

## AGRADECIMIENTOS

Quiero dar mi más sincero agradecimiento a Don Joan Savall, por haberme dirigido este proyecto de fin de carrera. Por todas las atenciones, por el tiempo que ha perdido conmigo, y sobre todo por su apoyo.

También me gustaría destacar la paciencia que han tenido para conmigo Don Laurentzi Garmendia y Don Javier Sánchez, sufridores constantes de mis preguntas para la resolución de los distintos problemas surgidos con la utilización del ordenador.

A Don Jordi Viñolas por apoyarme en todo momento y confiar en que el sensor iba a llegar a buen fin.

A Dorleta Erauskin por la ayuda prestada a la hora de realizar algunas de las figuras y esquemas, corrección de texto y además de por el apoyo y ánimos que me ha ido dando durante todo el proyecto.

En general, a todos aquellos profesores y alumnos de la ESII que de una u otra forma me han ayudado a realizar este trabajo, que aunque no les mencione de forma explícita, no les puedo negar un sincero agradecimiento.

Y finalmente, no puedo dejar de agradecer la comprensión de mis familiares y amigos, puesto que ellos han sido los que más me han tenido que aguantar en mis malos momentos, enfados y demás sucesos que me han acaecido a lo largo de la elaboración de este proyecto.

A todos muchas gracias.

## RESUMEN

El proyecto aquí presentado es el diseño, construcción y ensayo de un sensor de desplazamiento encargado por el Laboratorio de Automoción de la escuela de ingenieros industriales de San Sebastián.

En un principio deberá ser colocado en un vehículo de competición (KART-CROSS) para que mida la posición de las ruedas respecto al chasis, es decir, las distintas longitudes que adopta el conjunto muelle – amortiguador al circular con el vehículo. Aunque esto no debe ser óbice para que se le pudiera dar otro uso como pudiera ser la medida de desplazamiento relativo de la mesa de un torno, o la medida de deformación de las alas de un avión en un test de fuerza – desplazamiento por ejemplo.

Se comienza explicando los distintos tipos de sensores de desplazamiento que hay, y justificando por qué se ha diseñado de este tipo y no de los otros tipos. También se discute el uso de un potenciómetro como base de este sensor y no un encóder o un LVDT.

Durante la lectura del trabajo se irá viendo como una vez decididos el tipo de sensor y la base de medida, el sensor va evolucionando en sus formas y medidas, así como en la disposición, dentro del sensor, de los distintos elementos.

Al final se hace un ensayo y comparación con un sensor comercial para ver hasta que punto se ha llegado a afinar en el diseño. No hay que olvidar que el proyecto fin de carrera es el último eslabón entre la educación y el trabajo de la vida real, y el objetivo final es el llegar a un diseño que se pueda comercializar y competir con lo ya existente en el mercado.

## INDICE

<b>0. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>1. SENSORES .....</b>	<b>3</b>
1.1. INTRODUCCION.....	3
1.2. TERMINOLOGIA BASICA.....	4
1.3. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN SENSOR O TRASDUCTOR.....	4
1.3.1. SENSIBILIDAD.....	5
1.3.2. RESOLUCION.....	5
1.3.3. SENSIBILIDAD TRANSVERSAL.....	5
1.3.4. LINEALIDAD .....	5
1.3.5. RANGO DE FRECUENCIAS.....	6
1.3.6. DIFERENCIA DE FASE .....	7
1.3.7. EFECTOS AMBIENTALES .....	9
1.3.8. PROPIEDADES FISICAS.....	9
1.4. DISTINTOS TIPOS DE SENSORES DE DESPLAZAMIENTO .....	9
1.4.1. PARAMETROS DE SELECCIÓN.....	10
1.4.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE ALGUNOS TIPOS DE SENSORES .....	13
1.5. TECNOLOGIA MAS UTILIZADA EN SENSORES DE DESPLAZAMIENTO..	14
<b>2. POTENCIOMETROS .....</b>	<b>16</b>
2.1. INTRODUCCION.....	16
2.2. DESCRIPCION.....	16
2.2.1. POTENCIOMETROS DE DESPLAZAMIENTO RECTILINEO .....	17
2.2.2. POTENCIOMETROS DE DESPLAZAMIENTO ANGULAR.....	17
2.3. CARACTERISTICAS METROLOGICAS .....	19
2.3.1. CARRERA ELECTRICA UTIL .....	19
2.3.2. RESOLUCION.....	20
2.3.3. RESISTENCIA DE RUIDO .....	20
2.3.4. VIDA DE LOS POTENCIOMETROS.....	21
2.4. INFLUENCIA DE DIVERSOS ELEMENTOS DEL MONTAJE DE MEDIDA...21	
2.4.1. MONTAJE BASICO .....	21
2.4.2. INFLUENCIA DE LA FUENTE.....	23
2.4.3. INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA DE ENTRADA DEL EQUIPO DE MEDIDA .....	25
<b>3. ESTABLECIMIENTO DEL ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>28</b>
<b>4. EVOLUCION DEL DISEÑO DEL SENSOR.....</b>	<b>29</b>
4.1. PRIMER SENSOR – SENSOR DE BASE HORIZONTAL .....	30
4.2. SENSOR DE BASE COAXIAL .....	31
4.3. SENSOR CON DOS BASES COAXIALES Y POLEA BIAPOYADA SOBRE DOS RODAMIENTOS. ....	34

---

4.4. DOS DISTINTOS SENSORES CON UNA SOLA BASE .....	35
4.5. REALIZACION DEL SENSOR FINAL.....	37
<b>5. DESCRIPCION DETALLADA DEL CONJUNTO .....</b>	<b>40</b>
5.1. BASE .....	40
5.2. TAPA LATERAL DEL LADO DEL POTENCIOMETRO .....	41
5.3. TAPA LATERAL DEL LADO DEL MUELLE .....	43
5.4. MUELLE HELICOIDAL DE FUERZA CONSTANTE.....	44
5.5. SOPORTE .....	48
5.6. CABLE DE MEDICION .....	49
5.7. POLEA.....	50
5.8. CABLE DE CONEXION .....	52
5.9. RODAMIENTO .....	53
5.10. POTENCIOMETRO .....	53
5.11. SOPORTE DE SUJECION EXTERIOR .....	56
<b>6. DESCRIPCION GENERAL DEL SENSOR .....</b>	<b>58</b>
6.1. CARACTERISTICAS FISICAS .....	58
6.2. POSIBILIDAD DE CAMBIO DE LA CARRERA DE MEDIDA .....	60
6.3. CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO .....	61
6.3.1. LINEALIDAD .....	61
6.3.2. RESOLUCION.....	62
6.3.3. REPETITIVIDAD .....	63
6.3.4. FLECHA O COMBADO DEL CABLE .....	63
6.3.5. FUERZA DE ESTIRAMIENTO MAXIMA .....	65
6.3.6. FUERZA DE RECOGIDA MINIMA .....	65
6.3.7. ACELERACION MAXIMA.....	65
6.4. TABLA RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DEL SENSOR .....	66
6.5. PRUEBAS DE VERIFICACION DE RESULTADO .....	67
<b>7. PRESUPUESTO .....</b>	<b>69</b>
7.1. AMORTIZACION .....	69
7.2. PRESUPUESTO .....	70
<b>8. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>72</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA Y DOCUMENTACION.....</b>	<b>73</b>

## 0. INTRODUCCION

Habiendo terminado la carrera ingeniero industrial superior en la Universidad de Navarra, para obtener el título queda por realizar el proyecto fin de carrera. Este se puede llevar a cabo en una empresa, dentro de algún laboratorio de la propia universidad o por cuenta propia.

En una reunión en Febrero del 2000 donde estábamos D. Jordi Viñolas, D. Joan Savall que será el director del proyecto y yo mismo, Anartz Alonso. Se me presenta la oportunidad de realizar un proyecto, el cual va a consistir en diseñar y ensayar un sensor de desplazamiento para el laboratorio de automoción.

El laboratorio ha adquirido un vehículo de competición kart-cross, el cual se quiere modelizar totalmente e implantarle un sistema de adquisición de datos y monitorización de los mismos, para con estos entender bien las fuerzas y movimientos de las suspensiones, dirección, chasis, etc. y más adelante construir uno basándose ya en unos datos reales y contrastados. Para ello el laboratorio ha comprado algunos sensores y se quieren diseñar otros entre los que se encuentra el que yo tengo que proyectar.

Este sensor deberá ser capaz de monitorizarnos el desplazamiento de las ruedas respecto al chasis, o lo que es lo mismo, la elongación y acorte del conjunto muelle amortiguador que el vehículo lleva en cada rueda. El sensor ha de ser de reducidas dimensiones, ligero, robusto, bastante hermético, etc. Desde el principio se piensa que nuestro sensor prototipo se puede basar en un sensor comercial de sistema de hilo aunque no se pueden descartar otras posibilidades.

El sensor también habrá de ser compatible con el sistema de adquisición de datos adquirido por el laboratorio, es decir, su medida deberá poder ser registrada y almacenada por este sistema de adquisición (*data logger DA99*).

Aunque el sensor ha de diseñarse para que funcione en este vehículo, debe ser también utilizable en otras aplicaciones, como puede ser la medida de la distancia de desplazamiento entre dos vagones unidos de tren, medir la deformación de las ventanillas de un vagón en un ensayo de compresión del vagón, o incluso la elongación de otro tipo de suspensión como pudiera ser la Mc Pherson.

El diseño ha de ser tal que pueda fabricarse en el taller de la escuela y los distintos elementos que hagan falta para la construcción deberán ser comerciales, para facilitar y abaratar así la compra y el coste total del sensor.

También se va a realizar una vez diseñado el sensor, y aceptado por las dos personas antes citadas, distintas formas de unión sobre distintas superficies, tanto para la ubicación en el vehículo del laboratorio como para las otras aplicaciones posibles. En este apartado se plantea mirar formas de montaje rápido y cómodo, así como distintas maneras de anclaje permanente.

Con todos estos datos se empezará en un primer momento a estudiar la teoría sobre sensores, y mirar los distintos sensores de desplazamiento que hay comerciales. Ver después cual es la tecnología aplicable a este tipo de sensores y así empezar a proyectar desde unos diseños preliminares hasta su consiguiente evolución y diseño definitivo.

Las herramientas de trabajo que se usarán para lograr la información son libros e internet, para el diseño en 3D y lanzado de planos a 2D el programa ProEngineer, y para los ensayos de los sensores el programa LabVIEW, además para la redacción del proyecto y la realización de algunos cálculos se usarán los programas Word y Excel. Todo ello con la incomparable ayuda de los PC ´s de la escuela.

# 1. SENSORES

## 1.1. INTRODUCCION

Un sensor es un instrumento que permite medir un fenómeno físico. Normalmente convierte o traduce el fenómeno a medir en una señal eléctrica, que por medio de un sistema de adquisición de medidas, se traduce a gráficas y tablas mediante software.

Los sensores o transductores han sido utilizados a lo largo de la historia (como tales pueden considerarse los termómetros, las balanzas o incluso los relojes), sin embargo su gran desarrollo y utilización actual se han visto fomentados por el progreso realizado en dos grandes áreas: electrónica y control. El desarrollo de la electrónica ha permitido producir sensores de grandes prestaciones a precios muy asequibles. La aplicación de la teoría de control al funcionamiento de máquinas ha requerido la utilización generalizada de sensores en las mismas, potenciando de esta forma su desarrollo.

Otros aspectos de gran implantación actual en el mundo industrial, como son las técnicas de mantenimiento predictivo, se asientan en el monitorizado de máquinas, el cual requiere la utilización de sensores que informan sobre la condición en que se encuentra la máquina analizada.

Junto a estos aspectos, la utilización de sensores y su instrumentación asociada cobra un valor muy importante en el análisis dinámico de máquinas. La selección del sensor más apropiado, las limitaciones asociadas a las medidas proporcionadas por el mismo, el campo de aplicación de cada tipo de sensor e incluso el conocimiento de distintos tipos de sensores disponibles para una aplicación concreta son aspectos fundamentales que pueden condicionar la calidad e incluso la validez de un análisis experimental.



Fig. 1.1: Cadena de medidas.

## **1.2. TERMINOLOGIA BASICA**

Antes de empezar a explicar algunos parámetros para la selección de transductores de posición y de suministrar información sobre técnicas de medidas de posición y distintas tecnologías, se van a introducir o definir algunos términos.

Para facilitar la comunicación, durante el proyecto se hará referencia a sensores y transductores como si fueran el mismo elemento que aunque esto no sea estrictamente cierto, para el caso no tiene relevancia usar la palabra sensores de posición o transductores. El objetivo de ambos es el informar sobre donde está un objeto.

El transductor objetivo de este proyecto tiene la misión de determinar la posición durante el tiempo o el desplazamiento de la rueda de un kart-cross respecto de su chasis, por ello, definiremos posición, desplazamiento y medida de proximidad:

- Posición: localización coordenada de un objeto respecto de un sistema de referencia conocido.
- Desplazamiento: movimiento de una posición a otra sobre una distancia o ángulo especificados.
- Proximidad: distancia crítica señalada por una salida on / off.

## **1.3. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN SENSOR O TRASDUCTOR**

Existen una serie de características que definen las prestaciones de todo transductor y que es necesario analizar cuando se trata de elegir un transductor a utilizar en una aplicación concreta. En el caso de que nos decidamos a construir nuestro propio transductor estas mismas características deberán ser determinadas antes de ser utilizado.

### **1.3.1. SENSIBILIDAD**

Es la relación entre la respuesta eléctrica y la entrada o excitación mecánica. En sensores activos la sensibilidad se mide en voltios por unidad del parámetro físico a medir (ej. : desplazamiento  $\frac{V}{V/mm}$  ).

La sensibilidad, por lo general, depende de la frecuencia, de la amplitud, de la temperatura, etc. Como consecuencia, es necesario definir las condiciones en que se define la medida real del sensor.

### **1.3.2. RESOLUCION**

Es el menor cambio del fenómeno físico a medir que produce una señal detectable. Puede quedar definida por el propio transductor, o por el resto de la cadena de medidas. Ruido eléctrico, características constructivas (ej.: en un potenciómetro la separación entre espiras define la resolución del transductor ), fricción etc., son causas que determinan la resolución de una medida.

### **1.3.3. SENSIBILIDAD TRANSVERSAL**

En transductores que miden parámetros direccionales (ej.: aceleración, desplazamiento, etc.). Se denomina sensibilidad transversal a la máxima sensibilidad que posee en un plano perpendicular a la dirección de medida. Se suele expresar como un % de la sensibilidad nominal.

### **1.3.4. LINEALIDAD**

Un transductor se dice lineal cuando existe proporcionalidad entre el parámetro medido y la señal eléctrica proporcionada por el transductor. Error de linealidad es la diferencia entre la tensión eléctrica obtenida y la que correspondería a la sensibilidad nominal del transductor.

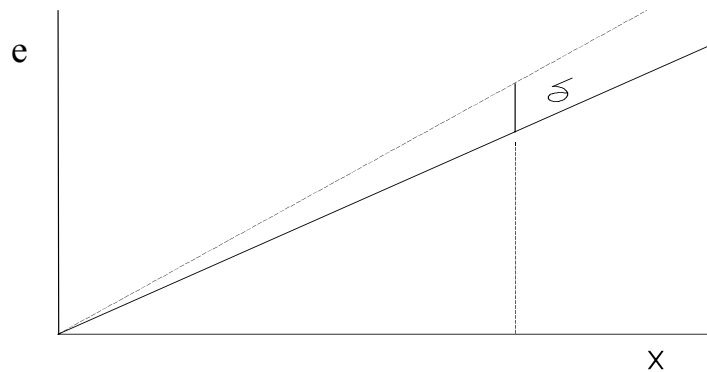


Fig. 1.2 : Gráfica del error de linealidad.

A veces este error se expresa en % según la expresión:

$$\varepsilon(\%) = \frac{\delta}{e} \times 100$$

Siendo:  $\varepsilon$ : error en %  
 $\delta$ : diferencia  
 $e$ : error relativo

Los transductores se comportan linealmente (dentro de un error admisible) en un rango de amplitudes del parámetro a medir. Por ejemplo cuando en un transductor potenciométrico se indica que el rango de medida es  $\pm 20$  mm y su error de linealidad es de un 2%, se está indicando que, como máximo, el error entre la señal y la que resultaría si el transductor fuese lineal será 0,4 mm.

### 1.3.5. RANGO DE FRECUENCIAS

Se suele denominar a la gama de frecuencias en las que la sensibilidad del transductor coincide, dentro de una tolerancia especificada, con la nominal.

En la figura se representa la sensibilidad del transductor en función de la frecuencia. El rango de frecuencias es  $[0 - \omega_c]$ .

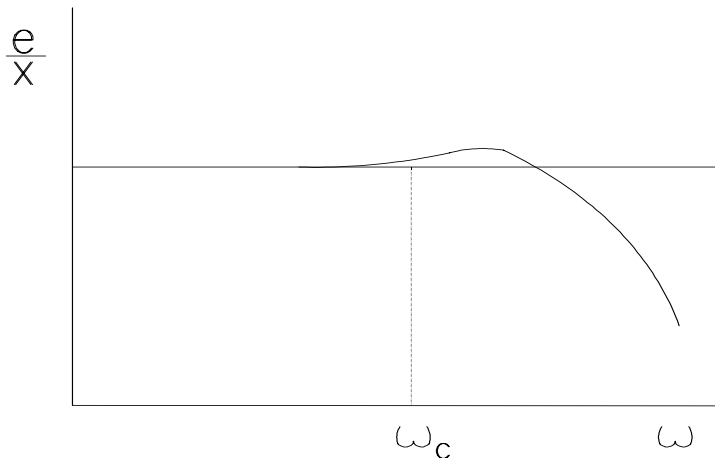


Fig. 1.3: Sensibilidad en función de la frecuencia.

### 1.3.6. DIFERENCIA DE FASE

Si se considera que el fenómeno a medir sufre una variación de tipo armónico, los transductores reproducen dicho fenómeno físico con un cierto retraso  $\tau$ . Este retraso, en general, es función de la frecuencia.

Por la transformada de Fourier, cualquier función temporal puede considerarse como suma de señales armónicas, cada una con frecuencia diferente. Según lo afirmado en el párrafo anterior, el transductor representará el parámetro a medir con un retraso  $\tau$  que en general, será distinto para cada frecuencia. La señal de salida del transductor será el resultado de superponer la señal resultante de cada una de las frecuencias que componían la señal original. Como el retraso introducido en cada una de ellas es distinto la señal resultante sufre una distorsión con relación a la variación de la señal original.

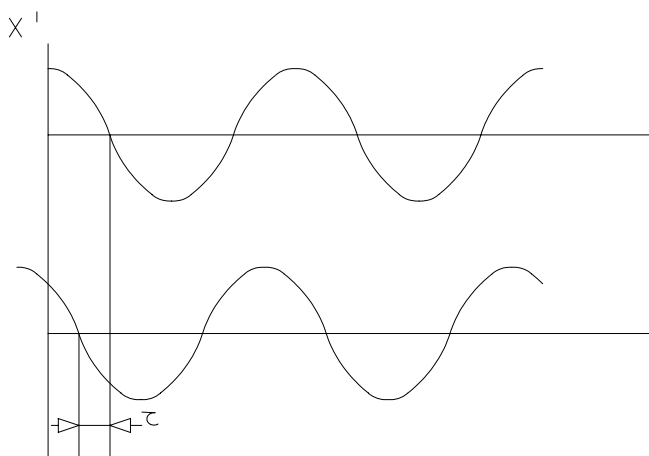


Fig. 1.4: Gráfica de la señal de salida desfasada.

Considerando una señal de medida armónica, el fenómeno a medir está dado por

$$x = X \cos \omega t$$

Y la señal que se obtiene en el transductor

$$y = SX \cos [\omega(t - \tau)] = SX \cos (\omega t - \phi)$$

siendo  $S$  = sensibilidad del transductor

$\phi$  = diferencia de fase

A la frecuencia  $\omega$ , la relación entre el retraso  $\tau$  y  $\phi$  es:

$$\phi = \omega\tau$$

Como se indica en la figura, para que no se produzca distorsión en la señal de medida,  $\tau$  debe ser constante e independiente de la frecuencia. Esta condición equivale a que la curva de la diferencia de fase sea una recta que pasa por el origen o nula para cualquier frecuencia.

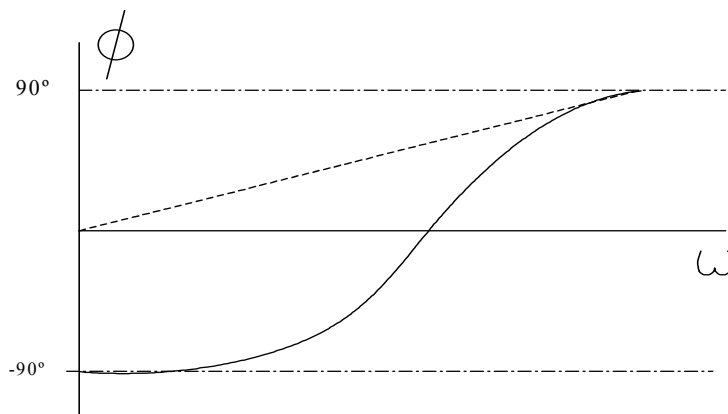


Fig. 1.5: Curva de la diferencia de fase para que la señal no se distorsione.

### **1.3.7. EFECTOS AMBIENTALES**

Los efectos medioambientales deben ser tenidos en cuenta al seleccionar el transductor. Factores a considerar:

- Temperatura
- Humedad
- Ruido acústico
- Contaminación electromagnética, etc.

Uno de los parámetros ambientales que mayor influencia tiene es la temperatura.

### **1.3.8. PROPIEDADES FISICAS**

El tamaño, la rigidez y especialmente la masa de los transductores pueden resultar de gran importancia. En medidas dinámicas la utilización de un sensor que aporte una masa o rigidez elevada puede alterar el resultado del fenómeno a medir. Una situación típica corresponde a medidas en las que se desea estudiar el comportamiento dinámico de placas delgadas (ej.: en medidas de correlación vibración/ruido ). Según cual sea el problema a analizar, incluso la masa o rigidez añadidas por el transductor modifican la medida, lo que requiere la utilización de transductores muy ligeros, e incluso el post-procesamiento de los resultados para compensar la modificación del fenómeno a medir originada por el transductor.

## **1.4. DISTINTOS TIPOS DE SENSORES DE DESPLAZAMIENTO**

Los distintos tipos de sensores de desplazamiento son debidos a las distintas aplicaciones posibles que pueden recibir. No es lo mismo medir la posición flotante sobre el suelo de un *aircraft*, el desplazamiento de la suspensión de un formula 1, o la trayectoria tridimensional de una pelota de golf.

Estas medidas de posición normalmente comparten algún elemento en común y por ello pueden resolverse usando una cierta variedad de soluciones, pero no suele ser fácil determinar cuál es la mejor de ellas.

Probablemente hay más opciones de medir la posición que ningún otro tipo de variable sensorizada. Por ejemplo, mientras que para la medida de la presión hay 4 distintas categorías, para la medida de la posición y el desplazamiento hay 13 distintas categorías, siendo innumerables la variedad de los sensores y las distintas tecnologías aplicadas a la resolución del problema de la medida.

### 1.4.1. PARAMETROS DE SELECCIÓN

Para saber sobre que parámetros se selecciona un transductor de posición se adjunta la siguiente tabla, donde Si / No dependerá de la aplicación para la que se necesite el sensor:

Parámetro	¿Relevante?	Opciones
Contacto	Si / No	Contacto / No contacto
Tipo de movimiento	Si / No	Lineal / Rotatorio
Dimensiones	Si / No	De una o varias dimensiones de medida
Tipo de medida	Si / No	Absoluta / Incremental
Rango	Si / No	Menos 10mm, 10–300mm, mayor de 300
Tamaño y Peso	Si / No	Restricción de peso, De tamaño
Protección medioambiental	Si / No	Humedad, Vibraciones, Corrosión, Temperatura
Instalación / Montaje	Si / No	Instalación renovable, limite de tiempo
Exactitud	Si / No	Linealidad, Resolución, Repetitividad
Tiempo de vida	Si / No	Ciclos, Horas de operación continua
Coste	Si / No	Menos de 5 000 ptas., 5 000 – 50 000, Más de 50 000 ptas.
Entrega	Si / No	Menos de 1 semana, entre 1 – 4 más de 4
Respuesta	Si / No	Voltaje continuo, Salida digital
Respuesta en frecuencia	Si / No	Menos de 5 Hz, entre 5–50, Más de 50Hz

Fig. 1.6: Tabla de selección de sensor.

El primer parámetro a definir en cualquier aplicación es si el sensor puede tocar físicamente el objeto a ser monitorizado. Si una interferencia externa influencia nuestra aplicación se tendrá que usar un sensor sin contacto, sino, uno en el que haya contacto puede ofrecernos ventajas.

Aunque a primera vista pudiera parecer que un sensor sin contacto es una solución superior para todas las aplicaciones, esto no está tan claro. Los productos sin contacto emiten señales basadas en láser o ultrasonidos que son bastante nocivas. Otro inconveniente es que necesitan el campo de visión totalmente despejado para trabajar. Normalmente su respuesta en frecuencia suele ser peor que en un sensor de contacto, y su precio es casi siempre mayor. Finalmente su rango de temperaturas de operación suele ser bastante estrecho.

Otro parámetro a considerar es si el tipo de movimiento es lineal rotativo. Nótese que un sensor de cable, mediante el software, poleas y circuitos electrónicos permite medir a un potenciómetro rotativo medidas lineales y viceversa. La falta de

espacio, costo y la facilidad de montaje son algunas de las razones para usar uno de este tipo.

Una vez decidido si el sensor ha de ser de contacto o no y determinar si el movimiento a medir es lineal o angular, la elección de la tecnología de un sensor es mucho más fácil.

A continuación se mirará si la monitorización es unidimensional o multidimensional y si es posible descomponer el medir esa multidimensionalidad con distintos sensores unidimensionales.

También se ha de pensar en el tipo de señal que se quiere obtener. Si se necesita una señal que determine una única posición habrá que asegurarse una señal con salida absoluta. Si lo que se necesita en cambio es una posición relativa respecto a una anterior o un simple indicador on / off, entonces se usará una señal incremental.

Una importante diferencia entre un sensor de señal incremental y uno de señal absoluta es que el primero, suele necesitar ser inicializado cada vez que se enciende el aparato medidor. Esta limitación es inaceptable en algunas aplicaciones. Pero en general suelen ser más baratos los incrementales que los absolutos.

La distancia a medir, conocida también como rango, suele variar desde micras hasta metros o incluso kilómetros con lo que ha de tenerse en cuenta lo que se va a medir.

Cuando el espacio del que disponemos es pequeño, habrá que limitar las dimensiones del sensor, y tener en cuenta también si el peso de este puede interferir en nuestra medida y en ese caso limitarlo.

Otra de las cuestiones a tener en cuenta es la protección del sensor respecto del entorno, es decir, respecto a la humedad, vibraciones, temperatura, suciedad, etc.

Uno de los aspectos que suelen pasar desapercibidos y que suele ser muy importante es el tiempo que se tarda en montar el sensor en nuestra máquina, y si es preciso la intervención de personal especializado en esa tarea. La facilidad de montaje disminuye el trabajo, los costos y hace posible un mantenimiento más exhaustivo y fácil.

Teniendo en cuenta estos parámetros hay que incidir ahora en la exactitud. Este es el último grado de libertad en la elección de un sensor y engloba tres distintos apartados: Linealidad, repetitibilidad y resolución.

Con la gran libertad de movimiento que dan ahora los distintos softwares la linealidad no es tan importante como lo era antes.

Para algunas aplicaciones la repetitibilidad suele ser el factor más importante.

Para la resolución habrá que tener en cuenta no sólo el transductor sino también nuestro sistema de adquisición de datos, ya que de nada sirve tener un transductor con una elevadísima resolución si luego esta no va a poder ser registrada ni almacenada.

A la hora de determinar el coste, habrá que tener en cuenta el coste inicial así como los costes de los periféricos que se han de comprar para la lectura del sensor que a veces son más caros que el sensor mismo. También se tendrá en cuenta en el coste el tiempo de vida del sensor. Otro aspecto a tener en cuenta es el coste de mantenimiento y el coste y tardanza de una reparación en caso de avería.

Con todo esto ya deberíamos ser capaces de poder elegir un sensor de desplazamiento para nuestra aplicación, aunque a elegir la mejor de las soluciones se llegará sólo con la experiencia.

Como ayuda se adjunta una tabla en la que presentan las más usuales tecnologías para sensores de medida lineal de posición. En ella se comparan enfrentando valores de precisión, rango y coste.

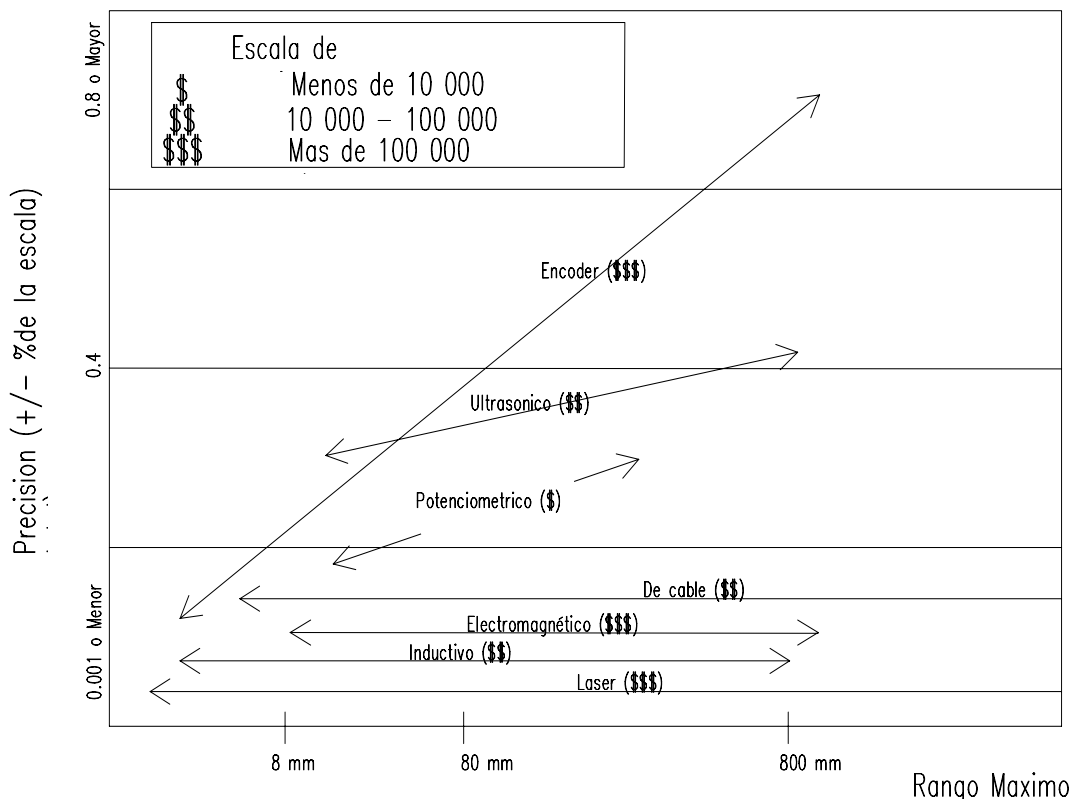


Fig. 1.7: Comparación entre precisión, rango y coste.

### **1.4.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE ALGUNOS TIPOS DE SENSORES**

Se presenta en este apartado algunos principios de funcionamiento de diferentes sensores que se pueden utilizar para la medida de la posición de distintos elementos:

- **Encoder:** Su elemento de medida es un haz de luz proporcionado por un diodo LED normalmente. EL haz de luz queda enfrenteado a un disco agujereado y según pase o no la luz, se crea un tren de pulsos que equivalen al desplazamiento producido.
- **Ultrasónico:** Hay una generación de ondas de frecuencia y amplitud constante que se lanzan al objeto cuya posición se quiere medir. Según cuanto “tarden” estas en volver, se sabe donde se encuentra el objeto.
- **Potenciométrico:** Se trata de una resistencia y un cursor que se desplaza sobre ella. Se alimenta la resistencia con un voltaje regulado y del cursor a tierra obtenemos un voltaje proporcional al desplazamiento producido. Hay de dos tipos, para medidas angulares y para medidas lineales.
- **Electromagnético:** Se utiliza un núcleo ferromagnético solidario con una de las piezas cuyo movimiento se desea medir. La bobina se fija a la otra pieza. La inductancia  $L$  es función de la posición relativa núcleo bobina.
- **Láser:** El principio de funcionamiento es igual al del ultrasónico pero la onda que se utiliza es un haz láser.
- **Inductivo:** Son instrumentos electromecánicos en los que las características magnéticas de su circuito eléctrico cambian en respuesta al movimiento de un objeto. Con este movimiento se genera una respuesta electromotriz o se genera una tensión.

## **1.5. TECNOLOGIA MAS UTILIZADA EN SENSORES DE DESPLAZAMIENTO**

Como se ha comentado más arriba, los transductores de desplazamiento son usados extensivamente en aplicaciones científicas y proyectos industriales. Estas aplicaciones se pueden dividir en dos grupos principales.

- En el primer grupo de aplicación a la hora de determinar la posición, o el desplazamiento, la medida principalmente usada es la absoluta. Las aplicaciones más típicas son investigación en análisis estructural, testeo de dimensiones etc.
- El segundo grupo de aplicación es la conducción monitorizada de elementos en sistemas de bucles cerrados. En sistemas neumáticos y robótica el transductor es utilizado en tándem con el actuador o el brazo del robot y produce una señal relativa al movimiento. Cuando el movimiento requerido ha ocurrido, la señal es usada como control para pararlo.

Se puede decir que los sensores de desplazamiento más usados son los potenciométricos y los LVDT (*linear variable differential transducer*).

En un sensor potenciométrico, como su nombre sugiere, el principio de medida reside en la variación de la resistencia con la longitud. Estos sensores, tienen un contactor móvil que hace contacto con una banda resistiva que es lo que hace que varíe la señal. Desgraciadamente, la resistencia también varía con la temperatura y con los efectos de fricción y contacto por lo que a la hora de elegir estos sensores hay que tenerlo en cuenta.

En un LVDT, el principio de medida radica en la variación del campo magnético que produce el cambio de posición de un núcleo de acero inoxidable magnético dentro de una espiral de material conductor (en realidad, se suelen utilizar dos espirales para evitar el efecto de la temperatura en ellos).

La mayor diferencia entre los dos tipos de sensores es el contacto o no entre dos piezas móviles. Esto hace que los LVDT sean más duraderos puesto que al no haber contacto no hay desgaste por fricción. Por ejemplo con un sensor potenciométrico, en una aplicación con un rápido movimiento de ida y vuelta, el contactor podría perder el contacto con la banda resistiva y momentáneamente se perdería la señal lo cual en algunos casos de bucles cerrados sería inadmisibile.

Con esto, se concluye que cuando hace falta un gran numero de ciclos, velocidad de movimiento muy alta u operar bajo condiciones de alta temperatura o sumergidos en aceite, el sensor a usar deberá ser del tipo LVDT. Pero por otra

parte, los potenciométricos son de menor tamaño que los LVDT. Por lo que para condiciones menos severas, donde haya poco espacio, el coste tenga que ser menor y la facilidad de montaje tenga importancia se usarán sensores potenciométricos.

**Tabla comparativa de sensores L.V.D.T. vs POTENCIOMETRICO**

	<b>L.V.D.T.</b>	<b>POTENCIOMETRICO</b>
<b>Principio de funcionamiento</b>	Variación campo magnético	Variación de resistencia
<b>Precisión</b>	+/- 0,05%	+/- 0,1%
<b>Influencia de la temperatura</b>	Baja	Media
<b>Linealidad</b>	+/- 1% en toda la escala	+/- 1% en toda la escala
<b>Contacto entre piezas móviles</b>	NO	SI
<b>Durabilidad</b>	5*10 <sup>6</sup> ciclos	1*10 <sup>6</sup> ciclos
<b>Coste</b>	Medio	Bajo

## 2. POTENCIOMETROS

### 2.1. INTRODUCCION

Son transductores muy simples y de costo moderado. Permiten obtener una señal de medida de nivel importante lo que evita la utilización de acondicionadores sofisticados. Sin embargo los rozamientos internos son fuente de ruido eléctrico y desgaste que provocan la degradación de sus características, lo que fija un número máximo de maniobras. Además su funcionamiento puede verse afectado por las condiciones ambientales (humedad, polvo, etc. ).

Se trata de una resistencia y un cursor que se desplaza sobre ella. Se alimenta la resistencia con un voltaje regulado y del cursor a tierra obtenemos un voltaje proporcional al desplazamiento producido.

Su principal aplicación es como transductores de desplazamientos lineales o angulares relativos. Sin embargo, también se han usado como sensores o transductores de masa sísmica, o incluso como transductores de presión.

Aunque existen potenciómetros especialmente concebidos para su uso como transductores, en los que sus características de linealidad, relación señal/ruido, estabilidad térmica, etc. han sido especialmente cuidadas, en aplicaciones de menor responsabilidad pueden utilizarse potenciómetros comerciales, lo cual supone un gran ahorro de precio y especialmente, una importante reducción en el plazo de suministro. Esto, unido a la simplicidad de la instrumentación que acompaña a este tipo de sensores es otra de sus importantes ventajas.

### 2.2. DESCRIPCION

El potenciómetro está formado por una resistencia fija  $R_n$  sobre la que se desplaza un contacto eléctrico (cursor).

Cuando la resistencia fija es uniforme se establece una relación lineal entre la resistencia variable  $R(l)$  y el desplazamiento del cursor.

Los potenciómetros pueden construirse para medir giros o distancias rectilíneas.

### 2.2.1. POTENCIOMETROS DE DESPLAZAMIENTO RECTILINEO

También llamados reglas potenciométricas, consisten en una pista recta y entera de resistencia constante, formada bien por un hilo conductor o bien las más modernas formadas por pistas de polímeros conductores. Por encima de ellas, se mueve un cursor que da la medida en voltaje respecto a la tierra. (ver fig.)

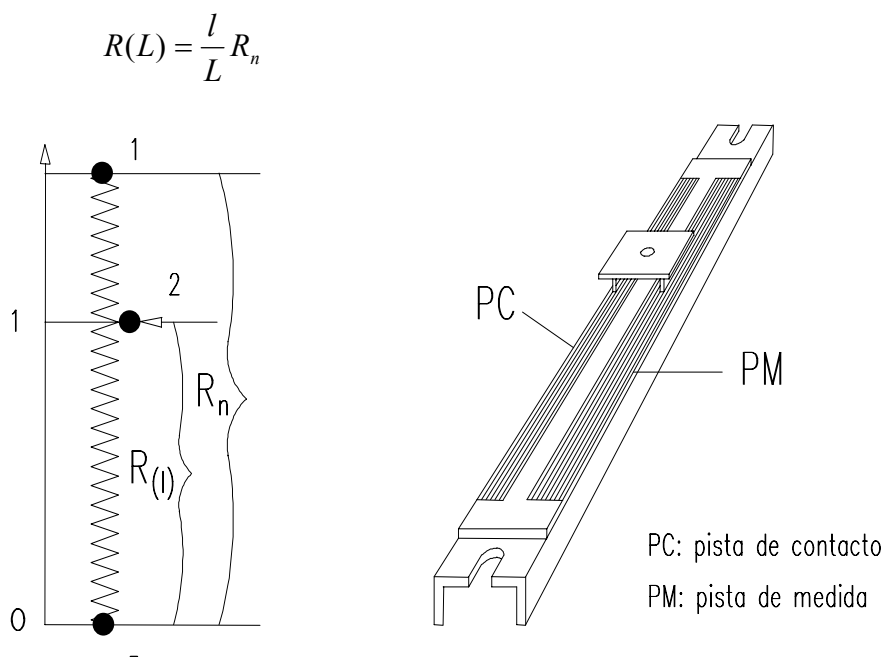


Fig. 2.1: Esquema de una regla potenciométrica.

### 2.2.2. POTENCIOMETROS DE DESPLAZAMIENTO ANGULAR

Trabajan de la misma manera que los de desplazamiento rectilíneo, pero en este caso la pista es de forma circular permitiendo así la medición de variación de ángulos. Nos podemos encontrar con potenciómetros de dos tipos, los de una vuelta, en los que la pista es un círculo en el mismo plano, y los de más de una vuelta, donde el círculo se convierte en una espiral que crece según el eje perpendicular de este círculo. En ambos casos, el cursor se desplaza por encima de la pista creando una relación de linealidad entre la resistencia total y la parte desplazada del cursor. (ver fig.)

$$R(\alpha) = \frac{\alpha}{\alpha_M} R$$

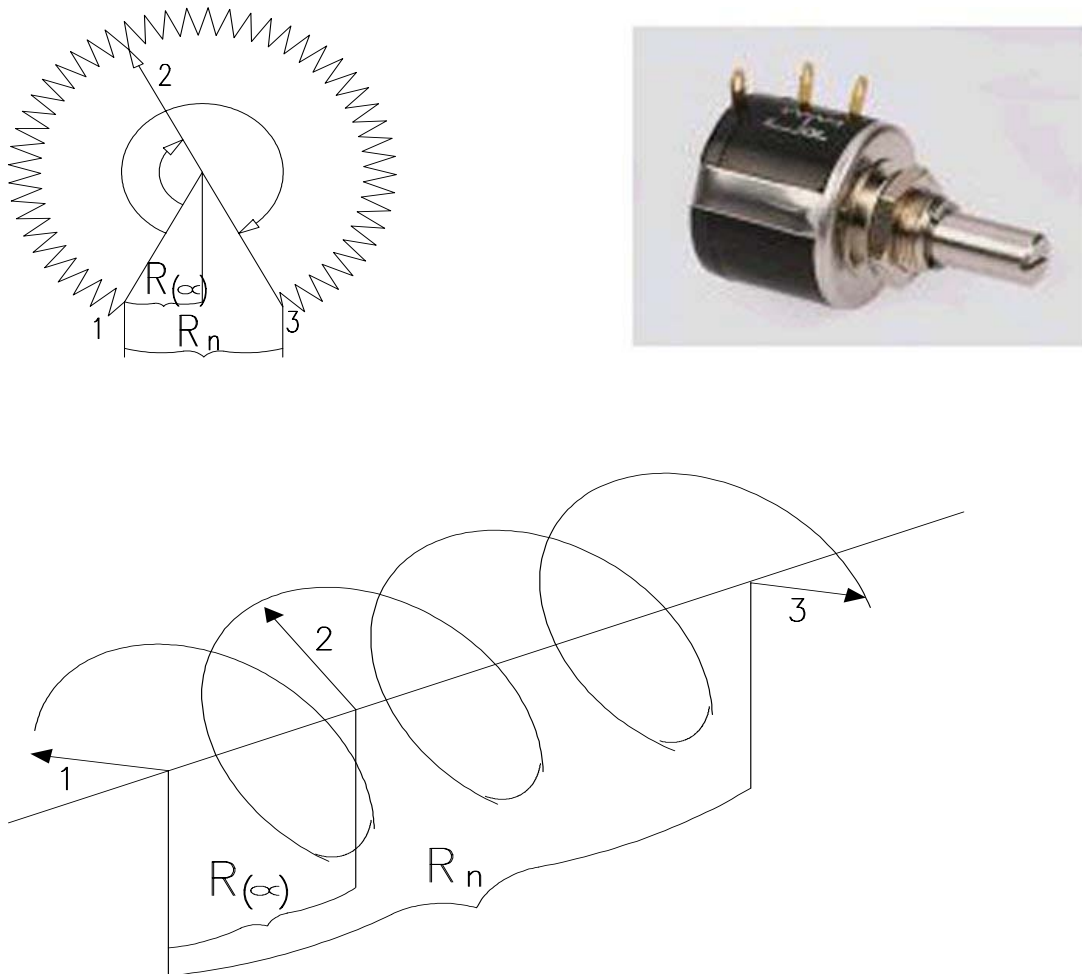


Fig. 2.2: Esquema de un potenciómetro de giro.

La resistencia puede ser un hilo bobinado o una pista conductora. Las pistas conductoras se fabrican con plásticos cargados con polvo conductor de carbono o de metal, con granos cuya dimensión es del orden de  $0,01 \mu\text{m}$ .

La resistencia nominal  $R_n$  suele variar entre  $1\text{k}\Omega$  y  $100\text{k}\Omega$ . Sus tolerancias de fabricación están entre el 5% y el 20%. Su variación con la temperatura es mayor en pistas conductoras.

El error de linealidad está comprendido entre 0,01% y 1% de  $R_n$ , medido como la máxima desviación de la resistencia  $R(l)$ , respecto de su valor lineal.

El cursor debe asegurar un buen contacto eléctrico lo que implica: ausencia de f.e.m. de contacto (chispas), resistencia de contacto débil y estable en el tiempo (desgaste) y en presencia de vibraciones o de velocidades elevadas del cursor.

La resistencia de contacto depende de la presión del cursor y de la naturaleza y estado de las superficies de contacto. Es más elevada para los potenciómetros de pista conductora. Sus variaciones aleatorias durante el desplazamiento del cursor son fuentes de ruido, que es importante si la corriente derivada por el cursor es relativamente importante.

## 2.3. CARACTERISTICAS METROLOGICAS

### 2.3.1. CARRERA ELECTRICA UTIL

La relación  $R(x) / R_n$  en las dos extremidades de la resistencia  $R_n$ , en general se ve perturbada, ya sea por los toques de fin de carrera o por las conexiones al circuito de alimentación.

La carrera útil es el intervalo de variación de  $x$  en que  $R(x)$  es función lineal del desplazamiento del cursor, dentro de una tolerancia especificada.

La figura 2.3 muestra la variación de la relación potenciométrica en función de la posición del cursor, en el potenciómetro circular H22, fabricado por M.C.B.

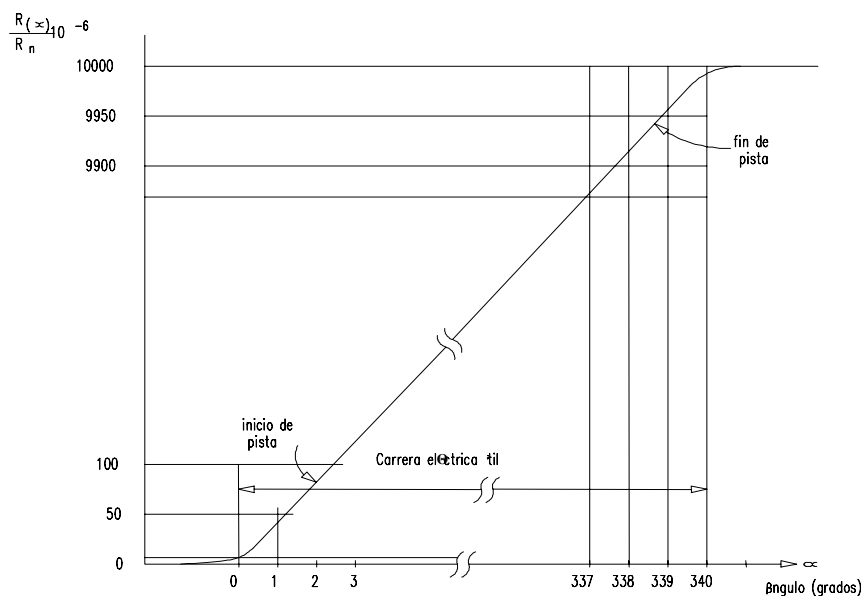


Fig. 2.3: Gráfica del rango de utilización útil.

### 2.3.2. RESOLUCION

La mejor resolución la proporcionan los potenciómetros de pista conductora. Está limitada por su estructura granular, lo que conduce a errores de resolución del orden de 100  $\mu\text{m}$ .

En un potenciómetro bobinado de hilo conductor, con N espiras el cursor puede ocupar  $2N-1$  posiciones eléctricamente distintas: N posiciones con contacto en una sola espira, y N-1 posiciones con contacto simultáneo en dos espiras, tal como se ha representado en la figura 2.4. La tensión medida varía de forma discontinua cuando el cursor pasa de una posición a otra.

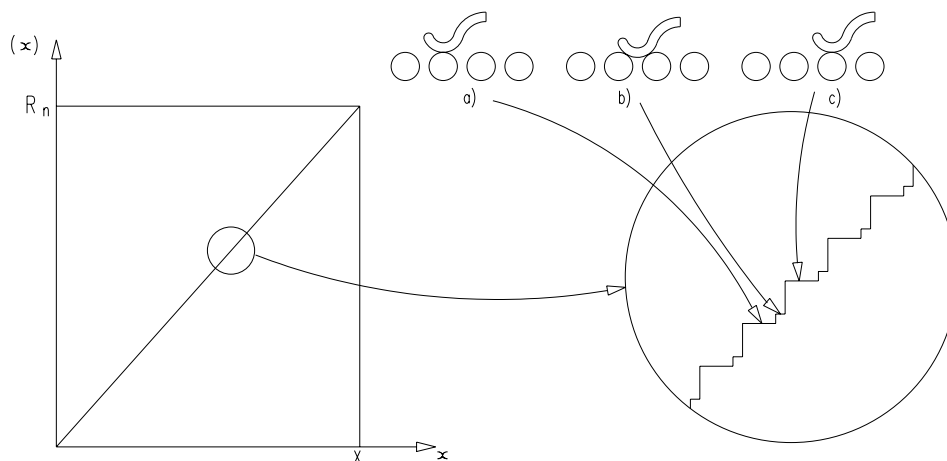


Fig. 2.4: Esquema de las distintas posiciones que puede adoptar el cursor.

### 2.3.3. RESISTENCIA DE RUIDO

La medida en el potenciómetro puede expresarse:

$$v_m(x) = V_m(x) + \Delta v_m$$

siendo  $V_m(x)$  la tensión ideal derivada de la variación de resistencia nominal y  $\Delta v_m$  una fluctuación de tensión aleatoria debida principalmente a cambios en la resistencia de contacto.

Se define la resistencia de ruido como la relación

$$R_b = \left[ \frac{\Delta v_m}{i} \right]_{i=1mA}$$

siendo  $i$  la corriente que atraviesa el cursor del potenciómetro utilizado en reostato. En potenciómetros bobinados,  $R_b$  es, por lo general, inferior a  $20\Omega$ .

La resistencia  $R_b$  en potenciómetros de pistas conductoras suele ser muy superior a la de los bobinados. Sin embargo, suele ser inferior al 1% de  $R_n$ .

### 2.3.4. VIDA DE LOS POTENCIOMETROS

El desgaste de las zonas más utilizadas produce una pérdida de linealidad, y aumenta la resistencia de contacto en los potenciómetros de pista conductora, y con ella el ruido. La vida es menor cuanto mayor es la intensidad en el cursor y mayor es la temperatura de funcionamiento.

## 2.4. INFLUENCIA DE DIVERSOS ELEMENTOS DEL MONTAJE DE MEDIDA

### 2.4.1. MONTAJE BASICO

El potenciómetro se alimenta a través de una fuente de tensión  $E_s$ , con una resistencia interna  $R_s$ . La tensión en los bornes de la resistencia variable  $R(x)$  se mide mediante un dispositivo de alta impedancia de entrada  $R_i$ .

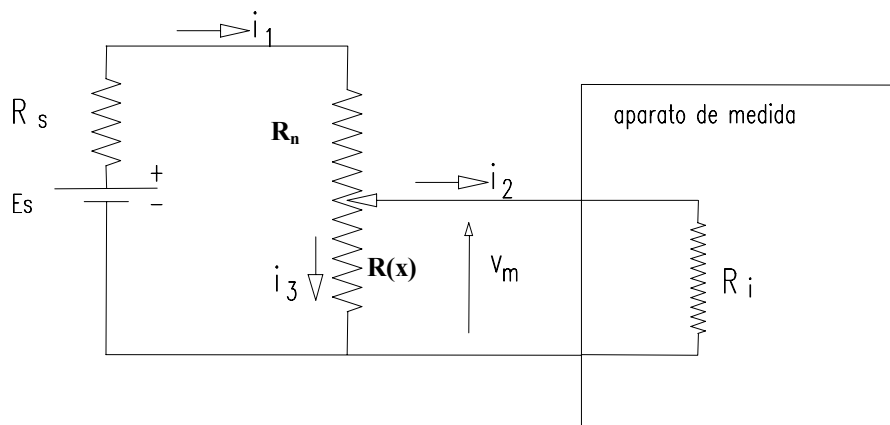


Fig. 2.5: Esquema del montaje del sistema de medida.

Analizando el circuito de medida:

$$\begin{aligned} E_s &= i_1 R_s + i_1 [R_n - R(x)] + i_3 R(x) \\ i_1 &= i_2 + i_3 \\ i_2 R_i &= i_3 R(x) \end{aligned} \quad \text{3 ec – 3 incg}$$

eliminando  $i_2$  entre (1) y (2)

$$i_1 = i_3 [1 + R(x)/R_i]$$

y sustituyendo en (1)

$$E_s = i_3 R_s [1 + R(x)/R_i] + i_3 [R_n - R(x)] [1 + R(x)/R_i] + i_3 R(x)$$

despejando  $i_3$  la tensión a la salida del potenciómetro es

$$V_m = i_3 R(x) = \frac{E_s R(x)}{[R_s + R_n - R(x)] [1 + R(x)/R_i] + R(x)}$$

que también puede expresarse

$$V_m = E_s \frac{R(x)}{R_s + R_n} \frac{1}{1 + \frac{R(x)}{R_i} \left[ 1 - \frac{R(x)}{R_s + R_n} \right]}$$

en el caso ideal se intenta obtener una expresión

$$V_m = E_s \frac{R(x)}{R_n}$$

Analizando por separado cómo distorsionan esta relación la resistencia de la fuente de alimentación  $R_s$  y la resistencia de entrada del equipo de medida  $R_i$

### 2.4.2. INFLUENCIA DE LA FUENTE

Supondremos que  $R_i \gg R_n$ , ( $R_i$  suele ser normalmente una impedancia de entrada muy alta en los distintos aparatos de medida como voltímetros, etc.) en este caso:

$$V_m \cong E_s \frac{R(x)}{R_s + R_n} = E_s \frac{R(x)}{R_n} \frac{1}{1 + R_s / R_n}$$

se produce una modificación de la sensibilidad, constante en todo el rango de medida.

Se produce una reducción de la sensibilidad pero no afecta a la linealidad de la medida. Cuanto mayor es la tensión  $E_s$  y menor la resistencia  $R_s$  mayor es la sensibilidad del transductor. Aun y todo esto nos lleva al aumento de la  $i_1$  con lo que el potenciómetro se calienta más y disminuye la vida del potenciómetro como se ha explicado más arriba.

La tensión  $E_s$  queda limitada por la potencia máxima que puede disiparse en el potenciómetro que a su vez es función de la temperatura exterior.

$$E_{s_{max}} = \sqrt{R_n \cdot P_{d_{max}}}$$

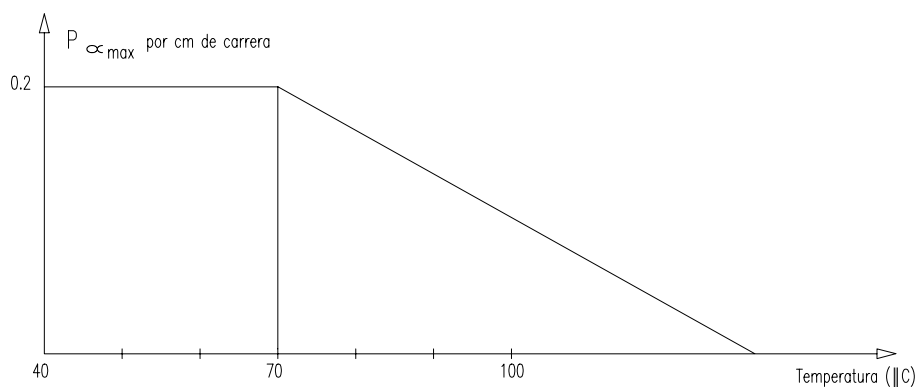


Fig. 2.6: Potencia disipada en función de la temperatura.

Ejemplo: En el potenciómetro de la figura  $L=25\text{mm}$ ,  $R_n=5\text{k}\Omega$

Operación a 25°

$$P_{d_{max}} = 0.2 \times 2.5\text{cm} = 0.5\text{W} \rightarrow E_{s_{max}} = \sqrt{5000 \times 0.5} = 50\text{V}$$

y la sensibilidad máxima resulta:

$$S_{max} = \frac{50\text{V}}{25\text{mm}} = 2\text{V/mm}$$

Operación a 100°

$$P_{d_{max}} = 0.1 \times 2.5\text{cm} = 0.25\text{W} \rightarrow E_{s_{max}} = \sqrt{5000 \times 0.25} = 36\text{V}$$

y la máxima sensibilidad resulta:

$$S_{max} = \frac{36\text{V}}{25\text{mm}} = 1.4\text{V/mm}$$

Cuando  $R_n$  es muy elevado podrían obtenerse de las expresiones anteriores  $E_{s_{max}}$  superiores a la tensión soportable por el potenciómetro. En este caso ésta sería la  $E_{s_{max}}$ .

Estabilidad de la fuente: Una deriva  $\Delta E_s$  de la fuente provoca una variación de la tensión de medida  $v_m$  que se interpreta como una variación de la resistencia  $R(x)$ .

$$\Delta v_m = \Delta E_s \frac{R(x)}{R_s + R_n}$$

la variación de resistencia aparente se obtiene igualando la variación de tensión provocada por ambas.

$$\Delta E_s \frac{R(x)}{R_s + R_n} = E_s \frac{\Delta R(x)}{R_s + R_n} \rightarrow \Delta R(x) = R(x) \frac{\Delta E_s}{E_s}$$

Si se desea tener una resolución o una precisión de medida concretas, ello impone una  $\Delta E_s$  máxima admisible, y define una calidad de fuente de alimentación a utilizar.

A veces se utiliza alimentación en corriente alterna. La medida resulta modulada en amplitud lo que evita errores asociados a derivas lentas de la fuente, pero añade problemas asociados a la influencia de impedancias parásitas más conocidas, cuya influencia crece con la frecuencia de la tensión de alimentación.

### **2.4.3. INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA DE ENTRADA DEL EQUIPO DE MEDIDA**

En este apartado supondremos que la resistencia de la fuente es pequeña  $R_s \ll R_n$  comparada con la del potenciómetro.

$$V_m = E_s \frac{R(x)}{R_n} \frac{1}{1 + \frac{R(x)}{R_i} \left[ 1 - \frac{R(x)}{R_n} \right]}$$

fórmula que puede expresarse en función de x de la siguiente manera

$$V_m = E_s \frac{x}{X} \frac{1}{1 + \frac{x}{X} \left( 1 - \frac{x}{X} \right) \frac{R_n}{R_i}}$$

x : Donde está el cursor

X: Desplazamiento máximo

se observa que  $V_m$  no es función lineal de x, y que la falta de linealidad es mayor cuanto mayor es la relación  $R_n / R_i$  según se puede observar en la siguiente gráfica.

Aproximando la ecuación anterior por los primeros términos del desarrollo en serie de Taylor (válido para pequeños valores de la relación  $R_n / R_i$ ) tenemos:

$$V_m = E_s \frac{x}{X} \left[ 1 - \frac{x}{X} \left( 1 - \frac{x}{X} \right) \frac{R_n}{R_i} \right]$$

La separación entre la curva ideal y la curva real es máxima para un desplazamiento  $x / X = 2/3$  y el error producido en este desplazamiento es

$$\frac{\Delta x}{X} = -\frac{4}{27} \frac{R_n}{R_i}$$

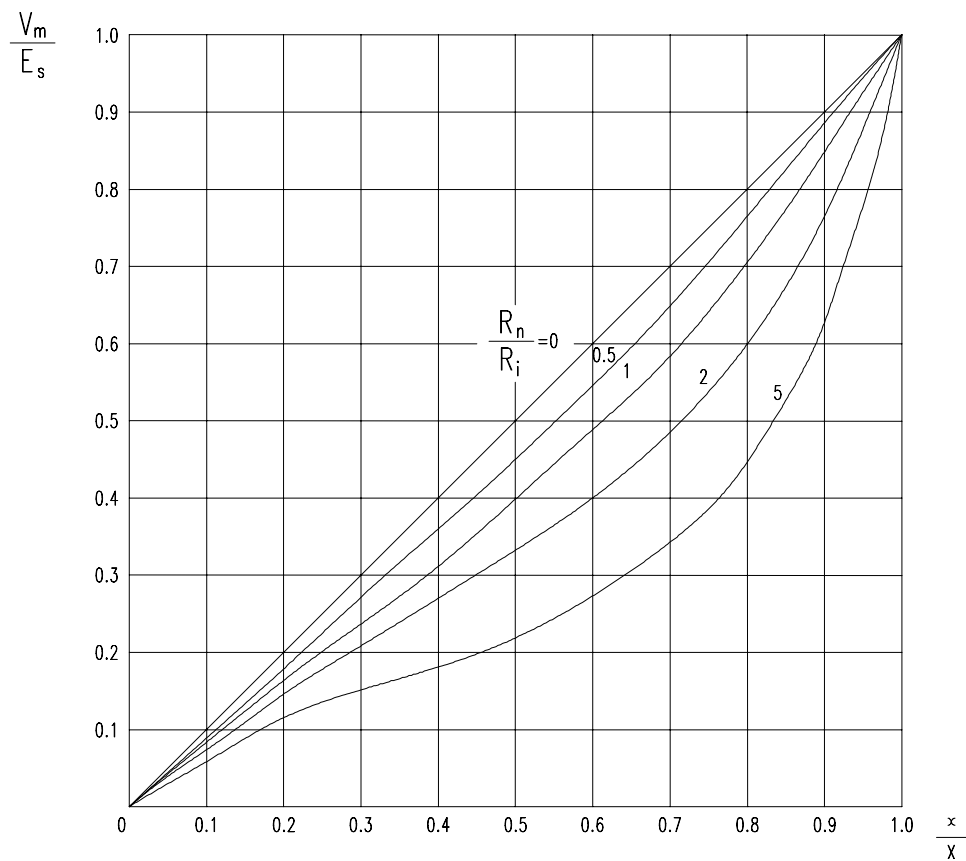


Fig. 2.7: Gráfica de la separación entre la curva real y la ideal.

Normalmente este error es despreciable frente al error de linealidad del transductor.

La resistencia de entrada del circuito de medida condiciona la intensidad de corriente derivada por el cursor. Si  $R_i$  es pequeña, esta intensidad ya no es despreciable y aparecen perturbaciones:

- Caída de tensión en la resistencia de contacto.
- Deformación de las líneas de corriente en la pista conductora en las proximidades del cursor.
- Riesgo de degradación por calentamiento local de la pista o del cursor.

Como consecuencia, se hace necesario limitar esta corriente.

### 3. ESTABLECIMIENTO DEL ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Esta previsto que se diseñe un sensor de desplazamiento para medir la distancia que se mueven las ruedas de un kart-cross respecto de su chasis. De todas formas, no deben descartarse otras utilidades, como pudieran ser el ensayo del desplazamiento de las alas de un avión sometidas a las cargas de sustentación, desplazamiento relativo de la mesa de un torno etc.

Los sensores suelen ir ubicados en pequeños recovecos de máquinas ya construidas, las cuales no tienen previsto el albergar un sensor. Por ello, éste deberá ser pequeño y ligero, y hay que tener previstas distintas posibilidades de anclaje para que la colocación en las distintas máquinas sea más fácil.

Para nuestro caso, se ha partido de una carrera máxima de 200mm y al que no le haga falta una alineación muy estricta. Por lo cual desde un principio se sugiere que para la medición se utilice un cable de acero aunque no se descarte otro método que se pudiera diseñar a lo largo del desarrollo del proyecto. Aun y todo, como el sensor no debiera ser solamente para la utilización en un kart-cross se pide que sea fácilmente variable la medida a medir.

También se pide que se compare el sensor proyectado con un sensor comercial, para lo cual habría que hacer ensayos de linealidad, sensibilidad, rango de medida etc. de ambos sensores.

En cuanto al material a utilizar en principio no se ponen ninguna condición, pero habrá que tener en cuenta que se pide ligereza y ha de ser posible su fabricación en el taller de la escuela. Además, los distintos elementos que hagan falta para la construcción del sensor deberán ser comerciales y a los que no haya que hacer modificaciones para nuestra utilización. Esto, además de facilitar la fabricación deberá abaratar el coste, siendo esta otra de las peticiones, es decir: que nuestro sensor sea más barato que uno comercial.

En definitiva, habrá que diseñar un sensor barato, ligero, robusto y de reducidas dimensiones. Que sea capaz de medir entre 150 y 250 mm sin que sea necesaria una alineación muy precisa entre el punto inicial y el punto final de la medida.

## 4. EVOLUCION DEL DISEÑO DEL SENSOR

Al no tener experiencia ni especialización en este tema, lo primero que había que hacer era buscar información detallada acerca de lo que es un sensor. Porque aunque en la asignatura de Cálculo y construcción de Máquinas se había abordado este tema, queda un poco lejos en el tiempo y en un primer momento se empieza por ahí, repasando algo que ya se conoce, pero después, se sigue recopilando información sobre sensores en Internet y la biblioteca, buscando así asentar los conocimientos recibidos.

Una vez que se consigue la información, y siguiendo las directrices del director del proyecto Don Joan Savall, desde un principio se piensa que el sensor este basado en un sensor de desplazamiento de cable. Se empieza a estudiar los elementos que pueden constituir el sensor.

Inicialmente está claro que va ha haber un cable encargado de entrar y salir del sensor para así darnos la información del desplazamiento. Parece lógico que la forma de recoger este cable sea arrollándolo alrededor de una polea. El enrollamiento automático del cable se llevará a cabo mediante un muelle y la salida del cable será efectuada por el mismo objeto que se desplaza.

Hasta ahora lo que tenemos es un cable que al estirar de él hace girar a la polea que se encarga de guardarlo ordenado. Con el giro de esta polea para la salida del cable, se carga un muelle de torsión, que será el responsable de recoger el cable enrollándolo otra vez en la polea cuando se deje de estirar. De esta manera se relaciona un desplazamiento lineal con un giro.

Para cuantificar este giro, hace falta algún aparato de medida. En un primer momento se pensó en un encóder tipo diodo led, pero se descarta por las siguientes razones:

- Habría que inicializarlo cada vez que se pusiera en marcha el sistema.
- Aunque él en sí es barato, habría que realizar un circuito impreso para poder mantener la compacidad y la realización de un número considerado de circuitos no sería factible para nosotros.
- La señal que obtendríamos sería de tipo pulso que es de más difícil tratamiento que una señal analógica.

Así pues, se piensa en un potenciómetro comercial como aparato de medida del giro, barato, con suficiente precisión para este uso y de fácil adquisición. De esta manera tenemos el primer conjunto de piezas que constituirán el sensor prototipo.

#### 4.1. PRIMER SENSOR – SENSOR DE BASE HORIZONTAL

Se hacen dos primeros diseños preliminares uno vertical y el otro horizontal.

Se hace un diseño en vertical, es decir se colocan por un lado la polea y el muelle y debajo de ellos el potenciómetro. Se piensa que la relación del movimiento entre la polea y el potenciómetro se haga mediante engranajes. Este diseño vertical se desecha ya en un primer momento, puesto que se introducen más elementos, (engranajes), dentro del sensor lo cual puede acarrear problemas con el peso del mismo y además puede quedar una holgura entre el movimiento de la polea y el movimiento del potenciómetro que perjudicaría la linealidad de la medida.

En el horizontal, se colocan el potenciómetro, la polea y el muelle en un mismo eje y enseguida se ve la necesidad de fijar el potenciómetro y el muelle a una base, todo ello se tapaná con una tapa para evitar las suciedades y las inclemencias meterológicas.

En este primer momento sin haber dimensionado nada parece que funcionará bien, pero enseguida se ve que todos los esfuerzos creados por la tracción del cable y el momento del muelle los debe absorber el potenciómetro. Esto no haría más que reducir drásticamente la vida del potenciómetro ya que este no está diseñado para absorber esfuerzos. Entonces se hace que los esfuerzos de la polea pasen a la base mediante un rodamiento.

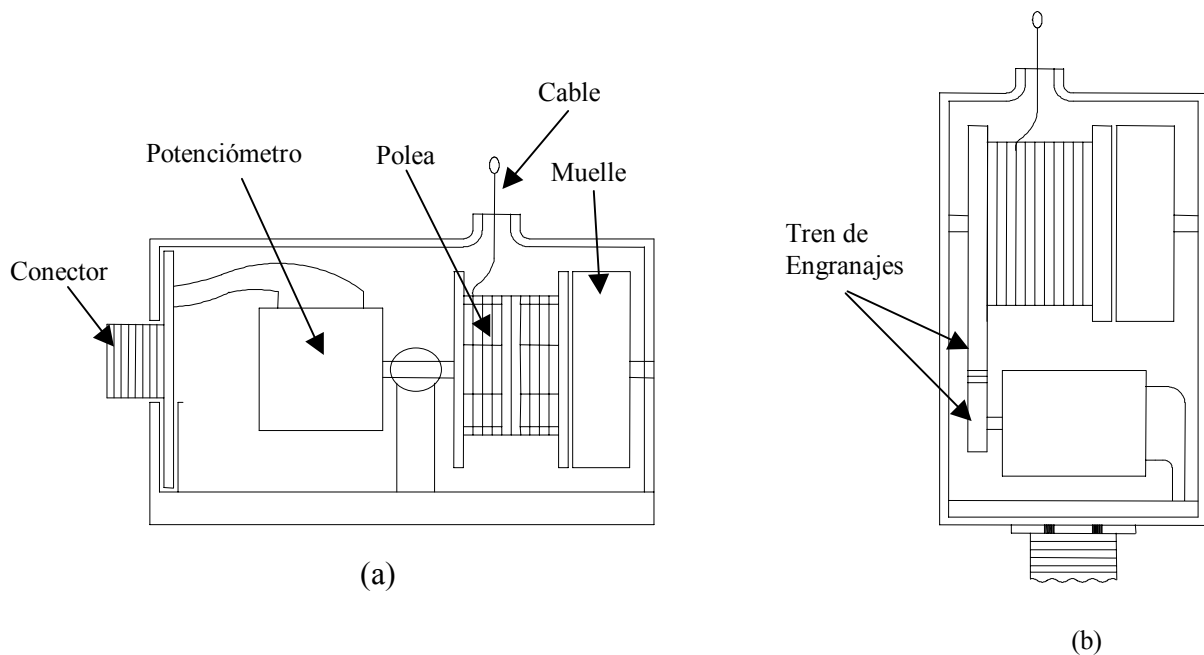


Fig. 4.1: Esquema de los sensores "horizontal"(a) y "vertical"(b).

De esta manera llegamos al definitivo conjunto de piezas que constituirán la esencia del sensor: El cable, la polea, un muelle para recoger el cable, un rodamiento y el potenciómetro. A esto se le añadirá un chasis o base para sujetarlo todo y tapas para taparlo.

Al principio se coloca el rodamiento entre el muelle y la polea en el mismo eje de la polea, haciendo esto que el diseño crezca en longitud, por lo que se piensa más en la colocación. Así nos encontramos con el problema de cómo hacer unitario el movimiento del potenciómetro y la polea. Se plantea hacerle un chaflán al eje del potenciómetro pero esto rompería la premisa de no modificar ninguna de las piezas comerciales. Al final la solución viene dada con la colocación de un prisionero en la garganta de la polea apretándolo contra el eje, idea que se mantendrá hasta el final.

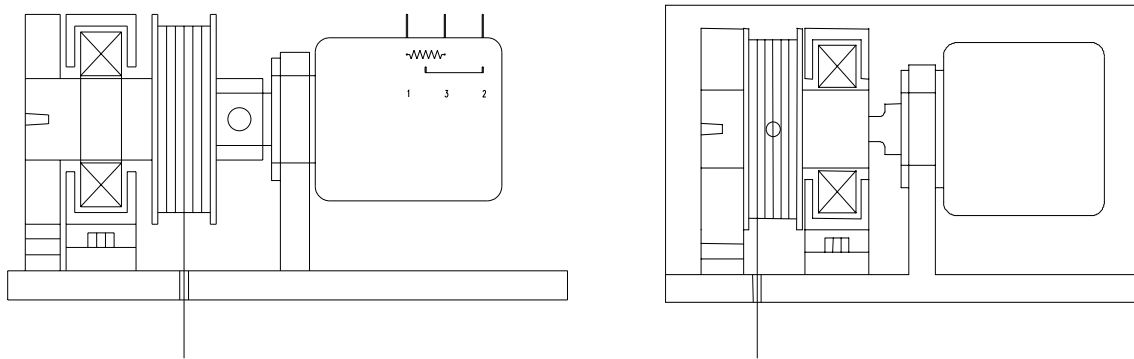


Fig. 4.2: Esquema del primer sensor con rodamiento.

En este diseño el centrar el eje de la patilla de sujeción del potenciómetro y el eje del soporte para el rodamiento no parece muy sencillo. Además para construirlo habría que utilizar las máquinas de CNC, con lo que se dispararían los costes y la dificultad de la construcción.

## 4.2. SENSOR DE BASE COAXIAL

Se ha llegado a un punto en el que también se empieza a pensar en la facilidad de construcción del sensor. El objetivo es que sólo se deba utilizar un torno para la construcción de las piezas que no sean comerciales, como son las tapas, el chasis o base y la polea.

Por la coaxialidad de todas las piezas, es diseñada una base también coaxial. En esta se piensa introducir el rodamiento al que se sujetarán la polea por un lado y el potenciómetro por el otro.

Como el torno nos recuerda a un eje girando, el primer diseño es cilíndrico, pero nos damos cuenta que utilizando la misma sección también se puede construir la base cuadrada como se muestra en la siguiente figura.

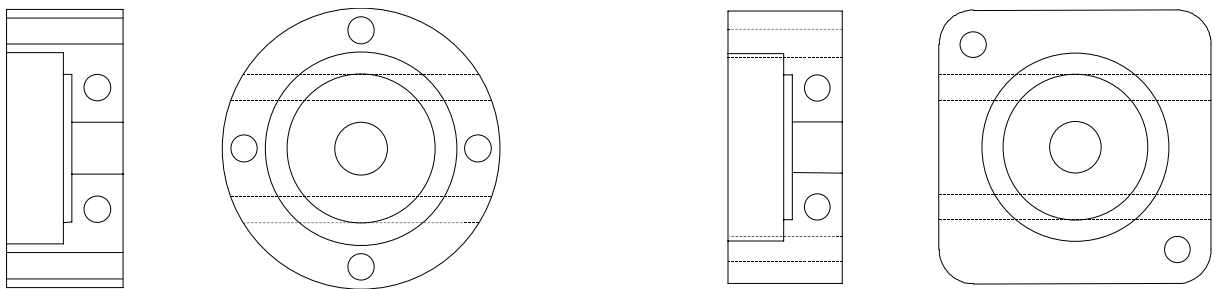


Fig. 4.3: Esquema de las bases cilíndrica y cuadrada.

En estos momentos con datos concretos del potenciómetro parece que nos hace falta un hueco interior para albergarlo de  $\phi$  40 mm en caso de ser cilíndrica o con una diagonal de 40 mm en caso de ser la base cuadrada.

El uso de una base cilíndrica o una cuadrada es uno de los puntos que más se piensa ya que se ven pros y contras a una u otra forma. Finalmente se elige construir la base de forma cuadrada por las siguientes razones:

- La principal razón para la elección de la base cuadrada es que siendo cuadrado el sensor, al apoyarlo sobre una superficie lisa con una pequeña sujeción ya nos quedaría estable, mientras que si fuera de forma cilíndrica tendería a rodar por la misma.
- Otra razón es que al ser el potenciómetro asimétrico por los contactos del cable, sólo hace falta que haya 40 mm en una de las direcciones y no en todas. En un cuadrado se utiliza la diagonal de 40 mm, cuya cara mide 30 mm y con el cilíndrico hacía falta un tubo de diámetro interior de 40 mm.
- Además en el cuadrado se utiliza una diagonal para los contactos, y se puede utilizar la otra para los tornillos sin tener que estar dejando material extra para que estos entren, como hay que hacer en el sensor de forma cilíndrica.

En resumen se elige la forma cuadrada por ser más reducida de tamaño en general y por una más fácil ubicación en superficies lisas.

Así pues se piensa en una base cuadrada maciza que valdrá como soporte para el rodamiento por un lado y para el potenciómetro por el otro. Tendrá dos agujeros pasantes en una de las caras (opcionales, a petición del cliente) para la sujeción del sensor. El eje de un lado de la polea iría introducido en el rodamiento, mientras que en el otro lado de la polea hay un eje en el que apoyar el muelle. A los dos lados habría dos tapas macizas para las cabezas de los tornillos y las roscas. En los dos huecos de este triple "sandwich" se colocarían dos trozos de tubo de sección cuadrada de medida exterior de 32 x 32 mm, como se puede ver en la figura siguiente.

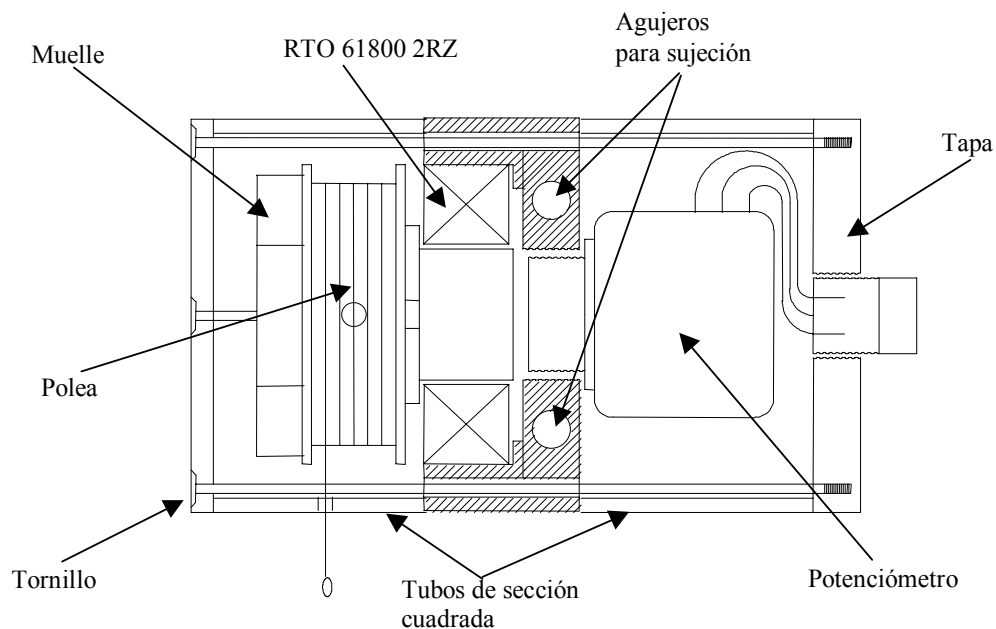


Fig. 4.4: Esquema del primer sensor con base coaxial.

Aunque este diseño podría parecer definitivo a falta de algún retoque, se encuentra un fallo, que el rodamiento para que no se desplace hacia el lado del muelle sólo está sujeto por el eje del potenciómetro. Para la polea se confía en el ajuste entre polea y rodamiento. Se intenta subsanar este error mediante otro diseño.

### **4.3. SENSOR CON DOS BASES COAXIALES Y POLEA BIAPOYADA SOBRE DOS RODAMIENTOS.**

Para solucionar el movimiento del rodamiento había dos opciones, una que consistía en la colocación de un circlip, lo que haría que se alargara la longitud del sensor sin proporcionar ninguna mejora más al sensor, y la otra era convertir la tapa maciza del lado del muelle en una segunda base o chasis en la que se colocaría otro rodamiento. Se alargaría lo suficiente el eje de la polea para que encajara en el rodamiento.

De esta manera, se habría conseguido por una parte resolver el problema del movimiento del rodamiento y por otra parte se conseguiría una polea biapoyada, quedando así ésta, unida de una forma más rígida y estable ya que los esfuerzos se absorberían de manera simétrica entre las dos bases.

En resumen, nos quedaría un sensor muy parecido al anterior pero con una parte de los problemas solucionados. En un estudio exhaustivo se analizaban los problemas de montaje y funcionamiento del sensor, y a falta de la construcción de un prototipo parecía que éste podría ser un sensor definitivo cuyo nombre de diseño fue “sensorcua”.

Pero se encuentran cosas para mejorar. En este caso lo que ocurría era que de tener una pieza de responsabilidad, y más complicada de construir, ahora había dos. Esto suponía un mayor trabajo a la hora de la fabricación y un mayor coste. Había que volver a dar la vuelta al diseño, haciendo que hubiera una sola pieza de responsabilidad y que las otras fueran solamente tapas.

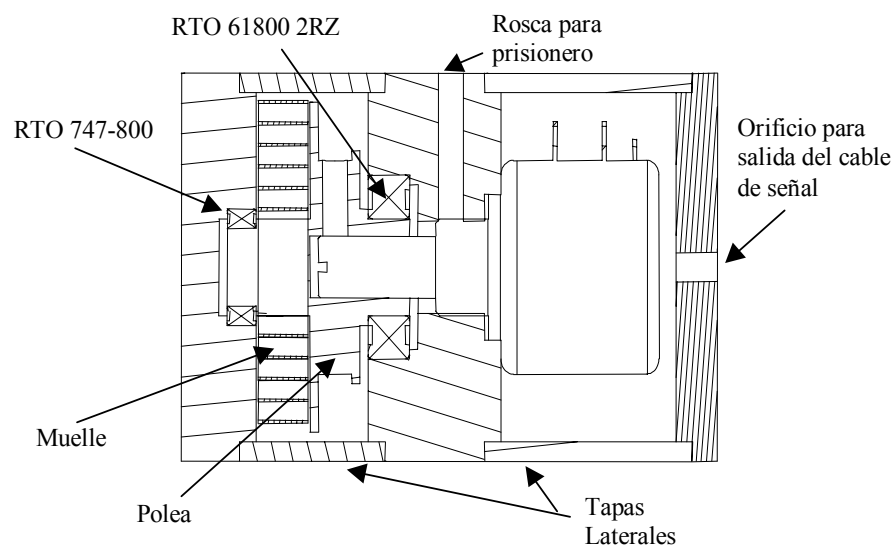


Fig. 4.5: Esquema del “sensorcua”.

#### **4.4. DOS DISTINTOS SENSORES CON UNA SOLA BASE**

En este apartado se van a explicar dos diseños más o menos afortunados, muy cercanos al definitivo, que aunque al final fueran descartados para la construcción, fueron valaderos para originar algunas ideas que luego serían usadas en el diseño del sensor del que se construyó como un primer prototipo.

En el primero de ellos llamado “sensorun”, se mantenía la idea de los dos rodamientos ya que parecía que así se iban a absorber mejor los esfuerzos. El lado de la polea en este caso se mantenía más o menos parecido a los sensores de base coaxial antes explicados, pero por el lado del potenciómetro había que introducir un rodamiento y el orificio de la rosca del potenciómetro era muy pequeño.

Lo que se propone entonces es hacer un vaciado en la base para que entre el rodamiento sin problemas y otro vaciado mayor para un soporte. Este soporte consiste en un disco cilíndrico del tamaño en diámetro del potenciómetro, y de anchura, la rosca del mismo. Entonces con tal de sujetar este soporte al chasis, el potenciómetro quedaba unido al chasis.

Se mantiene el mismo esquema de diseño que el del “sensorcua” de un rodamiento pero ahora en el lado del potenciómetro se ha introducido un rodamiento, y un soporte para el potenciómetro para poder así introducir el rodamiento.

Los problemas que presenta este dispositivo son:

Por una parte, la construcción de la base es bastante compleja, ya que hay que tornearse la pieza primero por un lado y luego por el otro, teniendo que ser los dos lados perfectamente coaxiales para mantener la coaxialidad del eje de los rodamientos.

Por otra parte, no parece que el que haya dos rodamientos en el mismo lado de la polea conlleven una mejora muy grande respecto a la colocación de un solo rodamiento.

Además, el diseño de esta forma realizado, crece mucho en la dimensión axial empezando a no ser compacto y a lo que hay que sumarle el espacio que hay que dejar para sujetar el soporte, aspecto que habrá de ser cambiado.

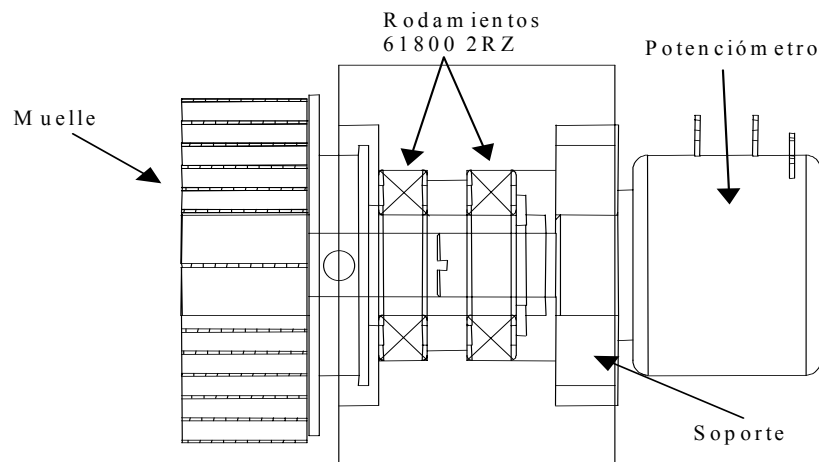


Fig. 4.6: Esquema del "sensorun".

En el segundo diseño que se hace casi a la par que el anterior, se descarta ya la colocación de dos rodamientos, y la sujeción de la polea ya no se hará mediante un circlip, sino que se coloca una tuerca que es la que se encargará de sujetar a la polea, siendo este el aspecto más destacado de este diseño, ya que por lo demás se parece mucho al diseño del "sensorcua" de un rodamiento.

Otra innovación que tiene este diseño son las tapas. En este caso en vez de tener dos tapas macizas a los lados, y tubos de sección cuadrada entre estas y la base, se unen las tapas y los tubos diseñándolos como una pieza unitaria. Con esta idea se simplifica mucho el montaje del conjunto y por ello será una idea que se mantendrá también hasta el final.

El problema de este diseño es la tuerca de sujeción de la polea. Esta tuerca se enroscaría al eje de la polea, es decir que habría que roscar el eje, difícil trabajo por el pequeño tamaño de la polea, y habría que construir una tuerca aún de menor tamaño y de gran precisión ya que es aquí donde tendría que ir alojado el rodamiento. Además existiría el problema de que se podría aflojar.

Por ello, y por la gran dificultad de construcción que se ha estado evitando hasta ahora hacen que este diseño sea descartado, pero no ha sido en balde ya que como algunos de los diseños anteriores, aunque hayan sido desechados, han valido para hacernos pensar en nuevas ideas, útiles para el diseño final.

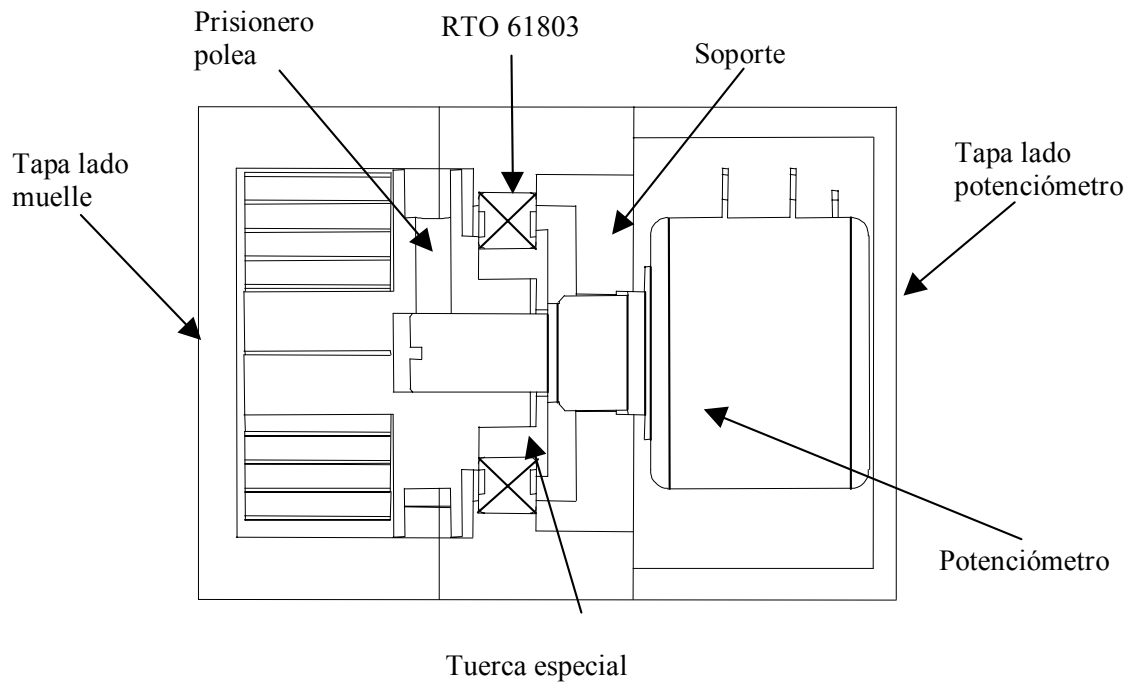


Fig. 4.7: Esquema del "sensoresp".

#### 4.5. REALIZACION DEL SENSOR FINAL

Aunque parecía frustrante el ir desechando diseños hay que darse cuenta que cada uno de ellos ha servido para ir marcando el camino a seguir y que con cada uno de ellos han ido germinando y desarrollándose ideas para crear el sensor que se ha llevado al final a la construcción.

Toda esta evolución al final ha hecho que se construyera un prototipo que empezó a funcionar desde el primer momento y eso que el muelle comercial utilizado (por no encontrarse otro en un primer momento) no funcionaba perfectamente.

Como se ha ido explicando, lo primero que se decidió como fijo fue que el sensor fuera potenciométrico. Enseguida se vio que todos los componentes al tener un eje de revolución debían compartirlo. Su sección, también explicado el porqué en su momento, debía ser cuadrada.

Por facilidad de construcción y por comodidad de montaje, se pensaba en colocar una única base, pieza de responsabilidad y así las tapas quedarían haciendo sólo trabajo de tapas. Estas que habían empezado siendo de más de una pieza terminan por ser enteras y de fácil construcción.

Con un rodamiento alojado en la base se absorberían los esfuerzos del cable y muelle y el potenciómetro se sujetaría mediante un soporte, soporte que se diseña para permitir la entrada del rodamiento por este lado, y al final, para que también sirva para sujetar el rodamiento, sin permitirle ningún movimiento más que el de su giro natural.

En este diseño, también se introducen algunas nuevas soluciones.

Una de ellas es la de sujetar el soporte de la misma manera que la polea al potenciómetro, es decir, mediante prisioneros que desde el exterior aprietan a la pieza.

Otra es la de hacer que el orificio de salida del cable sea compartido por el chasis y la tapa del lado del muelle, tallándose media caña en cada pieza para que el montaje y desmontaje fuera así de más fácil ejecución. A esto se le une que por el interior se le hicieran también unas acanaladuras compartidas para que el cable se guiara de manera suave hacia el agujero.

Con todas estas condiciones se diseña un sensor del que, se manda construir un prototipo, que es el que se enseña en la siguiente figura.

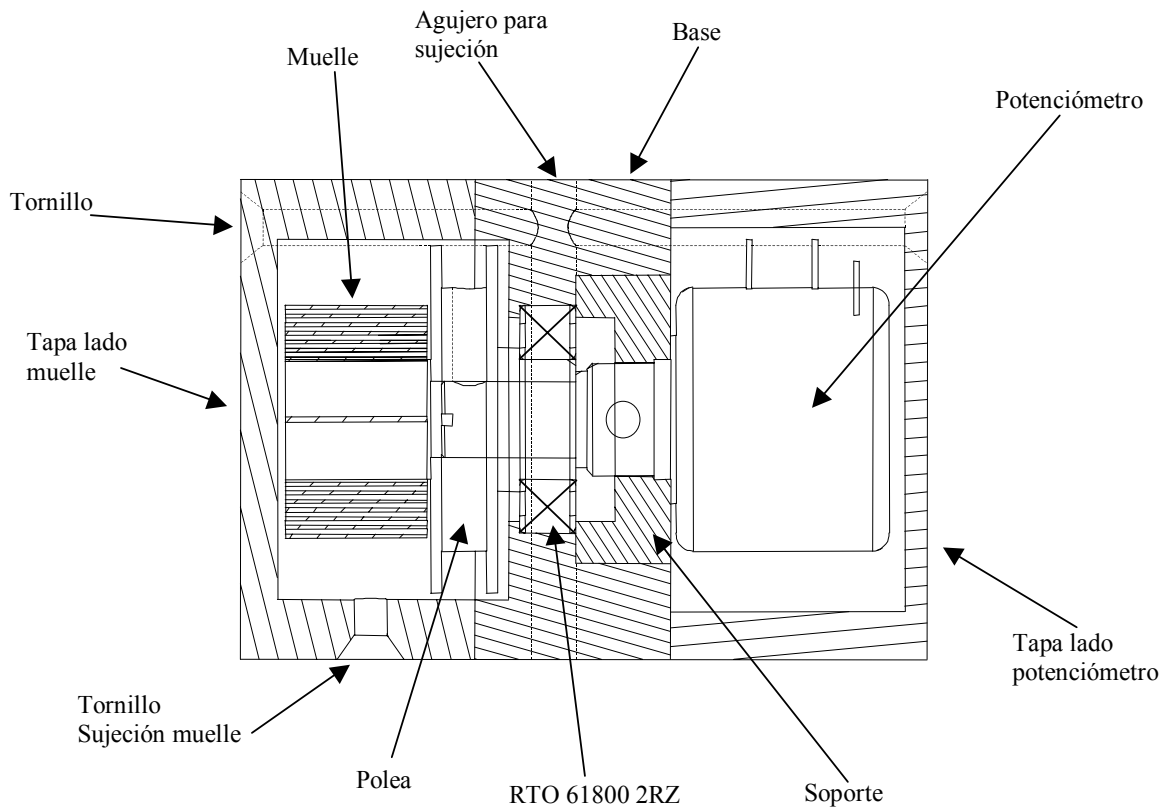


Fig. 4.8: Esquema del sensor prototipo construido.

Una vez con el sensor en la mano se hacen diversas pruebas, tanto de laboratorio como colocándolo en el kart-cross, y utilizando como adquisición de datos tanto el programa LabView, y el *data logger* adquirido para estudiar el comportamiento del coche.

En este momento y ya con las piezas en la mano, se ve que se pueden hacer dos mejoras para ya obtener el sensor definitivo, objeto de este proyecto. Una de las mejoras es la de reducir la anchura del muelle, teniendo para ello que mandar a construir un muelle específico y la otra es la reducción de tamaño de distintas piezas lo que hacen que el sensor sea más compacto y ligero y por ello mejor.

## 5. DESCRIPCION DETALLADA DEL CONJUNTO

En este apartado vamos a describir cada una de las piezas que componen el sensor, y a justificar en algunas el porque de la elección de ellas.

### 5.1. BASE

Es la pieza central del sensor, a la que se unen todos los demás componentes. Alberga en su interior un rodamiento al que se une la polea y a esta se le une el potenciómetro como ya se explicará más adelante.

La base tiene también dos agujeros que sirven para amarrar el sensor cuando se pueda apoyar este en una superficie plana, paralela a la carrera del cable.

Como puntos de sujeción es posible usar de la misma manera, los tornillos de sujeción de las tapas, solución que se ha adoptado en la aplicación del kart-cross después de crear unos soportes exteriores que se unen a estos.

Al crear la base con las tapas un cuerpo regular, tenemos una misma dimensión exterior para los tres elementos, es decir, 34 x 34 x 16,5 mm con chaflanes de 2 mm a 45° en las cuatro aristas del paralelepípedo.

Empezando por la parte del potenciómetro, se encuentra un vaciado de diámetro  $\phi = 24 \times 8,5$  mm de profundidad que es el que albergará el soporte que sujeta al potenciómetro. En uno de los lados, en la mitad de la cara hay un taladro de M3 para un prisionero, encargado de fijar el soporte junto con el potenciómetro a la base.

Continuando en el mismo eje, inmediatamente después se encuentra el alojamiento del rodamiento, que tendrá, como es lógico, sus mismas dimensiones:  $\phi 19 \times 5$  mm de profundidad, teniendo el diámetro una tolerancia K7.

Para que el rodamiento no se mueva, nos encontramos ahora con una pestaña. Esta pestaña está justamente al final del alojamiento. Sus dimensiones son  $\phi 17 \times 1$  mm de grosor. Esta dimensión es justo menor que el mayor diámetro del rodamiento pero tal que el anillo exterior del rodamiento pueda hacer tope, sin estorbar el giro de las bolas y la pista interior del rodamiento.

Ya en la cara exterior del otro lado, se encuentra otro vaciado. Este es un hueco para que pueda caber media polea y la otra media quedará introducida en la tapa del lado del muelle. De esta manera el cable de medida y el cuerpo de la polea,

quedan a al par de la unión entre la base y la tapa facilitándose el montaje y desmontaje del sensor.

En este lado también se puede encontrar la mitad del canal de salida del cable de medida ya que también se ha realizado medio en el lado de la base y el otro medio en el lado de la tapa. Desde la tangente con la polea hasta 1 mm antes de la cara exterior, se encuentra un canal en forma de embudo para que la aproximación del cable al orificio de salida de  $\phi 1$  mm se haga de manera suave.

Todo esto se puede apreciar en la figura que viene a continuación.

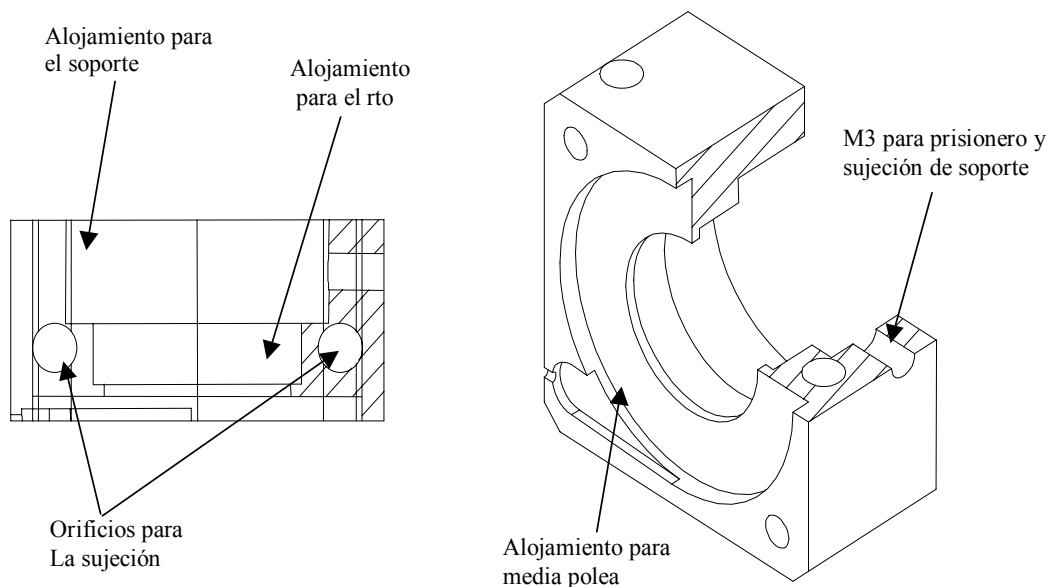


Fig. 5.1: Esquema de la base.

## **5.2. TAPA LATERAL DEL LADO DEL POTENCIOMETRO**

La misión de la tapa, como su nombre nos indica es la de proteger, en este caso el potenciómetro. De esta forma, se evita que el potenciómetro quede a la vista y al alcance de piedras u otros objetos contundentes que pudieran saltar a la hora de andar con el kart-cross. También evita que el potenciómetro se vea afectado por las inclemencias del tiempo como la lluvia, polvo, etc. ya que si se usa algún tipo de

silicona tipo LOCTITE en la zona de unión con la base y en la salida del cable de la señal queda cerrado herméticamente.

La tapa consiste en un paralelepípedo de dimensiones 34 x 34 x 20,5 mm, con las aristas achaflanadas a 45° x 2 mm. En el lado de la base tiene un rebaje de diámetro  $\phi 32$  x 19.5 mm de profundidad, que es el lugar de alojamiento del potenciómetro.

En una de las caras, hay una acanaladura para la salida del cable de la señal que viene del potenciómetro al sistema de adquisición de datos.

Para la sujeción de la tapa con la base se han realizado dos agujeros pasantes avellanados de M4 en una de las diagonales.

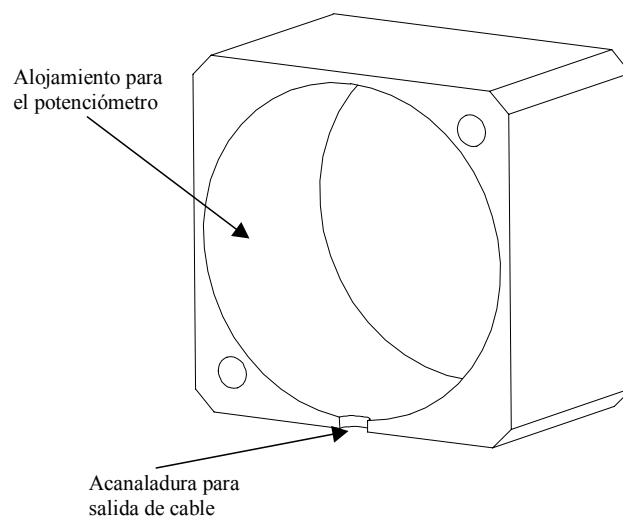


Fig. 5.2: Esquema de la tapa del lado del potenciómetro.

### **5.3. TAPA LATERAL DEL LADO DEL MUELLE**

La misión de la tapa, como su nombre nos indica es la de cubrir, en este caso el muelle, el cable y la polea. De esta forma, se evita que estos tres elementos queden a la vista y al alcance de las piedras u otros objetos contundentes que pudieran saltar a la hora de andar con el kart-cross y también evita que estos componentes se vean afectados por las inclemencias del tiempo como la lluvia, el polvo, etc. ya que si se usa algún tipo de silicona tipo LOCTITE en la zona de unión con la base queda cerrado herméticamente. Este caso queda abierto un pequeño orificio para la salida del cable de medición que no se podrá tapar.

Otra misión de esta tapa es la de servir como sujeción de uno de los lados del muelle helicoidal o de “caracol” para que al introducir el otro lado del muelle en la polea y al girar ésta se cargue de energía el muelle, y al soltar el cable, este se recoja instantáneamente.

La tapa consiste en un paralelepípedo de dimensiones 34 x 34 x 12 mm, con las aristas achaflanadas a 45° x 2 mm. En el lado de la base tiene un rebaje de diámetro  $\phi 32$  x 11 mm de profundidad, que es el lugar de alojamiento del muelle y parte de la polea en la que se enrolla el cable de medición. Este cable, sale por un orificio de  $\phi = 1$  mm, que hay practicado en una de las caras.

La particularidad de este orificio consiste en que se ha realizado medio canal en la tapa, y otro medio canal en la base para una mayor facilidad de montaje y desmontaje del sensor.

En la tapa, al igual que en la base se ha diseñado un rebaje en la salida del cable de medición para ir guiando a este de manera suave desde la tangente de la polea hasta la salida por el orificio. Este rebaje también está hecho medio en la tapa y medio en la base como el orificio de salida para el cable.

En la diagonal opuesta a este canal de salida, se realiza otro canal que es en el que se introducirá el lado del muelle a sujetar. Al final del canal se ha hecho un agujero avellanado de  $\phi = 3$  mm. Esta sujeción se realizará mediante un tornillo avellanado de M3 y tuerca que sujetarán al muelle por un agujero que tiene en su extremo.

Para la sujeción de la tapa con la base se han realizado dos agujeros avellanados de  $\phi = 4$  mm en una de las diagonales para que quede sujeta a la base mediante dos tornillos allen para agujeros avellanados de M4.

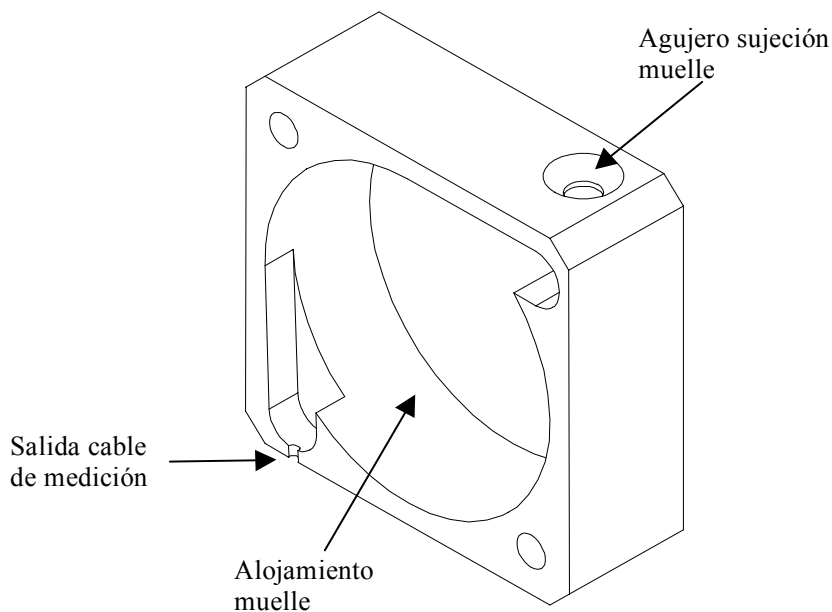


Fig. 5.3: Esquema de la tapa del lado del muelle

#### 5.4. MUELLE HELICOIDAL DE FUERZA CONSTANTE

Los muelles de fuerza constante representan una variedad especial de muelle de tracción. Consisten en una espiral o fleje con curvatura incorporada de forma que cada espiral del fleje se apriete fuertemente sobre la anterior. Cuando se extiende (deflexionado), el esfuerzo inherente resiste la fuerza de carga, al igual que en el resorte de tracción común, pero con una cadencia casi constante (cero).

Este tipo de muelle en espiral "llamado vulgarmente de caracol" trabaja a flexión y el esfuerzo desarrollado es un esfuerzo de tracción y compresión. Estos tipos de muelles a flexión están formados por una pletina enrollada sobre un eje, imaginario o real, en forma de espiral de Arquímedes, el esfuerzo se desarrolla de modo que, estando sujetos sus dos extremos (empotrados), uno al eje y el otro a un punto exterior cualquiera, gire en el sentido tal que tiendan a aproximarse las espiras. Ejemplos típicos de estos muelles son: cuerda del reloj, los eleva lunas de los coches, etc.

El muelle de fuerza continua es muy adecuado para largas extensiones sin acumulación de carga. En la utilización el muelle se monta normalmente con el diámetro interior enrollado apretadamente alrededor de un tambor y con el extremo libre fijado a la carga, como en la aplicación de un contrapeso. Dicha relación puede invertirse, no obstante, con el extremo libre fijo y la fuerza de trabajo siendo

proporcionada por el mismo muelle, como en el caso de las escobillas de aparatos eléctricos y que va a ser la forma en que se va a usar en nuestro sensor.

Se puede conseguir un grado considerable de flexibilidad con muelles de fuerza constante debido a la multiplicación de la capacidad de carga mediante el uso de dos o más flejes en tándem, de espaldas o laminado.

Habrá que asegurarse de que al menos se queden 1- 1½ espirales de material sobre el tambor cuando está totalmente extendido. El diámetro interior del muelle se enrollará apretadamente alrededor del tambor de forma que en la mayoría de las aplicaciones no se requiere ningún método de sujeción sobre el tambor.

### Muelle en espiral de "Caracol"

$\sigma$  = Esfuerzo unitario en  $\text{kg}/\text{mm}^2$ .

$M$  = Momento flexionante en  $\text{kg} \cdot \text{mm}$ .

$C = h/2$

$b$  = Largo de la pletina en  $\text{mm}$ .

$h$  = Espesor de la pletina en  $\text{mm}$ .

$L$  = Longitud desarrollada del muelle.

$P$  = Fuerza tangencial en  $\text{kg}$ .

$R_b$  = Brazo de palanca en  $\text{mm}$ .

$\beta$  = Flecha angular en grados sexagesimales.

$\theta$  = Flecha angular en radianes.

$I$  = Momento de inercia en  $\text{mm}^4$ .

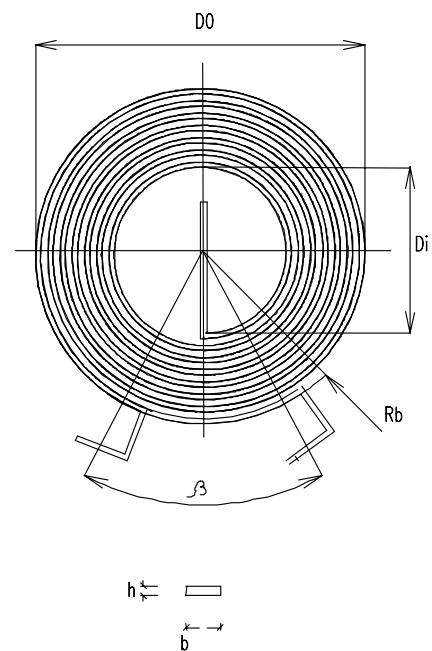


Fig. 5.4: Características y variables del muelle

El momento flexionante que actúa sobre toda la sección del muelle es constante, constituyendo así un sólido de igual resistencia y el esfuerzo viene dado:

$$\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{PR_b \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}} = \frac{6PR_b}{bh^2} = \frac{6M}{bh^2}$$

Este momento flexionante actuará en cada uno de los puntos de la pletina y el ángulo de rotación obtenido es:

$$\theta = \frac{ML}{EI} = \frac{ML}{E \frac{bh^3}{12}} = \frac{12ML}{Ebh^3} = \frac{12PR_b L}{Ebh^3} \quad \text{en radianes}$$

pasando al sistema sexagesimal tenemos:

$$\beta = \frac{360\theta}{2\pi} = \frac{180\theta}{\pi}$$

Que sustituyendo se obtiene:

$$\beta = \frac{180 \cdot 12ML}{Ebh \pi} = \frac{2160ML}{Ebh^3 \pi} = \frac{2160PR_b L}{Ebh^3 \pi} \quad \text{en grados sexagesimales.}$$

El material empleado para estos muelles suele ser comúnmente aceros al carbono para muelles (F-141), aceros mangano-silicosos, o los aceros inoxidables (Ac. Inox. 301), con una resistencia a la tracción  $\approx 150 \text{ kg/mm}^2$ . Y  $E = 20\,000 \text{ kg/mm}^2$ . El esfuerzo unitario máximo admisible para estos resortes no debe ser superior a  $130 \text{ kg/mm}^2$ .

Como en el enunciado se pedía la utilización de piezas comerciales, una vez conocida la fuerza necesaria para recoger el cable, se coloca un muelle comercial de la casa SPEC cuyas características son:

$$h = 0.18 \text{ mm}$$

$$b = 12,7 \text{ mm}$$

$$F = 7.21 \text{ N}$$

$$D_i = 15 \text{ mm}$$

$$D_o = 19.05 \text{ mm}$$

$$L = 660 \text{ mm}$$

Una vez fabricado el primer prototipo de sensor con este muelle, se han encontrado dos problemas. El primero es que la anchura  $W$ , es muy grande y hace que la longitud se alargue. El otro es que por la forma de las espiras, al estirar del cable las espiras tienden a apretarse unas contra otras en vez de separarse. Este problema se traduce en unas pequeñas discontinuidades en el movimiento de salida del cable.

Por esta razón, se pide construir un muelle que cumpla con las especificaciones calculadas en el anejo. Este nuevo muelle también nos permite realizar un diseño más compacto que será el definitivo. Las características de este muelle son las siguientes:

$$h = 0.25 \text{ mm}$$

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$F = 5,2 \text{ N}$$

$$L = 860 \text{ mm}$$

Con estas características se logra un muelle que cumple:

$$M = 5,71 \text{ kg}^* \cdot \text{mm}$$

$$\sigma = 91,32 \frac{\text{kg}^*}{\text{mm}^2}$$

Según se puede observar en el anejo de cálculos.

## 5.5. SOPORTE

El soporte ha sido diseñado para que en vez de roscar directamente el potenciómetro a la base, y quede sin ningún movimiento posible se enrosque primero al soporte y de esta manera tenga permitido un giro respecto de su eje. Así, se permite colocar el potenciómetro en la posición deseada y no en la que mande la rosca.

Además otra de las funciones de este soporte es la de sujetar el rodamiento sin permitirle a este ningún movimiento lateral pero permitiendo su giro.

El soporte consiste en un cilindro de aluminio de diámetro  $\varnothing = 24$  mm y una anchura de  $W = 8.5$  mm. En el centro tiene el agujero pertinente para que se enrosque el potenciómetro. La rosca es una UNEF- 3/8"-32 la misma que tiene el potenciómetro.

En la parte del rodamiento tiene un rebaje. Así, la parte exterior se apoya sobre la pista exterior del rodamiento y el rebaje permite girar libremente al rodamiento.

El soporte, una vez enroscado al potenciómetro, se podrá considerar como parte de él, es decir, se podrá suponer el potenciómetro y el soporte como una sola pieza a efectos de funcionamiento. Las dos piezas unidas, se introducirán en su correspondiente alojamiento en la base y se fijarán a ella mediante un prisionero enroscado en la base una vez posicionado el potenciómetro.

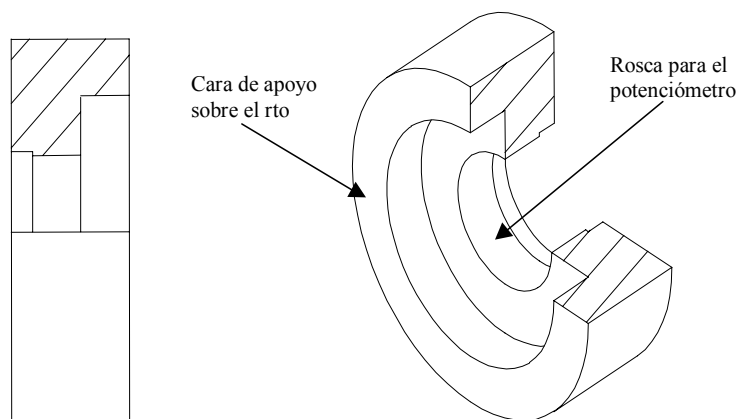


Fig. 5.5: Esquema del soporte del potenciómetro

## 5.6. CABLE DE MEDICION

Para la medida de la distancia se emplea un cable, el cual se ubica enrollado alrededor de una polea.

En el extremo exterior tiene una argolla que es la que se enganchará al objeto que se desplaza y del cual queremos conocer la posición o su desplazamiento. En el otro extremo, dentro del sensor el cable se une a la polea mediante un prisionero.

Este objeto en su movimiento de alejamiento respecto del sensor es el que se encarga de sacar el cable. Con este alejamiento el cable hace girar a la polea y esta a su vez hace girar al potenciómetro que es el que nos dará la señal eléctrica que se traducirá en medida mediante el sistema de adquisición de medidas.

El cable es de acero inoxidable forrado de nylon. Tiene un diámetro  $\phi$  0.5 mm y una longitud de 300 mm. 200 mm de la carrera y otros 100 mm para lo que tiene que quedar en la polea y para cubrir la distancia desde la tangente de la polea hasta el extremo exterior de la tapa. El cable soporta 27lbs  $\approx$  13kg. a tracción de sobra para nuestra aplicación.

**Tabla de características del cable**

Tipo	SEVALON WIRE 27WN A2
Diámetro	0,02" = 0,508 mm
Longitud	300 mm
Tensión máxima	27 lbs $\approx$ 13 kg

Así queda el cable para cualquier aplicación genérica, donde del cuerpo del sensor sobresale justo la argolla. Pero en algunas aplicaciones, el objeto del cual queremos medir su desplazamiento no se encuentre justo a la salida del sensor, en otras palabras, el punto de fijación del sensor se encuentre alejado del objeto que se desplaza. Para salvar esta distancia se ha pensado en dos soluciones:

- La primera solución es hacer una prolongación mediante otro cable. Esto es un cable más largo a medida de cada usuario el cual contará con dos argollas, una en cada extremo. La argolla de un lado se unirá a la argolla del sensor y la otra al objeto del cual queremos medir su desplazamiento.
- La otra solución es colocar el cable de medición más largo, tal que cuando el objeto que se desplaza esté en la posición más alejada, el cable llegue justo hasta el final, y en la más cercana, llegue la argolla del cable al objeto que se desplaza. En esta solución habrá que asegurarse que la carrera del objeto que se desplaza sea menor o igual a la carrera de nuestro sensor, es decir, 200 mm ya que aquí no hay ninguna prolongación y es el mismo cable que se ha dejado más largo. Para asegurar que el potenciómetro no va a llegar al máximo de giro se puede colocar un tope.

## 5.7. POLEA

La polea es la encargada de mantener el cable recogido ordenadamente dentro del sensor. También nos permite la transición del movimiento lineal del cable al movimiento rotatorio del potenciómetro.

Empezando por la parte del muelle, nos encontramos con un cilindro de diámetro  $\phi$  10 mm y de 6.5 mm de longitud. Desde el exterior hacia adentro tiene una ranura de 0.4 mm en un diámetro de ese cilindro y de 6 mm de profundidad. En este cilindro se apoya el muelle helicoidal. La patilla interior del muelle se introduce en esa ranura y al girar la polea, gira también el muelle que al tener el otro extremo fijo se carga de energía elástica que servirá para recoger el cable de forma automática.

Después de este cilindro viene el cuerpo de la polea. Aquí es donde se enrolla el cable y está formado por un cilindro de diámetro  $\phi$  24 mm y 4.5 mm de anchura. En los dos laterales de este cilindro hay dos secciones de mayor diámetro  $\phi$  28 mm y 0.5 mm de espesor que no dejan que el cable se salga del cuerpo y se enganche el cable en alguna parte del interior del sensor.

Con el diámetro de 24 mm, tenemos un perímetro de  $P = 2\pi R = \pi D = \pi 24 = 75,4$  mm y este perímetro multiplicado por tres, que son las tres vueltas que puede dar el potenciómetro, nos da un desplazamiento máximo de 226.2 mm. Esta elección se comprueba en el anejo.

Tenemos después una sección de 1,5 mm de anchura y de diámetro  $\phi$  12 mm, que sirve para que la polea se apoye sobre la pista interior del rodamiento y libre el tope del rodamiento que hay en la base.

La última sección diferente que tenemos, es donde se ubica el rodamiento. Tiene un diámetro de  $\phi$  10 mm y 5 mm de longitud, al igual que el rodamiento. Habrá que garantizar un ajuste prieto con una holgura m6 entre el rodamiento y la polea para que no haya ningún tipo de desplazamiento relativo.

En la cara transversal de esta última sección se encuentra un orificio de diámetro  $\phi$  6,35 mm y 12 mm de profundidad donde se albergará el eje del potenciómetro.

Una vez descrita la polea, se procede a explicar como se fijan tanto el eje del potenciómetro como el cable a la polea.

Para el cable se prevé un agujero de diámetro  $\phi$  1 mm dentro del cuerpo de la polea y transversalmente a este y coincidiendo con él, otro de M3 sobre la cara más cercana al lado del muelle. Entonces, se introducirá el cable por el agujero pequeño y por el de M3 un prisionero para sujetarlo.

El eje del potenciómetro por su parte, se sujetará mediante otro prisionero también de M3. Este agujero roscado se realizará de la misma manera en el cuerpo de la polea, en otro diámetro distinto del agujero para el cable.

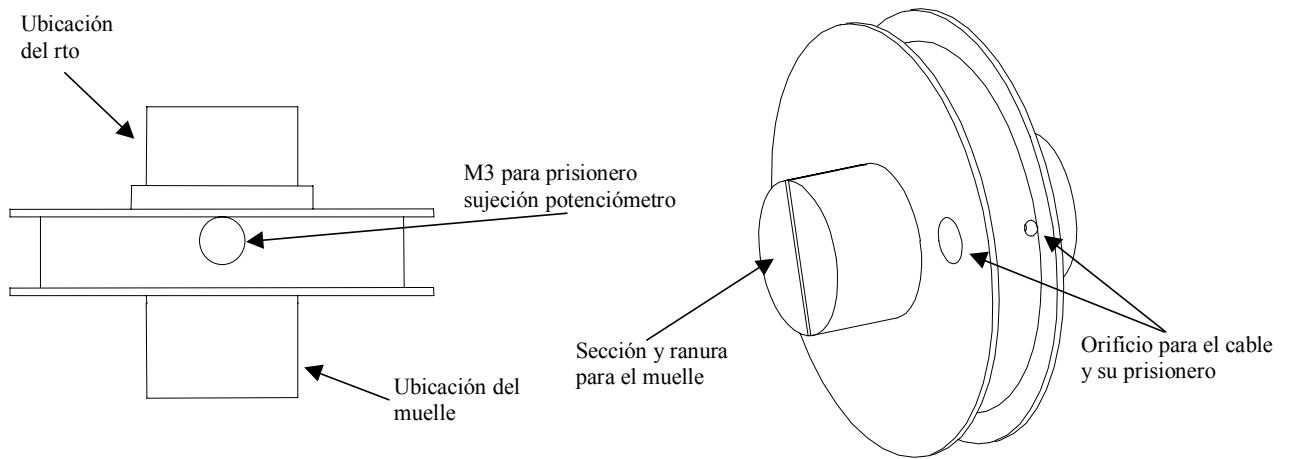


Fig. 5.6: Esquema de la polea

## 5.8. CABLE DE CONEXION

Se trata de un cable multipolar de tres polos de 7 conductores trenzados de cobre estañado de 0.2 mm, recubiertos de PVC de 0.25 mm con vaina externa de PVC negro. Tiene una longitud de 800 mm (variable a petición del usuario). Los núcleos son de color rojo, azul y verde, que corresponden a alimentación, señal y tierra.

En el lado del potenciómetro se estañan directamente a los pines del potenciómetro, en los números 1,2, y 3 respectivamente.

En el lado exterior, se encuentra un conector multipolar rectangular del tipo AMS Superseal que cumplen la IP67 de referencia RS 314-1261 en el catálogo de la empresa RS. Su característica principal es que son de tres vías e impermeables. Aquí también se introducen en los mismos números.

Para garantizar la fortaleza y hermeticidad entre el cable y el terminal, se ha colocado una funda termoretráctil, de 2:1 de retraimiento también adquirida a la empresa RS.

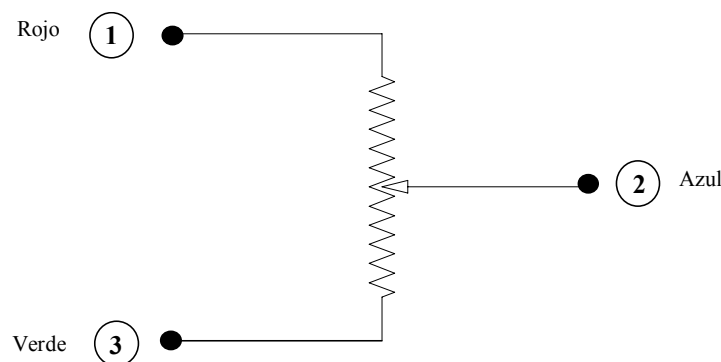


Fig. 5.7: Esquema de conexiones

## **5.9. RODAMIENTO**

Se trata de un rodamiento comercial normalizado cuya misión es la de absorber los esfuerzos provocados por la tensión del cable y el momento del muelle. Se encuentra ubicado en una ranura que hay en la base y sujeto con el soporte. En su orificio entra la polea con un ajuste prieto.

La elección del rodamiento ha sido realizada únicamente basándose en la geometría, ya que, el rodamiento sobrepasa con creces las exigencias de tensión a las que es sometido por el cable y el muelle.

Se trata de un rodamiento nº 61800.2RZ que tiene dos tapas de protección para las bolas y tiene las siguientes características:

$d = 10 \text{ mm}$

$D = 19 \text{ mm}$

$W = 5 \text{ mm}$

## **5.10. POTENCIOMETRO**

Este es el elemento que se encarga de transformar linealmente el movimiento de giro, en una tensión eléctrica. Se trata de un potenciómetro comercial de la casa RS con número de referencia nº166-4425. El potenciómetro es de arrollamiento de hilo y de 3 vueltas, con eje de acero inoxidable. Como recubrimiento tiene una carcasa fenólica armada con fibra de vidrio de  $\phi$  22mm que sobresale 19,1 mm por detrás del panel.

El potenciómetro nos garantiza una linealidad de +/- 25% con una tolerancia de resistencia de +/- 5%. La potencia nominal se obtiene del potenciómetro está a 70°C y es de 1W, lo que supone que el voltaje máximo de excitación sea de 30V. Se ha usado un potenciómetro de 1K $\Omega$ . La elección de este potenciómetro se explica en el anejo.

Las características generales del potenciómetro son las siguientes:

**Tabla de características del potenciómetro**

Tolerancia a la resistencia	+/- 5%
Linealidad (independiente	+/- 0,25%
Potencia nominal a +70°C	1 W
Coefficiente de temperatura (sólo el hilo)	20 ppm/°C
Resistencia al aislamiento a 500V d.c.	1000 M Ohm
Rigidez dieléctrica	1000 V rms
Rotación eléctrica y mecánica	1080° + 10°/0°
Vida útil en rotaciones	1 millón de rev.
Par de arranque máximo	50 gcm
Temperatura de funcionamiento	de -55° a +125°
Dimensiones:	
Eje	φ 22mm, Long19,5mm
Cuerpo	φ 6,35mm, Long20,5mm
Casquillo de soporte	φ 9,5mm, Long 6,35mm
Resistencia nominal	1000 Ohm

El potenciómetro se une a la base mediante el soporte roscado, el cual queda fijado mediante un prisionero. El eje es movido por la polea, a la que también está fijado con un prisionero.

La señal del potenciómetro se transmite al sistema de adquisición de medida mediante un cable de tres núcleos que están directamente estañados a los tres pines que tiene el potenciómetro.



*Fig. 5.8: Imagen del potenciómetro*

## 5.11. SOPORTE DE SUJECION EXTERIOR

Aunque en un principio no se diseñe un soporte genérico, se ha visto que para la realización de las pruebas en el kart-cross, hacía falta sujetar el sensor.

Se realiza un soporte que utiliza como sujeción con el sensor los tornillos de la tapa del lado del potenciómetro. El soporte se diseña de tal manera que sirva para los 4 conjuntos muelle amortiguador del kart-cross.

También se cuida que el montaje y desmontaje del sensor con el soporte incorporado sea rápido y sencillo, y sin tener que desmontar un número elevado de piezas. Para ello los agujeros con los que se une al amortiguador son rasgados como se puede apreciar en la imagen.

Ha habido que diseñar también el soporte para unir el cable en el lado de desplazamiento del amortiguador. Este de la misma manera tiene el agujero de sujeción rasgado y también sirve para los 4 conjuntos muelle / amortiguador. El cable se une al soporte atando con un tornillo la argolla a un agujero de  $\phi 3$  que hay en el extremo exterior del soporte.

Tanto el soporte del potenciómetro como el soporte del cable han sido realizados en chapa de aluminio de 3 mm de espesor. Pero después de las pruebas se ha visto que se debería emplear otro diseño utilizando chapa de acero de 2 mm de espesor, ya que el aluminio tiende a deformarse.

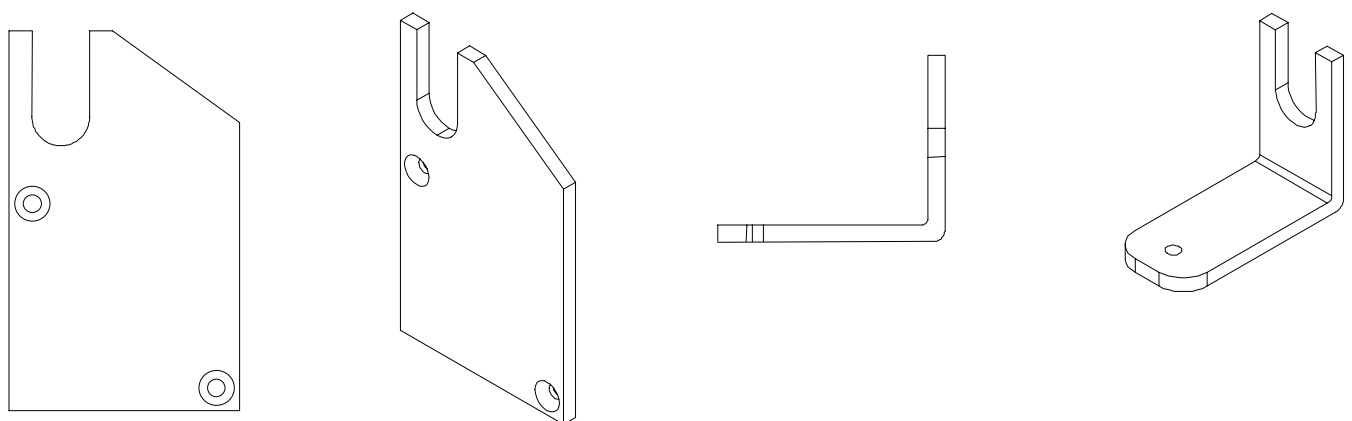


Fig. 5.9: Esquema del soporte del sensor al Kart – Cross

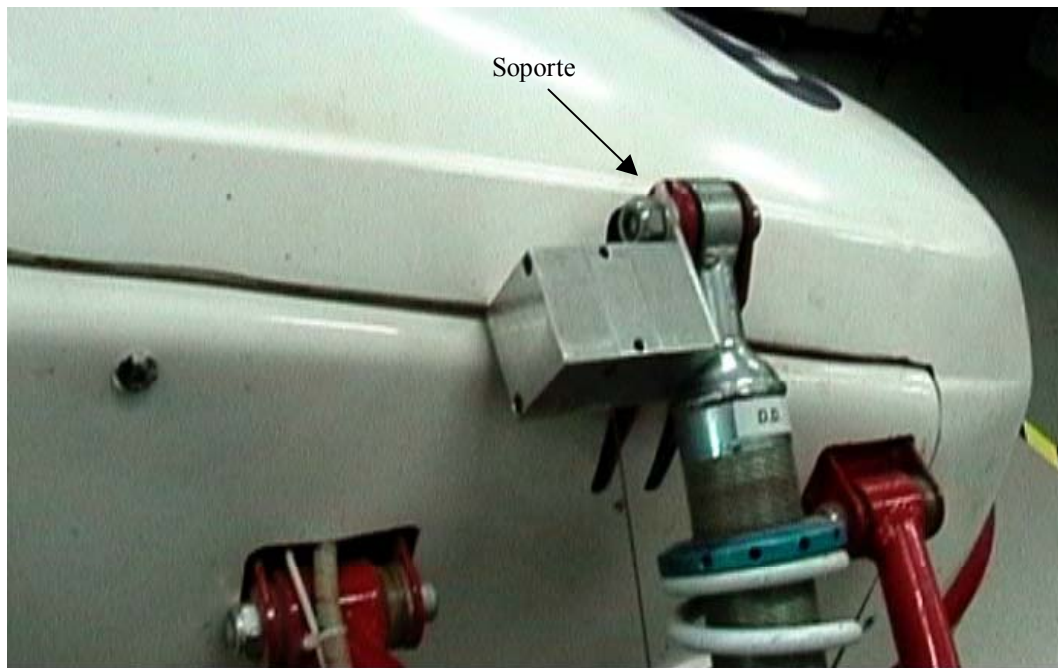


Fig. 5.10: Detalle del sensor con su soporte en el kart-cross

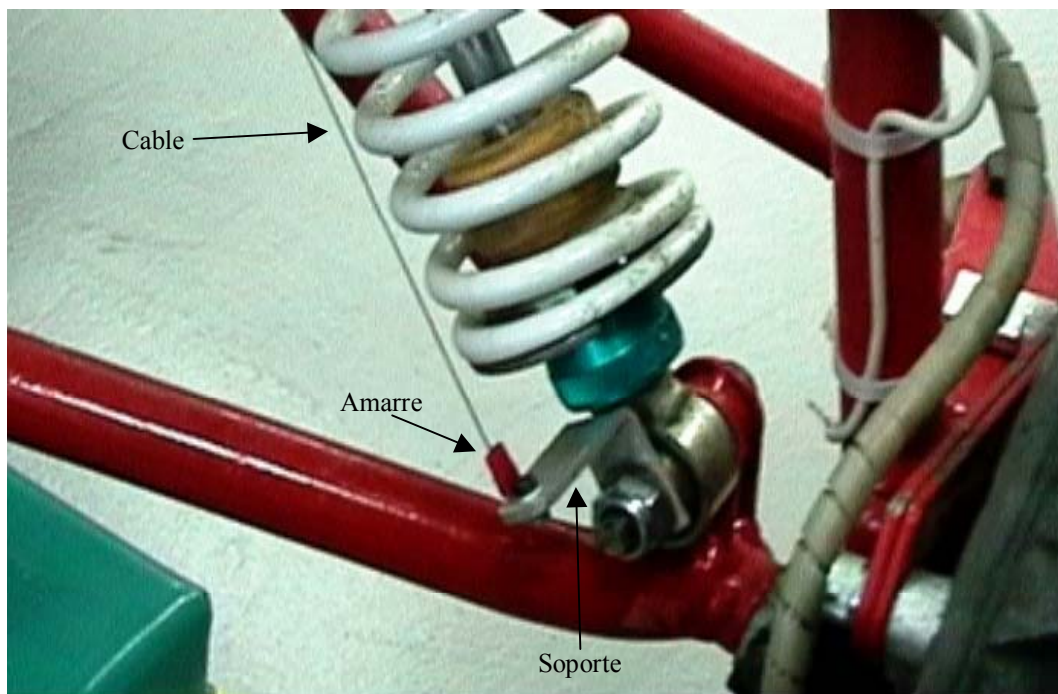


Fig. 5.11: Detalle del soporte del cable en el kart-cross

## 6. DESCRIPCION GENERAL DEL SENSOR

Se empezará por describir sus características físicas, sus características de funcionamiento, el posible uso que se le puede dar al sensor y la manera de montarlo y desmontarlo correctamente.

### 6.1. CARACTERISTICAS FISICAS

Se ha intentado que el sensor sea lo más compacto posible y de una forma homogénea. Se ha querido que no tenga recovecos, por una parte para la facilidad de fabricación y por la otra para la facilidad de ubicación en los distintos entornos. Recordar además, que en estos recovecos es donde mayor acumulación de residuos y suciedad se da, hecho que también se ha querido evitar.

Se han planteado superficies lisas, para una mejor adaptación a este tipo de superficies de las distintas máquinas en las que se pudiera colocar el sensor, para facilitar así la unión a estas.

El cable de conexión eléctrica, podrá salir por cualquiera de las cuatro caras laterales o por la cara perpendicular de la tapa del potenciómetro a petición del cliente. El conector de salida de la misma manera se podría intercambiar por otro de otras características.

Para el cable de medición se han desarrollado unas prolongaciones, que se adaptarán a la medida que el usuario exigiera en caso de que la fijación del sensor se encontrara lejos del objeto cuyo desplazamiento se quiere medir. El cable de medición en el extremo de unión tiene una argolla, cuyo agujero es de diámetro  $\phi$  3 mm y cerrada. Este dispositivo también puede ser intercambiable si el cliente necesitara otro tipo de unión para su aplicación.

Para la sujeción sobre las distintas máquinas o aplicaciones para las que se pudiera utilizar el sensor, se han ideado unos agujeros pasantes de diámetro  $\phi$  4 mm en las caras laterales del sensor. Se han ubicado lo más cerca posible del cable de medida para que los esfuerzos sobre ellos sean mínimos y no haya problemas de movimiento por deslizamiento del sensor.

Para este fin también se pueden usar los tornillos de sujeción de la tapa del potenciómetro. En caso extremo también se podrían usar los tornillos de la tapa del muelle, pero esto dificultaría el montaje, aunque una vez montado un soporte en esa cara después todo funcionaría de la misma forma.

El sensor propiamente dicho es un paralelepípedo regular de aluminio de dimensiones 34 x 34 x 49 mm, el cual tiene sus cuatro aristas longitudinales achaflanadas de dimensiones 2 x 2 mm x 45°.

El cable de medición sale por un orificio de 1mm de diámetro situado en una cara lateral del paralelepípedo, a 5 mm de altura y 12 mm de distancia desde la cara perpendicular.

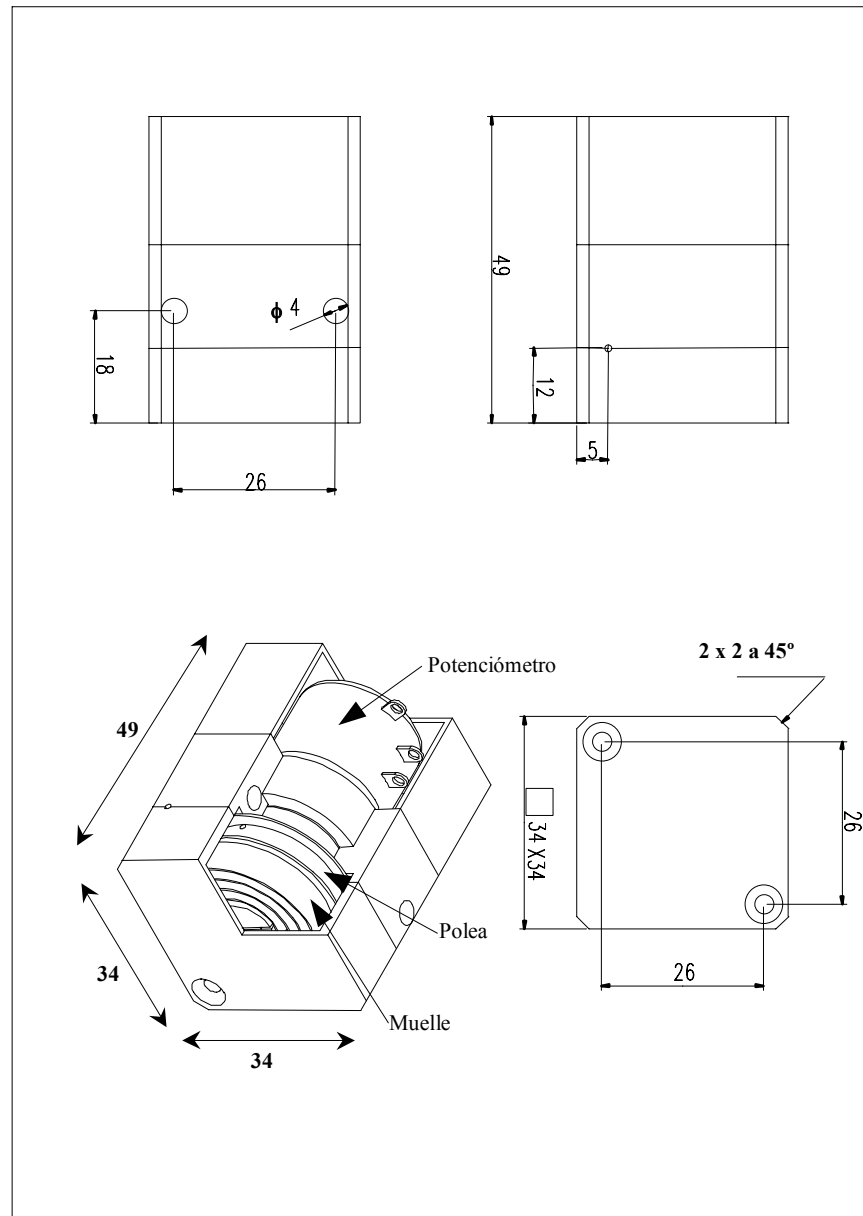


Fig. 6.1: Esquema de sensor completo

En el esquema se puede visualizar esta descripción más detalladamente.

En cuanto al peso, el sensor tiene un peso aproximado de 150g. Este peso podría ser disminuido utilizando para las tapas tanto del muelle como de potenciómetro plástico en vez de aluminio. También se podría utilizar el plástico en otras piezas como pueden ser el soporte del rodamiento o incluso la base si el plástico tuviera una rigidez y posibilidad de mecanización aceptables.

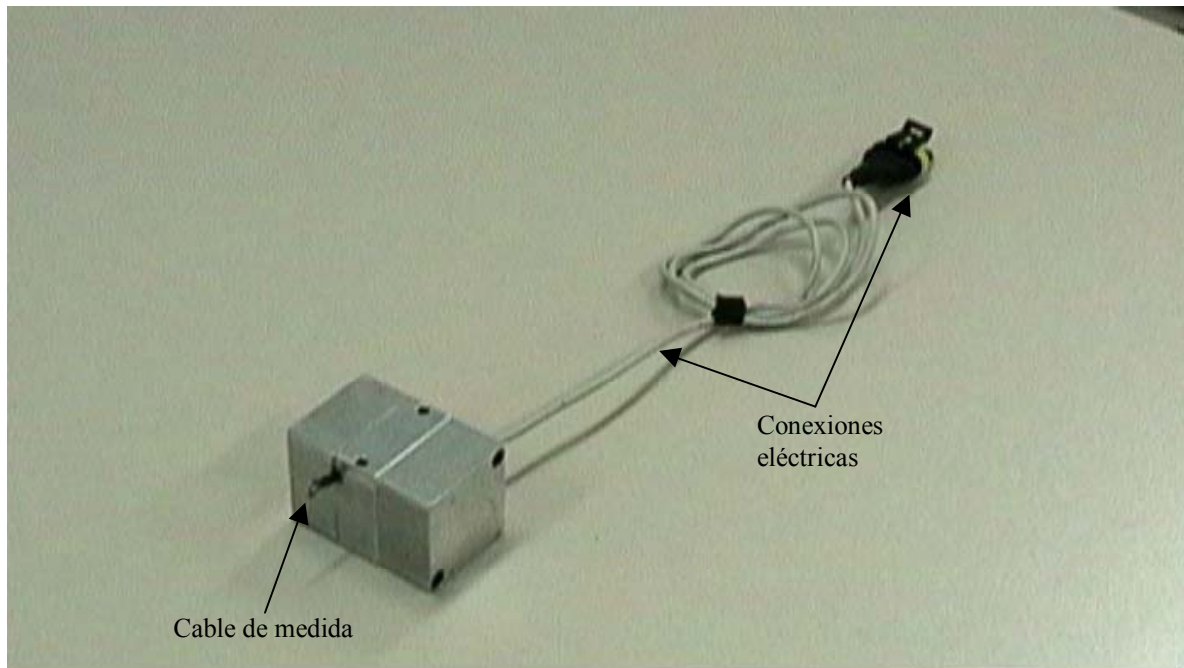


Fig. 6.2: Imagen del sensor

## **6.2. POSIBILIDAD DE CAMBIO DE LA CARRERA DE MEDIDA**

En un principio el sensor está diseñado para una carrera de medida de 200mm. De todas formas desde un primer momento se ha contemplado la posibilidad de cambio de la carrera a medir utilizando la misma forma exterior y cambiando solamente las dimensiones y características de algunos componentes.

Utilizando una polea de diámetro  $\phi$  27 mm y un potenciómetro de 5 vueltas podríamos llegar sin problemas a un sensor de 424 mm de carrera de medida. El diámetro 27mm sería el máximo para la polea, pero haciendo un estudio más exhaustivo del muelle y del eje en el que el muelle se apoya en la polea, se podría pensar en poder dar 10 vueltas, permitiéndonos esto tener una carrera de medida de 848 mm. Con estas medidas se puede competir con cualquier sensor comercial que

hay ya en el mercado ya que de esta manera se puede sacar un surtido de carreras de desplazamiento bastante amplio con un tamaño reducido de sensor.

### **6.3. CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO**

El sensor tiene una carrera de medida de 200 mm teórica y que se le ha dejado algo de margen, llegando hasta una carrera de 212 mm e incluso de algo más según la precarga que se le dé al muelle de recogida del cable de medida.

En cuanto a la parte eléctrica, nos hallamos ante un sensor potenciométrico, es decir que su base de medida es un potenciómetro. Esto le confiere al sensor la categoría de analógico, ya que tenemos un rango de medida continuo en todo la carrera, siendo su resolución esencialmente infinita y sólo limitada por los sistemas de adquisición de datos y el ruido.

El sensor se alimenta con un voltaje, y este nos da un voltaje proporcional al desplazamiento. Después este voltaje hay que modificarlo, es decir, calibrar el sensor para que el valor de la pantalla sea precisamente el desplazamiento.

El potenciómetro nos garantiza una linealidad de +/- 25% con una tolerancia de resistencia de +/- 5%. La potencia nominal se obtiene del potenciómetro está a 70°C y es de 1W, lo que supone que el voltaje máximo de excitación sea de 30V. Se ha usado un potenciómetro de 1KΩ.

#### **6.3.1. LINEALIDAD**

Al potenciómetro lo que puede variar la linealidad son la polea, el muelle y el cable de medida, ya que podría no enrollarse ordenadamente. Se ha hecho una prueba de linealidad del sensor y se ha obtenido la siguiente gráfica:

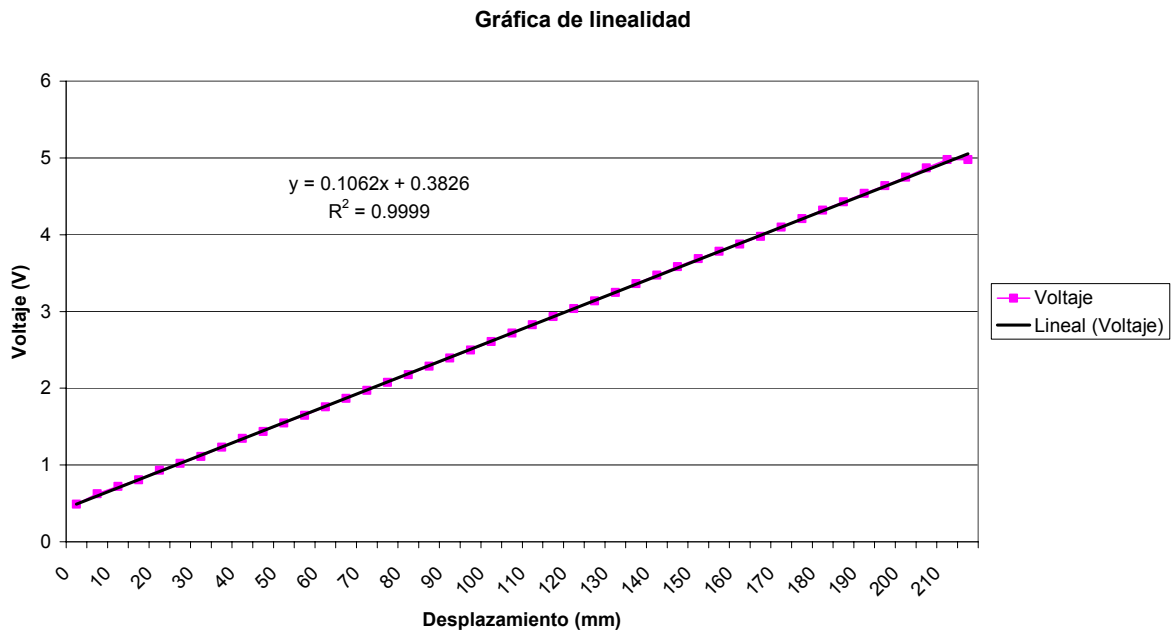


Fig. 6.3: Gráfica de linealidad

Como se puede observar la medida obtenida es del todo lineal teniendo un factor de correlación  $R^2 = 0.9999$ , que es muy cercano al  $R^2 = 1$  que se quiere obtener. Se puede observar también que en el valor cero de desplazamiento no hay un voltaje cero. Esto es debido a que para que no haga tope el potenciómetro en sus espiras internas, se le da un poco de margen a la hora del montaje.

En el máximo del desplazamiento, al final de la carrera, se ve que no aumenta el valor del voltaje. Esto es debido al problema que dan todos los potenciómetros al final de la carrera donde pierden la linealidad.

Con la gráfica se puede asegurar una linealidad de  $\pm 1\%$  en toda la escala.

### 6.3.2. RESOLUCION

La resolución de un sensor depende de los recursos usados por los elementos sensitivos. El potenciómetro usado, tiene una resolución esencialmente infinita y solamente viene limitada por el ruido sistema de adquisición de datos, y de la capacidad que este tenga de adquirir y detectar el mínimo de variación de voltaje.

La salida nominal obtenida a partir de las anteriores medidas también se ha calculado, y ha dado un valor de  $4,2 \text{ mV/V/mm}$ , valor en perfecta competencia con los sensores comerciales del mismo rango.

### 6.3.3. REPETITIVIDAD

No se han hecho pruebas estrictas de repetitividad, pero en las distintas medidas realizadas en el laboratorio, y con el kart-cross esta repetitividad se ha cumplido.

### 6.3.4. FLECHA O COMBADO DEL CABLE

Cuando el cable del sensor se usa horizontalmente, experimenta un pequeño combado o flecha. Esta flecha, no produce un error muy importante y puede ser ignorado en comparación con otras fuentes de error de medida. Depende de la extensión del cable, de la fuerza de estiramiento y del efecto de la gravedad y puede ser cuantificado por medio de la curva de la catenaria que se muestra debajo.

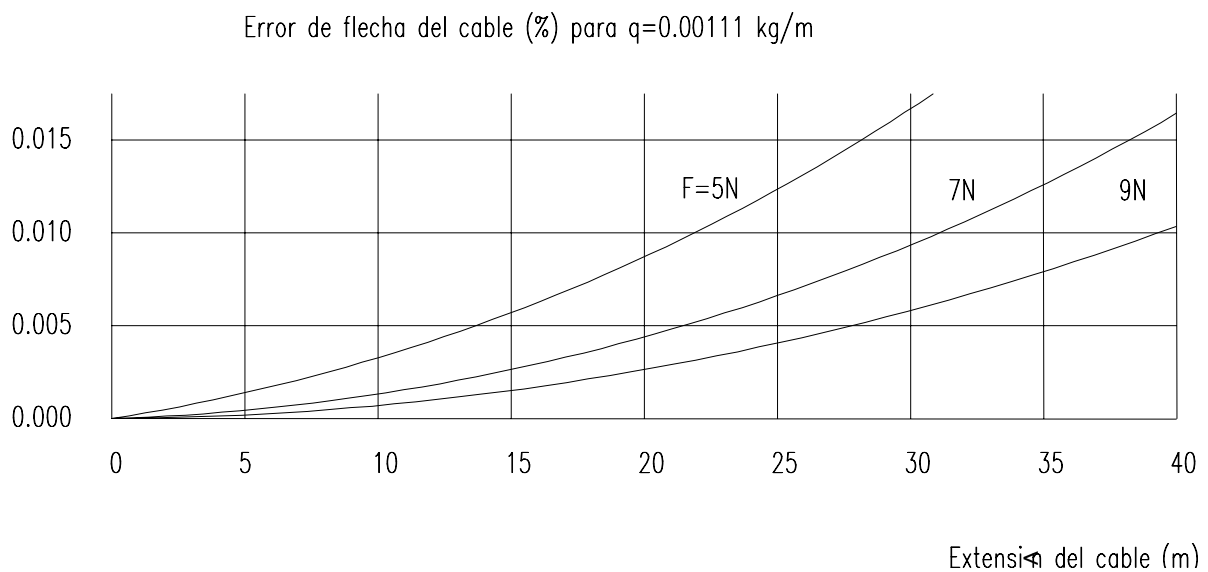


Fig. 6.4: Gráfica del error de la flecha

$$l = 2 \cdot \lambda \cdot \sinh\left(\frac{a}{2 \cdot \lambda}\right) \quad \text{con } \lambda = \frac{H}{q}$$

$$f \approx \frac{a}{4} \cdot \sqrt{6 \cdot \left(\frac{l}{a} - 1\right)}$$

F= Fuerza de estiramiento (N)

H= F/g con g = 9.81 m/s<sup>2</sup>

a= Extensión del cable (m)

l= Longitud del cable (m)

f= Flecha del cable (m)

En algunas aplicaciones muy largas, la cantidad total de la flecha del cable producida, puede requerir al usuario el asegurarse la libertad del movimiento del cable todo el tiempo.

Con la fórmula, se puede calcular la flecha del cable en una aplicación específica (diagrama inferior). Las fuerzas del cable dependen del tipo de sensor.

Flecha del cable f (m) para q=0.00111 kg/m

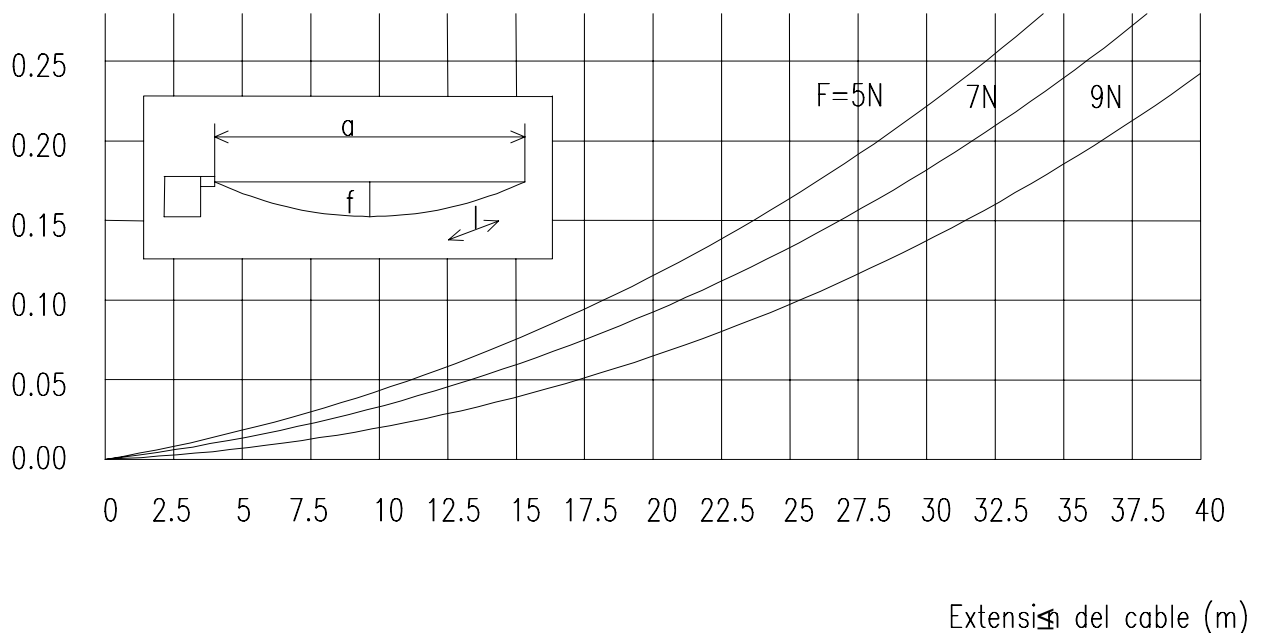


Fig. 6.5: Gráfica para el cálculo de la flecha del cable

En este caso, se debe hacer la previsión haciendo que el movimiento del cable sea libre o sino tienen que ir provistas de engranajes o guías. Además en nuestro caso al ser pequeña la carrera de medida, la flecha es insignificante.

### 6.3.5. FUERZA DE ESTIRAMIENTO MAXIMA

Es el valor máximo de la fuerza requerida para sacar el cable de la unidad del sensor y se alcanza cuando el cable está casi en su recorrido máximo. En este caso se ha comprobado que viene a ser de 0,5N.

### 6.3.6. FUERZA DE RECOGIDA MINIMA

Es el valor mínimo de la fuerza requerida para que el cable vuelva a la unidad del sensor y se alcanza cuando el cable está casi en su recorrido mínimo.

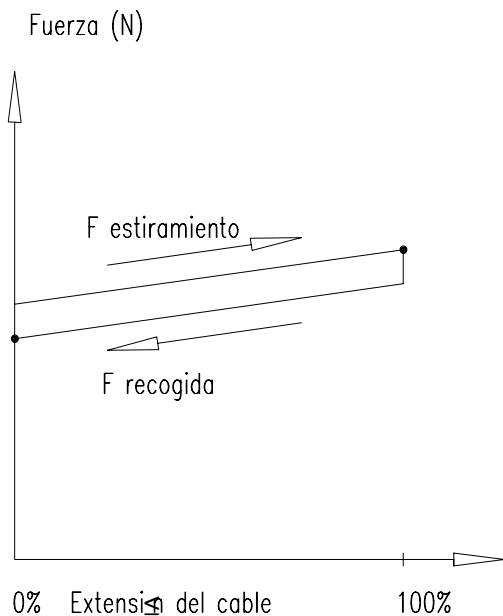


Fig. 6.6: Gráfica de la fuerza de recogida y estiramiento del cable

### 6.3.7. ACELERACION MAXIMA

Es el valor máximo permitido (en  $m/s^2$ ) que el objeto en movimiento al que el cable de medida está atado puede acelerar en ambos sentidos. Es válido en ambas condiciones de aceleración y deceleración y no debe ser tan alta que el cable salte de su alojamiento pudiendo causar un posible fallo del sensor.

En nuestro caso se ha diseñado para que se pueda soltar el cable desde el desplazamiento máximo y no se salga de su alojamiento, siguiendo funcionando el sensor a la perfección.

## 6.4. TABLA RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DEL SENSOR

# SENSOR PFC

## ESPECIFICACIONES

### Generales

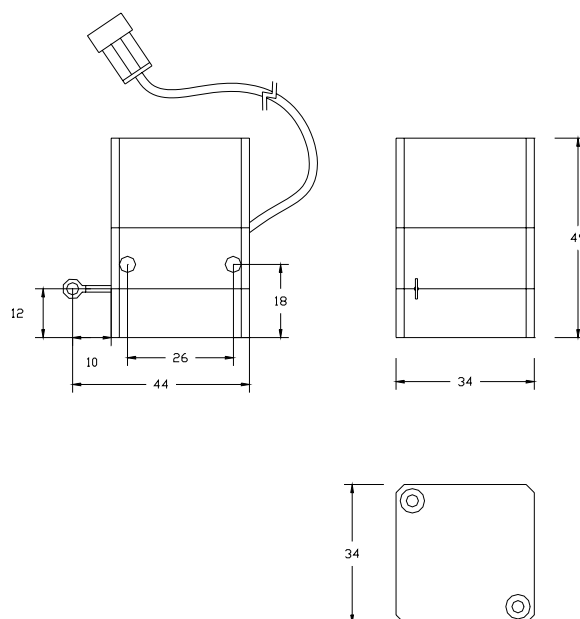
Rango de medida:	200 mm
Sensorizado mediante:	Potenciómetro de precisión
Resolución:	Esencialmente infinita
Linealidad:	+/-1.0% En toda la escala
Repetitividad:	Falta de prueba
Construcción:	Aluminio
Cable:	φ 0,5 mm, Cable de Ac. inox. forrado
Tensión del cable:	12 Kg
Peso:	150 g
Conexiones:	Terminal AMP Superseal de tres vías
Vida:	1 000 000 Ciclos de carrera completa

### Eléctricas

Impedancia de entrada:	1000 Ω +/- 15%
Impedancia de salida:	De 0 a 1000 Ω
Voltaje de alimentación:	30 Volts max. AC o DC

### Medio ambientales

Temperatura de operación:	De -15°C a 60°C
Temperatura de almacenamiento:	De -25°C a 80°C
Humedad de operación:	95% R.H. max no condensado



## **6.5. PRUEBAS DE VERIFICACION DE RESULTADO**

En todo mecanismo realizado por primera vez, se suele intentar comprobar que su funcionamiento es bueno y corresponde con las expectativas y objetivos que nos habíamos marcado.

En este caso al encontrarnos además con un sensor que nos va a dar unas medidas, las cuales van a ser usadas como datos para posteriores estudios, todavía parece más importante asegurarse de que estas medidas que obtengamos sean reales y con pequeño margen de error.

Para ello se había pensado en hacer una prueba de baja frecuencia, donde la velocidad de carrera fuera 1000 mm/min. (máxima posibilidad que ofrecía la máquina), pero utilizando toda la carrera, asemejando el recorrido a uno real. Para ello se iba a usar una INSTROM.

Por otra parte, se había pensado también en una prueba de alta frecuencia. Para esta, la máquina que teníamos nos ofrecía frecuencias de más de 300 Hz pero que solamente nos permitía carreras de un máximo de 10 mm. En este caso la máquina a utilizar sería una ROMUL.

Con la primera prueba se iba a asegurar que la medida obtenida con el sensor era constante en toda la escala y durante todo el ejercicio de medida. Con la prueba de frecuencia lo que se quería asegurar era hasta cuantos cambios de dirección por segundo iba a ser capaz de medir el sensor.

No se han podido realizar estas pruebas ya que fruto de un traslado de laboratorios que ha habido la máquina Instrom no estaba completa del todo y la Romul, se encontraba ocupada realizando unos ensayos de fatiga. A todo esto hay que sumar la escasez de tiempo, ya que hasta el último momento se había intentado que todas las pruebas se realizaran con los cuatro sensores definitivos y no con el prototipo.

De todas formas, se ha procedido a realizar unas pruebas de comparación con un sensor comercial de las mismas características que el que se ha construido. La prueba fue realizada colocando los dos sensores en paralelo sobre el mismo conjunto muelle amortiguador y grabando la señal adquirida. En la siguiente gráfica se puede observar las dos señales obtenidas:



## 7. PRESUPUESTO

Debido a la peculiaridad del proyecto, el presupuesto del mismo podría definirse mejor como un presupuesto y Estudio Económico, ya que se trata de un diseño cálculo construcción y ensayo de un sensor de desplazamiento.

Por ello, el presupuesto que se contempla es una indicación del coste de la realización del propio proyecto, más la construcción propiamente dicha del sensor, cuya descripción se realiza en las próximas páginas. Dado que la longitud del mismo es reducida, se ha optado no realizarlo en un cuaderno aparte, e incluirlo al final de la memoria.

A grandes rasgos, el proyecto se realizó en un plazo aproximado de 700 horas, de las cuales la mayoría se llevaron a cabo con la ayuda del ordenador. Durante la fase inicial fue mayor la carga de aprendizaje de libros, para más tarde dar paso a la aplicación de los conocimientos adquiridos y la construcción del mismo.

### 7.1. AMORTIZACION

Durante el proyecto se ha hecho uso de varios elementos, cuyo coste ha de evaluarse en función de la amortización de los mismos. Esta tarea exige conocer de antemano el tiempo de vida útil de cada elemento, que se han estimado como se muestra en la tabla que se acompaña:

<b>Descripción</b>	<b>Años de vida útil</b>	<b>Valor de reposición</b>	<b>Coste amortiz. anual</b>
PC Pentium III	1	300.000	300.000
Office 97	3	50.000	16.667
Windows NT 4.0	3	50.000	16.667
Impresora HP Deskjet 1260C	5	70.000	14.000
Scanner HP Scanjet	5	50.000	10.000
Mobiliario de oficina	10	50.000	5.000

El coste de amortización anual se contabilizará como gasto en la proporción en que se haya utilizado, por lo que para ello se tendrán en cuenta el número de horas empleadas.

**7.2. PRESUPUESTO**

Ordenador Pentium III	300,000	1,600	188	500	93,750
Windows NT 4.0	16,667	1,600	10	500	5,208
Suite ofimática Office 97	16,667	1,600	10	500	5,208
ProEnginer 2000i		1,600	500	350	175,000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>2,579,167</b>

Construcción de la base			3,000	4	12,000
Tapa del potenciómetro			3,000	0.75	2,000
Tapa del muelle			3,000	1.67	5,000
Polea			3,000	1.33	4,000
Soporte			3,000	0.67	2,000
<b>SUBTOTAL DE CONSTRUCCION</b>					<b>25,000</b>

Potenciómetro					2,052
Rodamiento					1,967
Muelle					1,235
Cable de medida y terminal					200
Tornillería					200
Cable de señal y terminal de 3 pines					300
<b>SUBTOTAL DE DESPIECE</b>					<b>5,954</b>

Como tal el coste del sensor de desplazamiento es la suma del coste de construcción y el coste de los elementos comerciales adquiridos para su construcción. Estas se pueden ver en las dos tablas anteriores y la suma de 25,000 Ptas. más 5,594 Ptas. Que asciende a un total de 30,594 Ptas. TREITA MIL QUINIENTAS NOVENTA Y CUATRO PESETAS.

La suma del coste total del proyecto contando la adquisición de conocimientos y las distintas pruebas y distintos diseños que se han realizado se obtiene sumando el coste del sensor más la amortización de los elementos usados que es: 30,594 más el coste de amortización de 2,579,167 Ptas. Que da un total de 2,609,761 Ptas. DOS MILLONES SEISCIENTAS NUEVE MIL SETECIENTAS SESENTA Y UNA PESETAS.

## 8. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Con la finalización de todo proyecto quedan cuestiones pendientes de un mayor desarrollo y se ven nuevas líneas a seguir para una evolución futura del sensor. También se sacan algunas conclusiones de cómo se tenía que haber abordado el tema que aunque ahora a posteriori se ven obvias al principio y con todo por desarrollar no se veían tan claramente.

El primer diseño sale de inmediato pero enseguida se intuyen fallos y mejoras que se van incluyendo en el diseño. Al final se ha llegado a una evolución, que parece muy simple, pero que para llegar hasta ella ha habido que probar y rediseñar una y otra vez, según se ha ido explicando durante la memoria. Aún y todo aunque esta se ha tomado como definitiva para la entrega, todavía se podría mejorar.

En cuanto a estas mejoras, podrían ser la de cambiar las tapas de aluminio por otras de plástico para así obtener una mayor ligereza. Por otro lado se podría estudiar más el diseño del sensor para seguir disminuyendo las dimensiones de todo el conjunto. Finalmente, y con la utilización diaria del sensor se podría llegar a ver diferentes mejoras que ahora no se intuyen tan fácilmente.

También decir que ha llegado un momento en el que se tenía que finalizar y entregar el proyecto, aunque siempre trabajos y diversas cuestiones que realizar y que no se han llevado a cabo, a veces por falta de tiempo, otras veces por no tener máquinas para poder realizarlas y al final porque en algún momento hay que finalizar el proyecto.

Entre estas tareas sin realizar, se encuentran las pruebas de alta frecuencia del sensor y amarrar todas las pruebas de calibración del sensor en linealidad, repetitividad, resolución etc.

Podemos ver así que no se han cumplido todos los objetivos marcados al inicio del proyecto, ya que, aunque el cálculo y la construcción se han realizado por completo, el ensayo ha quedado como una futura línea de trabajo, al igual que como se ha explicado más arriba, la mejora y cambio de material de algunos componentes.

Otra de las conclusiones que se obtiene es que la fabricación de un proyecto fin de carrera nos acarrea más problemas que el sólo hacer un diseño teórico del proyecto, ya que para construir hay que resolver todos y cada uno de los problemas hecho que en el teórico suele pasar desapercibido.

## 9. BIBLIOGRAFIA Y DOCUMENTACION

1. *Cálculo y construcción de máquinas*. José Germán Giménez y Jordi Viñolas. Ediciones UNAV, 1994
2. *Ingeniería de proyectos*. Fernando Santos. Ediciones UNAV, 1996
3. *Manual básico de proENGINEER*. Justino Fernández y Gonzalo Fernández Cortes, Ediciones UNAV, 1996
4. *WS Position Sensors*. ASM DmbH, 1996
5. *GEMS Data Acquisition & Display Systems product guide, 2000*
6. *Los resortes al servicio del técnico*. F. J. Unzetabarrenetxea. Ediciones Vizcaina S.A. 1977

### DIRECCIONES DE INTERNET

1. Muelles vulcan, <http://www.vulcanspring.com/>
2. Muellexpress, <http://flejes.profesionales.org>
3. Sevalon wire, <http://www.7strand.com/wire.htm>
4. Sensores de desplazamiento UniMeasure, <http://www.unimeasure.com/home.htm>
5. Potenciómetros eti, <http://www.etisystems.com/>

**Donostia, septiembre de 2000**

El alumno:

Fdo. Anartz Alonso Marichalar