



**Benemérita Universidad Autónoma
de Puebla**

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO DE INGENIERIA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**“SENSORES DE POSICIÓN
ANGULAR”**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

PRESENTA:

FELIPE CASTILLEJOS DE PAZ

ASESOR:

M.C. GUILLERMO FLORES MARTÍNEZ

PUEBLA, PUEBLA

FEBRERO 2014

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por darme la oportunidad de continuar aquí, de darme las fortalezas para poder seguir adelante cada día y no rendirme.

Agradezco muy especialmente a mis padres, Gonzalo Castillejos Toledo y Cielito de Paz Fuentes por todo el apoyo durante este tiempo en la universidad y no solo por esta etapa, sino por toda la vida que siempre han estado ahí ayudándome y animándome a seguir adelante cada día. Porque gracias a ellos he logrado estar aquí, por ese gran esfuerzo que han hecho por mí y por mis hermanos, por ser unos grandes padres en las buenas y en las malas.

Gracias también a todas aquellas personas importantes en esta etapa de mi vida, que siempre estuvieron ahí para brindarme toda su ayuda, por darme la oportunidad de convivir con todos ellos.

Así también al M.C Guillermo Flores Martínez por el tiempo, apoyo y la paciencia de ayudarnos a mí y a otros compañeros a realizar nuestros trabajos.

Felipe.

Índice

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LOS SENSORES	1
1.1. Historia de los sensores	2
1.2. Descripción de un sensor	3
1.2.1. Características esenciales en un sensor	4
1.2.2. Clasificación de los sensores	5
1.3. Características de funcionamiento	6
1.3.1. Características estáticas	6
1.3.2. Características dinámicas	7
1.3.3. Características ambientales	8
1.3.4. Características de fiabilidad	9
1.4. Tipos de sensores	10
1.4.1. Sensores de posición	11
1.4.2. Sensores de desplazamiento	12
1.4.3. Sensores de aceleración	13
1.4.4. Sensores de temperatura	14
1.4.5. Sensores de nivel	15
1.4.6. Sensores de presión	16
1.4.7. Sensores de proximidad	17
CAPÍTULO II SENSORES DE POSICIÓN ANGULAR.....	18
2.1. Introducción a los sensores de posición angular	19
2.2. Características de los sensores de posición angular	22
2.3. Principios de operación	23
2.3.1. Encoders	23
2.3.1.1. Ventajas de uso de Encoders	26
2.3.1.2. Encoder Incremental	27
2.3.1.3. Encoder Absoluto	29
2.3.1.4. Aspectos importantes de los Encoder	31
2.3.1.5. Términos y conceptos importantes en el uso de encoders	32
2.3.2. Resolvers	34

2.3.2.1. Operación de una sola fase	37
2.3.2.2. Operación de dos fases	41
CAPÍTULO III APLICACIONES DE LOS SENSORES DE POSICIÓN ANGULAR	43
3.1. Diferencia entre Encoder y Resolvers	44
3.2. Aplicación de Encoders	46
3.3. Aplicación de Resolvers	48

INTRODUCCIÓN

Los sensores son un arma esencial en nuestros tiempos modernos para la industria, ya que con ellos podemos lograr hacer muchas cosas como medir, limitar o simplemente automatizar procesos. Son muy necesarios en casi cualquier área y no solo de la industria sino también en nuestra vida cotidiana, como los vemos en nuestras casas, trabajos, hospitales y cualquier otro lugar en donde esté presente la tecnología.

Los sensores realizan actividades en las que antes se ocupaba de un operario, ahora podemos realizar acciones sin que una persona este al mando, con más precisión y rapidez, sin desgaste ni cansancio y a un menor costo, además de que el tiempo de respuesta en los sensores es instantáneo.

En el presente trabajo de tesina hablaremos acerca del funcionamiento y aplicación de los sensores de posición angular como lo son los encoders y resolvers. Los cuales están fabricados con la finalidad de poder detectar posiciones en un ángulo de giro de hasta 360°. Funcionan midiendo la relación que hay entre cualquier posición con respecto a cualquier otra posición en un espacio determinado.

En el capítulo 1 hablaremos acerca de la historia de los sensores, desde como nosotros al inicio de nuestros tiempos hemos usado sensores para realizar funciones específicas, hasta cada característica y los tipos de sensores que existen en esta era moderna.

En el capítulo 2 veremos desde qué es un sensor de posición angular, sus características generales, así como las específicas para los encoders y resolvers y sus principios de operación de cada uno de estos.

En el capítulo 3 explicaremos algunas de las aplicaciones de los encoders y resolvers mediante imágenes y ejemplos escritos. Para que podamos entender de lo que se trata esta tesina, la cual trata de explicar un poco de los sensores de posición angular en específico.

JUSTIFICACIÓN

Como sabemos, en esta época es muy importante el uso de los sensores en una infinidad de lugares. En la industria son muy importantes porque en cualquier maquina se necesita ya sea sensar la llegada del objeto, la salida, la temperatura, la posición o cualquier cosa que se necesite para que el proceso sea más eficaz. Es muy difícil llegar a ver en la actualidad un lugar en donde no se encuentre un sensor, ya que cada día son mucho más importantes y se hacen más presentes en nuestras vidas.

Por eso es muy importante poder hablar un poco de los tipos de sensores que hay y sus funcionamientos. Existe mucho en donde investigar acerca de los sensores en general, pero acerca de los sensores de posición angular como tal es muy poca la información. Por ellos, la tarea de este documento es saber más acerca de los sensores de posición angular y aquí podremos ver más de ellos, sus características, funciones y aplicaciones.

OBJETIVO GENERAL

Recopilar información para el conocimiento teórico de las características, usos y aplicaciones de algunos de los sensores, pero en específico de los sensores de posición angular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los antecedentes de los sensores.
- Averiguar acerca de los tipos de sensores que existen.
- Dar una introducción acerca de los datos específicos de los sensores de posición angular.
- Ver algunas de las aplicaciones más comunes que existen de los sensores de posición angular.

Capítulo I

Introducción a los

sensores

1.1. Historia de los sensores

El hombre desde los inicios ha tenido que saber cómo suceden los fenómenos y la conducta que estos tienen cada vez que ocurren. Lo primero que tuvo que saber era en qué momento pasaban los cambios climáticos. Porque tenían que predecir en que tiempo tendrían las lluvias y las sequías y así poder obtener sus cultivos. El razonamiento de estos distintos acontecimientos se basaba en experiencias, que con el paso del tiempo podían llegar a predecir lo que sucedería, sin estar exentos de un fallo. Esto nos lleva a poder tener magnitudes y medidas con las cuales se pueden hacer cálculos y saber que pasará y de alguna manera como puede lograrse que suceda.

Podemos poner como ejemplo de los inicios de un sensor cuando las personas primitivas necesitaban cazar animales y ponían trampas en muchos lugares, en las que mediante un cordón al ser movido o cortado activaba dicha trampa que podía matar o simplemente atrapar al animal. Los sensores están desde el inicio de nuestros días, empezando con nosotros mismos, ya que contamos con sensores auditivos, tacto, olfato, vista, etc. (Serna, F.Ros, & J.C.Rico, 2010)

Es complicado saber con exactitud cuando fue creado el primer sensor, podemos buscar algún modelo de sensor específico y poder saber, pero de manera general no podemos encontrar cuándo y por quien fue creado el primer sensor.

Los sensores han existido desde hace bastante tiempo en diversas formas. El primer termostato llegó al mercado en 1883, y muchos consideran esta la primera moderna, sensor artificial. Los sensores infrarrojos han existido desde la década de 1940, aunque en realidad sólo han entrado en la nomenclatura popular en los últimos años. Los detectores de movimiento han estado en uso durante un número de años. La invención del primer termóstato se la da al inventor Warren S. Johnson. Si bien puede parecer crudo por las normas modernas que tenemos hoy en día, este termostato fue capaz de mantener la temperatura dentro de un grado de precisión.

El primer sensor de movimiento se utilizó para un sistema de alarma se produjo en la primera parte de la década de 1950, y fue la invención de Samuel Bagno. (S/A)

Los sensores con los que contamos son mucho más complejos y muchos de ellos pueden realizar diferentes tareas, cada vez se requiere más de estos elementos en la industria ya que son imprescindibles en cualquier maquina ya sea industrial o domestica. Hoy en día podemos ver a los sensores en cualquier parte de nuestra vida cotidiana, desde un celular que tenemos en nuestras manos en cada instante, un automóvil en el cual podemos subir y bajar la temperatura en el interior de él, un horno de microondas que con tan solo un pulso nos puede descongelar nuestra comida y así muchas otras cosas con las cuales convivimos día a día y sin darnos cuenta estamos interactuando con miles de sensores que nos hacen la vida más fácil.

1.2. Descripción de un sensor

A continuación mostraremos algunas de las diferentes definiciones que tiene un sensor.

- Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas. (S/A, definicion.de)
- Un sensor lo podemos definir como un dispositivo que transforma una señal Mecánica, química, Presencia, Presión, temperatura, etc. en una señal eléctrica para poder ser detectada por un sistema de control. (Admin)
- Dispositivo que permite obtener información analógica relacionada con flujo, temperaturas, presiones, etc.// Dispositivo que convierte elementos mensurables en datos significativos para un ordenador. (Mariano Mataix Lorda, 1999)

Con estas definiciones podemos nosotros definir a un sensor como un dispositivo capaz de recibir una señal externa, transformándola y transmitiéndola a un dispositivo, el cual realizara una función específica gracias a esta señal recibida.

Los sensores imitan las capacidades que nosotros los seres humanos tenemos para reaccionar en una situación o hacer alguna función específica en nuestro organismo, y podemos encontrarlos en cualquier parte de un área tecnológica. Así como nuestro cerebro reacciona a estímulos, también los dispositivos reaccionan a señales que los sensores mandan.

1.2.1. Características esenciales en un sensor

Cuando vamos a elegir un sensor, cualquiera que este sea, es muy importante tener en cuenta algunos aspectos importantes para su buen funcionamiento y un mejor rendimiento dentro de donde se vaya a aplicar. Según los autores (Serna, F.Ros, & J.C.Rico, 2010) algunas de las características que hay que tomar en cuenta son:

- Rapidez en la respuesta.
- Situación donde van a ser utilizados.
- Radio de acción.
- Fiabilidad en el funcionamiento.
- Tensiones de alimentación.
- Consumo de corrientes.
- Márgenes de temperatura de funcionamiento.
- Posibles interferencias por agentes externos.
- Resistencia a la acción a los agentes externos.
- Relación calidad/precio.

Así también existe características técnicas que hay que tomar en cuenta para poder saber la calidad de un sensor y entre ellas se encuentran (Serna, F.Ros, & J.C.Rico, 2010):

- **Resolución:** es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- **Sensibilidad:** es la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Error:** es la desviación de la medida proporcionada por el sensor respecto de la real. Se suele expresar en %.
- **Precisión:** es el erro de medida máximo esperado.
- **Repetitividad:** es el error esperado al repetir varias veces la misma medida.

1.2.2. Clasificación de los sensores

Existen numerosas variables o magnitudes físicas susceptibles de ser transformadas en señales eléctricas. Pero estas señales eléctricas contienen la información de un número elevado de parámetros distintos. Por esta razón los sensores se pueden clasificar de la siguiente manera: (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, & Fernández Silva, 2009)

Clasificación
de los
sensores

- Según el principio de funcionamiento: Pasivos y Activos
- Según el tipo de señal eléctrica que generan: Analógicos, Digitales y Temporales.
- Según el rango de calores que proporcionan: De medida y Todo-Nada.
- Según el nivel de integración: Discretos, Integrados e Inteligentes
- Según el nivel de variable física medida

1.3. Características de funcionamiento

Las características de funcionamiento de un sensor industrial hacen referencia a su respuesta en unas condiciones determinadas. De acuerdo con la naturaleza de dichas condiciones, las características de funcionamiento se pueden clasificar en **estáticas, dinámicas, ambientales y de fiabilidad**. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, & Fernández Silva, 2009). A continuación hablaremos acerca de las cuatro características de funcionamiento con las que cuenta un sensor.

1.3.1. Características estáticas

Las características estáticas describen el comportamiento del sensor en unas condiciones ambientales determinadas, con cambios muy lentos de la magnitud a medir y en ausencia de condiciones externas duras, tales como golpes, vibraciones, aceleraciones, etc. De la manera en que nos dice (Vasquez)

- **Rango de medida:** el conjunto de valores que puede tomar la señal de entrada comprendidos entre el máximo y el mínimo detectados por el sensor con una tolerancia de error aceptable.
- **Resolución:** indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Indica que variación de la señal de entrada produce una variación detectable en la señal de salida.
- **Precisión:** define la variación máxima entre la salida real obtenida y la salida teórica dada como patrón para el sensor.
- **Repetitividad:** Indica la máxima variación entre valores de salida obtenidos al medir varias veces la misma entrada con el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales.
- **Linealidad:** un transductor es lineal si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de la señal de salida con los respectivos incrementos de la señal de entrada en todo el rango de medida.

- **Sensibilidad:** indica la mayor o menor variación de la señal de salida por unidad de la magnitud de entrada. Cuanto mayor sea la variación de la señal de salida producida por una variación en la señal de entrada, el sensor es más sensible.
- **Ruido:** cualquier perturbación aleatoria del propio sistema de medida que afecta la señal que se quiere medir. (Vasquez)

1.3.2. Características dinámicas

Como nos dice Mandado Pérez, Marcos Acevedo y Fernández Silva (2009), las características dinámicas especifican la respuesta del sensor al variar la magnitud a medir. Los sensores, como dispositivos reales que son, presentan una cierta incapacidad para seguir variaciones de la magnitud de entrada que superan determinada pendiente de cambio lo que da lugar a la aparición de errores cuando dichas variaciones son rápidas. Es necesario conocer las características dinámicas del sensor en aquellos casos en los que trabaja con una magnitud de entrada que varía de forma rápida o en los que se pueden producir incrementos bruscos de la misma.

- **Velocidad de respuesta:** mide la capacidad del sensor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.
- **Respuesta en frecuencia:** mide la capacidad del sensor para seguir las variaciones de la señal de entrada a medida que aumenta la frecuencia, generalmente los sensores convencionales presentan una respuesta del tipo pasa bajos.
- **Estabilidad:** indica la desviación en la salida del sensor con respecto al valor teórico dado, al variar parámetros exteriores distintos al que se quiere medir (condiciones ambientales, alimentación, etc.). (Vasquez)
- **Tiempo de subida:** determina el intervalo comprendido entre el instante en el que la señal de salida alcanza el 10% de su valor final y aquel en el que alcanza el 90%. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, & Fernández Silva, 2009)

1.3.3. Características ambientales

Las características ambientales son aquellas en que el sensor puede trabajar u operar en condiciones externas (temperatura, humedad, golpes, vibraciones, etc.) distintas de aquellas a las que fue calibrado. A continuación veremos las características ambientales más importantes. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, & Fernández Silva, 2009).

- **Efectos térmicos.**

Constituyen una característica ambiental que se debe especificar en todos los tipos de sensores industriales. Se pueden especificar mediante el **rango de temperatura**, que representa el intervalo de temperatura ambiental en el que el sensor opera de acuerdo con las especificaciones establecidas por el fabricante.

- **Efectos de la aceleración y las vibraciones**

Cuando un sensor industrial se utiliza en aplicaciones en las que está sometido a aceleraciones frecuentes, se debe considerar la posibilidad de que existen errores. Los efectos de la aceleración se especifican mediante el error de aceleración, que se define como la diferencia máxima entre los valores de la salida obtenidos con la aplicación de una aceleración constante a lo largo de un eje determinado y en ausencia de ella. Las vibraciones afectan a los sensores industriales de forma similar a las aceleraciones pero con efectos mayores, porque dentro de un rango de frecuencias de vibración determinado muestran determinados factores de amplificación debido a los propios componentes del sensor.

- **Efectos de la presión ambiental**

Los efectos de la presión ambiental se observan en algunos sensores cuando están calibrados a una presión barométrica normal y se utilizan por ejemplo, en algunas altitudes elevadas, lugares de presión cercana al vacío, etc., que pueden ocasionar deformaciones importantes. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, & Fernández Silva, 2009)

1.3.4. Características de fiabilidad

Estas características ambientales nos hacen referencia a la capacidad que tiene un sensor para realizar una función bajo determinadas condiciones durante un tiempo establecido. Normalmente se determina como una probabilidad de fallo en un periodo de tiempo o número de usos.

- **Vida de almacenamiento:** tiempo en el cual el sistema puede estar almacenado en determinadas condiciones sin que cambie sus prestaciones dentro de cierta tolerancia.
- **Vida de funcionamiento:** mínima cantidad de tiempo en la que el sistema debe funcionar de forma continua o en ciclos on-off sin cambiar sus prestaciones dentro de cierta tolerancia.
- **Ciclos de vida:** número de excursiones de rango completo en las que el sistema debe funcionar sin cambiar sus prestaciones dentro de cierta tolerancia.
- **Estabilidad:** son cambios en las prestaciones del sensor en minutos, horas, días o años.
 - La estabilidad a corto plazo puede ser descrita como ruido de muy baja frecuencia. La salida puede aumentar o disminuir.
 - La estabilidad a largo plazo suele estar relacionada con el envejecimiento de los materiales (principalmente orgánicos). Es un cambio irreversible y unidireccional. (Vasquez)

Es necesario tener en cuenta que los efectos no deseados que inciden sobre el sensor industrial cuando está instalado, dependen, generalmente, del tipo de aplicación.

1.4. Tipos de sensores

Los sensores son capaces de detectar magnitudes físicas y convertirlas a señales eléctricas. Estas variables físicas que existe pueden ser: temperatura, presión, posición, velocidad, fuerza, nivel, proximidad, tamaño, etc. En la siguiente tabla podremos ver los tipos de sensores que existen por su principio de funcionamiento y su variable física medida.

		Variable física medida										
		POSICIÓN	DESPLAZAMIENTO	VELOCIDAD	ACELERACIÓN	TAMAÑO	NIVEL	PRESIÓN	FUERZA	PROXIMIDAD	TEMPERATURA	RADIACIÓN LUMINOSA
Principio de funcionamiento	MICRORRUPTORES	X										
	FINALES CARRERA	X				X						
	EXTENSIOMETRICOS	X	X	X	X			X	X			
	TERMORRESISTIVO										X	
	MAGNETORRESISTIVOS	X	X	X								
	CAPACITIVOS	X	X		X		X	X	X	X		
	INDUCTIVOS	X	X	X	X			X	X	X		
	OPTOELECTRÓNICOS	X	X	X						X		
	PIEZOELÉCTRICOS		X	X	X			X	X			
	FOTOVOLTÁICOS											X
	ULTRASÓNICOS	X					X					

Tabla 1.1 Indica las variables físicas que se pueden medir con sensores basados en distintos principios de funcionamiento. (Mandado Pérez, Marcos Acevedo, & Fernández Silva, 2009).

1.4.1. Sensores de posición

Los sensores de posición suelen ser aquellos que nos indican en qué lugar esta o estará un objeto en un lugar en el espacio, pero si bien resulta ser una tecnología muy buena, debemos decir que muchas veces este tipo de sensores suelen fallar debido a que no se ha obtenido todavía el perfeccionamiento de los mismos.

Como por ejemplo el sensor de posición del acelerador de un automóvil, el cual va registrando el movimiento de la mariposa, esta se encuentra en el cuerpo de aceleración, y envía la información a la unidad de comando. Detecta la posición de ángulo del acelerador mediante una variación de voltaje y junto con otros datos que le llegan a la unidad de control, envía la cantidad específica de combustible que se les inyectara a los cilindros del motor. (ACDelco)



Figura 1.1 Sensor de posición del acelerador. (webcity)

Como lo vemos en la tabla 1, los sensores de posición existen por su funcionamiento de diferentes tipos como inductivos, capacitivos, finales de carrera, etc.

1.4.2. Sensores de desplazamiento

Los sensores de desplazamiento han sido pensados para poder realizar medidas de desplazamiento lineal o posición lineal, de una forma automatizada. Generalmente todas estas medidas se realizan en magnitudes de distancia como pueden ser metros o pulgadas.

Existen diferentes tipos de sensores de desplazamiento, en los que poder elegir diferentes rangos de medida, combinados con diferentes tipos de salida en diferentes tecnologías. En la siguiente lista veremos algunos de los tipos más comunes que existen en el mercado. (S.L, Sensing)

- Encoder de desplazamiento lineal.
- Sensores de desplazamiento laser
- Distanciómetro laser
- Sensores de desplazamiento magnetostrictivos
- Sensores de desplazamiento por hilo
- Sensores de desplazamiento inductivo LVDT
- Palpadores
- Sensores de desplazamiento potensiométricos.



Figura 1.2 Sensores de desplazamiento (S.L, Sensing)

1.4.3. Sensores de aceleración

Los acelerómetros o sensores de aceleración, fueron pensados para poder realizar una medida de aceleración o vibración, generando una señal eléctrica según la variación física que este mieda, en este caso la variación es la aceleración o la vibración. Algunos de los principales sensores o acelerómetros que hay por su tipo de funcionamiento son piezoresistivos, acelerómetros piezoeléctricos y acelerómetros capacitivos.

Los distintos rangos de medida son diversos que tienen estos sensores van, desde 1 g (gravedad, que es igual a 9.81 m/s^2), hasta los miles de gs. Respecto al rango de frecuencia disponible, hay acelerómetros que parten de 0 Hertz, para medida de bajas frecuencias, acelerómetros que llegan hasta los miles de Hertz para altas frecuencias de vibración, otros modelos de muy alta sensibilidad con bajo rango de frecuencia, etc. Estos sensores están hechos de algunos materiales según la aplicación, los componentes más comunes son aluminio, titanio, acero inoxidable, etc. (S.L, Sensing)



Figura 1.3 Sensores de aceleración (S.L, Sensing)

1.4.4.Sensores de temperatura

Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera y uno de ellos también es la temperatura, la cual también debe ser calculada y controlada de alguna manera. He ahí donde incluimos a estos sensores, los cuales miden los cambios de temperatura y la convierte en señales eléctricas, que son procesadas por módulos o equipos eléctricos y electrónicos.

Los sensores de temperatura están hechos por elementos sensores como los termopares (formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje) RTD (detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura) y termistores (su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura), la funda que envuelve al sensor tiene un conductor de la temperatura, para que cuando este la detecte transmita el cambio al elemento sensor y así pueda hacer su función. (S/A, medirtemperatura.com)

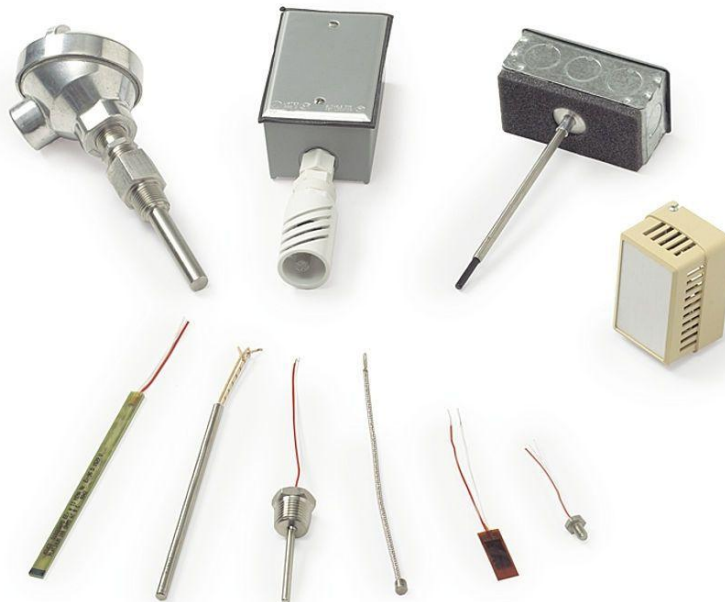


Figura 1.4 Sensores de temperatura (S/A, Direct Industry)

1.4.5. Sensores de nivel

Un sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente siempre se trata de un líquido, dentro de un tanque u otro recipiente. Estos miden en qué punto o puntos se encuentra determinada sustancia respecto a un parámetro determinado, ya sea respecto al borde superior de un recipiente que lo contenga, al fondo del mismo o a varios puntos de referencias como pudieran ser, por ejemplo, diferentes conductos de salida dentro de un tanque o envase. Son muy importantes para el control de procesos en muchas industrias, los sensores de medición de nivel se dividen en dos tipos principales.

- **Los sensores de medición de punto de nivel** se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido. Generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o al contrario una alarma de nivel bajo.
- **Los sensores de nivel continuos** estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado, en lugar de en un único punto, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de gestión de nivel, la señal de salida está vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual. (OMEGA)



Figura 1.5 Sensores ópticos de nivel de líquidos (Sensorstecnicos)

1.4.6. Sensores de presión

Los sensores de presión o transductores de presión, se encuentran muy comúnmente en cualquier proceso industrial o sistema de ensayo. Su propósito de estos sensores es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa presión ejercida. Los diseños son diferentes, pero destacan en general por su robustez, ya que en procesos industriales están sometidos a todo tipo de líquidos, existiendo así sensores de presión para agua, sensores de presión para aceite, líquido de frenos, etc. (S.L, Sensing)

Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando este, de acuerdo con el material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, si no también puede provocar la destrucción del equipo adyacente y ponen al personal en situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitas, fluidos inflamables o corrosivos. tales aplicaciones, las lecturas absolutas de gran precisión con frecuencia son tan importantes como lo es la seguridad extrema.



Figura 1.6 Sensores de presión alta (izquierda) y sensores miniatura de presión (derecha). (S.L, Sensing)

1.4.7. Sensores de proximidad

Mandado Pérez (2009) nos habla acerca de los sensores de proximidad y redacta que existen los sensores de proximidad con contacto que se caracterizan porque la detección se produce cuando existe contacto físico entre el objeto que se desea detectar y el sensor, y los sensores de proximidad sin contacto los cuales detectan el objeto sin necesidad que exista un contacto físico entre ambos

En las muchas instalaciones industriales es muy necesaria la utilización de sensores detectores de objetos sencillos, robustos, fiables y de costo reducido. Estas son características de los sensores de proximidad con contacto o actuación mecánica, que son sensores mecánicos o de recepción de señal por contacto que presentan respecto a los sensores sin contacto. Alguna de las ventajas es que pueden detectar cualquier objeto independientemente del material con el que estén hechos, no les afectan las interferencias del medio exterior y su funcionamiento es exclusivamente mecánico a diferencia de los sensores de proximidad sin contacto los cuales funcionan eléctricamente.



Figura 1.7 Sensores de proximidad con contacto y sin contacto

Capítulo II

Sensores de posición angular

2.1. Introducción a los sensores de posición angular

Los sensores de posición angular (también conocidos como un sensores rotativos) miden la relación que hay entre cualquier posición con respecto a cualquier otra posición en un espacio. Estos sensores calculan la orientación de un objeto con respecto a una posición de referencia especificada que podemos programar tal como se expresa por la cantidad de rotación necesaria para cambiar de una orientación a la otra alrededor de un eje especificado. (Electronics, Future)

Podemos ver que estos sensores de posición angular magnético, están pensados para la medida de una posición angular mediante tecnología magnética. Podemos decir que, cuentan con dos elementos un **detector** y un **emisor**, el emisor es principalmente un imán que al variar su posición, también lo harán sus polos. Por este principio de funcionamiento, contamos con un sensor de ángulo absoluto.

El otro elemento con el que cuenta es el detector quien interpreta la posición del emisor y calcula el ángulo de forma absoluta. Este principio de funcionamiento aporta diferentes ventajas, una de ellas es que se pueden medir giros completos de 360°, que con un potenciómetro o RVDT (sensor de posición angular inductivo) no sería posible. Otra de sus ventajas es que no tiene rozamiento, ya que no hay contacto ni desgaste entre el emisor y el detector. Este sensor cuenta con una salida absoluta, que nos ofrece una señal analógica amplificada, para poder ser llevada directamente a un PLC o equipo de adquisición. (S.L, Sensing)



Figura 2.1 Sensores de posición angular (S.L, Sensing)

Algunas de las principales aplicaciones que tienen estos sensores de posición angular son las siguientes: (Electronics, Future)

- Detección de posiciones del volante
- Detección de posición del pedal
- Sensores de posición del eje del motor
- Detección de la posición del acelerador
- Detección de posiciones de altura
- Caja de cambio
- Control de posición Faro
- Detección de torque
- Detección de posición de válvulas
- Detección posición del asiento eléctrico
- Detección de la posición del espejo
- Los medidores de flujo
- Sin contacto potenciómetro
- Detección de posición de giro sin contacto
- Robótica, etc.



Figura 2.2 Sensores de posición angular (S.L, Sensing)

2.2. Características de los sensores de posición angular

A continuación pondremos algunas de las características principales con las que son fabricados los sensores de posición angular. (Electronics, Future)

Por su suministro de voltaje	Por su suministro de corriente	Por su tipo de salida	Por su rango de temperatura	Por su grado de detección (grados/s)
3 V	100 μ A	Analógico / Digital	-55 a +150 °C	\pm 250 °/s
3 a 5 V	500 μ A	Salida analógica	-40 a +105 °C	\pm 90 °/s
3.3 a 5 V	4 a 20 mA	Salida digital	-40 a +125 °C	\pm 60 °/s
4.5 a 5.5 V	8.5 a 13.5 mA	Lineal	-40 a +140 °C	\pm 45 °/s
5 V	10 mA	Radiométrico	-40 a +150 °C	\pm 30 °/s
5 a 15 V	13.5 mA	Voltaje	-40 a +160 °C	\pm 20 °/s
9 a 15 V	15 mA		-40 a +85 °C	\pm 15 °/s
10 V	16 a 21 mA		-30 a +65 °C	\pm 5 °/s
12 a 30 V	13.5 A		-25 a +130 °C	0 a 120 °/s
15 V			-25 a +60 °C	0 a 180 °/s
			-25 a +85 °C	0 a 90 °/s
			-20 a +85 °C	120 °/s
			-18 a +55 °C	180 °/s
				360 °/s

Tabla 2.1 Características de funcionamiento de los sensores de posición angular.

2.3. Principios de operación

En los siguientes subtemas veremos los principios de operación de dos de los sensores de posición angular que existen, los cuales son los **Encoder** y los **Resolvers**. Estos sensores son de posición angular, cada uno de ellos es usado en diferentes aplicaciones; por ejemplo, los Resolvers no tienen una adecuada precisión como la tienen los Encoder. Pero también hay partes en donde los Encoder no pueden ser usados ya que existen vibraciones o partes que impiden que estos puedan ser instalados debido a que son muchos más frágiles que los Resolvers.

2.3.1. Encoders

Los encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Están disponibles en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal. Cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y **posición**.

Los Encoders ópticos están disponibles con diferentes tipos de salidas, uno de ellos son los **ENCODER INCREMENTABLES**, que generan pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir la velocidad, o la trayectoria de posición. El otro tipo son los **ENCODERS ABSOLUTOS** que generan multi-bits digitales, que indican directamente su posición actual. (West Instruments de México)

Un encoder óptico consta generalmente de una fuente de luz constituida por un arreglo de diodos LED's que están frente a un disco que gira sobre un eje y cuenta con ranuras. En la parte posterior de este disco se cola una tarjeta con rendijas que hacen la función de una guía de luz. La posición de estas aberturas sirve como código de la luz para que esta sea detectada mediante elementos, los cuales son fotosensibles. El disco giratorio está adaptado junto con el rotor de un servomotor, para que gire de la misma forma y por lo tanto el encoder óptico produce como señal

de salida un tren de pulsos proporcional al ángulo de giro del rotor (Reyes Cortés, 2011).

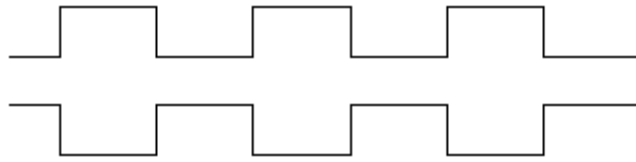


Figura 2.3 Señal de salida (Reyes Cortés, 2011)

Los diodos LED como fuente de luz emiten rayos infrarrojos con longitud de onda $\lambda = 7000 \text{ \AA}$ que se pasan por las ranuras del disco giratorio hacia la tarjeta con rendijas que codifican los haces de luz y los guía hacia la etapa de fototransistores o fotodiodos que se encuentran en el respaldo de esta tarjeta, lo que nos genera una onda cuadrada digital que se acopla directamente a un microprocesador o interfaz electrónica de un sistema mínimo para ser empleada por algoritmos de control.

Las ranuras que se encuentran en el disco giratorio y se colocan de tal forma que la luz indica directamente sobre los elementos fotosensibles. Al girar el disco interrumpe el haz de luz, cambiando de estado la salida, de ahí que el disco se le conozca como disco de fotointerruptor o configuración de haz de luz.

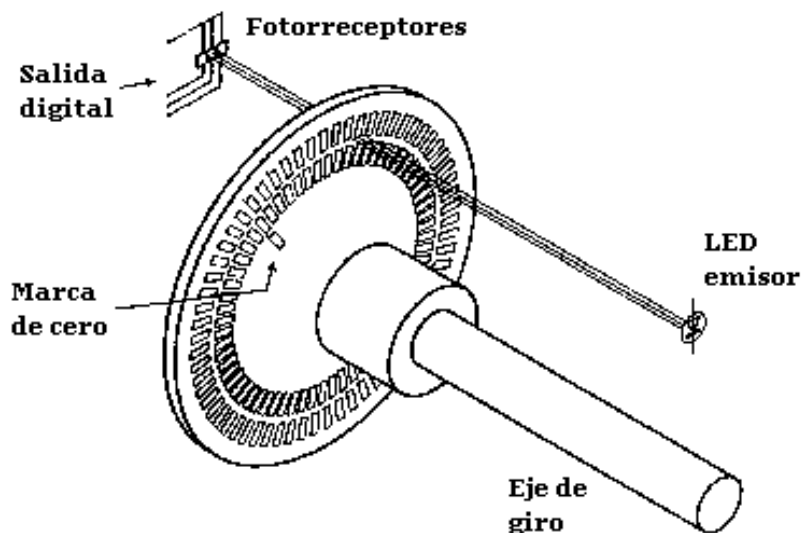


Figura 2.4 Partes de un Encoder (Cuenca, s.f.)

Hay que tomar en cuenta que la luz emitida por el Diodo emisor de luz varia con la temperatura. La pendiente de la luz se va haciendo menos conforme la temperatura aumenta. El método que se utiliza para que esto no suceda es usar dos sistemas con dispositivos fotosensibles y producir una señal teniendo una diferencia de fase eléctrica de 180 grados, luego esta señal es procesada por un comparador electrónico, el cual hace su función y obtiene onda rectangular estable como respuesta a la salida. (Reyes Cortés, 2011)

Algunos encoders en lugar de que el disco giratorio tenga orificios o ranuras, emplean dibujos negros sobre este; en este caso el disco es de un material transparente y tiene la apariencia de un negativo de una fotografía.

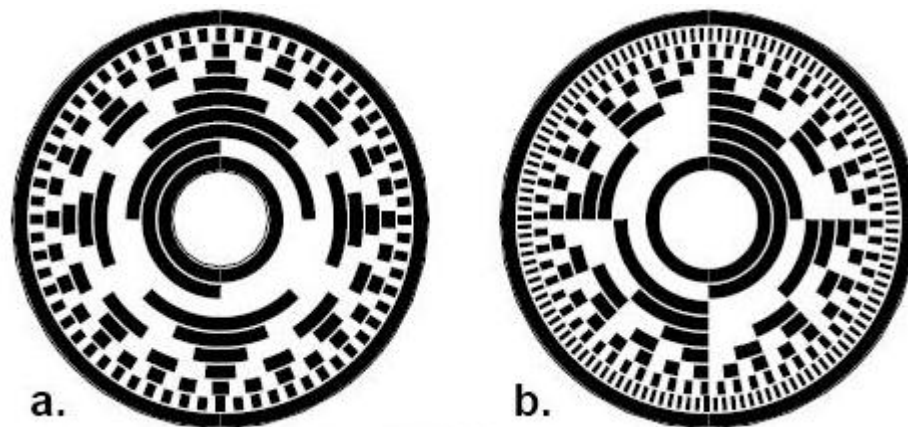


Figura 2.5 Ejemplo de dibujos en el disco de un Encoder (Encoder.BME)

Aparte de estos dibujos, hay otra forma de codificar un encoder. Estas son marcas o franjas reflectivas que van montadas en el disco, las cuales solo son bandas concéntricas de color blanco y negro. La manera en que funciona es mediante un fotodiodo que emite una luz infrarroja, que permite pasar la luz en la parte blanca y es obstruido en la parte negra, esto permite que de igual forma se formen pulsos como salida. (Reyes Cortés, 2011)

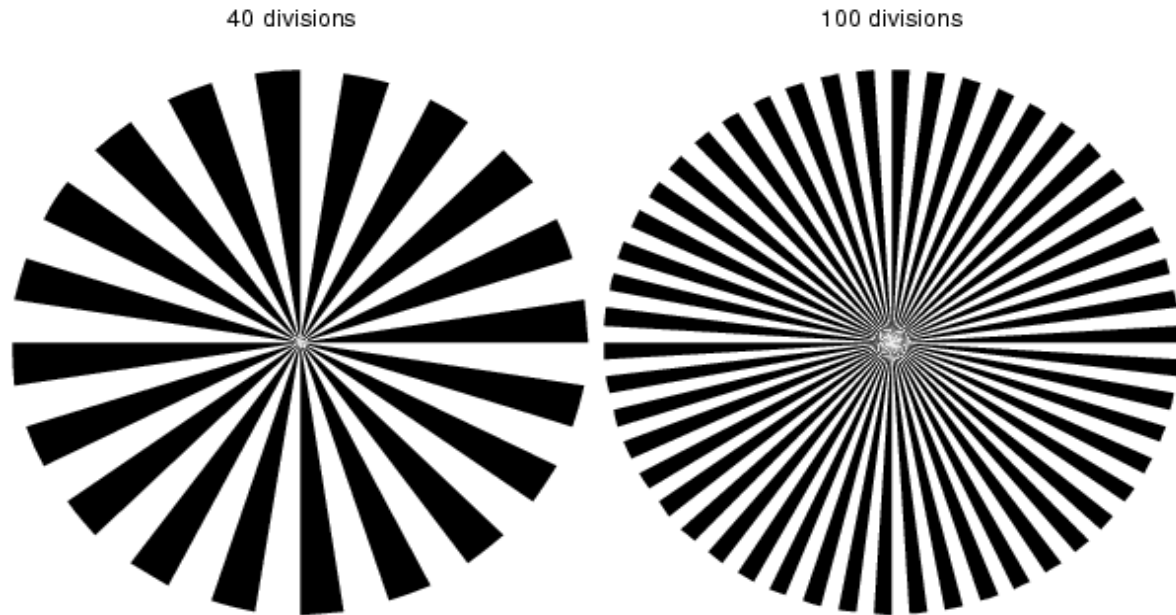


Figura 2.6 Ejemplo de codificación por franjas blanco y negro en un Encoder (Denney)

2.3.1.1. Ventajas de uso de Encoders

Reyes Cortés (2011) nos dice que algunas de las ventajas que tenemos de usar un encoder óptico son:

- Alta resistencia a las condiciones ambientales tale como humedad, vibraciones e impactos.
- Se puede usar en un rango amplio de temperaturas.
- Capacidad de transmitir señales a grandes distancias.
- Miniaturizable o tamaño apropiado para las características del servomotor.
- Alta resolución en la lectura de la posición a medir.

2.3.1.2. Encoder Incremental

El encoder incremental también se conoce como encoder relativo. Algunos de los encoder incrementales son configurados mediante un interruptor de haz de luz. Frente a al disco giratorio podemos encontrar el arreglo de diodos LED cuya luz que emanan pasa entre las ranuras del disco rotatorio; los rayos de luz resultantes pasan por unas rendijas llamadas A, B y Z (como lo vemos en la figura 2.7) para poder ser detectadas por los elementos fotosensibles. La luz que atraviesa por las aberturas A y B se desfasan entre ellas 90 grados. La señal de salida es una onda rectangular de la misma diferencia de fase de 90 grados. (Reyes Cortés, 2011)

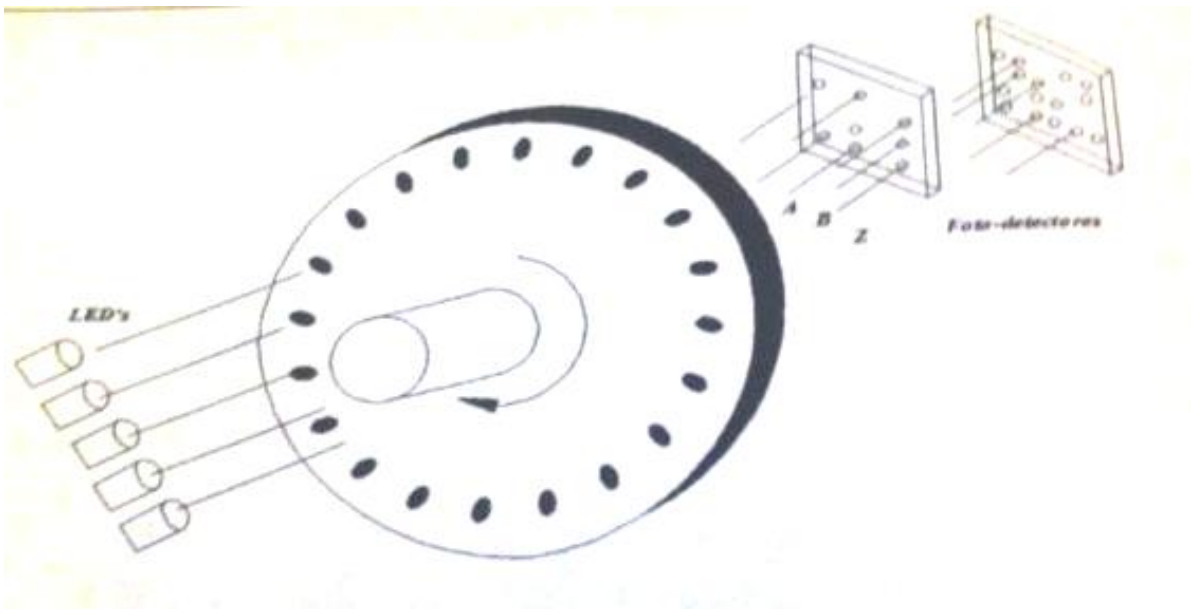


Figura 2.7 Encoder óptico incremental (Reyes Cortés, 2011)

La salida del encoder incremental son pulsos, los cuales son proporcionales al ángulo de rotación. Por cada división de desplazamiento rotacional en la flecha del servomotor, el encoder incremental cambia su salida de bajo hacia alto o viceversa. Los pulsos no representa el valor absoluto de la posición, de tal forma el valor absoluto de la posición nos las da la acumulación de pulsos de salida; la contabilidad de estos pulsos se lleva a cabo por un circuito electrónico contador de pulsos.

Reyes Cortés (2011) nos dice que debemos considerar algunas características para poder usar un encoder incremental:

- Es necesario tomar precauciones sobre el ruido de la señal del encoder, ya que se acumula el ruido en el contador.
- Cuando la fuente de alimentación es desconectada, es imposible que se pueda mostrar la posición previa, aun si inmediatamente se conecta la fuente.

Respecto a la figura 11, los encoder incrementales cuentan con dos canales una A y otro B que esta fuera de fase por 90 grados, de esta forma es posible poder determinar la dirección de giro. Además cuenta con un canal adicional llamado Z cuya salida mandara un pulso por cada 360 grados de giro. La utilidad de este canal Z, es detectar el número de vueltas que realiza, además sirve como referencia para ajustar al servomotor a la posición cero o punto inicial. (Reyes Cortés, 2011)

Incremental encoder principle:

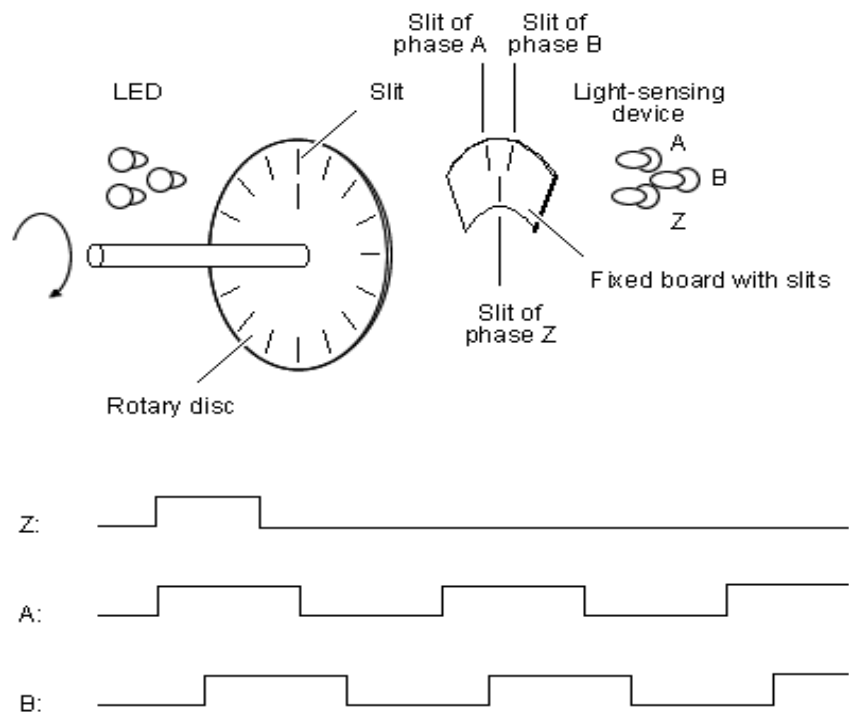


Figura 2.8 Partes de un Encoder incremental

2.3.1.3. Encoder Absoluto

Los encoder absolutos, así mismo como su nombre lo dice, detecta la posición absoluta de desplazamiento del servomotor. La salida del encoder absoluto está dada por códigos binarios digitales, que se pueden encontrar en formato de código binario decimal o en código binario cíclico. Ya que los encoder absolutos nos dan la salida en código binario, éste no acumula errores como sucede en el encoder incremental. La ventaja del encoder absoluto es que puede medir la posición en cualquier punto de una rotación completa, sin perder la posición previa.

La estructura básica del encoder absoluto es la misma del encoder incremental en configuración fotointerruptor o en patrones codificados. El número de ranuras nos determina el número de bits y se encuentran conformadas en bandas de círculos concéntricos distribuidos desde el perímetro hasta el centro del disco giratorio formando un patrón codificado. Los círculos de mayor tamaño simbolizan los bits con menos significados y los círculos que se encuentran más cercanos al centro del disco son los bits más significativos. (Reyes Cortés, 2011)



Figura 2.9 Disco de Encoder absoluto (S/A, www.tecnoficio.com)

Número	BCD (Código Binario Decimal)
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

Tabla 2.2 Señal de salida del Encoder absoluto. (Reyes Cortés, 2011)

Reyes cortes (2011) nos dice que la desventaja con la que cuenta el encoder absoluto es en su fabricación de tamaño miniatura, que no puede ser producido a u bajo costa a diferencia del encoder incremental y además los cables de salida de la señal aumentan en función directa del número de bits. Nos dice también que la gran ventaja con la que cuenta es que aunque sea desconectado de la alimentación, no pierde la posición previa, es decir, siempre detecta el valor de la posición correcta en función del tiempo.

Una comparación que podemos hacer entre el encoder absoluto y el encoder incremental es principalmente en el tamaño. El encoder absoluto aumenta su volumen en forma proporcional con el número de bits, esto hace que el cableado aumente. A diferencia, la salida del encoder incremental es una serie de pulsos y el

conector que proporciona la información de la posición no interviene para aumentar el volumen.

2.3.1.4. Aspectos importantes de los Encoder

La selección de un encoder óptico depende siempre de la aplicación específica. Pero sin embargo, siempre es conveniente que tomemos en cuenta algunas de las siguientes consideraciones a la hora de elegir:

- Resolución y precisión de la posición
- Tamaño del encoder para propósitos de acondicionamiento mecánico
- Diferencia de fase de la salida
- Sensitividad al medio ambiente, cambios climáticos, polvo, condensación de agua (lugares húmedos o cálidos)

Cuando el nivel de salida es compatible con TTL (lógica transistor a transistor), la fuente de voltaje por lo general es de 5 volts, por lo que la salida puede ser fácilmente afectada por ruido ya que son contaminados en lugares donde hay ruido ambiental, para estos casos se deben incorporar circuitos que aíslen el ruido. En acoplamientos mecánicos, las flechas del encoder y del rotor deberán estar muy bien alineadas, ya que si esto no pasa se puede perder la exactitud y reducir la vida del encoder. Es muy importante tomar en cuenta que la vibración de las máquinas se transmite hacia la flecha del servomotor y esto puede producir pulso de salida del Encoder cuando no hay movimiento. (Reyes Cortés, 2011)

Los encoder incrementales son de bajo precio; no registran la posición absoluta después de que la fuente de alimentación ha sido desconectada, por lo tanto pueden utilizarse donde la pérdida de energía no es importante. Los encoder incrementales pueden ser usados en la mayoría de las aplicaciones debido a que pueden rotar y producir pulsos las veces que sea necesario, siempre y cuando tenga toda la instrumentación electrónica para almacenar y contabilizar números muy grandes. A

diferencia, los encoders absolutos con código binario pueden leer la posición dentro de una rotación y por lo tanto no son adecuados para múltiples rotaciones.

Reyes Cortés (2011) nos comenta que el empleo de los encoders ópticos incrementales y absolutos es muy común para obtener señales de velocidad, nos dice que existe una técnica muy conocida, la cual es la diferenciación numérica de la posición (método de Euler). Nos señala que por ejemplo si q_k representa la posición proporcionada por el encoder en el estado de muestro k -ésimo y q_{k-1} es la posición en el estado de muestreo k -ésimo anterior, entonces la velocidad de movimiento del rotor q_k está dado por:

$$q = \frac{q_k - q_{k-1}}{h}$$

Donde h es el periodo de muestreo.

2.3.1.5. Términos y conceptos importantes en el uso de encoders

A continuación explicaremos algunos de los términos y conceptos importantes del uso de los encoders. (Reyes Cortés, 2011)

- **Resolución:** es la capacidad que tiene un encoder para dividir un giro de 360 grados entre "n". En los encoders incrementales la resolución es dada mediante el número de pulsos producidos en una rotación. Un ejemplo son los encoders de los motores de transmisión directa, los cuales cuentan con 4'096,000 pulsos en una revolución completa. Entonces

$$\frac{360^\circ}{4'096,000} = 0.0000878906 \text{ grados de resolución.}$$

- **Máxima frecuencia de respuesta:** es el máximo de frecuencia con el cual responden eléctricamente los encoders. En cuestión de los encoder incrementales está expresado por el número de pulsos de salida por segundo.
- **Máxima frecuencia rotacional permisible:** es la frecuencia máxima rotacional que mecánicamente es permitida por un encoder.
- **Salida de la fase A:** en los encoder incrementales, la diferencia de fase ideal entre la fase de salida para el canal y la fase de salida para el canal B es de 90 grados + 0 grados. Pero, para un estándar práctico es como una diferencia de fase de 90 grados + 45 grados.
- **salida de la fase Z:** esta fase z es conocida como el índice y su respuesta es un pulso cada 360 grados de rotación para indicar el origen. Se usa en los encoders incrementales.
- **Par de inicio:** es el torque que se genera en el inicio de la rotación.
- **Exactitud:** es la diferencia entre la medición hecha, con respecto a la medición real o ideal.
- **Precisión:** es el número de bits para representar una medición.
- **Repetitividad:** esto es la pequeña variación de lectura que tendrá un encoder específico que fue fabricado de manera repetitiva (mismo modelo y número de serie), es un rango estadístico (es muy común ver que la repetitividad tiene una variación de ± 3). Un ejemplo es que si un encoder tiene una repitividad de 0.00001 grados, entonces para una lectura de 90 grados podría ser 89.99999.
- **Linealidad:** si la señal de salida tiene una relación lineal (proporcional) con el fenómeno de entrada (medición de posición). La linealidad es una característica deseable en todo encoder.

- **Rango:** es el límite que tiene un encoder para poder medir. Un encoder absoluto por ejemplo solo puede llegar a rotar hasta 200 grados, sin embargo un encoder incremental puede rotar miles de vueltas.

2.3.2. Resolvers

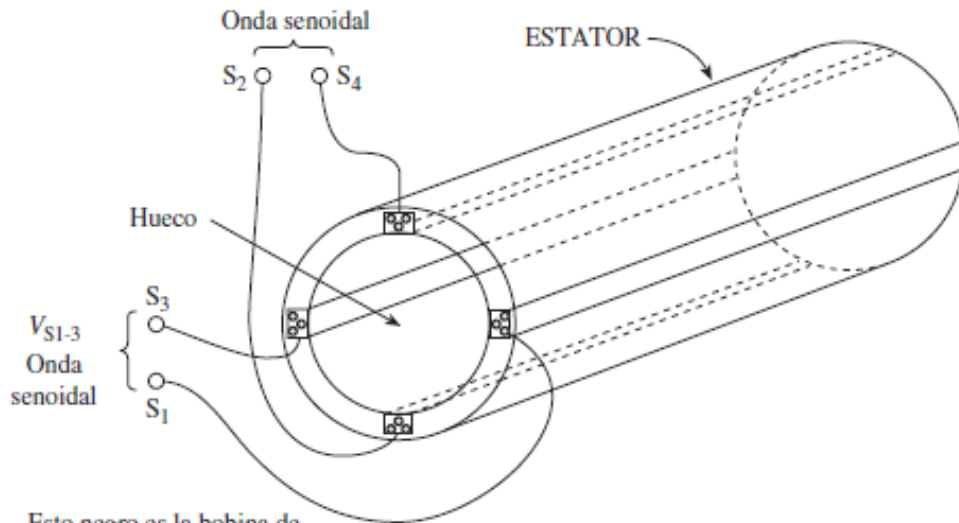
Podemos hablar de un resolver como un sensor analógico que es absoluto sobre una sola vez. El resolver fue creado originalmente para aplicaciones militares y se ha beneficiado de más de 50 años de uso continuo y desarrollo. No pasó mucho tiempo antes de numerosos sectores industriales reconocieron los beneficios de este sensor de posición rotatoria o angular, diseñado para soportar el castigo de una aplicación militar. Plantas de envasado de productos y líneas de prensas de estampado son ejemplos perfectos de donde es posible encontrar resolvers empleados en los sistemas de trabajo. En aplicaciones típicas, el sensor resolver alimenta los datos de posición rotativos a un decodificador colocado en un controlador lógico programable (PLC) que interpreta esta información y ejecuta los comandos basándose en la posición de las máquinas. (AMCI)

Un resolver o un resolvedor es un dispositivo parecido a un generador que puede ser usado para una medición precisa de las posiciones angulares de un eje. También se le conoce como transductor electromagnético que se puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones de posición y velocidad de retroalimentación y aplicaciones de servicio liviano o industriales pesados. Debido a que el resolver es un dispositivo analógico y las salidas eléctricas son continuas a través de un giro mecánico completo (360°), la resolución teórica de una única velocidad de un resolver es infinita. Es la mejor opción para todas aquellas aplicaciones en donde implique un alto rendimiento a altas temperaturas, choques, vibraciones y contaminación ya que está construido de una forma muy resistente. Existen resolvers, los cuales están compuestos por 4 bobinas. Las bobinas del estator son accionadas por voltajes de onda senoidal externos V_{S1-3} y V_{S2-4} , cuando estas bobinas actúan generan un campo magnético neto del estator. Las bobinas del rotor

R_{1-3} y R_{2-4} se encuentran desviadas entre sí por 90 grados al igual que S_{1-3} y S_{2-4} como lo mostraremos en la figura siguiente. (Maloney, 2006)

Esto es la bobina de estator 2-4.

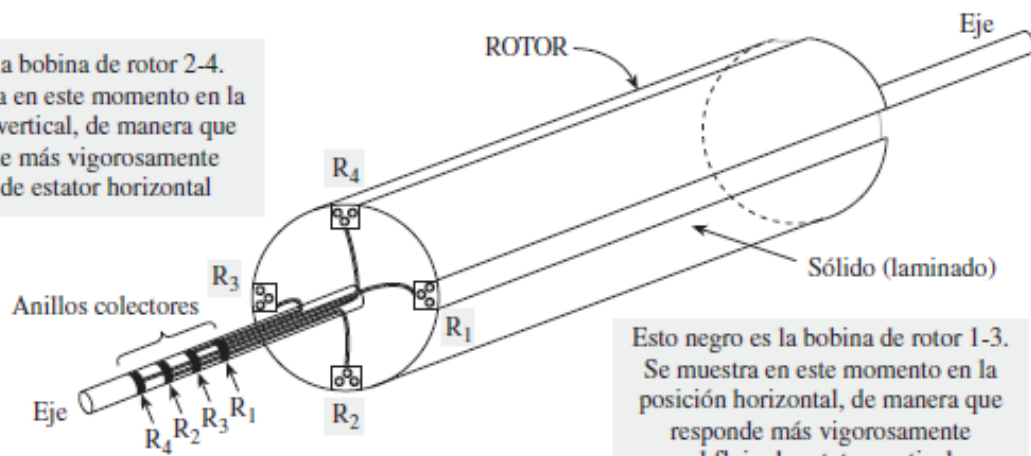
Su plano es vertical; su flujo magnético es horizontal V_{S2-4}



Esto negro es la bobina de estator 1-3. Su plano es horizontal; su flujo magnético es vertical

(a)

Esto es la bobina de rotor 2-4. Se muestra en este momento en la posición vertical, de manera que responda más vigorosamente al flujo de estator horizontal



Esto negro es la bobina de rotor 1-3. Se muestra en este momento en la posición horizontal, de manera que responda más vigorosamente al flujo de estator vertical

(b)

Figura 2.10 Estructura de un resolver (estator y rotor) (Maloney, 2006)

Como lo vemos en la figura 2.10, el estator es un cilindro hueco conformado por dos bobinas de múltiples vueltas. La bobina del estator llamada 1-3 tiene terminales externas llamadas S_1 y S_3 . Cuando está es accionada por una corriente senoidal ca (corriente alterna), la bobina S_{1-3} crea un flujo magnético, el cual es de dirección vertical. El flujo es senoidal, apuntando hacia arriba a las 12 en punto durante medio ciclo positivo y hacia abajo a las seis en punto durante el medio ciclo negativo. Su magnitud varía en forma senoidal.

La bobina de estator 2-4 es idéntica a la bobina del estator 1-3 pero compensada por 90 grados mecánicos. El flujo ϕ_{2-4} apunta hacia la derecha a las 3 en punto durante el medio ciclo positivo del voltaje aplicado el V_{s2-4} ; el flujo ϕ_{2-4} se invierte hacia la izquierda y apunta a las 9 en punto durante el medio ciclo negativo del voltaje V_{s2-4} de onda senoidal aplicado.

El rotor es mostrado de igual forma en la figura 2.10 (b). Este rotor cuenta al igual que el estator con dos bobinas llamadas R_{1-3} y R_{2-4} . Estas salen de la máquina por medio de anillos colectores y las escobillas de contacto en las terminales etiquetadas R_1 , R_2 , R_3 y R_4 . Cuenta además con unas escobillas de carbón, las cuales no muestran en la figura 2.10 (b).

Las bobinas del estator operan de una forma muy similar al primario de un transformador, produciendo un flujo que magnetiza el cual atraviesa el devanado del secundario. Los voltajes que se inducen en las bobinas del rotor mediante el funcionamiento del transformador se simbolizan V_{R1-3} y V_{R2-4} . Estos voltajes dependen de una forma muy precisa de la posición angular en la que se encuentre el rotor con relación al estator. Cuando medimos los voltajes V_{R1-3} y V_{R2-4} podemos obtener una posición en la que se encuentra el eje. Al estar conectados el eje del rotor junto con el eje que estamos midiendo dentro del sistema industrial, el resolver se vuelve un transductor preciso del movimiento angular de ese eje. (Maloney, 2006)

En algunas aplicaciones, el rotor de estator funciona solamente por un solo voltaje senoidal, o mediante dos voltajes de onda senoidal que están en fase entre sí. Estas distribuciones se pueden llamar como una operación de fase simple. En algunas otras aplicaciones, los voltajes que accionan a las bobinas del resolver, V_{R1-3} y V_{R2-4} , están desplazados eléctricamente entre fases 90° .

2.3.2.1. Operación de una sola fase

Para que podamos entender la operación de una sola fase de un resolver de cuatro bobinas, tomaremos como suposición que solo se acciona una fase del estator (S_{1-3}) y la otra se encuentra en un circuito abierto o simplemente desconectado (S_{2-4}). Supongamos que la bobina del estator S_{1-3} es energizada por una fuente regulada de 60 Hz y 10 V pico. Esto lo podemos ver en la figura 2.11 siguiente.

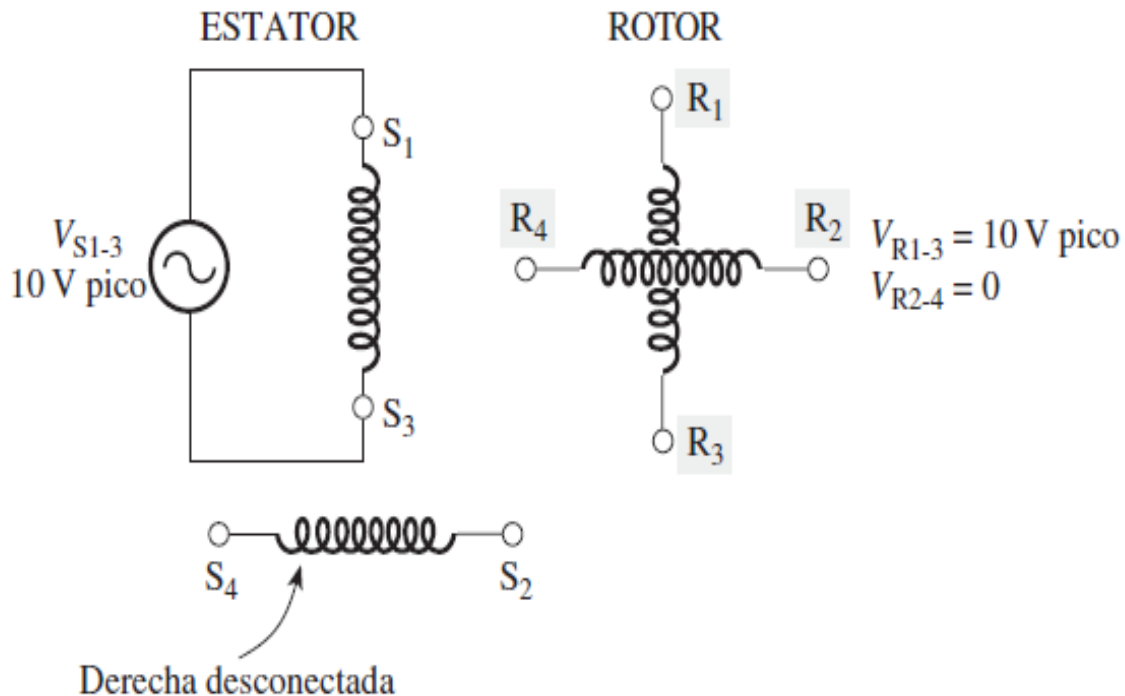


Figura 2.11 Representación de una sola fase (Maloney, 2006)

La posición 0°. Asumimos que el rotor se encuentra en la posición representada en la figura 2.11. A esto le llamaremos posición cero. El flujo vertical oscilante $\phi_{S_{1-3}}$ Estará 100% ligado a la bobina del rotor R_{1-3} . Esto nos quiere decir que, todo el flujo magnético creado por S_{1-3} atraviesa el plano de R_{1-3} debido a que R_{1-3} se encuentra en perfecta alineación. Si la proporción de vueltas es de 1:1 (donde R_{1-3} tiene exactamente el mismo número de vueltas que S_{1-3}), por lo tanto el voltaje inducido $V_{R_{1-3}}$ será igual a $V_{S_{1-3}}$. Es decir, $V_{R_{1-3}}$ tendrá una magnitud pico de 10 V.

La posición 30°. Ahora tenemos que suponer que el rotor gira 30°. Con la bobina R_{1-3} a 30° inclinada respecto a la horizontal, no es capaz ya de presentar su área transversal completa al flujo magnético oscilatorio. Su longitud a lo largo del eje del rotor no se ve afectada, pero su espesor efectivo está reducido por un factor de coseno 30° = 0.866 veces su espesor real. Esto es la porción del espesor real que es perpendicular al flujo vertical. Dado que el espesor efectivo de la bobina es reducido a 0.866 de su valor real, así también su vínculo de flujo, y también su voltaje inducido. Por tanto, $V_{R_{1-3}}$ disminuye de 10 V pico a 8.66 V pico. (Maloney, 2006)

Ahora bien, la bobina R_{2-4} esta inclinada 30° fuera de la vertical. Ahora esta bobina representa un espesor $\text{Sen } \theta$ veces a su espesor real. Si asumimos que las bobinas tienen el mismo número de vuelta, entonces su voltaje se aumenta desde 0.0 hasta 5.0 V, decimos que $(10 \times \text{Sen } \theta) \text{ V} = 10 \times \text{Sen } 30^\circ = 10 \times 0.5 = 5 \text{ V}$.

Entonces podemos tener dos formulas para $V_{R_{1-3}}$ y $V_{R_{2-4}}$, dependiendo del ángulo de inclinación para cada uno: (Maloney, 2006)

$$V_{R_{1-3}} = V_{S_{1-3}} \cos \theta$$

Y

$$V_{R_{2-4}} = V_{S_{1-3}} \sin \theta$$

Éste es el espesor ocupado por el flujo de estator oscilatorio.
 Es igual a los espesores de la bobina R_{1-3} y la bobina R_{2-4} ,
 los cuales son iguales al diámetro del rotor D

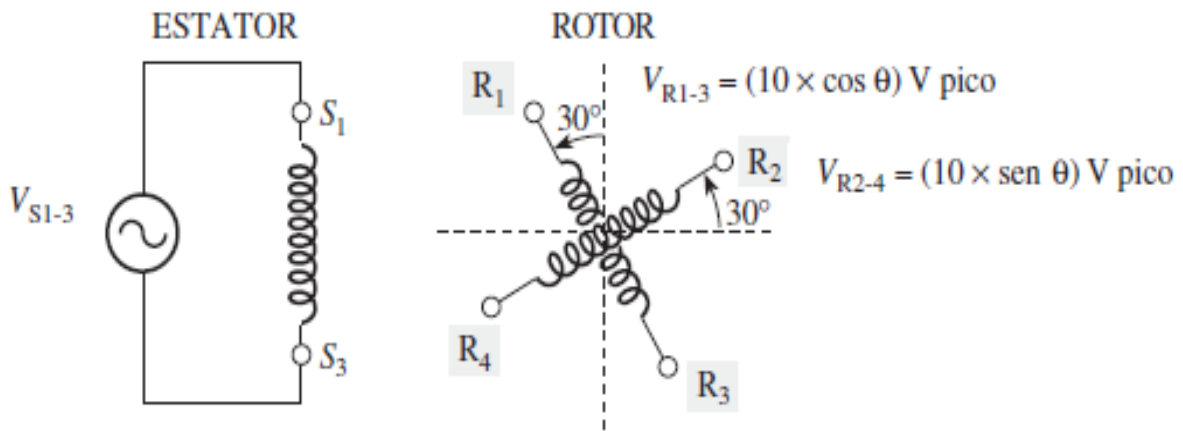
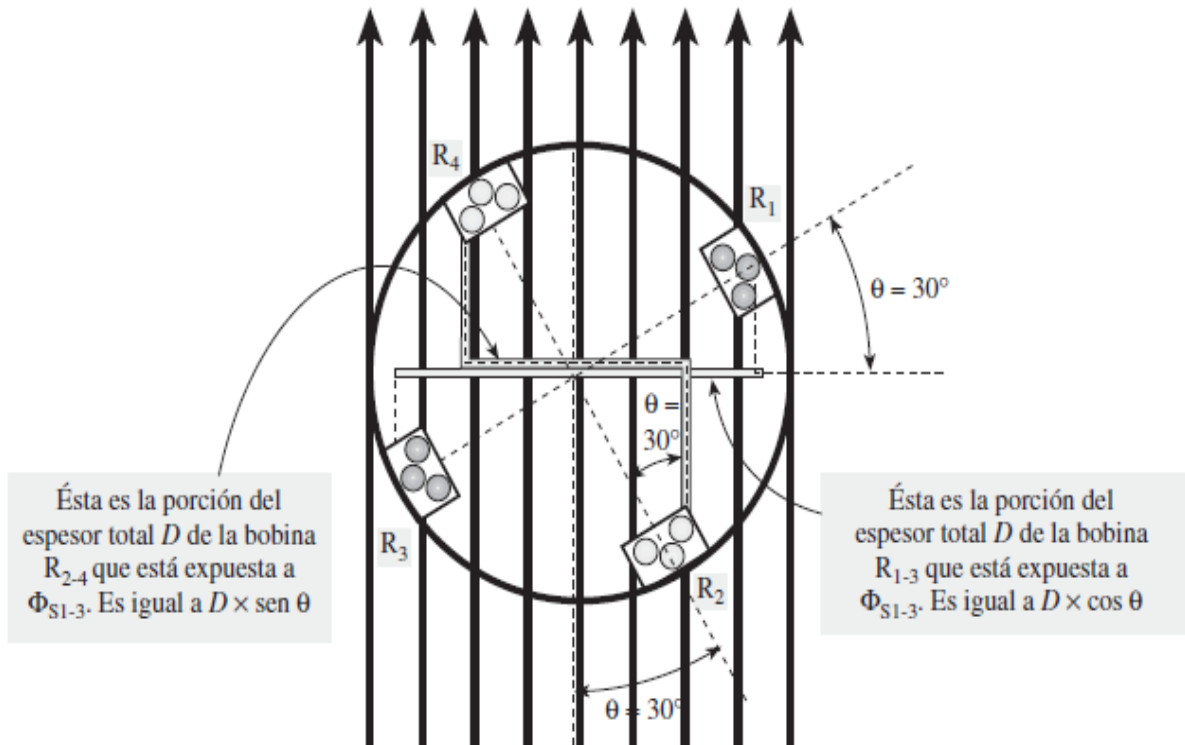


Figura 2.12 Giro de las bobinas del rotor (Maloney, 2006)

Mediante una tabla de referencia almacenada, una computadora nos puede traducir todas las magnitudes del voltaje V_{R1-3} a una posición angular del eje.

A continuación mostraremos la tabla de referencia. La cual es una colección de pares de valores de datos que están permanentemente almacenados en la memoria de una computadora. Al presentar el valor de una variable a la computadora, ésta es capaz de acudir a la tabla de referencia y recuperar el valor de la otra variable. Para un transductor basado en resolver, el valor de V_{R1-3} se presenta a la computadora, y ésta recupera el valor del ángulo del eje (Maloney, 2006).

V_{R1-3} (V)	θ (DEG)	V_{R2-4} (V)
10.0	0	0.00
9.96	5	0.87
9.85	10	1.74
9.60	15	2.59
9.40	20	3.42
9.06	25	4.23
8.66	30	5.00
8.19	35	5.74
7.66	40	6.43
7.07	45	7.07
6.43	50	7.66
5.74	55	8.19
5.00	60	8.66
4.23	65	9.06
3.42	70	9.40
2.59	75	9.60
1.74	80	9.85
0.87	85	9.96
0.00	90	10.0

Tabla 2.3 Tabla de referencia de voltajes de encoder (Maloney, 2006)

2.3.2.2. Operación de dos fases

En la figura 2.13 siguiente podemos ver la representación esquemática de un resolver que está siendo accionado por dos fuentes de corriente alterna de igual magnitud con un desplazamiento de fase de 90° . Nos concentraremos en sólo una de las bobinas del rotor, R_{1-3} . Aquí se presenta un hecho importante y fascinante: el accionamiento de dos bobinas de estator de 90° de separación con dos fuentes de onda senoidal con desplazamiento de fase de 90° ocasiona que se produzca un campo magnético revolvente. Esto quiere decir que, el flujo magnético ϕ ya no tiene una línea de orientación fija con una magnitud instantánea que atraviesa oscilaciones de onda senoidal. El lugar de ello, el flujo magnético tiene una magnitud constante, pero desplaza su línea de orientación a una proporción constante. El flujo magnético gira alrededor del rotor, formando una revolución mecánica completa de 360° durante cada ciclo de las fuentes de corriente alterna (Maloney, 2006).

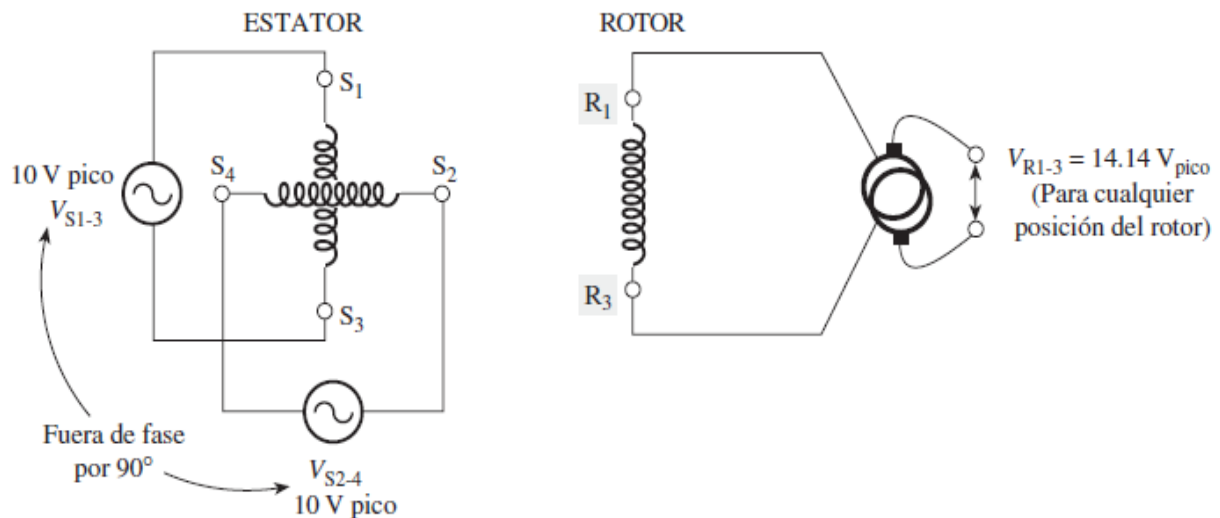


Figura 2.13 Representación de resolver de dos fases (Maloney, 2006)

De esta manera el voltaje que se induce en la bobina del secundario del rotor es constante a 14.14 V pico, sin importar la posición en la que se encuentre el eje del rotor. Lo que cambia en esta operación de dos fases es la fase V_{R1-3} . De esta

manera si el eje es desplazado por un ángulo θ (figura 2.14) a partir de su posición cero mecánica, la onda senoidal V_{R1-3} estará eléctricamente desplazada en fase por θ° con relación a la fuente V_{S1-3} . Con este funcionamiento el transductor debe medir el desplazamiento eléctrico de fase para que sea dada la posición angular del eje que está siendo medido.

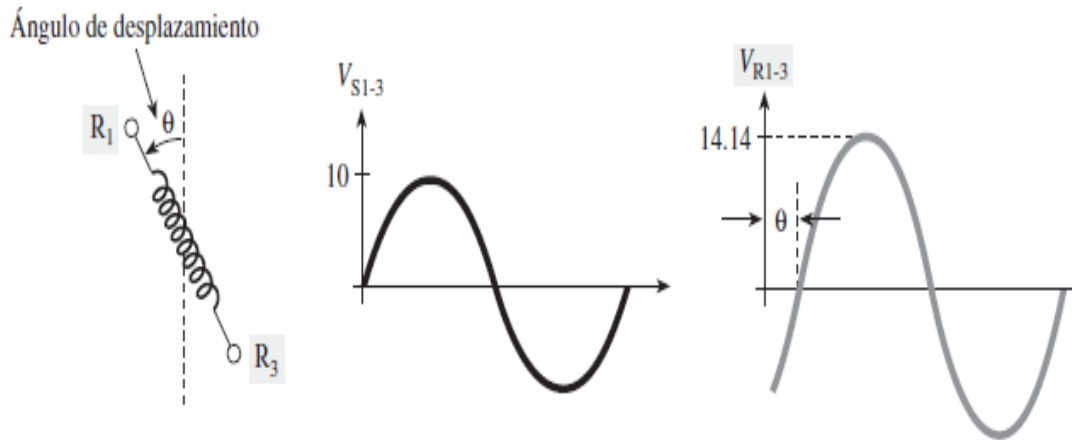


Figura 2.14 Desplazamiento de $V_{R1.3}$ (Maloney, 2006)

En un resolver de dos fases el desplazamiento de fase entre V_{R1-3} y V_{S1-3} es medido mediante el procesamiento de cambio de las ondas senoidales en ondas cuadradas, después ejecutando las dos ondas cuadradas dentro de un detector de fase. Por este medio el voltaje promedio medido a la salida del detector de fase será equivalente al ángulo θ (Maloney, 2006)

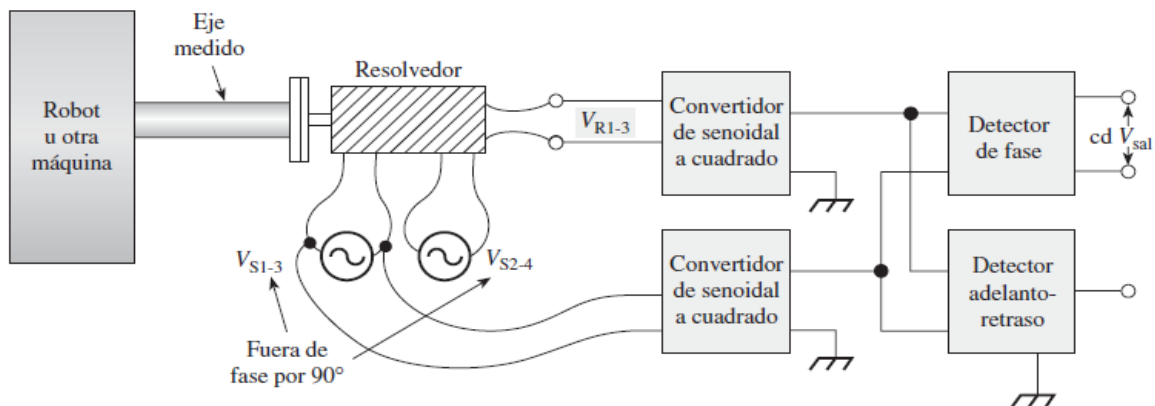


Figura 2.15 Resolver con convertidor de onda (Maloney, 2006)

Capítulo III

Aplicaciones de los sensores de posición angular

3.1. Diferencia entre Encoder y Resolvers

Como hemos venido viendo en el capítulo anterior, los Resolvers y Encoders tiene mucha diferencia entre sí a pesar de que tienen el mismo objetivo en muchas funciones. En las aplicaciones rotativas, cualquiera de los dos se puede utilizar para detectar la velocidad, la dirección y la posición de un eje de rotación. La tecnología fundamental de las que están hechos los resolvers y encoders pueden ser utilizadas en una variedad de formas para una mejor función en aplicaciones específicas (Barnett, 2013)

En la tabla 3.1 que vemos a continuación se pueden observar los parámetros con los que cuentan los resolvers y los encoders.

Resolver	Encoder
Velocidad (número de polos)	La tensión de alimentación
Voltaje de entrada	Corriente de alimentación
Frecuencia de entrada	Interfaz de salida
Corriente de entrada	Terminación única, diferencial
Impedancia de entrada	TTL, CMOS
Tensión de salida	Corriente de salida
Impedancia de salida	Resolución
Relación de transformación (K)	Error de cuadratura
Error eléctrico (detección de error)	Canales de salida
Díámetro del rotor	Cuadratura
Inercia del rotor	Índice
Temperatura de funcionamiento	BLDC conmutación
	Agujero de la maza
	Temperatura de funcionamiento

Tabla 3.1 Parámetros de resolvers y encoders (Barnett, 2013)

En la siguiente tabla Barnett nos da una comparación entre un encoder y un resolver, los cuales son datos fundamentales para poder elegir cualquiera de estos dispositivos.

	Resolver	Encoder
Medición de ángulos	Absoluto	Absoluta o incremental
Resolución absoluta	16 bits	13 bits
Resolución Incremental	N / A	10.000 líneas / revolución
Precisión (minutos de arco)	4 a 40	0,25-6
Interfaz electrónica	Convertidor R / D	Directo
Inmunidad al ruido	Sensible	Mejor
Señal de salida	Analógico	Analógica o digital
Los materiales de construcción	Robusto	Frágil
Peso	Pesado	Ligero
Inercia	Alto	Bajo
Longevidad	Muy alta	Alto
Choque / vibración	Alto	Limitado
Temperatura	150 ° C	100 ° C
Contaminación	Inmune	Vulnerable
Implementación	Complejo	Simple
Intercambiabilidad	Limitado	Vasto
Reequipamiento / actualización	Fijo	Abierto
Costo	Mayor	Menor

Tabla 3.2 Comparación entre Resolver y Encoder

3.2. Aplicación de Encoders

En las siguientes imágenes podemos algunas aplicaciones de encoders.

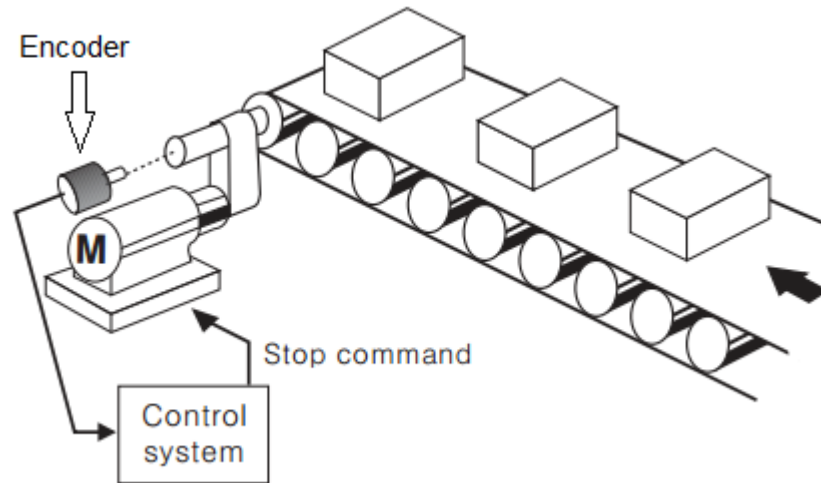


Figura 3.1 Encoder para detener motor en posición correcta. (Autonics)

Encoders Incrementales

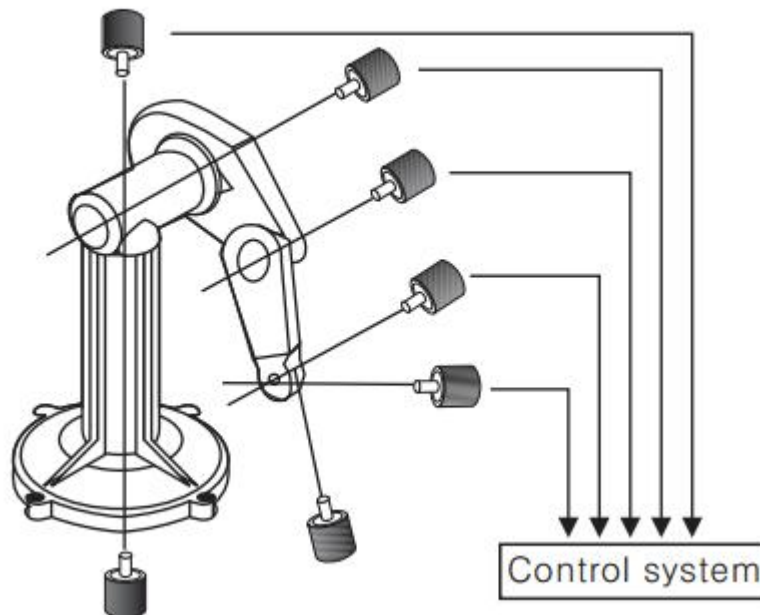


Figura 3.2 Encoders incrementales para la medición del ángulo y posición del brazo del robot.

El ejemplo siguientes es acerca de un cómo se lleva a cabo el establecimiento de una posición de referencia mediante un encoder.

Pulso de Referencia

Un pulso de referencia de un encoder de incremento (algunas veces llamado Marcador o Índice de Pulso) ocurre en un punto preciso conocido en una revolución de 360° de un encoder de eje o a lo largo de una escala lineal. Una posición particular puede ser identificada usando la producción de un pulso de referencia, o relacionando lógicamente el pulso de referencia a los canales de datos A y B. Aunque es frecuentemente utilizado en control de aplicaciones de posición y movimiento como un punto de partida de una posición conocida desde el cual la trayectoria de conteo y posición comienza. En el largo viaje o las múltiples vueltas del encoder, el pulso de referencia es utilizado algunas veces por el control para iniciar un chequeo electrónico sobre el conteo total recibido del encoder. Por ejemplo, cada vez que un pulso de referencia es recibido por el control, el conteo total recibido de los canales A y B debería ser un múltiplo de las pulsaciones del encoder por revolución. (West Instruments de México)

Ejemplo de una Tabla de posición de tornillo redondo

En las aplicaciones del movimiento del control del encoder, un PLC, CNC, o controlador de movimiento usualmente comandará una secuencia de movimientos con cada eje de un sistema de posición para llevar a la tabla al mismo punto inicial de posición antes de iniciar una tarea. El siguiente es una referencia automática típica y una secuencia de compensación de contragolpe para establecer una posición original a través del uso de un marcador de pulsos de encoder. (West Instruments de México)

1. Si el interruptor principal se abre (indicando una posición sobre el lado positivo de origen) cuando el comando es recibido, el eje es acelerado en la dirección negativa a la medida de ACELERACIÓN DE EMPUJE y movida en la VELOCIDAD RAPIDA DE EMPUJE hasta que el interruptor principal se cierra.
2. El eje es detenido a la medida del EMPUJE DE ACELERACIÓN.
3. El eje es acelerado en la dirección positiva a La medida del EMPUJE DE ACELERACIÓN y movida a la VELOCIDAD MAXIMA DE EMPUJE hasta que se abre el Interruptor Casero Principal.
4. El eje se acelera en la dirección negativa a la medida del EMPUJE DE ACELERACIÓN y movida a la MINIMA VELOCIDAD DE EMPUJE hasta que el Interruptor Principal se cierra y un encoder marca-pulsos es sentido por el control (en ese orden).
5. El eje se detiene a la medida del EMPUJE DE ACELERACIÓN.

3.3. Aplicación de Resolvers

A continuación mostraremos algunas imágenes donde se pueden ver algunas de las aplicaciones de los resolvers. (Tamagawa seiki Co, Ltd)

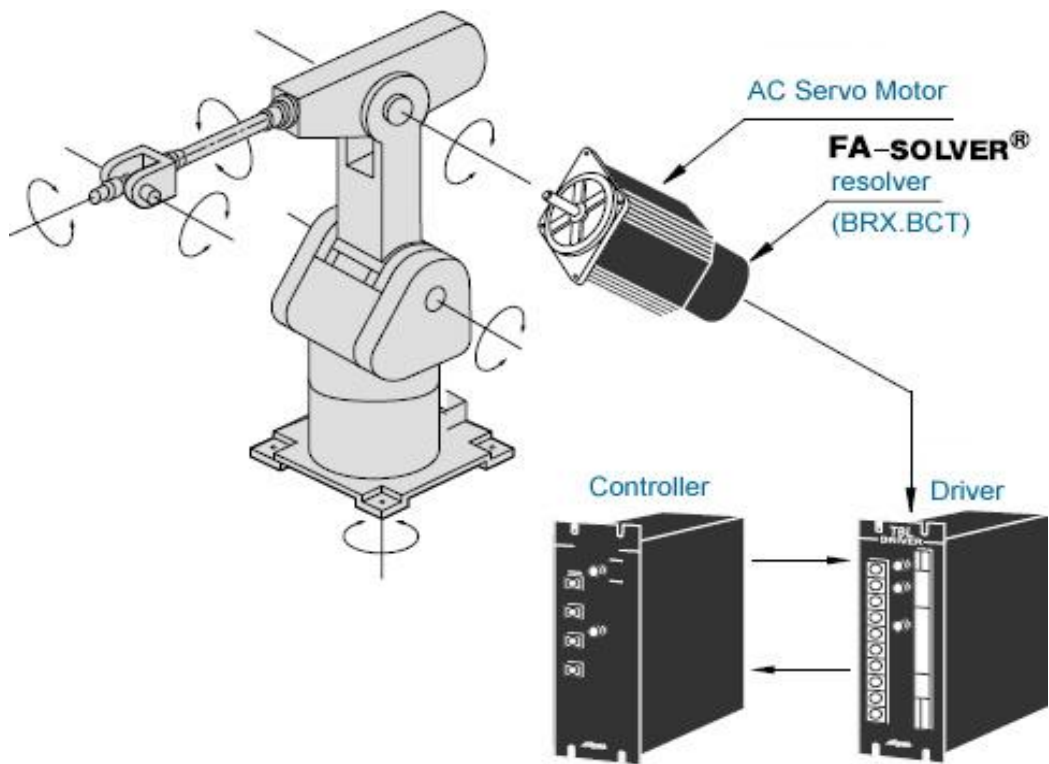


Figura 3.3 Resolvers para las articulaciones y los cuerpos de los robots de conducción.

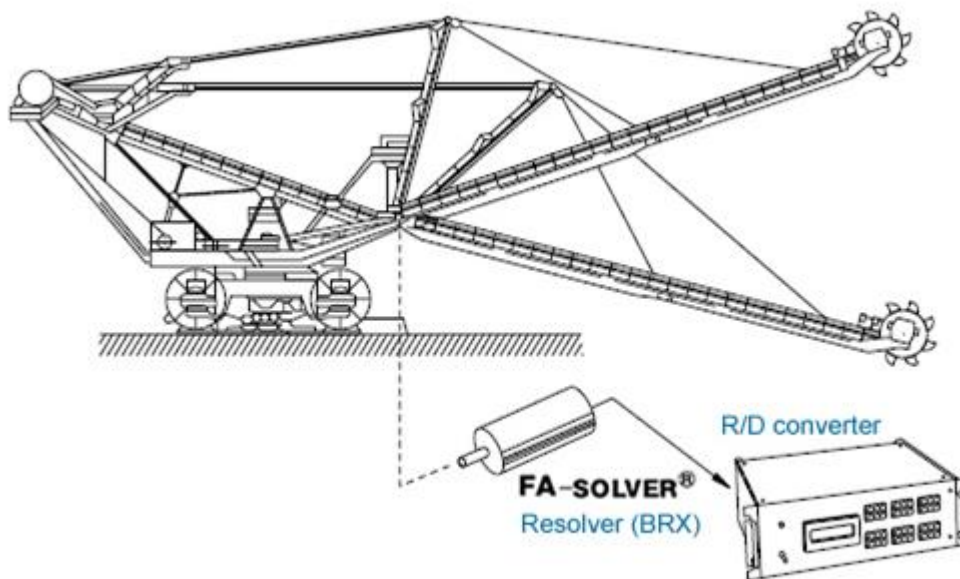


Figura 3.4 Detección de recuperadores de ángulos de giro de la pluma y los ángulos de elevación.

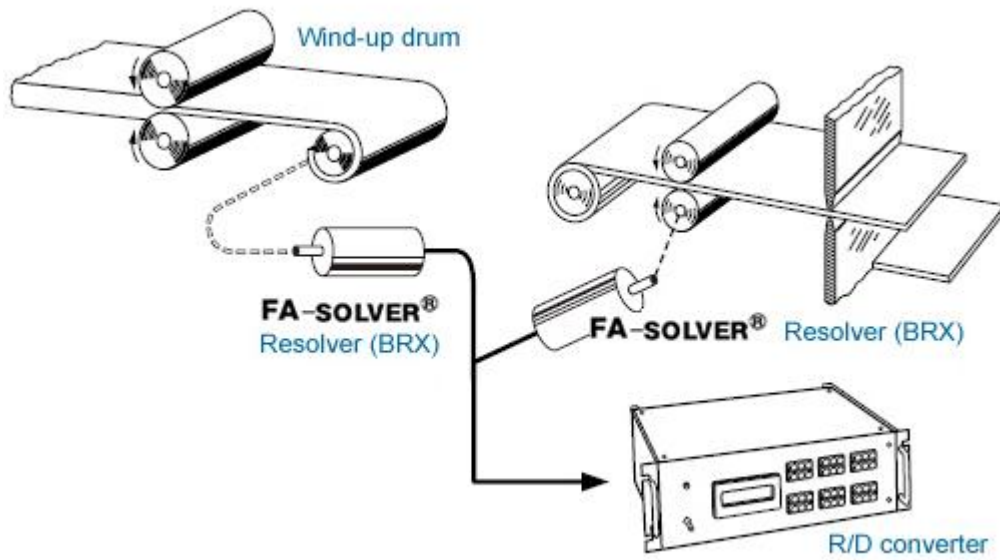


Figura 3.5 Detección de la longitud del embobinado y distancia entre el rollo.

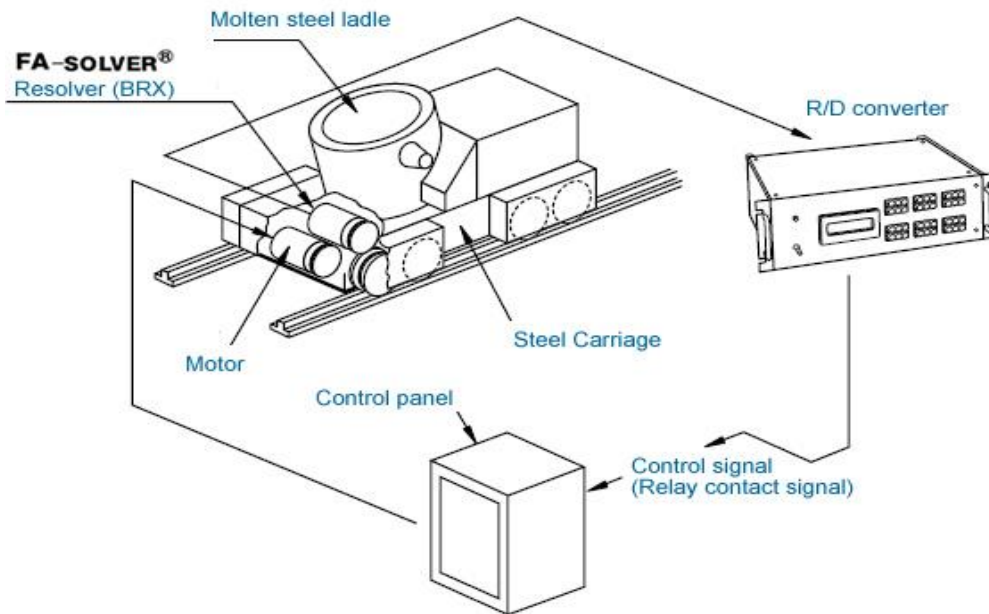


Figura 3.6 Detección de posición de un carro automatizado.

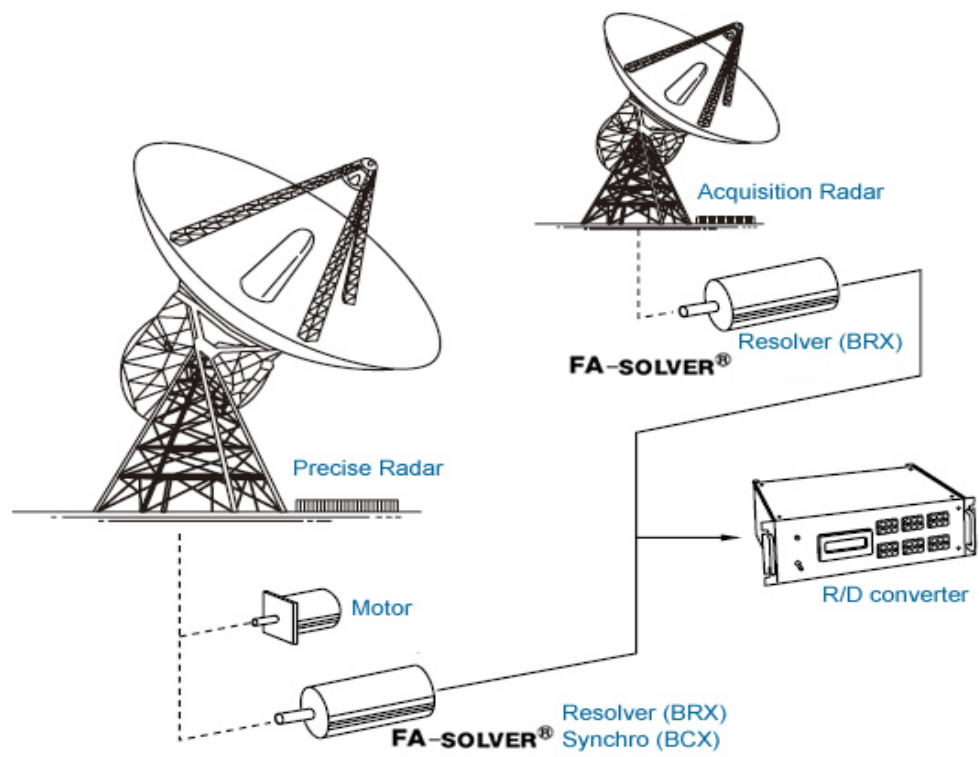


Figura 3.7 Detección de ángulo de elevación de la antena.

CONCLUSIÓN

Durante el transcurso de investigación de esta tesina hemos visto temas como sensores de temperatura, de presión, desplazamiento, nivel, etc. viendo sus características de funcionamiento y como se clasifican.

Pero principalmente analizamos lo que son los sensores de posición angular. Hemos visto la funcionalidad y las características importantes que tienen estos tipos de sensores, que son también conocidos como sensores rotativos. Ya que están diseñados para calcular la posición de un objeto en un espacio de giro de 360° con respecto a un eje de referencia.

Siendo así que existen los encoders y resolvers como sensores de posición angular. Cada uno de ellos contando con diferente estructura de construcción, pero al final el principio de operación es el mismo.

En conclusión podemos decir que ambos tipos de sensores pueden ser ocupados para la misma funcionalidad, solo con algunas diferencias entre ambos. Y todo esto depende del tipo de aplicación que le queramos darle.

Bibliografía

- ACDelco. (s.f.). *www.acdelco.mx*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://catalogo.acdelco.mx/media/files/Sensores.pdf>
- Admin. (s.f.). *cursosdeplc.com*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de <http://www.cursosdeplc.com/que-es-un-sensor.html>
- AMCI. (s.f.). *Advanced Micro Controls Inc*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2013
- Autonics. (s.f.). *Autonics*. Recuperado el 25 de Diciembre de 2013, de http://www.autonics.com/upload/data/1316517373_9_F_62_app_110822.pdf
- Barnett, D. (05 de Octubre de 2013). *Optoresolver.com*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2013, de http://www.optoresolver.com/help/tutorials/resolver_v_encoder.htm
- Cuenca, A. (s.f.). *Foros de Electronica*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2013, de <http://www.forosdeelectronica.com/f16/encoders-informacion-tecnica-25/>
- Denney, B. (s.f.). <http://thedenneys.org/>. Recuperado el 22 de Noviembre de 2013, de <http://thedenneys.org/pub/robot/encoders/>
- Electronics, Future. (s.f.). *Future Electronics*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://www.futureelectronics.com/en/sensors/angular-position.aspx>
- Encoder.BME, S. H. (s.f.). <http://hallencodersensorbme3.blogspot.mx/>. Recuperado el 22 de Noviembre de 2013, de http://hallencodersensorbme3.blogspot.mx/2011_07_01_archive.html
- Maloney, T. J. (2006). *Electronica Industrial Moderna*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Mandado Pérez, E., Marcos Acevedo, J., & Fernández Silva, C. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Distrito Federal, México: Alfaomega Grupo Editor.
- Mariano Mataix Lorda, M. M. (1999). *Diccionario de Electrónica, Informática Y Energía Nuclear*. Madrid: Díaz de Santo S.A.
- OMEGA. (s.f.). *OMEGA*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>
- Reyes Cortés, J. F. (2011). *Robótica. Control de robots manipuladores*. En J. F. Reyes Cortes. Mexico D.f: Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V.
- S.L, Sensing. (s.f.). *Sensing*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://www.sensores-de-medida.es/>
- S/A. (s.f.). *definicion.de*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de <http://definicion.de/sensor/>

S/A. (s.f.). *Direct Industry*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://www.directindustry.es/prod/minco/sensores-temperatura-5076-28089.html>

S/A. (s.f.). *medirtemperatura.com*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php>

S/A. (s.f.). *what is a sensor.com*. Recuperado el 10 de noviembre de 2013, de <http://what-is-a-sensor.com/who-invented-the-first-sensor/>

S/A. (s.f.). *www.tecnoficio.com*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2013, de http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos5.php

Sensorstecnic. (s.f.). *Sensorstecnic*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013

Serna, A., F.Ros, & J.C.Rico. (2010). *Guía práctica de sensores*. CREACIONES COPYRIGHT.

Tamagawa seiki Co, Ltd. (s.f.). *Tamagawa*. Recuperado el 25 de Diciembre de 2013, de <http://www.tamagawa-seiki.com/english/lvdt/c.html>

Vasquez. (s.f.). *artemisa.unicauca.edu.co*. Recuperado el 13 de noviembre de 2013, de <http://artemisa.unicauca.edu.co/~gavasquez/res/Sensores.pdf>

webcity. (s.f.). *autosensors*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://www.autosensors.co.uk/es/199-sensor-de-posicion-del-acelerador-37890pdf01.html>

West Instruments de México. (s.f.). *West Instruments de México*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2013, de <http://www.westmexico.com.mx/pfd/dynapar/catalogos/4.-Manual%20de%20Aplicacion%20de%20Encoders.pdf>