27059	91,5	88,5	60	16	PM 28059	122	118	70	16	PM 29059	152,5	147,5	100	20
60	PM 26060	62	60	40	12	PM 27060	93,0	90,0	60	16	PM 28060	124	120	70	16	PM 29060	155	150	100	20

PIÑONES MODULO CON CUBO
ROUES CYLINDRIQUES AVEC MOYEU
SPUR GEARS WITH HUB



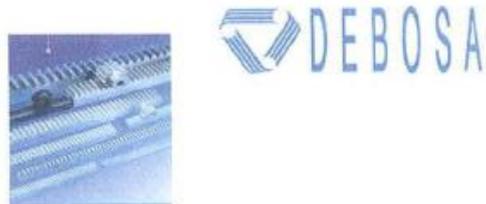
Ancho de diente "h" :
 1 = 15 mm
 1,5 = 17 mm
 2 = 20 mm
 2,5 = 25 mm
 3 = 30 mm
 4 = 40 mm
 5 = 50 mm
 6 = 60 mm

Ancho total "H" para:
 1 = 25 mm
 1,5 = 30 mm
 2 = 35 mm
 2,5 = 40 mm
 3 = 50 mm
 4 = 60 mm
 5 = 75 mm
 6 = 80 mm



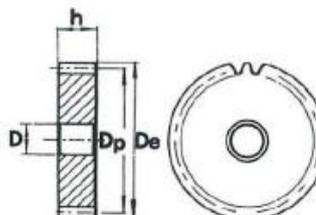
Z	Mod. 3					Mod. 4					Mod. 5					Mod. 6					
	Cod.	De	Dp	d	D	Cod.	De	Dp	d	D	Cod.	De	Dp	d	D	Cod.	De	Dp	d	D	
12	PM 30012	42	36	27	12	PM 31012	56	48	35	14	PM 32012	70	60	45	18	PM 34012	84	72	54	20	
13	PM 30013	45	39	25	12	PM 31013	60	52	40	14	PM 32013	75	65	50	16	PM 34013	90	78	60	20	
14	PM 30014	48	42	33	12	PM 31014	64	56	45	14	PM 32014	80	70	55	20						
15	PM 30015	51	45	35	12	PM 31015	68	60	45	14	PM 32015	85	75	60	20	PM 34015	102	90	70	20	
16	PM 30016	54	48	38	14	PM 31016	72	64	50	16	PM 32016	90	80	65	20	PM 34016	108	96	75	20	
17	PM 30017	57	51	42	14	PM 31017	76	68	50	16	PM 32017	95	85	70	20						
18	PM 30018	60	54	45	14	PM 31018	80	72	50	16	PM 32018	100	90	70	20	PM 34018	120	108	80	20	
19	PM 30019	63	57	45	14	PM 31019	84	76	60	16	PM 32019	105	95	70	20						
20	PM 30020	66	60	45	14	PM 31020	88	80	60	16	PM 32020	110	100	80	20	PM 34020	132	120	90	20	
21	PM 30021	69	63	45	16	PM 31021	92	84	70	16	PM 32021	115	105	80	20						
22	PM 30022	72	66	50	16	PM 31022	96	88	70	16	PM 32022	120	110	80	20						
23	PM 30023	75	69	50	16	PM 31023	100	92	75	20	PM 32023	125	115	90	20						
24	PM 30024	78	72	50	16	PM 31024	104	96	75	20	PM 32024	130	120	90	20	PM 34024	156	144	110	25	
25	PM 30025	81	75	60	16	PM 31025	108	100	75	20	PM 32025	135	125	90	20	PM 34025	162	150	110	25	
26	PM 30026	84	78	60	16	PM 31026	112	104	75	20	PM 32026	140	130	100	20						
27	PM 30027	87	81	60	16	PM 31027	116	108	75	20	PM 32027	145	135	100	20						
28	PM 30028	90	84	60	16	PM 31028	120	112	75	20	PM 32028	150	140	100	25						
29	PM 30029	93	87	60	16	PM 31029	124	116	75	20	PM 32029	155	145	100	25						
30	PM 30030	96	90	60	16	PM 31030	128	120	75	20	PM 32030	160	150	100	25						
31	PM 30031	99	93	60	16	PM 31031	132	124	80	20											
32	PM 30032	102	96	70	16	PM 31032	136	128	80	20											
33	PM 30033	105	99	70	16	PM 31033	140	132	80	20											
34	PM 30034	108	102	70	16	PM 31034	144	136	80	20											
35	PM 30035	111	105	70	16	PM 31035	148	140	80	20											
36	PM 30036	114	108	70	20	PM 31036	152	144	80	25											
37	PM 30037	117	111	70	20																
38	PM 30038	120	114	80	20																
39	PM 30039	123	117	80	20																
40	PM 30040	126	120	80	20																
41	PM 30041	129	123	80	20																
42	PM 30042	132	126	80	20																
43	PM 30043	135	129	80	20																
44	PM 30044	138	132	90	20																
45	PM 30045	141	135	90	20																
46	PM 30046	144	138	90	20																
47	PM 30047	147	141	90	20																
48	PM 30048	150	144	100	20																

RUEDA DENTADA CILINDRICA SIN CUBO
ROUES CYLINDRIQUES SANS MOYEU
SPUR GEARS WITHOUT HUB



Ancho de diente "h" para:

- 1 = 15 mm
- 1,5 = 17 mm
- 2 = 20 mm
- 2,5 = 25 mm
- 3 = 30 mm
- 4 = 40 mm
- 5 = 50 mm
- 6 = 60 mm



Z	Mod. 1				Mod. 1,5				Mod. 2				Mod. 2,5			
	Cod.	De	Dp	D	Cod.	De	Dp	D	Cod.	De	Dp	D	Cod.	De	Dp	D
65													CM 29065	167,5	162,5	20
70													CM 29070	180,0	175,0	20
72	CM 26072	74	72	12	CM 27072	110,0	108,0	16	CM 28072	148	144	16	CM 29072	185,0	180,0	20
75	CM 26075	77	75	12	CM 27075	115,5	112,5	16	CM 28075	154	150	20	CM 29075	192,5	187,5	20
76	CM 26076	78	76	12	CM 27076	117,0	114,0	16	CM 28076	156	152	20	CM 29076	195,0	190,0	20
80	CM 26080	82	80	12	CM 27080	123,0	120,0	16	CM 28080	164	160	20	CM 29080	205,0	200,0	25
85	CM 26085	87	85	12	CM 27085	130,5	127,5	16	CM 28085	174	170	20	CM 29085	217,5	212,5	25
90	CM 26090	92	90	12	CM 27090	138,0	135,0	16	CM 28090	184	180	20	CM 29090	230,0	225,0	25
85	CM 26095	97	95	12	CM 27095	145,5	142,5	16	CM 28095	194	190	20	CM 29095	242,5	237,5	25
100	CM 26100	102	100	12	CM 27100	153,0	150,0	16	CM 28100	204	200	20	CM 29100	255,0	250,0	25
110	CM 26110	112	110	12	CM 27110	168,0	165,0	16	CM 28110	224	220	20	CM 29110	280,0	275,0	25
114	CM 26114	116	114	12	CM 27114	174,0	171,0	16	CM 28114	232	228	20	CM 29114	290,0	285,0	25
120	CM 26120	122	120	12	CM 27120	183,0	180,0	16	CM 28120	244	240	20	CM 29120	305,0	300,0	25
127	CM 26127	129	127	12	CM 27127	193,5	190,5	16	CM 28127	258	254	20	CM 29127	322,5	317,5	25

Z	Mod. 3				Mod. 4				Mod. 5				Mod. 6			
	Cod.	De	Dp	D												
28													CM 34028	180	168	25
30													CM 34030	192	180	25
32									CM 32032	170	160	25	CM 34032	204	192	25
35									CM 32035	185	175	25	CM 34035	222	210	25
38					CM 31038	160	152	25	CM 32038	200	190	25	CM 34038	240	220	25
40					CM 31040	168	160	25	CM 32040	210	200	25	CM 34040	252	240	25
45					CM 31045	188	180	25	CM 32045	235	225	25				
48					CM 31048	200	192	25	CM 32048	250	240	25				
50	CM 30050	156	150	20	CM 31050	208	200	25	CM 32050	260	250	30				
52	CM 30052	162	156	20	CM 31052	216	208	25	CM 32052	270	260	30				
55	CM 30055	171	165	20	CM 31055	228	220	25	CM 32055	285	275	30				
57	CM 30057	177	171	20	CM 31057	236	228	25	CM 32057	295	285	30				
60	CM 30060	186	180	20	CM 31060	248	240	25	CM 32060	310	300	30				
65	CM 30065	201	195	20	CM 31065	268	260	25	CM 32065	335	325	30				
70	CM 30070	216	210	25	CM 31070	288	280	25	CM 32070	360	350	30				
72	CM 30072	222	216	25												
75	CM 30075	231	225	25	CM 31075	308	300	25	CM 31075	385	375	30				
76	CM 30076	234	228	25	CM 31076	312	304	25	CM 32076	390	380	30				
80	CM 30080	246	240	25	CM 31080	328	320	25	CM 32080	410	400	30				
85	CM 30085	261	255	25	CM 31085	348	340	25	CM 32085	435	425	30				
90	CM 30090	276	270	25	CM 31090	368	360	25	CM 32090	460	450	30				
95	CM 30095	291	285	25	CM 31095	388	380	25	CM 32095	485	475	30				
100	CM 30100	306	300	25	CM 31100	408	400	25	CM 32100	510	500	30				
110	CM 30110	336	330	25	CM 31110	448	440	25	CM 32110	560	550	30				
114	CM 30114	348	342	30	CM 31114	464	456	25	CM 32114	580	570	30				
120	CM 30120	366	360	30												
127	CM 30127	387	381	30												

7.6 – Catálogo de acoplamientos flexibles

Multi-Beam Six Beam Couplings

Stainless Non-Relieved Clamp Type



Typical Applications

- Stepper and servo drives
- Encoders
- General purpose light-duty power transmission

General Specifications

- Temperature range: -40 to +140 Degrees C.
- Standard speed rating: 5,000 rpm maximum.
- Standard fasteners are 100% metric.

Materials & Finishes

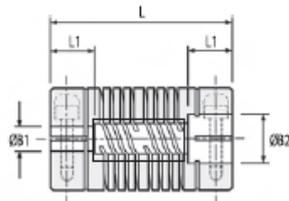
- Couplings: Stainless Steel 303 S31
- Fasteners: Stainless Steel

Options

- Available in set screw style, Coupling Type 702 (Ex: 702.51.4848)
- Keyways available in set screw style only. Consult Technical Support.
- High speed options available. Consult Technical Support.

Dimensions

Clamp Hubs



Coupling Type
703
6-Beam Non-Relieved

● = B1 only ● = B1 & B2

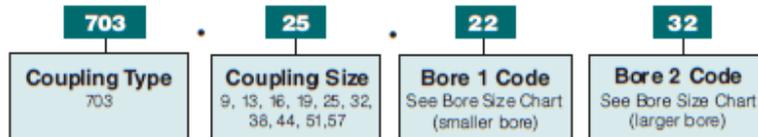
Sizes indicated in parenthesis are metric (mm).

Standard Bore Sizes / 6-Beam Non-Relieved (0.03 – 0.00mm)	
Bore Code	11 14 16 18 19 20 22 24 28 31 32 35 36 38 41 42 45 46 47 48 51 52 53 54 56
Bore Size	(2) (3) 1/8" (4) 3/16" (5) (6) 1/4" (8) 3/8" (10) (12) 1/2" (14) 5/8" (16) (18) (19) 3/4" (20) (24) (25) 1.00" (28) (30)
Coupling Size	
09	● ● ● ● ●
13	● ● ● ● ● ● ●
16	● ● ● ● ● ● ●
19	● ● ● ● ● ● ● ●
25	● ● ● ● ● ● ● ●
32	● ● ● ● ● ● ● ● ●
38	● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
44	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
51	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
57	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

Six Beam Couplings | Multi-Beam

Stainless Non-Relieved – Clamp Type

Ordering Number System for Multi-Beam Models Example: 703.25.2232



Order as one complete coupling part number with two bores. Include (.) in Part Number.

See page 5 for **keyworded** bores and more detailed ordering information.

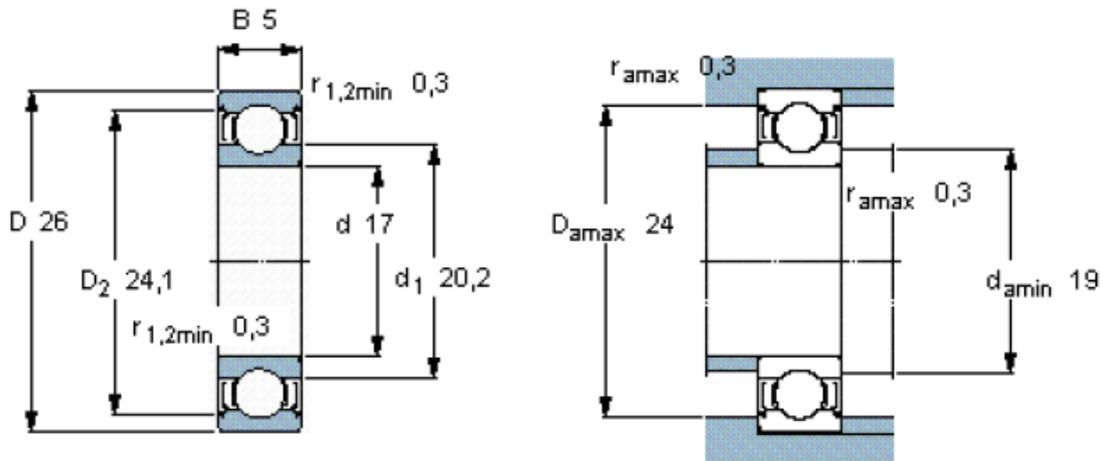
Specifications									Part Number Examples		
Coupling Type	Coupling Size	O.D. D in. (mm)	Length L in. (mm)	Hub L1 in. (mm)	Torque* Capacity lb.-in. (Nm)	Misalignment Capacity**			Bore		Part Number
						Angular Degree	Radial in. (mm)	Weight Lb (kg)	B1	B2	
703	09	.37 (9.5)	.77 (19.6)	.21 (5.3)	13.3 (1.5)	3	.005 (.12)	.015 (.007)	4mm 3/16	4mm 3/16	703.09.1515 703.09.1919
703	13	.50 (12.7)	1.00 (25.4)	.26 (6.5)	26.5 (3.0)	5	.007 (.17)	.036 (.016)	5mm	5mm	703.13.2020
									6mm	6mm	703.13.2222
									1/4	1/4	703.13.2424
703	16	.63 (15.9)	1.00 (25.4)	.26 (6.5)	44.3 (5.0)	5	.008 (.20)	.057 (.026)	6mm	6mm	703.16.2222
									6mm	8mm	703.16.2225
									8mm	8mm	703.16.2429
703	19	.75 (19.1)	1.10 (28.0)	.26 (6.5)	70.8 (8.0)	7	.010 (.25)	.090 (.041)	6mm	10mm	703.19.2222
									1/4	1/4	703.19.2424
									3/8	3/8	703.19.3131
703	25	1.00 (25.4)	1.50 (38.1)	.43 (11.0)	141.6 (16.0)	7	.015 (.38)	.227 (1.03)	5mm	5mm	703.25.2425
									5mm	10mm	703.25.2622
									1/4	3/8	703.25.2431
									1/4	1/2	703.25.2435
									3/8	3/8	703.25.3131
									10mm	10mm	703.25.3222
703	32	1.25 (31.8)	2.25 (57.2)	.63 (16.0)	221.3 (25.0)	7	.020 (.50)	.602 (.273)	10mm	10mm	703.32.3232
									12mm	12mm	703.32.3535
									3/8	1/2	703.32.3136
703	38	1.50 (38.1)	2.63 (66.7)	.71 (18.0)	318 (36.0)	7	.024 (.60)	.932 (.423)	1/2	1/2	703.38.3636
									1/2	5/8	703.38.3641
									13mm	13mm	703.38.3737
									14mm	14mm	703.38.3838
									5/8	5/8	703.38.4141
									16mm	16mm	703.38.4242
703	44	1.75 (44.5)	3.00 (76.2)	.79 (20.0)	425 (48.0)	7	.031 (.80)	1.477 (.670)	5/8	3/4	703.44.4147
									5/8	7/8	703.44.4150
									3/4	3/4	703.44.4747
									20mm	20mm	703.44.4949
703	51	2.00 (50.8)	3.75 (95.3)	.89 (22.5)	646 (73.0)	7	.035 (.90)	2.330 (1.057)	19mm	19mm	703.51.4545
									3/4	3/4	703.51.4747
									3/4	7/8	703.51.4750
									3/4	1	703.51.4753
									22mm	22mm	703.51.4949
									7/8	7/8	703.51.5050
									7/8	1	703.51.5053
									24mm	24mm	703.51.5151
									25mm	25mm	703.51.5252
									1	1	703.51.5353
703	57	2.25 (57.2)	5.12 (130.0)	1.26 (32.0)	903 (102)	7	.037 (.96)	4.048 (1.836)	30mm	30mm	703.57.5656
									1.125	1.125	703.57.5555

*Torque Capacity is the maximum continuous rated torque assuming no misalignment. See page 52 for Torque Capacity Service Factors.

**Maximum misalignment values are mutually exclusive.

7.7 – Características del rodamiento seleccionado

Rodamiento rígido de bolas, con hilera única (61803-2Z)



d	17 mm
D	26 mm
B	5 mm

Peso (m)	0.0082 kg
Capacidad de carga dinámica, radial (C)	1680 N
Capacidad de carga estática, radial (C ₀)	930 N
Velocidad límite	28000 rpm
Velocidad de referencia	56000 rpm
Carga límite de fatiga, radial (P _u)	39 N

Factores de cálculo	
k _r	0.015
f ₀	10

7.8 – Proceso de montaje

Orden	Proceso	Tiempo	Imagen
01	Inserción de corona alrededor del disco del buje	1 día, 40 min	
01.01	Calentamiento de la corona	40 min	
01.02	Enfriamiento	1 día	
02	Inserción de barra dentro del piñón (Conjunto 1)	1 min	
02.01	Aplicación de prisionero métrica 3 en el cubo del piñón	5 min	
02.02	Engrase de la barra previo a su inserción	20 s	
03	Inserción del rodamiento en el soporte (Conjunto 2)	5 s	
04	Ensamblaje de los conjuntos 1 y 2	5 s	
04.01	Engrase interior del rodamiento previo a la inserción de ambos conjuntos	20 s	

Orden	Proceso	Tiempo	Imagen
05	Montaje de acoplamiento flexible en el eje del codificador	1 min, 20 s	
06	Atornillado del Encoder y disco de porexpán al soporte metálico	2 min	
07	Atornillado del ensamblaje al soporte metálico	2 min	
08	Atornillado de todo el conjunto ensamblado al eje de la rueda	4 min	
09	Introducción del disco de buje y corona sobre los frenos	1 min, 50 s	

7.9 – Tablas utilizadas para el cálculo de tolerancias

grupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
diámetros (mm)	17	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
	<d <= 3	<d <= 6	<d <= 10	<d <= 18	<d <= 30	<d <= 50	<d <= 80	<d <= 120	<d <= 180	<d <= 250	<d <= 315	<d <= 400	<d <= 500

Tabla 7.7.1: Grupos de diámetros dimensionales

Grupos de diámetros (mm.)	CALIDADES																	
	II 01	II 0	II 1	II 2	II 3	II 4	II 5	II 6	II 7	II 8	II 9	II 10	II 11	II 12	II 13	II 14	II 15	II 16
d ≤ 3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 < d ≤ 6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 < d ≤ 10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10 < d ≤ 18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18 < d ≤ 30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30 < d ≤ 50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50 < d ≤ 80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80 < d ≤ 120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120 < d ≤ 180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180 < d ≤ 250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250 < d ≤ 315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315 < d ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400 < d ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultraprecisión		Calibre y piezas de gran precisión				Piezas o elementos destinados a ajustar						Piezas o elementos que no han de ajustar					

Tabla 7.7.2: Calidad de tolerancia para cada grupo de diámetros (expresado en micras)

Simbolo	Posición	a *	b *	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js**	i	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc															
	Calidad	Todos las calidades													Todos las calidades																													
Diferencia fundamental	Diferencia superior ds													Diferencia inferior di																														
	< 3	> 3 a 6	> 6 a 10	> 10 a 14	> 14 a 18	> 18 a 24	> 24 a 30	> 30 a 40	> 40 a 50	> 50 a 65	> 65 a 80	> 80 a 100	> 100 a 120	> 120 a 140	> 140 a 160	> 160 a 180	> 180 a 200	> 200 a 225	> 225 a 250	> 250 a 280	> 280 a 315	> 315 a 355	> 355 a 400	> 400 a 450	> 450 a 500																			
	-270	-140	-80	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60														
	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-1	0	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80															
	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-1	0	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97															
	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0	-3	-6	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130															
	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-4	-8	-2	0	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	-	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188														
	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	-5	-10	-2	0	+9	+17	+26	+34	+43	-	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274														
	-320	-180	-130	-	-90	-60	-	-30	-	-10	0	-7	-12	-2	0	+11	+20	+32	+41	+53	-	+58	+72	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405													
	-340	-190	-140	-	-100	-70	-	-30	-	-10	0	-7	-12	-2	0	+11	+20	+32	+43	+59	-	+75	+107	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480														
	-380	-220	-170	-	-120	-77	-	-36	-	-12	0	-9	-15	-3	0	+13	+23	+37	+51	+71	-	+91	+124	+146	+178	+214	+298	+335	+445	+585														
	-410	-240	-180	-	-120	-77	-	-36	-	-12	0	-9	-15	-3	0	+13	+23	+37	+54	+79	-	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690														
	-460	-260	-200	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-11	-18	-3	0	+15	+27	+43	+65	+92	-	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800														
	-520	-280	-210	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-11	-18	-3	0	+15	+27	+43	+65	+100	-	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900														
	-580	-310	-230	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-4	0	+17	+31	+50	+77	+127	-	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150														
	-660	-340	-240	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-4	0	+17	+31	+50	+80	+130	-	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250														
	-740	-380	-260	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-16	-26	-4	0	+20	+34	+56	+84	+140	-	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350														
	-820	-420	-280	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-16	-26	-4	0	+20	+34	+56	+94	+158	-	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550														
	-1050	-540	-330	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0	-18	-28	-4	0	+21	+37	+62	+108	+190	-	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900														
	-1200	-600	-360	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0	-18	-28	-4	0	+21	+37	+62	+114	+208	-	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100														
	-1500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-5	0	+23	+40	+68	+126	+232	-	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400														
	-1650	-840	-480	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-5	0	+23	+40	+68	+132	+252	-	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600														

Tabla 7.7.3: Tolerancias fundamentales en ejes (expresadas en micras)

Estudio sobre instalación, montaje y funcionamiento de un codificador para determinar posición y velocidad de un vehículo eléctrico

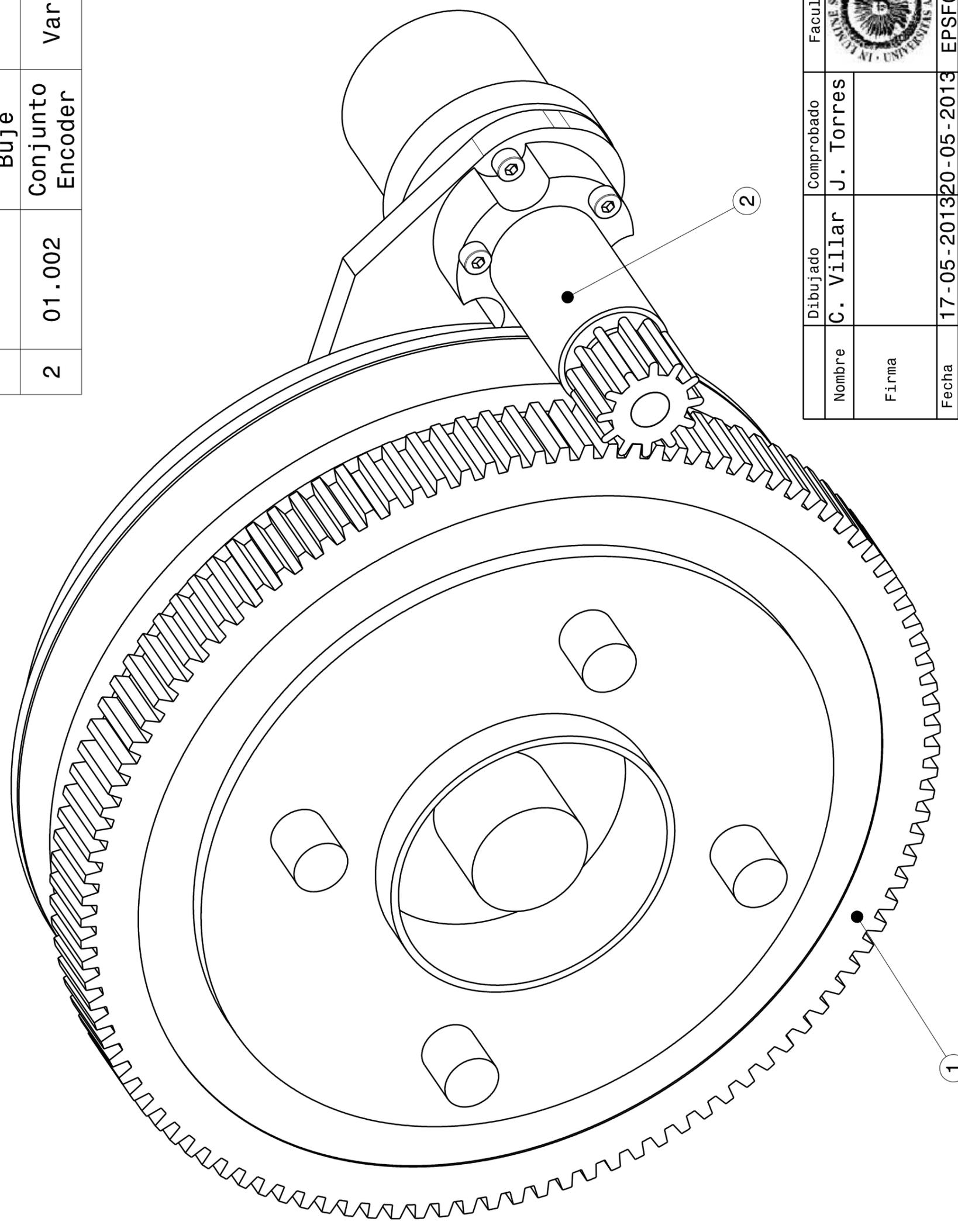
Símbolo	Posición	A*	B*	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J ₁ #**	J				K				M				N				P								
	Calidad	Todas las calidades												6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8						
Grupos de diámetros (mm)	Diferencia fundamental	Diferencia inferior Di												Diferencia superior Ds																								
	≤ 3	+ 270	+ 140	+ 60	+34	+ 20	+ 14	+10	+ 0	+ 4	+ 2	0			+ 2	+ 4	+ 6	0	0	0	0	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4	- 4
	> 3 a 6	+ 270	+ 140	+ 70	+46	+ 30	+ 20	+14	+10	+ 6	+ 4	0			+ 5	+ 6	+10	0	+ 2	+ 3	+ 5	- 3	- 1	0	+ 2	- 4	- 7	- 5	- 4	- 2	0	-11	- 9	- 8	-12	-12	-12	
	> 6 a 10	+ 280	+ 150	+ 80	+56	+ 40	+ 25	+18	+13	+ 8	+ 5	0			+ 5	+ 8	+12	+ 1	+ 2	+ 5	+ 6	- 4	- 3	0	+ 1	- 6	- 8	- 7	- 4	- 3	0	-13	-12	- 9	-15	-15	-15	
	> 10 a 18	+ 290	+ 150	+ 95	-	+ 50	+ 22	-	+16	-	+ 6	0			+ 6	+10	+15	+ 2	+ 2	+ 6	+ 8	- 4	- 4	0	+ 2	- 7	- 9	- 9	- 5	- 3	0	-15	-15	-11	-18	-18	-18	
	> 18 a 30	+ 300	+ 160	+110	-	+ 65	+ 40	-	+20	-	+ 7	0			+ 8	+12	+20	+ 1	+ 2	+ 6	+10	- 5	- 4	0	+ 4	- 8	-12	-11	- 7	- 3	0	-19	-18	-14	-22	-22	-22	
	> 30 a 40	+ 310	+ 170	+120	-	+ 80	+ 50	-	+25	-	+ 9	0			+10	+14	+24	+ 2	+ 3	+ 7	+12	- 5	- 4	0	+ 5	- 9	-13	-12	- 8	- 3	0	-22	-21	-17	-26	-26		
	> 40 a 50	+ 320	+ 180	+130	-	+ 100	+ 60	-	+30	-	+10	0			+13	+18	+28	+ 3	+ 4	+ 9	+14	- 6	- 5	0	+ 5	-11	-15	-14	- 9	- 4	0	-27	-26	-21	-32	-32		
	> 50 a 65	+ 340	+ 190	+140	-	+ 120	+ 72	-	+36	-	+12	0			+16	+22	+34	+ 4	+ 4	+10	+16	- 8	- 6	0	+ 6	-13	-18	-16	-10	- 4	0	-32	-30	-24	-37	-37		
	> 65 a 80	+ 360	+ 200	+150	-	+ 145	+ 85	-	+43	-	+14	0			+18	+26	+41	+ 5	+ 4	+12	+20	- 9	- 8	0	+ 8	-15	-21	-20	-12	- 4	0	-37	-36	-28	-43	-43		
	> 80 a 100	+ 380	+ 220	+170	-	+ 170	+ 100	-	+50	-	+15	0			+22	+30	+47	+ 6	+ 5	+13	+22	-11	- 8	0	+ 9	-17	-25	-22	-14	- 5	0	-44	-41	-33	-50	-50		
	> 100 a 120	+ 410	+ 240	+180	-	+ 190	+ 110	-	+56	-	+17	0			+25	+36	+55	+ 7	+ 5	+16	+25	-13	- 9	0	+ 9	-20	-27	-25	-14	- 5	0	-49	-47	-36	-56	-56		
	> 120 a 140	+ 460	+ 260	+200	-	+ 210	+ 125	-	+62	-	+18	0			+29	+39	+60	+ 8	+ 7	+17	+28	-14	-10	0	+11	-21	-30	-26	-16	- 5	0	-55	-51	-41	-62	-62		
	> 140 a 160	+ 520	+ 280	+210	-	+ 230	+ 135	-	+68	-	+20	0			+33	+43	+66	+ 9	+ 8	+18	+29	-16	-10	0	+11	-23	-33	-27	-17	- 6	0	-61	-55	-45	-68	-68		
	> 160 a 180	+ 580	+ 310	+230	-																																	
	> 180 a 200	+ 660	+ 340	+240	-																																	
	> 200 a 225	+ 740	+ 380	+260	-																																	
	> 225 a 250	+ 820	+ 420	+280	-																																	
	> 250 a 280	+ 920	+ 480	+300	-																																	
	> 280 a 315	+1050	+ 540	+330	-																																	
> 315 a 355	+1200	+ 600	+360	-																																		
> 355 a 400	+1350	+ 680	+400	-																																		
> 400 a 450	+1500	+ 760	+440	-																																		
> 450 a 500	+1650	+ 840	+480	-																																		

Tabla 7.7.4: Tolerancias fundamentales en agujeros (expresadas en micras)

8.

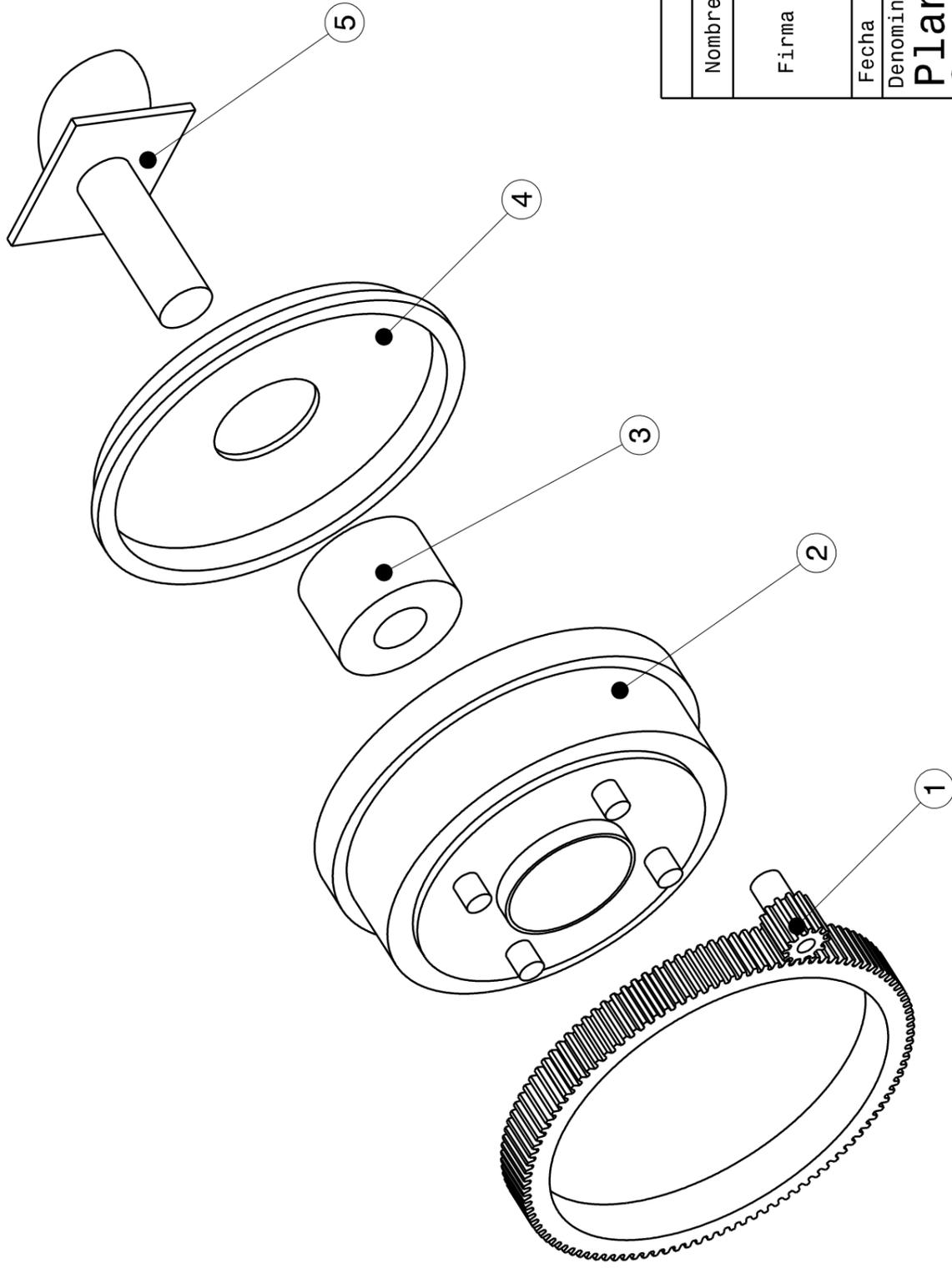
Planos

Nº	Código Pieza	Nombre	Material	Observaciones
1	01.001	Conjunto Buje	Varios	
2	01.002	Conjunto Encoder	Varios	



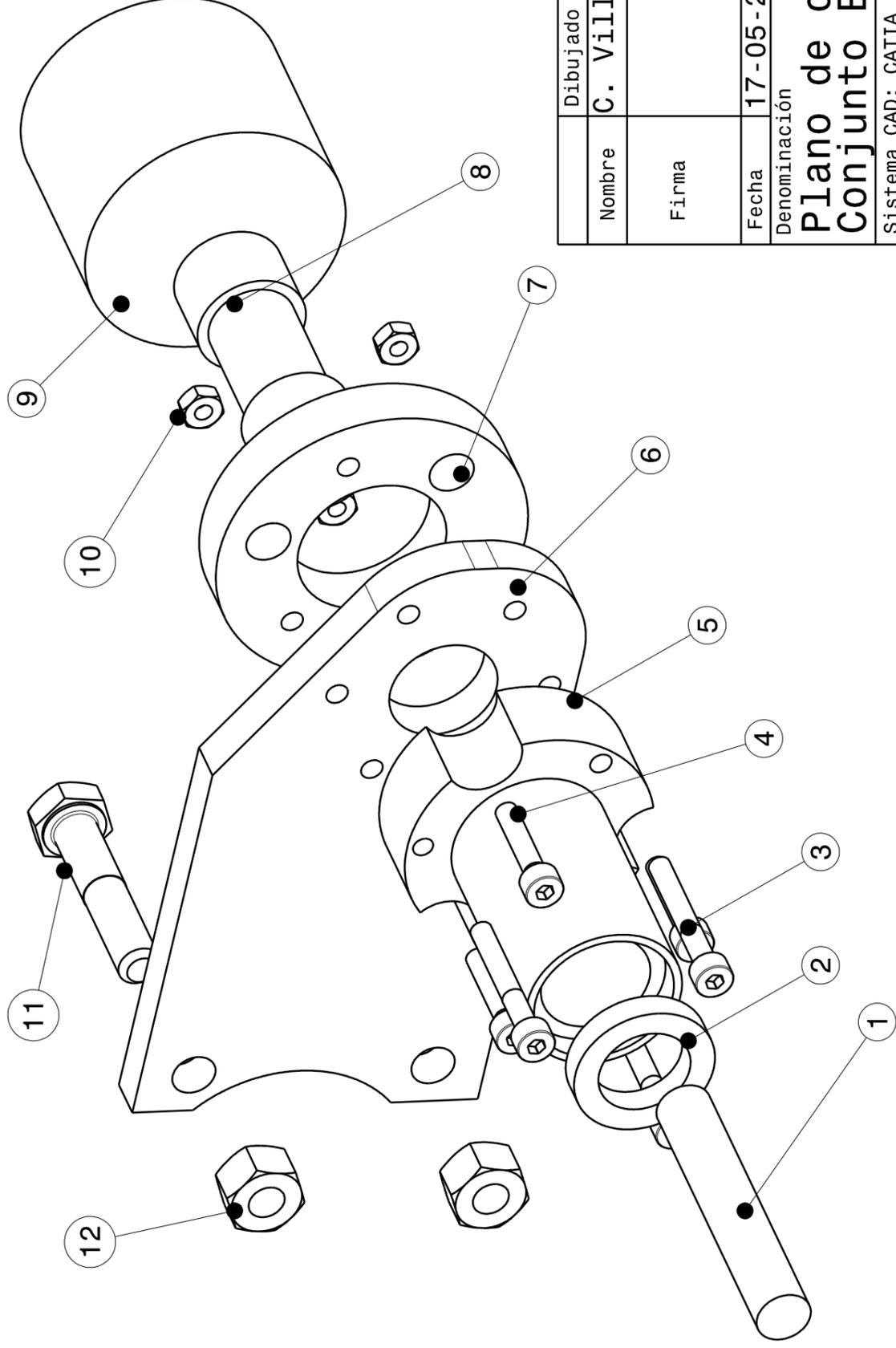
Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
C. Villar	J. Torres		Varios	Varios
Firma				
Fecha	17-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 00	Ref. Similar:
Denominación	Plano de conjunto			
Sistema CAD: CATIA	Formato plano: DIN-A3	Pieza Nº:	00.001	Escala: 1/1
Productos: VEHICULO ELECT	Universidad de Almería	Edición I		Hoja 1 de 13

Nº	Código pieza	Nombre	Material	Observaciones
1	02.001	Engranaje	Acero aleado	
2	02.002	Disco del buje	Acero al carbono	Incluye tambor de freno en su interior
3		Ensamblaje	Acero aleado	Dimensiones Espesor: 45mm Di:30mm De:70mm
4	02.003	Disco fijo	Acero al carbono	
5	02.004	Eje del buje	Acero al carbono	

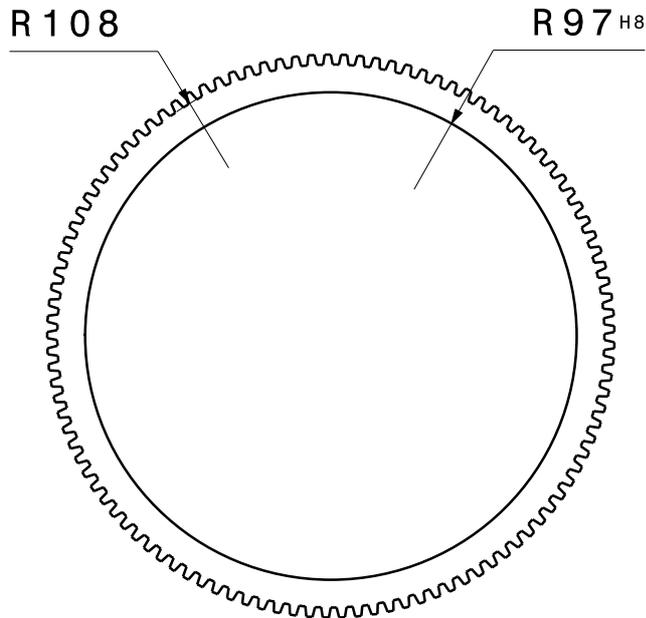


Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
C. Villar	J. Torres		Varios	Varios
Fecha	17-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 01	Ref. Similar:
Denominación	Plano de despiece del Conjunto Buje			
Sistema CAD: CATIA	Formato plano: DIN-A3	Pieza Nº:	Sustituye al:	
Productos: VEHICULO ELECT	Universidad de Almería	01.001	Escala: 1/3	
			Edición I	
			Hoja 2 de 13	

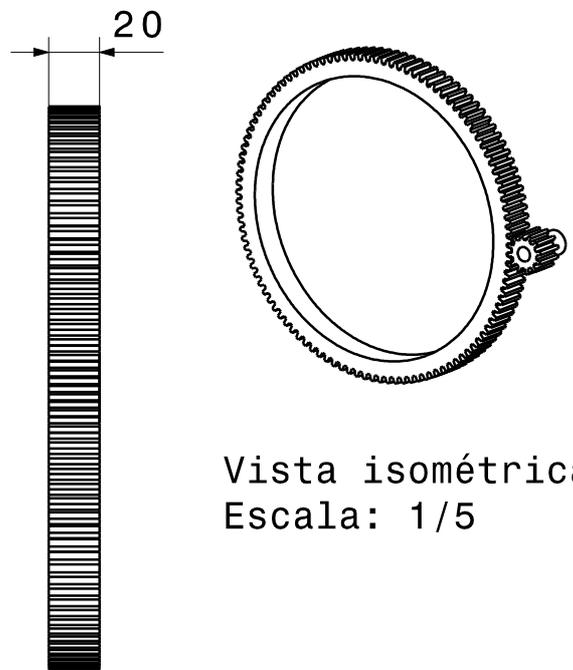
Nº	Código pieza	Nombre	Material	Observaciones	Nº	Código pieza	Nombre	Material	Observaciones
1		Barra	Acero aleado	Dimensiones Largo: 80mm D: 10mm	7	03.004	Disco separador	Porexpan	
2	03.001	Rodamiento	Varios	Diseñado por el fabricante	8	03.005	Acoplamiento flexible	Acero aleado	Diseñado por el fabricante
3		Tornillo M4X30	Acero aleado	Cantidad: 3	9	03.006	Codificador	Varios	Diseñado por el fabricante
4		Tornillo M4X20	Acero aleado	Cantidad: 3	10		Rosca M4	Acero aleado	Cantidad: 3
5	03.002	SopORTE	Poliamida 6		11		Tornillo M8X35	Acero aleado	Cantidad: 2
6	03.003	Placa	Compuesto Fe + Zn		12		Rosca M8	Acero aleado	Cantidad: 2



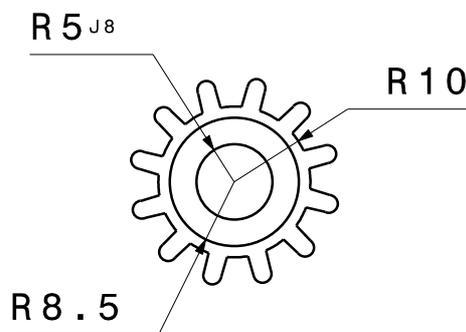
Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
C. Villar	J. Torres		Varios	Varios
Fecha	17-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 01	Ref. Similar:
Denominación	Plano de despiece del Conjunto Encoder			Sustituye al:
Sistema CAD: CATIA	Formato plano: DIN-A3	Pieza Nº:	01.002	Escala: 1/1
Productos: VEHICULO ELECT	Universidad de Almería	Edición I		
Hoja 3 de 13				



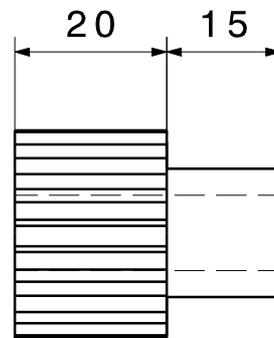
Corona
Escala: 1/3



Vista isométrica
Escala: 1/5



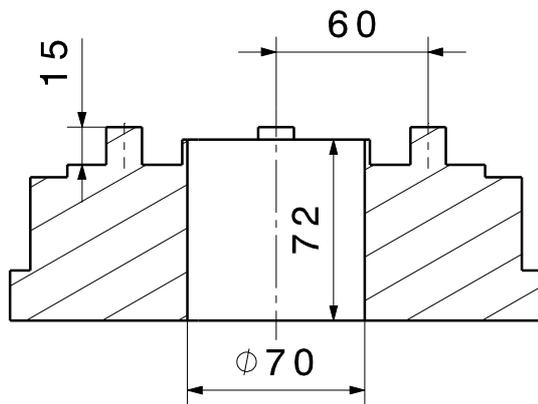
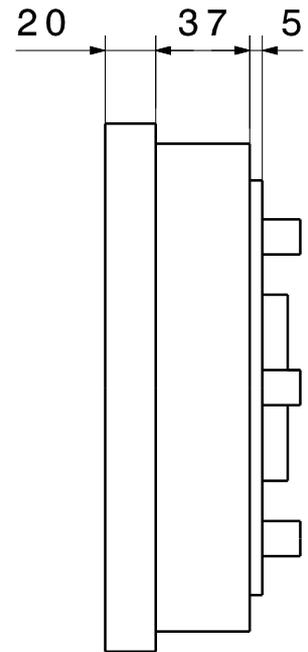
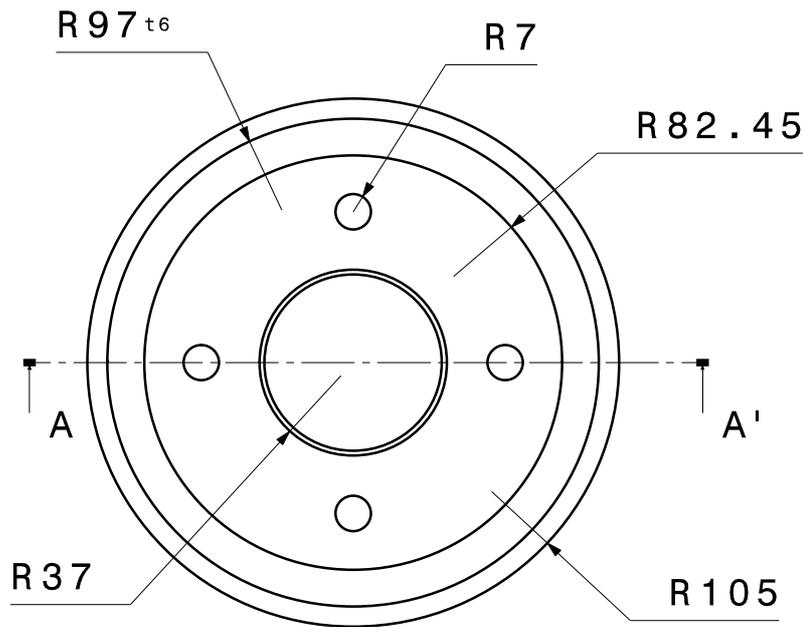
Piñón
Escala: 1/1



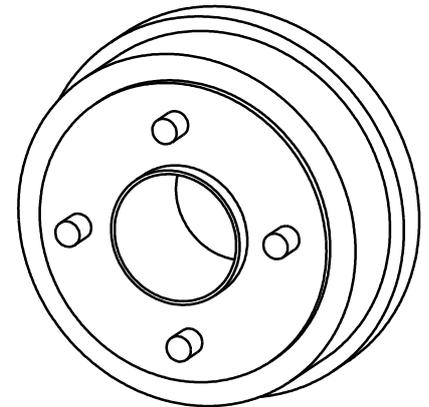
Datos básicos de engranajes (diámetros en mm)

	Módulo	Dientes	D. primitivo	D. base	D. cabeza
Corona	2	110	220	216	224
Piñón	2	12	24	20	28

	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Acero aleado	Mecanizado
Firma					
Fecha	17-05-2013	20-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 02	Ref. Similar:
Denominación Engranaje					
Sistema CAD: CATIA	Formato plano: DIN-A4		Pieza N°: 02.001	Escala: 1/1	
Productos: VEHICULO ELECT.	Universidad de Almería			Edición I	
				Hoja 4 de 13	

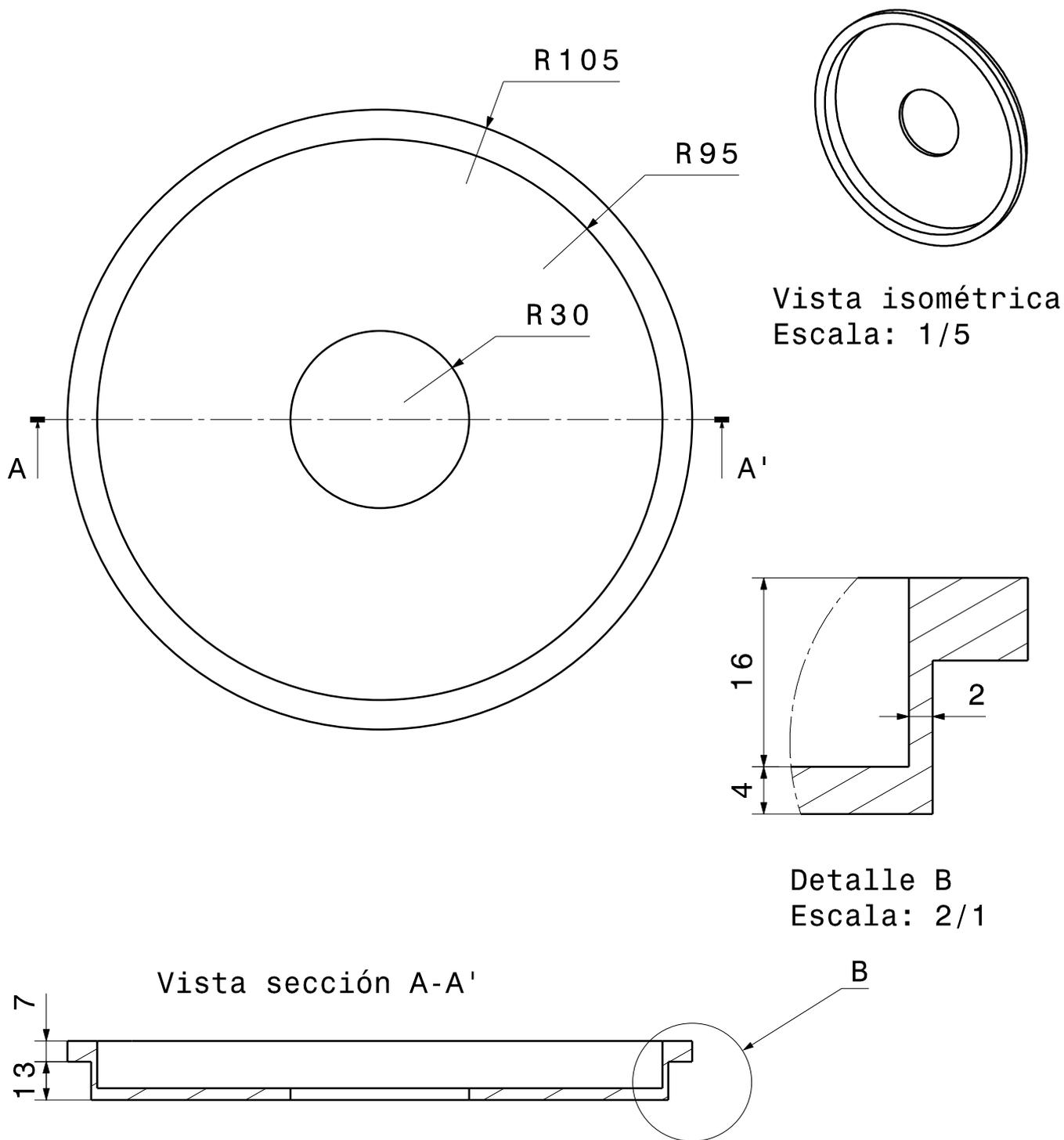


Vista
sección A-A'

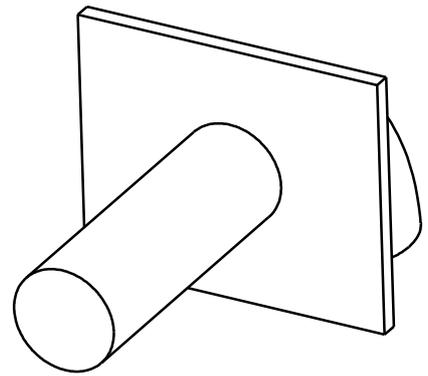


Vista isométrica
Escala: 1/4

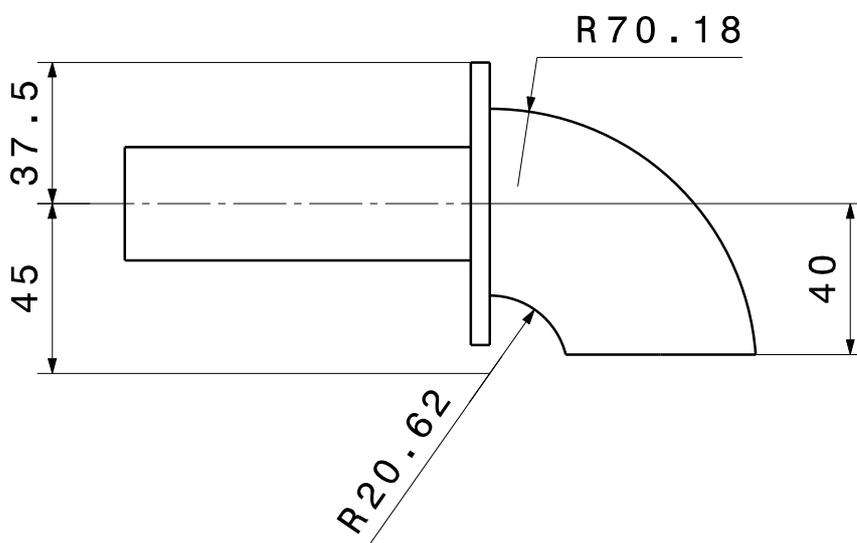
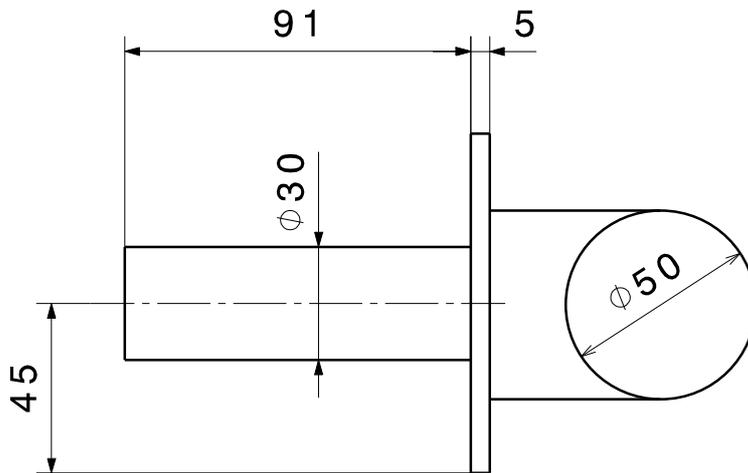
	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Acero al carbono	Mecanizado
Firma					
Fecha	17-05-2013	20-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 02	Ref. Similar:
Denominación Disco de buje					
Sistema CAD: CATIA	Formato plano: DIN-A4		Pieza N°: 02.002	Escala: 1/3	
Productos: VEHICULO ELECT.	Universidad de Almería			Edición I	Hoja 5 de 13



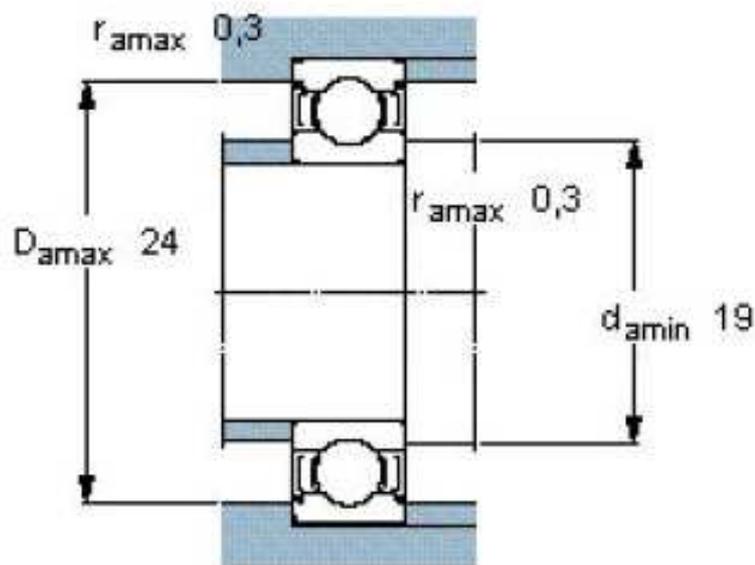
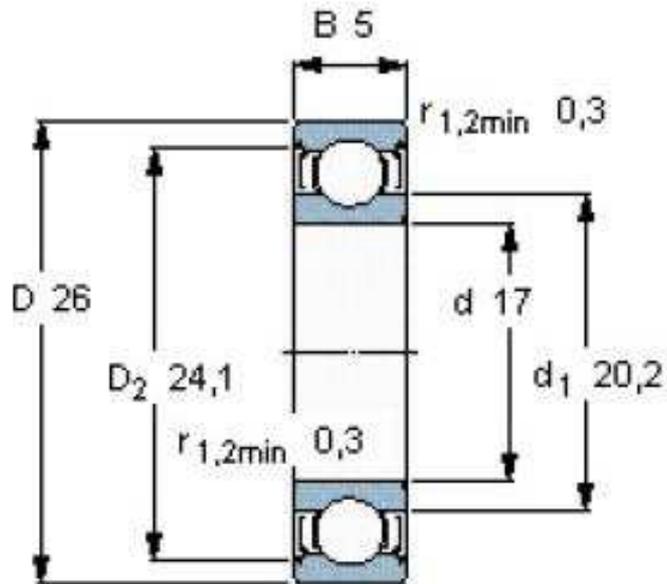
	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Acero al carbono	Mecanizado
Firma					
Fecha	19-05-2013	20-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 02	Ref. Similar:
Denominación Disco fijo					
Sistema CAD: CATIA		Formato plano: DIN-A4		Pieza N°: 02.003	Escala: 1/2
Productos:VEHICULO ELECT.		Universidad de Almería			Edición I



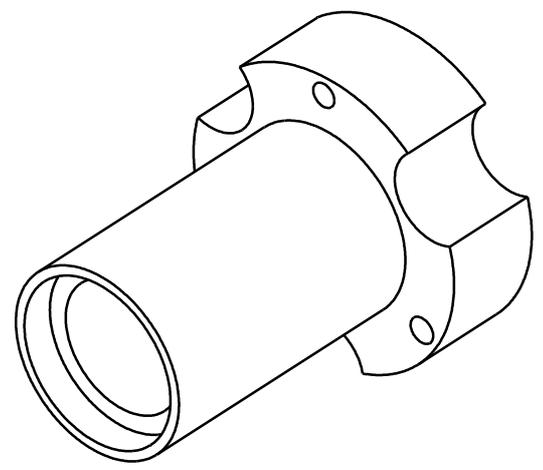
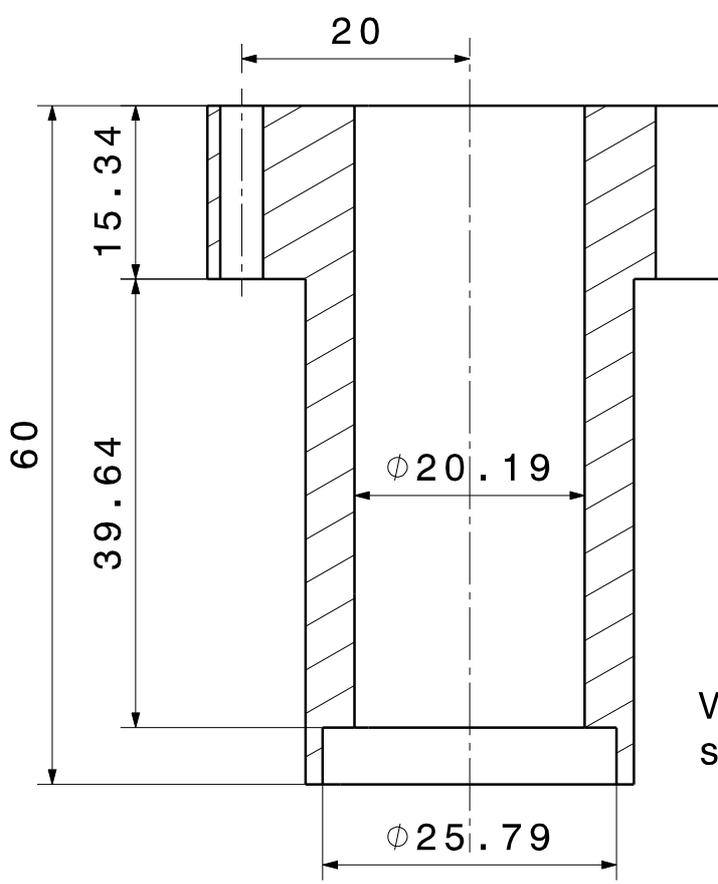
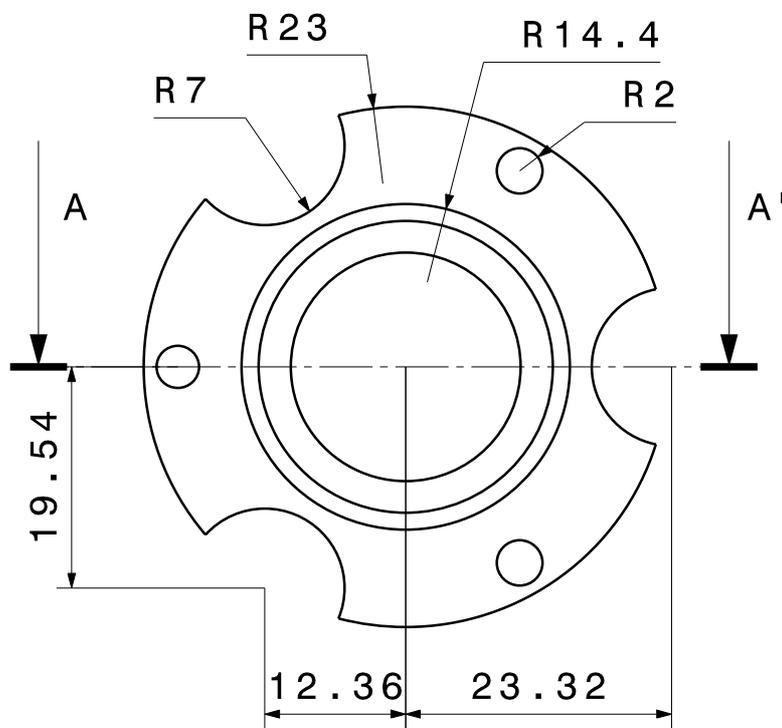
Vista isométrica



	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Acero al carbono	Mecanizado
Firma					
Fecha	19-05-2013	20-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 02	Ref. Similar:
Denominación					
Eje del buje					
Sistema CAD: CATIA		Formato plano: DIN-A4		Pieza N°: 02.004	Escala: 1/2
Productos:VEHICULO ELECT.		Universidad de Almería			Edición I
					Hoja 7 de 13



	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Varios	Varios
Firma					
Fecha	19-05-2013	20-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 03	Ref. Similar:
Denominación Rodamiento					
Sistema CAD: CATIA	Formato plano: DIN-A4		Pieza N°: 03.001	Escala: 3/1	
Productos:VEHICULO ELECT.	Universidad de Almería			Edición I	
				Hoja 8 de 13	

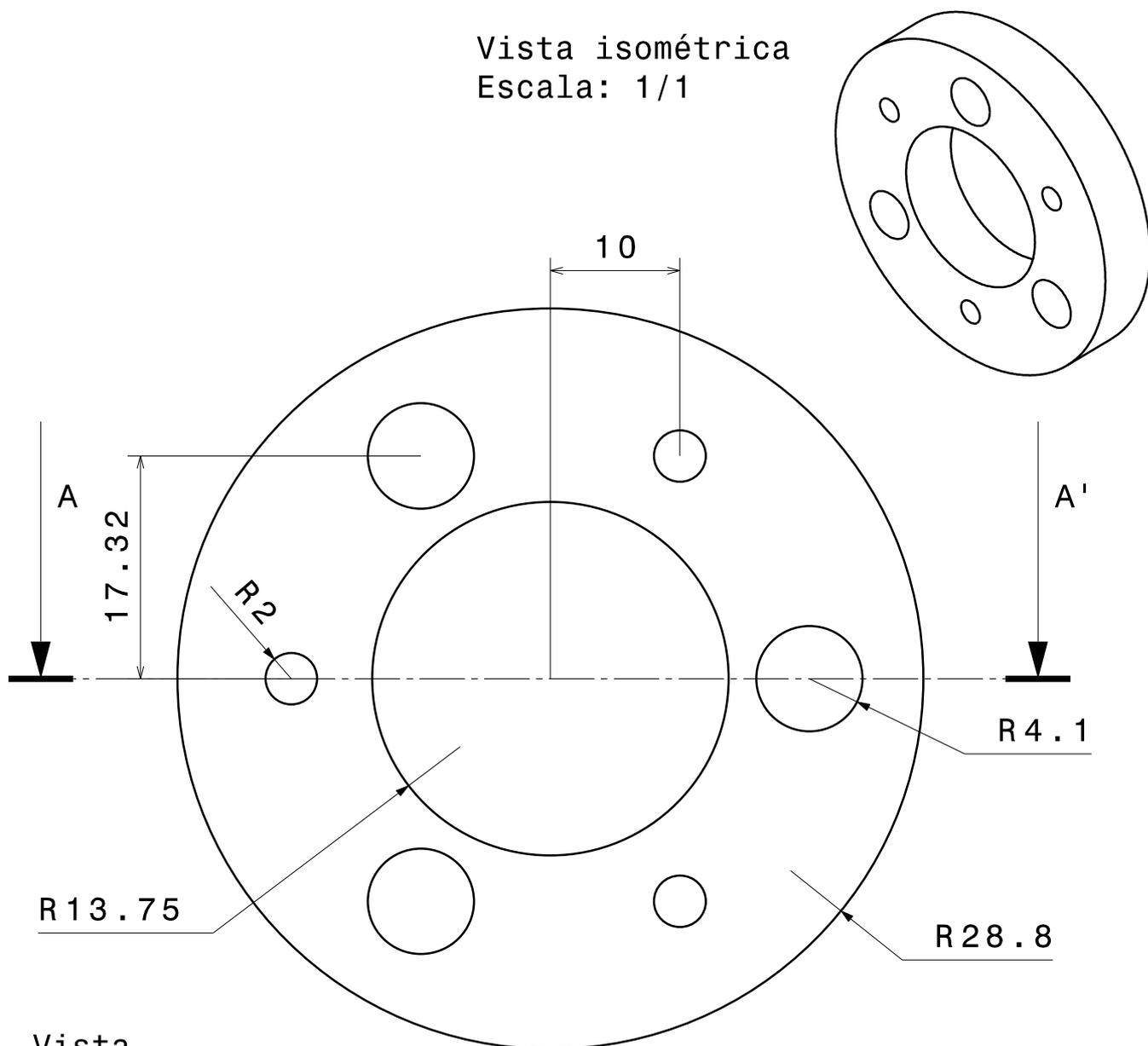


Vista isométrica
Escala: 1/1

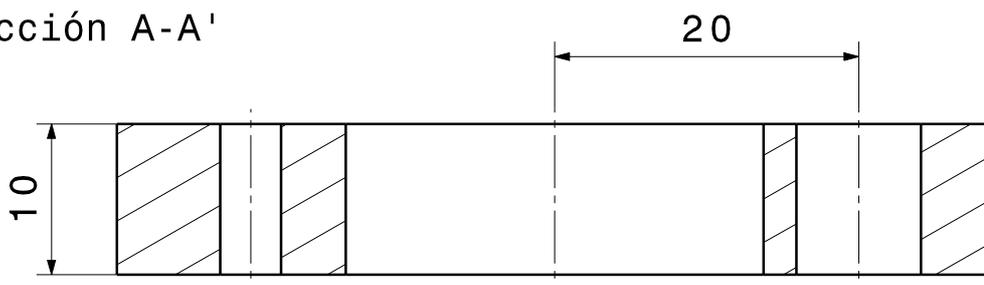
Vista
sección A-A'

	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Poliamida 6	Desbaste
Firma					
Fecha	19-05-2013	20-05-2013		EPSFCCEE	GRUPO: 03
Denominación SopORTE					
Sistema CAD: CATIA	Formato plano: DIN-A4		Pieza N°: 03.002	EScala: 3/2	Edición I
Productos:VEHICULO ELECT.	Universidad de Almería				Hoja 9 de 13

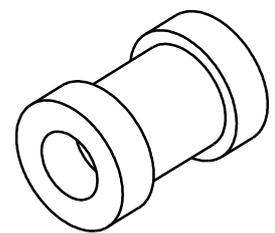
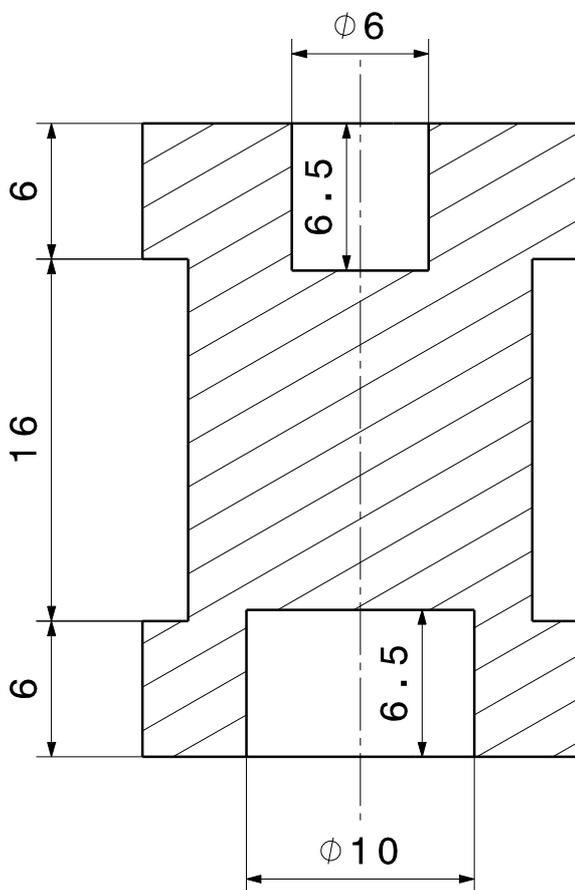
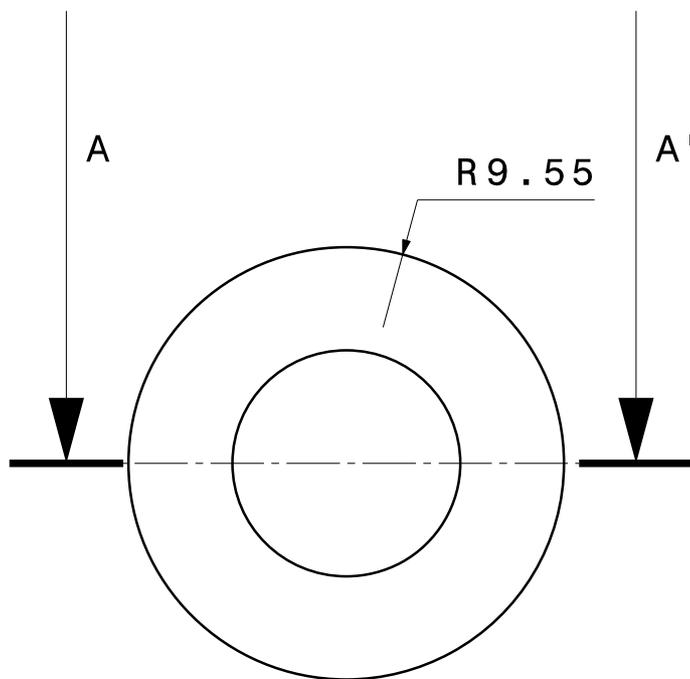
Vista isométrica
Escala: 1/1



Vista
sección A-A'



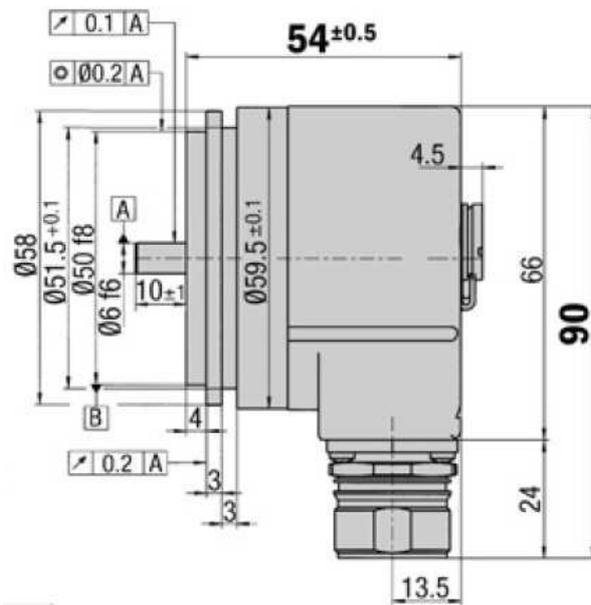
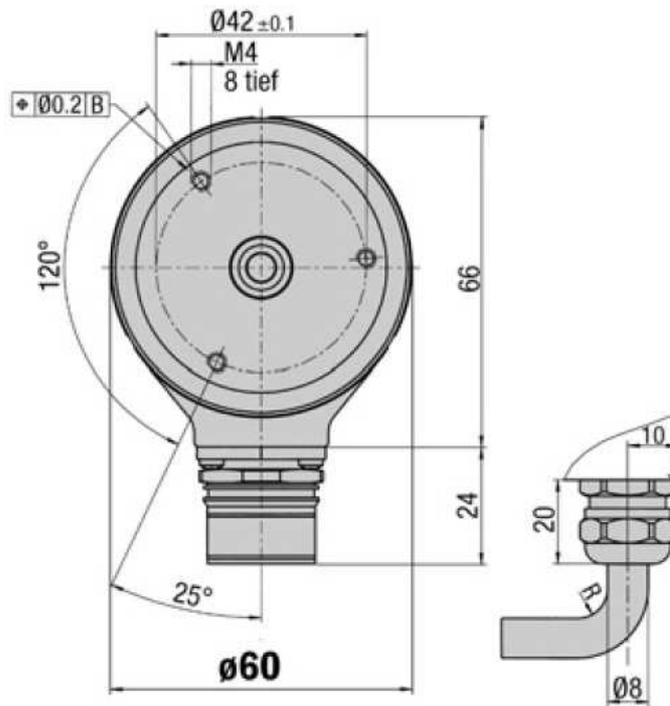
	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Porexpan	Ninguno
Firma					
Fecha	17-05-2013	20-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 03	Ref. Similar:
Denominación Disco separador					
Sistema CAD: CATIA		Formato plano: DIN-A4		Pieza N°: 03.004	Escala: 2/1
Productos: VEHICULO ELECT.		Universidad de Almería			Edición I



Vista isométrica
Escala: 1/1

Vista
sección A-A'

	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Acero aleado	Mecanizado
Firma					
Fecha	22-05-2013	23-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 03	Ref. Similar:
Denominación					
Acoplamiento flexible					
Sistema CAD: CATIA		Formato plano: DIN-A4		Pieza N°:	Escala: 3/1
Productos: VEHICULO ELECT.		Universidad de Almería		03.005	Edición I
					Hoja 12 de 13



	Dibujado	Comprobado	Facultad	Material	Acabado
Nombre	C. Villar	J. Torres		Varios	
Firma					
Fecha	19-05-2013	20-05-2013	EPSFCCEE	GRUPO: 03	Ref. Similar:
Denominación					
Codificador Incremental SICK DRS 61					
Sistema CAD: CATIA		Formato plano: DIN-A4		Pieza N°:	Escala: 2/3
Productos:VEHICULO ELECT.		Universidad de Almería		03.006	Edición I
					Hoja 13 de 13