

300617
37
2y

UNIVERSIDAD LA SALLE



ESCUELA DE INGENIERIA
Incorporada a la U.N.A.M.

IMPLANTACION DE UN CONTROL LOGICO PROGRAMABLE EN UNA MAQUINA AUTOMATICA DE ENVASADO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
ESPECIALIDAD EN ELECTRONICA
Y COMUNICACIONES
P R E S E N T A:
MANUEL AGUSTIN SUBIAS FIGUEROA

DIRECTOR DE TESIS:
Ing. Patricia Vásquez Aguilera

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción	1
Capítulo I	
El Proceso de Envasado	3
Capítulo II	
Mediciones Electromecánicas	10
Transductores	11
Transductores Electromecánicos	12
Equipo de Condicionamiento de la Señal	12
Despliegue de Información	13
Elementos del Transductor	13
Elementos Piezoeléctricos	13
Elementos de Inducción Magnética	14
Transductores de Inducción con Reluctancia Variable	14
Elementos de Transducción Pasivos	15
Potenciómetros de Resistencia	15
"Strain Gage"	16
"Strain Gage" Resistivo	16
"Strain Gage" Piezoresistivo	17
Efectos de la Temperatura	17
LVDT	17
Captador E	18

Evolución del LVDT	20
Desarrollo Histórico	20
El primer Transductor de Transformador Diferencial	21
El primer Transformador Diferencial Variable Lineal	22
Desarrollo moderno del LVDT	22
LVDT Resonante	23
Transformador Diferencial Variable Rotatorio	23
LVDT con devanado terciario	24
LVDT de devanado cónico	24
LVDT operado con corriente directa	26
El LVDT moderno	26
Características Unicas del LVDT	27
Medición sin Fricción	27
Vida Mecánica Infinita	27
Separación entre Núcleo y Devanado	27
Resolución Infinita	28
Repetibilidad Nula	28
Aislamiento de Entrada contra Salida	28
Medición de Fuerzas y Células de Peso	29
Células de Peso LVDT	29
Rangos de la Célula de Peso	30
Fotoceldas	30
Diseño de Sistemas de Fotocelda	34

Capítulo III....

Materiales de Empaque	36
Celofán	37
Poliétileno	38

Capítulo IV

Implantación	40
Lenguaje de Programación Step 5	42
Conceptos de Definiciones	43
Instrucciones	44
Funciones Básicas	47
Lista de Operaciones	56
Asignación de Variables en el PLC	58
Control total Programa	59
Secuencia Operativa de la Envasadora	60
Ajuste dinámico de referencia	65
Secuencia Operativa Básculas	66
Toma inicial de referencias	69
Descripción del Programa	71
Significado de los diferentes "bits" de datos	72
Toma inicial de referencia	73
Pruebas	75
Conclusiones	77
Bibliografía	81

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objeto la implantación de un **Control Lógico Programable (PLC)** por sus siglas en inglés) en el proceso de envasado de alimentos de densidad variable. La implantación de este PLC se llevará a cabo en una **Máquina Automática de Envasado**. Estas son máquinas verticales **formadoras-llenadoras-selladoras** de bolsas del tipo de almohadilla. Están diseñadas para el envasado automático de todo tipo de productos en bolsas de materiales termofijos simples, laminados y termoplásticos. Este tipo de máquina es sumamente común en la industria alimentaria ya que la enorme cantidad de producto con el que se trabaja requiere de un proceso automatizado con la finalidad de reducir costos de operación. El objetivo que se persigue es el hacer el proceso de operación de la envasadora más eficiente; esto es, menor costo de operación y mayor confiabilidad. Por otra parte, se simplifica también en mucho la fabricación de la envasadora al eliminarse muchos de los componentes utilizados tradicionalmente. Por otro lado, el sistema clásico por interruptores y relevadores de lógica, hacen altamente complicada la red eléctrica y electrónica de mandos e incrementa de una manera considerable el uso de componentes sujetos a falla, lo que no sucede o se minimiza en el peor de los casos con la implantación de un PLC.

Las condiciones o variables a controlar en las máquinas para materiales termofijos son muy simples; más no así para las de los materiales termoplásticos. Por esta razón no avocaremos a la condición más compleja ya que al satisfacerla lo haremos también para la más simple.

Para el desarrollo de este trabajo se estudiará en el primer capítulo la operación de la envasadora con todas las variables que intervienen en el proceso. Esto es necesario, ya que para poder mejorar cualquier dispositivo primero es necesario entender su funcionamiento por completo. Posteriormente se hará un análisis de los diferentes transductores utilizados y de los problemas que se tienen en el proceso, esto en el segundo capítulo. Una vez hecho esto se verá como es posible solucionar en gran parte estos problemas con el PLC y por último se presentará una solución a un problema en específico.

Es necesario señalar que esta no es la única aplicación posible del PLC. El campo de acción de éstos se extiende a prácticamente todo proceso electromecánico que se desee automatizar.

Capítulo I

El Proceso de Envasado

Se entiende por envasado de un producto tanto a la operación de pesado del mismo como a la formación de la bolsa en la cual será depositado éste. Este proceso lo lleva a cabo una máquina envasadora que a su vez se compone de dos máquinas distintas que pueden trabajar independientemente la una de la otra. Una máquina envasadora, por lo tanto, consta de cuatro secciones fundamentales: la unidad formadora de bolsa, la unidad de arrastre de la película, la unidad dosificadora o llenadora del producto y la unidad selladora. Esta Máquina se ilustra en la Figura #1. Todas estas están interconectadas entre sí mecánica, eléctrica y/o electromagnéticamente, rigiendo sus funciones mediante una lógica de relevadores.

La unidad formadora de bolsa esta formada por un soporte o portarrollo, el cual recibe de origen una bobina o rollo del material utilizado para envasar. Por lo general este es un material plástico, usualmente polietileno de baja densidad por ser este un material barato y de amplia comercialización en nuestro país y el cual en la mayoría de los casos vendrá impreso con la propaganda comercial inherente al producto que se desea envasar así como del fabricante o distribuidor del mismo.

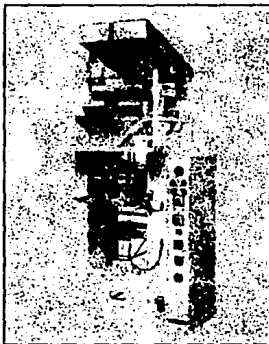


Figura #1. Máquina Automática de Envasado

El material de empaque, saliendo del portarrollos se alimentará a través de unos tubos desenrolladores y alineadores del papel hasta llegar al doblador o formador, cuya función consiste en la de formar a partir de una película plana del material de empaque un tubo el cual será sellado longitudinalmente en su parte posterior en la primera estación selladora de la máquina, conocida como estación selladora longitudinal. El sellado se realiza mediante calor. Para esto se hace circular una corriente eléctrica a través de una cinta de "nichrome", la cual eleva su temperatura hasta alcanzar la que funde a la película de empaque. Esta corriente se mantiene durante aproximadamente 250 ms para películas termoplásticas y 500 ms para películas termofijas. Esta cinta de "nichrome" (80% níquel, 20% cromo) no entra en contacto con la película de empaque, ya que al calentarse esta se pegaría a la cinta. La temperatura para el sellado es de alrededor de 120 grados centígrados. Es por esto que se coloca entre la película de empaque y la cinta "nichrome" una película de teflón, que permite el paso del calor de la cinta "nichrome" hacia la película de empaque e impide que se peguen estas dos.

Una vez formado el tubo y sellado longitudinalmente, y siguiendo una secuencia lineal de elaboración, este tubo sellado longitudinalmente entrará a la unidad de arrastre que consiste para nuestro caso en particular de dos ruedas de hule natural que al hacer contacto con las paredes del tubo de polietileno y mediante su giro hará que este se deslice un cierto largo predeterminado para llegar a la estación de sellado transversal para ser, dicho sea así, sellado transversalmente, mediante la acción de mordazas selladoras. De la misma forma que en la estación selladora longitudinal, el sellado se llevará a cabo térmicamente.

Una vez hecho esto la sección dosificadora llenará la bolsa con producto en una cantidad predeterminada y lo dejará caer hasta el fondo de la bolsa por la boca superior abierta de la misma. Una vez terminada la dosificación, los rodillos de arrastre del material de empaque avanzarán un determinado número de vueltas y por lo tanto el tubo o bolsa llenada avanzará dentro de las mordazas selladoras transversales para proceder a imprimir el sello superior en la bolsa avanzada y al mismo tiempo el sello inferior de la bolsa por avanzar, completándose así un ciclo en el proceso de formar, llenar y sellar la bolsa.

El proceso de pesado lo lleva a cabo una o varias células de peso dependiendo de la velocidad de envasado que se desee. La célula de peso se compone de una báscula electrónica y un dispositivo alimentador de producto hacia ésta. Este dispositivo alimentador (por lo general una charola vibratoria) deposita el producto en la báscula hasta que se ha alcanzado el peso deseado. En este instante se corta la operación de la charola vibradora y deja de alimentar producto a la báscula. La señal de corte le proporciona la báscula ya que es ésta la que controla todo el proceso. Una vez que se ha alcanzado el peso deseado (o que se ha sobrepasado éste ya que SECOFI permite hasta un 3% de sobrepeso y un 1% por debajo del peso como límites), la báscula descarga el producto en la máquina envasadora y vuelve a activar la charola vibratoria para realizar una nueva pesada, repitiéndose así el proceso.

Cuando la velocidad de envase así lo requiera, es posible tener más de una célula de peso en una misma máquina envasadora. Para esto, mientras una célula realiza la operación de descarga, las demás realizan la operación de pesado; de esta forma siempre se tiene lista una báscula para descargar el producto en la envasadora, logrando un considerable ahorro de tiempo.

Es de hacer notar que la máquina "fabrica" la bolsa de empaque. Esta se hace a partir de un rollo de película que se vaya a usar para empacar el producto. El tipo de papel que se elija depende del tipo de producto con el que se esté trabajando. Este puede ser termofijo o termoplástico. La diferencia entre ambos reside en que los materiales termoplásticos sufren una deformación al momento de que se les aplica calor para su sellado y los termofijos no experimentan deformación alguna. Entre los materiales termoplásticos tenemos a aquellos derivados del petróleo, por ejemplo, el polietileno. Los termofijos los forman aquellos que se fabrican a partir de la celulosa, por ejemplo, el celofán.

Al mismo tiempo que se sella la bolsa horizontalmente se corta la misma en su parte superior con una cuchilla de acero y con esto se finaliza la operación. Todo este proceso se lleva a cabo por cada bolsa que se llene con producto, alrededor de 12 a 15 veces por minuto cuando se lleva a cabo con dos células de peso con un contenido neto de 1 kg por bolsa.

Si se necesita aumentar la velocidad de envasado, esto es, el número de bolsas por minuto, es necesario aumentar el número de células de peso, como se dijo anteriormente.

Con esta breve descripción es posible que nos demos cuenta de la gran complejidad del proceso, así como de la gran cantidad de variables que intervienen en el mismo. Es por esto que un PLC es sumamente útil ya que permite controlar todas estas variables y hacer las correcciones que sean necesarias cuando se necesite sin intervención alguna del usuario, lo cual no es posible en los métodos tradicionales de envasado ya que exigen la presencia de un operario que esté al pendiente de que el peso de las bolsas no varíe en el proceso y hacer las correcciones en el mismo en caso de ser necesario.

El primer paso para la implantación de un nuevo dispositivo en uno ya existente consiste en saber cuáles son las variables que necesitamos para controlar dicho proceso. Esto es necesario ya que un PLC actúa de acuerdo a las instrucciones que se le indiquen mediante un programa, y este programa necesita datos (variables) que le indiquen el comportamiento del proceso en cuestión. Ahora bien, estas variables nos las van a proporcionar la envasadora y las células electrónicas de peso. Lo más fácil para su identificación es examinar como se está realizando el proceso actual y ver que variables se utilizan. Es muy probable que estas variables sean las mismas que se necesitan para

el nuevo dispositivo y también es posible que algunas de ellas se eliminen porque el nuevo dispositivo no las necesita y también que se necesiten obtener otras que no se tenían antes. Lo más fácil es utilizar las que ya tenemos y si en algún instante nos hace falta alguna otra variable la obtendremos conforme se estudie el proceso.

Examinando la operación de la envasadora vemos que se tienen las siguientes variables:

En la unidad formadora de bolsa:

1) La tensión de la película a través del sistema desenrollador.

Es necesario que esta tensión permanezca constante a lo largo del arrastre de la película, de no ser así se pueden presentar arrugas en la bolsa las que provocarían un sellado defectuoso además de que existe la posibilidad de que la película se enrede en los rodillos de tracción.

2) El alineamiento de la película al deslizarse o avanzar.

Este alineamiento procura que en la estación de sellado la bolsa siempre quede centrada y el sello se imprima en la zona de traslape de ambos lados de la bolsa, de otra forma no lograríamos un sellado vertical adecuado.

En la unidad de arrastre:

1) La presión de las ruedas de tracción

Debe tenerse una presión suficiente que garantice que la película no se deslizará en el momento de ser arrastrada por las ruedas de tracción. Agentes externos como polvo, grasas, humedad, suciedad, etc., deben evitarse en el área de tracción para garantizar su funcionamiento correcto.

2) El número de vueltas de las ruedas de tracción

El largo de la bolsa será proporcional al número de vueltas de estas ruedas, variando este de una presentación a otra del producto.

3) La sincronización de las ruedas de tracción

Ambas ruedas deben de girar al mismo tiempo con el fin de jalar a la película de empaque lo más uniformemente posible. Esta sincronización se lleva a cabo mecánicamente, por lo que no nos afectará en la resolución de nuestro problema.

4) La señal del fotorregistro

Este señal indica a la máquina la longitud de la bolsa. En la película de empaque se encuentra una marca impresa (por lo general un pequeño rectángulo de color oscuro) espaciada de acuerdo a la longitud de bolsa, la cual es detectada por el sensor fotoeléctrico (o fotocelda) mediante un cabezal de reflexión.

En las unidades de sellado:

1) La presión de sellado

Para tener un buen sellado es necesaria una presión adecuada. Esto es de vital importancia en los materiales termoplásticos como el polietileno. La presión de sellado la controla un regulador de presión neumática instalado en la máquina.

2) El tiempo de sellado

Este tiempo debe de permitir que la bolsa se caliente lo suficiente para sellarla térmicamente y evitar además que la película se llegue a derretir.

3) La temperatura de sellado

La película debe de tener una temperatura que le permita llegar al punto de fusión para garantizar un sellado perfecto.

4) El tiempo de enfriamiento de los sellos

Si no se dejaran enfriar a los sellos, al momento de desaparecer la presión de la mordaza selladora la bolsa se abriría. El enfriamiento de las zonas de sellado se hace mediante un chorro de aire a presión aplicado inmediatamente después de que se ha sellado la bolsa. Este chorro de aire fluye a través de las mordazas de sellado por conductos maquinados en el interior de las mismas. Este enfriamiento solo se requiere en los materiales termoplásticos.

5) La sincronización de los mismos

En la unidad dosificadora:

El peso a envasar:

- **Peso inicial**
- **Peso final**
- **Tiempo de estabilización en la célula de carga**
- **Arranque y paro de las charolas vibratorias**
- **Tiempo de descarga**
- **Apertura y cierre de compuertas**

Capítulo II

Mediciones Electromecánicas

En el sistema de envasado que estamos estudiando se realizan varios procesos de medición. Por medición entendemos el proceso de comparación de una cantidad llamada patrón con otra que es la que se desea medir.

En nuestro caso una de las mediciones se llevará a cabo en la célula de peso. Ese proceso de medición consistirá en comparar el peso existente en la célula, el cual está constituido por el producto que estamos envasando, contra un peso de referencia previamente seleccionado. El peso de referencia se seleccionará mediante una rutina de ajuste de dicha referencia.

En los sistemas de medición electromecánicos podemos encontrar los componentes siguientes:

- Un transductor electromecánico el cual responde a la medición y produce una señal eléctrica correspondiente.
- Un equipo de condicionamiento de señales para proveer una referencia, comparación, y ganancia si se requiere.
- Una lectura de salida la cual provee la señal de información del sistema de acuerdo a la comparación entre la referencia y la medición.

Estos tres componentes básicos corresponden a la adquisición de información, al procesamiento de información y a la salida de información, respectivamente.

Transductores

Se define a un transductor como un dispositivo que es interactuado por energía de un sistema y que suministra energía a otro sistema, usualmente en otra forma. Los transductores pueden representar variables físicas, tales como fuerza, presión, temperatura, flujo, nivel, etc., y transformarlas en señales eléctricas para un sistema de medición y control. Para nosotros los transductores que nos interesan principalmente

son los que miden fuerza. Los elementos más populares eléctricos usados para medir fuerza son el transductor de deformación ("strain gage"), el cual puede ser por medio de resistencia o semiconductor y los transductores piezoeléctricos. En general un transductor de deformación mide fuerza indirectamente midiendo la deformación producida en un conductor calibrado; el transductor piezoeléctrico responde directamente a la fuerza que se le aplica.

T r a n s d u c t o r e s E l e c t r o m e c á n i c o s

Un transductor electromecánico posee dos partes, un elemento sensor y un elemento transductor. El elemento sensor responde a la medición y la modifica o la convierte en alguna otra cantidad física que sea compatible con el elemento transductor. Elementos típicos para sensar son:

Tubos de Bourdon los cuales convierten presión en desplazamiento.

Diafragmas que convierte presión en deformación.

Piñones y cremalleras que convierten movimientos rotatorios en lineales o viceversa.

Para nuestro caso, independientemente del elemento sensor utilizado, el elemento transductor convierte la salida del elemento sensor en una señal eléctrica. Esta señal es procesada por el equipo de condicionamiento de la señal.

E q u i p o d e C o n d i c i o n a m i e n t o d e l a S e ñ a l

Este equipo realiza muchas funciones. Provee la entrada o excitación para los transductores pasivos. También provee cualquier acoplamiento de impedancia necesario o compensación de la transmisión para la señal de salida del transductor.

Una vez que la señal se encuentra acoplada adecuadamente, el equipo de condicionamiento de la señal satisface los requerimientos de amplificación o atenuación, demodulación, filtrado, u otro procesamiento de la señal.

Además el acondicionador de la señal puede modificar la señal de salida. Dichas modificaciones pueden incluir el producir una señal digital de una analógica o viceversa, cambiando la forma de la salida de voltaje a frecuencia o de voltaje a corriente, o comprimiendo los datos para una conversión lineal a logarítmica.

D e s p l e g u e d e I n f o r m a c i ó n

Cualquier forma que tome la señal del equipo de acondicionamiento, es necesario cuantificarla. Esta es la función del despliegue de información. La lectura de salida consiste en un sistema que despliegue información, un sistema que grabe la información, o una combinación de estos dos.

Esto es con el propósito de indicar al usuario los resultados de la medición para que pueda llevar a cabo las operaciones que sean pertinentes.

E l e m e n t o s d e l T r a n s d u c t o r

Los elementos de un transductor se pueden dividir en dos clases, pasivos y activos. Los elementos pasivos requieren una entrada eléctrica para producir una señal de salida eléctrica. Los elementos activos poseen su propia fuente de energía en el transductor. No requieren una entrada eléctrica para producir una señal de salida eléctrica. Los elementos activos más comunes operan mediante el efecto piezoeléctrico o por inducción magnética.

E l e m e n t o s P i e z o e l é c t r i c o s

Los elementos piezoeléctricos trabajan mediante el principio de que ciertos materiales cristalinos pueden producir un potencial eléctrico significativo cuando están sujetos a una deformación mecánica. Entre estos materiales se encuentran el cuarzo, las sales de Rochelle, el titanato de bario o el titanato circonio de plomo. Los materiales piezoeléctricos se encuentran sujetos a un diafragma para producir un transductor de presión, a una masa en acelerómetros, etc.

Otra ventaja de los transductores piezoeléctricos es su muy alta respuesta en frecuencia. Una desventaja es que solamente pueden medir entradas dinámicas, lo cual se cumple para la mayoría de los transductores activos. El potencial de salida desaparece cuando se aplica una entrada mecánica estática.

Elementos de Inducción Magnética

El transductor de inducción magnética puede sensar sólo condiciones dinámicas, pero no posee las otras limitaciones de los elementos piezoeléctricos. La figura 2 ilustra la construcción del transductor de inducción magnética más simple utilizando una bobina móvil y un imán permanente.

El arreglo inverso (con bobinas fijas e imán móvil) se usa también, y cualquiera de los dos puede encontrarse en cualquier aplicación comercial.

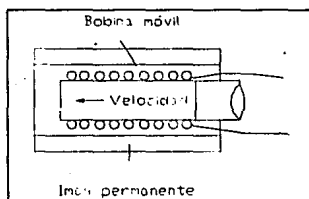


Figura #2. Transductor de Inducción Magnética

Este elemento transductor trabaja mediante el principio que una bobina moviéndose en un campo magnético tiene un voltaje inducido, el cual es proporcional a la velocidad del movimiento. Con un arreglo mecánico adecuado, este transductor puede ser usado para medir ya sea, velocidades lineales o angulares. También se puede usar en mediciones de vibración. La impedancia de salida de este transductor es por lo general baja de tal manera que el transductor es usado típicamente con un amplificador acoplador de impedancias. Sin embargo, han sido diseñados transductores que pueden interactuar directamente a un medidor.

Transductores de Inducción con Reluctancia Variable

En la fig. 3 se ilustra un tacómetro. El transductor tiene una bobina rodeada por un imán permanente. Un engrane de hierro se encuentra fijo a un eje rotatorio actuando como elemento sensor. Mientras un diente se aproxima al polo del imán, la reluctancia del flujo entre el imán y la bobina se reduce y se induce un voltaje en la bobina. Al alejarse, existe una reluctancia considerablemente mayor y el voltaje

inducido disminuye, generando un pulso. El número de pulsos de salida es proporcional a la velocidad de rotación. Este transductor puede ser usado también como un transductor de velocidad lineal si un engrane de soporte ferroso se usa como el elemento sensor.

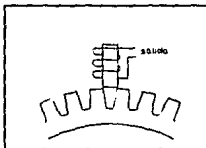


Figura #3. Captador de Pulsos de Reluctancia Variable

El tacómetro se usa normalmente con un contador digital o con un integrador de pulsos para indicar velocidad angular. Este integrador produce un voltaje de corriente directa proporcional al número de pulsos por unidad de tiempo.

E l e m e n t o s d e T r a n s d u c c i ó n P a s i v o s

Los transductores que usan elementos de transducción pasivos constituyen la mayor parte del equipo utilizado en instrumentación. En los elementos de transducción pasivos, la acción del elemento sensor modula una entrada eléctrica para producir una señal de salida eléctrica. Los elementos de transducción pasivos producen una variación mecánica de uno de los tres parámetros de circuitos eléctricos: resistencia, inductancia o capacitancia. El equipo de condicionamiento de la señal difiere, dependiendo de que parámetro se use.

Elementos transductivos de resistencia variable e inductancia variable son por mucho los más comunes usados en los equipos pasivos.

P o t e n c i ó m e t r o s d e R e s i s t e n c i a

El circuito potenciómetro, fig. 4 tiene un voltaje de entrada constante E_i aplicado a las terminales de una resistencia fija que tiene un cursor movible tocando a la resistencia en un punto. El voltaje de salida E_o se toma del cursor a uno de los extremos de la resistencia. Este elemento transductor es útil principalmente para medir desplazamientos lineales relativamente grandes.

Una desventaja del potenciómetro es la variación de la impedancia de salida con el movimiento del cursor. El equipo de condicionamiento de la señal debe de tener una alta impedancia de entrada para prevenir efectos de carga. Un cambio en el voltaje aplicado o en los efectos derivados de una baja resistencia en el circuito de salida cambia la corriente a través del elemento resistivo, dando como resultado errores de linealidad en el desplazamiento indicado.

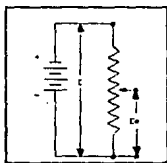


Figura #4. Potenciómetro de Resistencia

La inercia y la fricción presente en la porción mecánica del potenciómetro representa restricciones significativas para el uso de estos dispositivos en mediciones dinámicas.

" S t r a i n G a g e "

El transductor de deformación ("Strain Gage") por resistencia es un elemento resistivo que cambia su longitud, esto es, su resistencia mientras se le aplica una fuerza en la base donde está montado, la cual causa una compresión. Es tal vez, el transductor más conocido para convertir una fuerza en una variable eléctrica. Por lo general se coloca de tal manera que la longitud del transductor se encuentre alineada en la dirección en que se produce la deformación.

" S t r a i n G a g e " R e s i s t i v o

La gran variación de un potenciómetro contrasta grandemente con los cambios pequeños en resistencia de un "strain gage" resistivo. Los tipos de "strain gage" resistivo usado en control incluyen el de filamento metálico.

" Strain Gage " Piezoresistivo

También conocidos como medidores semiconductores, están contruidos con un filamento delgado ya sea de material semiconductor tipo P o tipo N provistos con contactos resistivos. El contenido de impurezas es variado para obtener diferentes características de acuerdo a la aplicación requerida.

Los transductores por deformación tienen una excelente respuesta dinámica, larga vida útil, baja histéresis y buena repetibilidad.

La vida útil de los transductores de hoja metálica depende en el nivel de operación de deformación, pero con deformaciones de 1000 micropulgadas por pulgada, la vida es de aproximadamente 2 millones de ciclos. Para transductores piezoresistivos, la vida útil es similar si se evitan altos niveles de deformación.

Efectos de la Temperatura

Todos los transductores de deformación resistivos son sensibles a los cambios de temperatura. Esta sensibilidad resulta de el cambio en la resistencia del material con la temperatura, y de la expansión diferencial entre el material del transductor y el miembro elástico al cual está trenzado. Este efecto lateral genera una entrada falsa en el transductor. Transductores de hoja autocompensados se hacen con aleaciones cuya expansión térmica es similar al elemento sensor y cuyo coeficiente resistivo es muy pequeño.

LVDT

Un Transformador Lineal Diferencial Variable (LVDT por sus siglas en inglés), fig. 5, es elemento más común de inductancia mutua. Produce una salida eléctrica proporcional al desplazamiento de un núcleo móvil separado. La excitación de corriente alterna se aplica al primario del LVDT. Dos secundarios idénticos, simétricamente espaciados del primario, están conectados externamente en un

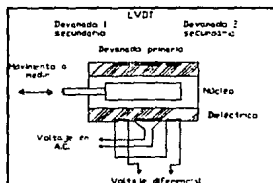


Figura #5. LVDT

circuito serie-opuesto. El movimiento del núcleo magnético varía la inductancia mutua de cada secundario hacia el primario, lo que determina el voltaje inducido del primario al secundario. Si el núcleo se encuentra centrado entre los devanados del secundario, el voltaje inducido en cada secundario es idéntico y defasado 180 grados, por lo que no existe un voltaje neto a la salida. Si el núcleo se mueve de la posición central, la inductancia mutua del primario será más grande con un secundario que con el otro, y aparecerá un voltaje diferencial en los secundarios en serie. Para desplazamientos fuera de la posición central dentro del rango de operación, este voltaje es una función lineal del desplazamiento.

Debido a que no existe contacto físico alguno entre el núcleo y el devanado, los componentes mecánicos del LVDT nunca se deterioran con el uso. La ausencia total de fricción le da una resolución infinita. La pequeña masa del núcleo y la ausencia de fricción mejora la capacidad de respuesta para mediciones dinámicas. El LVDT no es afectado por sobrecargas mecánicas, así que su confiabilidad es muy alta. El LVDT y su contraparte rotatoria, el transformador rotatorio variable diferencial (RVDT por sus siglas en inglés), son utilizados en muchos tipos de elementos sensores.

C a p t a d o r E

Un tipo muy común de elemento transductor de reluctancia variable es el captador E ilustrado en la fig. 6. Su operación eléctrica es similar a la del LVDT, excepto que funciona variando la reluctancia de la separación entre los polos del núcleo de hierro del transformador y la armadura. De esta forma, un voltaje diferencial es creado conforme se cambia la posición de la armadura. A diferencia de la salida del LVDT, este voltaje no es una función lineal de la posición de la armadura. Por esto, el captador E y los transformadores de reluctancia variable similares son usados como transductores de posición nula en vez de transductores de desplazamiento.

Al igual que el LVDT, el captador E no es afectado por sobrecargas mecánicas. La masa significativa de la armadura y el alineamiento crítico de la armadura con las caras del polo rigen el funcionamiento correcto de este dispositivo.

La Tabla 1 nos muestra las características importantes de elementos de transducción comunes. Estas características no reflejan las características del elemento sensor que provee la entrada mecánica al elemento transductor y sirven sólo como una guía para la evaluación de estos elementos.

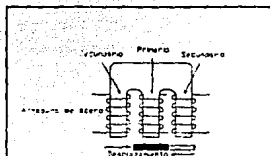


Figura #6. Captador E de Reluctancia Variable

Tabla 1

Piezoeléctrico	B	B	E	R	R		P	B
Reluctancia Variable	B	R	B	E	P		P	E
Reluctancia Variable con salida de pulso	R			E	B		E	E
Potenciómetro con devanado	R	R	P	B	B	B	E	R
Potenciómetro de película	B	R	P	B	R	B	P	R
"strain gage"	B	B	B	R	R	E	P	B
"strain gage" de hoja	E	E	E	B	E	E	P	E
"strain gage" semiconductor	E	E	E	R	E	B	B	E
LVDT y RVDT	E	E	E	E	B	E	B	E
Captador E	E	R	P	E	B	B	E	E

1 2 3 4 5 6 7 8

1 = Resolución

2 = Histéresis

3 = Respuesta y características dinámicas

4 = Características de temperatura

5 = Vibración y sensibilidad al medio ambiente

6 = Linearidad

7 = Capacidad a sobrecarga mecánica

8 = Vida útil

Clave: E = Excelente B = Buena R = Regular P = Pobre

Evolución del LVDT

El transformador lineal diferencial variable (LVDT), descrito brevemente en los párrafos anteriores, puede ser considerado como un elemento de transducción óptimo para la mayoría de la mediciones electromecánicas. Por esta razón es conveniente examinar el desarrollo histórico del LVDT y su grado actual de desarrollo.

Desarrollo Histórico

Los transformadores variables diferenciales han sido utilizados como aparatos de control eléctrico desde el principio del siglo. Por ejemplo, la patente norteamericana 808,944 (Porter & Curie, enero 2, 1906) describe el uso de un transformador diferencial variable como un reversor sin contactos de un motor AC. El circuito, ilustrado en la fig. 7, tiene un devanado de un motor de inducción de dos fases conectado a un par de secundarios de fase diferencial. La excitación original para ese motor se conecta al primario del transformador diferencial. El núcleo móvil está acoplado a una palanca. El otro devanado del motor está conectado a su fuente de poder.

Existe una reversión de fase de 180 grados del voltaje de salida del transformador diferencial cuando el núcleo se mueve a través del centro. Esta reversión de fase cambia la fase relativa entre los devanados del motor por 180, lo que invierte la dirección de rotación del motor. La magnitud del voltaje aplicado al devanado de control del motor es, por supuesto, determinado por la posición del núcleo más allá del centro. Así, el motor invierte su giro sin necesidad de contactos eléctricos, evitando la formación de arcos o chispas.

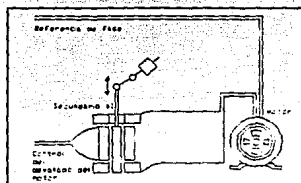


Figura #7. Primer Transformador Diferencial Variable

Este tipo de transformador diferencial debe de ser grande y masivo para permitir los requerimientos de potencia de un motor eléctrico, así que no es adecuado para sistemas de instrumentación. Es históricamente importante, no obstante, ya que usa un núcleo móvil coaxial para variar el acoplamiento, y por lo tanto la inductancia mutua, de los secundarios colocados simétricamente, resultando en una salida diferencial invertida en fase que varía con la posición del núcleo. Esta característica lo hace el antecesor directo del moderno LVDT y lo diferencia de los dispositivos de reluctancia variable como el capacitor E descrito anteriormente.

El primer Transductor de Transformador Diferencial

Hasta los principios de los 30's, el transformador diferencial variable permanecía en relativa oscuridad simplemente porque la necesidad de sistemas de medición por desplazamiento de naturaleza electromecánica era mínima. Pero el crecimiento de la industria química de procesos en los fines de los 20's y principios de los 30's estimuló a los operadores de procesos de control buscar un sistema de telemetría mecánica para indicaciones remotas de las variables que intervenían en los procesos. La búsqueda de un elemento transductor adecuado generó un renovado interés en los transformadores diferenciales variables. El resultado fué el primer transformador diferencial descrito en la patente norteamericana número 2,050,629 (Quereau & Williams, agosto 11, 1936).

Un dibujo simplificado de un "sistema de presión telemétrica" (transductor) se ilustra en la fig. 8. Nos muestra un tubo Bourdon como elemento sensor conectado por medio de una palanca hacia un transformador diferencial vertical. Los cambios de presión expanden el tubo, causando que la palanca pivotee y mueva el núcleo del transformador diferencial variable. La salida diferencial se conecta a un

indicador nulo (Galvanómetro AC) y a un potenciómetro de cursor. De esta manera, la posición del cursor del potenciómetro puede ser calibrado en término de la presión. Este fué tal vez el primer transductor de presión comercial usando un transformador variable diferencial.

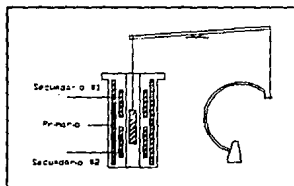


Figura #8. Primer Transductor de LVDT

El primer Transformador Diferencial Variable Lineal

Hasta ahora, no se ha hecho mención alguna de una conexión "lineal" con los transformadores diferenciales variables. Aunque la propiedad lineal esencial de un transformador con devanado simétrico ya se conocía, no existe prueba alguna de que se atribuyera esta propiedad a los transformadores diferenciales lineales antes de marzo de 1936. En esa fecha, G.B. Hoadley archivó una patente de lo que puede ser descrito como "un transformador diferencial lineal variable con núcleo coaxial", era una mezcla entre un captador E y el LVDT actual. En la aplicación de su patente (que pasó a ser la patente norteamericana 2,196,809, 1 abril de 1940), Hoadley describía el rango lineal del movimiento del núcleo y graficaba la amplitud de la salida y ángulo de fase contra la posición del núcleo.

Desarrollo moderno del LVDT

A fines de la Segunda Guerra Mundial, el LVDT adquirió una aceptación general como un elemento transductor en la industria de procesos de instrumentación y control. Las demandas en tiempos de guerra abarcaban usos en aviación, torpedos, y otros sistemas bélicos. Era especialmente útil como un sistema mecánico indicador de posición nula para sistemas de control electromecánicos de lazo cerrado a bordo de submarinos y aviones. Los LVDT también se utilizaban en la manufactura de equipos de prueba. A pesar de la enorme aplicación del LVDT en

la guerra, a fines de esta era muy reducido el número de técnicos que conocían las propiedades y características del LVDT.

Para remediar esta situación y poner al LVDT en un lugar dentro de la comunidad ingenieril, Herman Schaevitz publicó "El Transformador Diferencial Lineal Variable" en 1946. Este documento se convirtió en la Biblia de la historia del LVDT, no solo porque recopilaba por primera vez información técnica sobre el LVDT, sino que también preparaba a los usuarios potenciales sobre las posibles aplicaciones en productos comerciales del LVDT.

L V D T R e s o n a n t e

En la época que este documento fué publicado, Herman Schaevitz continuaba su trabajo en el mejoramiento del LVDT. Un desarrollo importante en ese período fué el transformador resonante diferencial descrito en la patente norteamericana 2,461,238 (Schaevitz, Febrero 8, 1949). En este aparato, los devanados secundarios eran embobinados de una manera que marcadamente incrementaba la capacitancia distribuida de los devanados. La capacitancia más alta modificaba la impedancia de las bobinas y permitía una resonancia parcial a una frecuencia de excitación relativamente baja. El resultado de esto era un voltaje muy alto al variar la posición del núcleo. Este aparato sólo posee un interés histórico, ya que actualmente el equipo de condicionamiento de la señal con su alta ganancia generalmente suple la necesidad de voltajes altos de salida.

T r a n s f o r m a d o r D i f e r e n c i a l V a r i a b l e R o t a t o r i o (R V D T)

Otro desarrollo importante posterior a la guerra fué el transformador diferencial variable rotatorio (RVDT por sus siglas en inglés. Patente Norteamericana 2,494,493, Schaevitz, 10 Enero, 1950). Como se ilustra en la fig. 9, el corazón de este aparato es literalmente un núcleo magnético cardioidal que pivotea excéntricamente en una flecha a través de la parte media de una bobina. La bobina contiene dos pares de devanados idénticos espaciados simétricamente por encima y por debajo de la parte media.

Este aparato reacciona a la rotación de una manera similar que el LVDT reacciona al desplazamiento lineal. El ángulo máximo de medición angular con una linealidad razonable es de 60 grados.

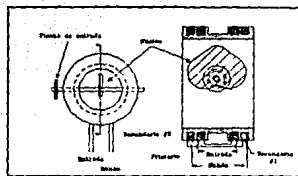


Figura #9. Transformador Diferencial Variable Rotatorio

LVDT con devanado terciario

Un desarrollo de interés histórico era el uso de un devanado secundario adicional para cambiar el nulo del LVDT. Esta técnica era particularmente útil en mediciones de desplazamientos de larga carrera cuando el rango de la medición se restringía de una dirección hacia el nulo. El voltaje en el devanado adicional era fasado para oponerse al voltaje diferencial del secundario el cual de otra manera se generaría en el final de la carrera. Este final se convertiría ahora en el punto nulo y la magnitud del voltaje de salida se incrementa mientras el núcleo se mueve hacia adentro, alcanzando su máximo en el otro final del desplazamiento.

El LVDT de gran desplazamiento opera bajo este principio excepto porque varios devanados interconectados son usados para hacer cada devanado. Estos devanados múltiples distribuyen el flujo magnético sobre la longitud de la bobina de tal forma que se puede usar un núcleo más largo. Este diseño mantiene la linealidad, la cual se perdería si solamente se usara una sola bobina y un núcleo largo.

LVDT de devanado cónico

Aunque el LVDT de gran desplazamiento descrito en el párrafo anterior posee un interés histórico, sufre de muchas limitantes. Una es que el núcleo y el transformador deben de ser desfavorablemente largo. Otra es que el transformador se hace más sensible a la temperatura. Actualmente, una relación de desplazamiento contra núcleo grande es deseada. Esto puede ser logrado utilizando devanados cónicos como lo hizo J. Lipshutz en 1962. Las figs. 10a y 10b ilustran el concepto de los devanados cónicos. En un LVDT convencional, el desplazamiento máximo del núcleo para tener una operación lineal se logra cuando el núcleo se empieza a mover fuera del camino del acoplamiento magnético de uno u otro devanado secundario. Los devanados cónicos evitan este problema proveyendo un acoplamiento magnético entre el primario

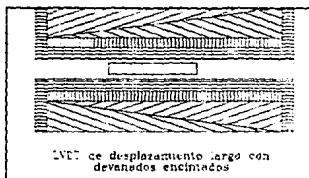


Figura #10a

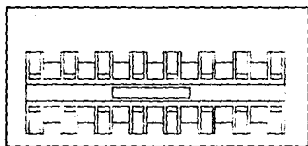


Figura #10b LVDT's con Devanados Cónicos

y ambos secundarios en cualquier posición que el núcleo se mueva dentro de la longitud total de la bobina.

Para producir una salida nula de potencial en el centro físico de la bobina, la técnica de devanado complementario es usada. Esto provee esencialmente el mismo grado de acoplamiento entre primario y ambos secundarios cuando el núcleo se encuentra centrado. También minimiza la fuga excesiva de flujo y la capacitancia entre los devanados los que resulta en un mejoramiento en el rango de linealidad en la operación.

En la práctica, la operación lineal es posible en un desplazamiento que es de hasta el 80% de la longitud del transformador. Esto nos da una relación de desplazamiento contra longitud de 0.8 comparada a la relación de solo 0.3 en los transformadores de arrollado convencional. Así, está técnica representa un estado significativo de avance en el desarrollo actual de los LVDT.

L V D T Operado con Corriente Directa

El desarrollo más moderno en la historia del LVDT fué la introducción del LVDT-DC microelectrónico por Schaevitz Engineering en 1966. Los LVDT son aparatos operados con corriente alterna requiriendo osciladores, amplificadores, demoduladores y filtros. Los primeros intentos de incorporar electrónica dentro del cuerpo del transformador fueron por lo general de muy poco éxito, debido al tamaño, poca confiabilidad, y un desenvolvimiento poco satisfactorio de los circuitos. Schaevitz logró combinar exitosamente un módulo de condicionamiento de la señal de una película muy delgada de microcircuitos, el cual contenía toda la electrónica necesaria con un LVDT de corriente alterna, dentro de las dimensiones físicas del LVDT. Este aparato, provee todas las características deseadas del LVDT, la confiabilidad de los circuitos de microelectrónica, y la simplicidad de la operación con corriente directa usualmente atribuida a otros elementos transductores, como potenciómetros de resistencia y transductores por deformación piezoresistivos, en una forma compacta y económica.

E I L V D T M o d e r n o

En un LVDT actual el transformador consiste en tres bobinas simétricamente espaciadas cuidadosamente colocadas dentro de un cuerpo aislado. Las terminales externas salen a través de una apertura. Un escudo cilíndrico de material ferroléctrico rodea los embobinados después de ser encapsulados adecuadamente para su aplicación. Una vez hecho esto, el transformador es inmune a la humedad e influencias magnéticas ordinarias. Esta técnica de manufactura también hace al LVDT extremadamente confiable y resistente a los impactos.

El núcleo de un LVDT moderno esta hecho de un cilindro de densidad homogénea de una aleación de níquel y hierro que ha sido cuidadosamente revenido para mejorar su permeabilidad magnética. El núcleo es usualmente machueado internamente de manera que puede ser colocado convenientemente en un actuador externo.

Los LVDT modernos están hechos en una gran variedad de tamaños y configuraciones para satisfacer los requerimientos de medidas y de aplicaciones existentes, incluyendo:

- convencional
- miniatura
- sub-miniatura
- gran diámetro
- gran desplazamiento

Los LVDT convencionales están hechos en configuraciones sin sello, sellados a presión, o sellados heméticamente para operar en:

industria militar
atmósferas corrosivas
temperaturas criogénicas
altas temperaturas
radiación nuclear
cualquier combinación de las anteriores

C a r a c t e r í s t i c a s U n i c a s d e l L V D T

El LVDT posee muchas cualidades que lo hacen útil para una gran variedad de aplicaciones. Algunas de estas cualidades se derivan de que el LVDT es básicamente un transformador con un núcleo separable.

M e d i c i ó n s i n F r i c c i ó n

Ordinariamente, no existe contacto físico entre el núcleo móvil y la estructura del núcleo, lo que significa que el LVDT es un aparato sin fricción. Esto permite su uso en mediciones críticas que pueden tolerar la adición del núcleo de pequeña masa pero no pueden tolerar una carga con fricción. Dos ejemplos de dicha aplicación son la deflexión dinámica o pruebas de vibración para materiales delicados en pruebas de arrastre de fibras u otros materiales altamente elásticos.

V i d a M e c á n i c a I n f i n i t a

La ausencia de fricción y contacto entre el embobinado y el núcleo de un LVDT significa que no existe nada que se desgaste. Esto le da al LVDT prácticamente una vida mecánica infinita. Esto es un requerimiento superior en aplicaciones como pruebas de fatiga para materiales y estructura. La vida mecánica infinita es también importante en sistemas y mecanismos encontrados en aeronautica, misiles, vehículos espaciales y equipo industrial crítico.

S e p a r a c i ó n E n t r e N ú c l e o y D e v a n a d o

La separación entre el núcleo del LVDT y sus devanados permiten el aislamiento del medio como presurización, corrosión o fluidos cáusticos del ensamble del núcleo por una barrera no magnética interpuesta entre el núcleo y el interior de la

bobina. El sellado hermético del ensamble del devanado posibilita y elimina la necesidad de un sellado dinámico en el miembro móvil. Solo un sello estático es necesario para sellar el devanado dentro del sistema presurizado.

Una aplicación común de la separación entre núcleo y devanados es en instrumentos de tipo flotante como medidores de flujo, rotámetros, densímetros, detectores de nivel, donde el núcleo es parte integral del sistema de flotación y está aislado del devanado por vidrio o un tubo metálico. Otra aplicación típica para esta característica es su uso como transductores de retroalimentación en servoválvulas y actuadores de lazo cerrado en sistemas de control neumáticos.

R e s o l u c i ó n I n f i n i t a

La operación sin fricción combinada con el principio de inducción le da al LVDT una resolución infinita. Esto significa que el LVDT puede responder aún ante la más pequeña y producir una salida eléctrica. La legibilidad de dicha lectura depende solamente de la electrónica externa, lo que representa la única limitante en resolución.

R e p e t i b i l i d a d N u l a

La simetría inherente de la construcción del LVDT nos da esta característica. La posición cero del LVDT es extremadamente estable y repetible. Por esto, el LVDT puede ser usado como un excelente indicador de posición nula en sistemas de lazo cerrado de alta ganancia. Es también útil en sistemas de proporción donde la salida es proporcional a dos variables independientes.

A i s l a m i e n t o d e E n t r a d a C o n t r a S a l i d a

El hecho de que el LVDT es un transformador indica que hay un aislamiento completo entre la entrada (primario) y la salida (secundarios). Esto hace al LVDT un elemento de cómputo análogo muy efectivo sin la necesidad de amplificadores intermedios.

Medición de Fuerzas y Células de Peso

La ley de Hooke establece que un miembro elástico sometido a una fuerza de deformación dentro de su límite elástico lo deflexionará de una forma proporcional a la fuerza aplicada. Dicha deflexión puede ser sensada por un LVDT. La combinación de un miembro elástico con un LVDT produce un transductor de fuerza, generalmente conocido como célula de peso LVDT.

Células de Peso LVDT

Como hemos visto anteriormente, el LVDT es un elemento de transducción para desplazamiento muy práctico. Es por ésto que lo encontramos en gran medida como elemento constituyente de las células de peso como elemento transductor. Esto no significa que sea el único o el mejor transductor para esta aplicación. Para esto depende en gran parte el tipo de diseño mecánico que se tenga en la célula de peso y de las condiciones de operación de la misma. No obstante lo mencionamos en este capítulo porque como se expuso en líneas anteriores lo encontramos muy comúnmente.

Muchos miembros elásticos pueden ser cargados ya sea en tensión o compresión. Esto nos lleva a que la deflexión pueda llevarse a cabo en ambas direcciones, dependiendo del tipo de carga que se le aplique. La naturaleza bidireccional de la característica de desplazamiento de un LVDT perfectamente complementa la deflexión bidireccional de un miembro elástico. Así, una célula de peso LVDT produce un voltaje de salida que es linealmente proporcional a la fuerza axial y también existe un cambio en la polaridad de la salida cuando la fuerza hace cambiar a la célula de tensión a compresión. Esto asume que el LVDT está en la posición cero cuando no existe ninguna fuerza aplicada. Las características de operación óptima se obtienen cuando el rango lineal del LVDT corresponde a la deflexión del elemento elástico.

Ejemplos típicos de LVDT's combinados con miembros elásticos se ilustran en la fig. 11. El brazo de carga de la izquierda se puede encontrar en tensión o compresión. El resorte de extensión encontrado en la figura derecha debe de ser cargado en tensión.

Las dimensiones y el tamaño físico de una célula de peso son una función del rango de carga y del tipo del miembro elástico. La mayoría de las células pueden responder a ambos tipos de cargas.

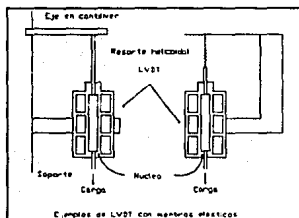


Figura #11. Células de Peso con LVDT

Rangos de la Célula de Peso

La linealidad de células de peso LVDT es mejor que el 0.1% a carga plena. La resolución y repetibilidad son superiores al 0.05% a carga plena. La vida útil de una célula de peso es una función de la fatiga del miembro de carga ya que el LVDT posee prácticamente una vida útil infinita. Esta fatiga, a su vez, depende de los tipos de carga a los que sea sujeta la célula de peso. Una célula de peso puede tener una vida útil muy larga si solamente se le carga estáticamente, pero su reacción a cargas dinámicas puede ser sorpresiva.

Cuando la fatiga de una célula de peso se encuentra en el máximo, su capacidad repetitiva de carga dinámica en ciclos de pesado es a veces solo un porcentaje pequeño de una carga estática máxima. Es difícil predecir el porcentaje exacto porque depende en gran medida del diseño del miembro de carga y la frecuencia de la aplicación de la carga. Para prevenir una falla por fatiga bajo condiciones dinámicas, el miembro de carga de la célula de peso debe de ser diseñado cuidadosamente. Topes mecánicos deben de ser incorporados en la célula de peso para prevenir daños por sobrecarga.

Fotoceldas

Los aparatos fotosensitivos, aquí descritos, son herramientas extremadamente versátiles para la extensión del sentido de la vista del hombre. La variedad de tipos creados en las décadas pasadas hicieron posible igualar y mejorar muchas, sino es que todas, las capacidades de detección y observación. Estos dispositivos exceden las

capacidades de sensibilidad del ojo humano a todos los colores del espectro incluyendo la región ultravioleta e infrarroja. Pueden observar una bala en vuelo o la trayectoria de una partícula de rayos cósmicos.

Las fotoceldas son utilizadas comúnmente en el campo de control fotoeléctrico de la industria debido a su simplicidad, bajo costo, y alta sensibilidad.

La primera observación del efecto fotoeléctrico fué hecha por Becquerel en 1839. El encontró que cuando un par de electrodos sumergidos en un electrolito eran iluminados, resultaba un voltaje o corriente. Durante la última parte del siglo XIX, la observación del efecto fotovoltaico en el selenio permitió el desarrollo de las celdas fotovoltaicas de selenio y óxido de cobre.

La emisión de electrones resultante de la acción de la luz en una superficie fotoemisora fué un desarrollo posterior. Hertz descubrió el fenómeno de fotoemisión en 1887, y en 1888 Hallwachs midió la fotocorriente en un trozo de zinc sujeto a radiación ultravioleta. En 1890, Elater y Geitel produjeron un precursor del fototubo al vacío el cual consistía en un recipiente de vidrio evacuado conteniendo un metal alcalino y un electrodo auxiliar usado para recolectar los portadores negativos (fotoelectrones) emitidos por la acción de la luz en el metal alcalino.

El desarrollo del transistor y dispositivos relacionados ha sido paralelo al de los dispositivos de estado sólido fotosensitivos tales como fototransistores, celdas fotovoltaicas de silicio, fotouniones p-n, etc.

Los elementos esenciales de una celda fotoconduccion son un sustrato de cerámica, una capa de material fotoconduccion, electrodos y una cubierta resistente a la humedad. Los elementos fotoconduccion empleados comúnmente en estas celdas son el sulfuro de cadmio y el sulfuro selenio de cadmio. La respuesta máxima para el sulfuro de cadmio ocurre aproximadamente a los 5100 Å y para el sulfuro selenio de cadmio ocurre a los 6150 Å. El material fotoconduccion se encuentra dopado con varios materiales activadores, como el cloro y el cobre, para incrementar la sensibilidad.

Los electrodos metálicos de la fotocelda son formados por evaporación a través de una máscara. Los materiales comúnmente usados para la fabricación de los electrodos son el indio, oro, platino, estaño, etc.

Una ilustración mostrando una superficie fotoconduccion y sus electrodos de una simple fotocelda, con un voltaje aplicado y un amperímetro conectado en serie, se muestra en la fig. 12. El voltaje es aplicado entre los electrodos y a través de la dimensión "l" de la superficie fotoconduccion. La dimensión "w" determina el número

de caminos paralelos a través de los cuales la corriente puede fluir. Para un voltaje aplicado dado y un nivel de luz, la fotocorriente es proporcional a "w". La dimensión "w" se puede extender mediante técnicas de reinyección las cuales hacen un uso más eficiente del area del sustrato. Aunque la fotocorriente para un voltaje aplicado dado y un nivel de luz también puede ser incrementada disminuyendo la dimensión "l", dicha disminución también decrementa el voltaje que puede ser aplicado entre los electrodos sin que exista arco.

Uno de los parámetros más importantes de la fotocelda es su resistencia a diferentes niveles de iluminación. La resistencia en corriente directa como una función de la iluminación de la celda se muestra en la fig. 13. Las pendientes de estas curvas varían muy poco y son casi constantes a cualquier punto de operación. La resistencia se puede expresar como

$$R = R_1 L^{-m}$$

donde:

R_1 = la resistencia de la celda por unidad lumínica

L = la iluminación en pié-candela

m = la pendiente característica a un punto dado de operación

El desenvolvimiento de la fotocelda a un punto dado de operación está definido especificando R_1 y m . Para una celda típica, p.e. RCA-7163, R_1 y m son 0.03×10^6 ohms y 0.83, respectivamente a 1 pié-candela de iluminación.

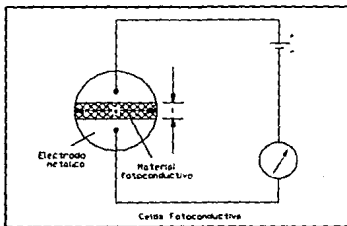


Figura #12. Superficie Fotoconduktiva

La resistencia o conductancia de la celda es frecuentemente expresada en términos de la corriente atraída a la celda a un voltaje dado y a un nivel de luz específico. Cuando se aplica un voltaje de corriente directa a través de la celda, la resistencia para una iluminación dada puede ser calculada por medio de la ley de Ohm.

La conductancia (1/resistencia) de una celda fotoconductiva no cambia rápidamente con cambios en la iluminación incidente, pero requiere de cierto tiempo en llegar a su valor de estado estable.

Aunque el aumento y la disminución de la conductancia y corriente sobre la incidencia de luz o la falta de ésta es solo aproximadamente exponencial, el término "constante de tiempo" es frecuentemente usado para describir el tiempo requerido para que la conductancia o la corriente alcancen el 63.2% (ascendente) o el 36.8% (descendente) de su valor máximo. La constante de tiempo ascendente depende del período previo de oscuridad al que la celda fué sujeta y en la intensidad de la iluminación aplicada. Por lo general, la celda responde más rápidamente a altos niveles de iluminación que a bajos niveles de la misma y su tiempo de ascenso es usualmente más largo que el tiempo de descenso.

En adición a estos efectos de tiempo, existen otros fenómenos asociados a éste que se llevan a cabo más lentamente. El fenómeno puede ser descrito mejor considerando que la celda posee "memoria" de exposición a la luz previa. Un período prolongado de exposición a altos niveles de luz tiende a hacer a la celda ligeramente menos sensible y de alguna manera más rápida en respuesta ya sea que se le aplique o no un voltaje durante la exposición a la luz. Estos cambios son reversibles, y la celda retornará a su condición normal de operación después de un período de tiempo en la oscuridad.

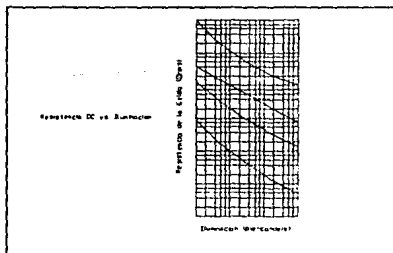


Figura #13. Resistencia vs. Iluminación

Debido a la "memoria" de la fotocelda, es deseable darle un "preacondicionamiento de luz" a la celda antes de que una medición de fotocorriente sea llevada a cabo. Un preacondicionamiento típico consiste en exponer a la celda a una exposición de 16 a 24 horas a 500 pié-candela de luz fluorescente. No se le aplica ningún voltaje a la fotocelda durante este período de preacondicionamiento.

Los efectos de tiempo también están relacionados con la aplicación de voltaje. Por ejemplo, una celda es ligeramente menos sensible bajo una operación de corriente alterna que bajo una operación en corriente directa. En la mayoría de las aplicaciones de las fotoceldas, es importante que la conductancia de la fotocelda pueda ser sustancialmente menor cuando la celda se encuentra en la oscuridad que cuando se encuentra iluminada. Los términos corriente oscura y corriente de descenso también describen el comportamiento de la celda bajo condiciones de no iluminación. La corriente oscura es aquella corriente que fluye a través de la celda bajo condiciones específicas de voltaje y temperatura después de que la celda ha estado en la oscuridad por un período muy prolongado de tiempo. La corriente oscura tiene por lo general un valor muy bajo. Debido a los efectos de tiempo, es más conveniente especificar la corriente de descenso la cual se observa a un intervalo de tiempo dado siguiendo la disminución del nivel de iluminación.

Diseño de Sistemas de Fotocelda

Una consideración importante en un buen diseño de sistemas de fotocelda es la alta discriminación entre señales de luz de señal y la ausencia de esta (luz ambiente). La impedancia de una fotocelda es menor con la celda completamente iluminada y es mayor cuando no hay luz en la celda. Un sistema de fotocelda que es muy simple y que permite una alta discriminación entre la luz de señal y la luz ambiente se muestra en la fig. 14. El recinto de este sistema posee paredes internas para limitar el ángulo de visión de la fotocelda y para limitar los efectos de reflexión de luz interna. El tamaño de la ventana y la apertura de las paredes debe de elegirse de tal forma que el total de la superficie fotosensitiva de la celda mire solamente el área de la lente de la fuente de luz. Para reducir al mínimo reflejos internos debe de cubrirse el interior del recinto con una capa de pintura negra. En adición, debe de tenerse cuidado que otras fuentes de luz ajenas al sistema puedan llegar a la fotocelda. Para incrementar la eficiencia de la fuente de luz, un lente puede ser usado. Cuando el filamento de la lámpara es colocado en el punto focal de la lente, una gran cantidad de luz llega a la fotocelda. Para obtener una relación muy alta de señal a no-signal cuando se han de detectar objetos muy pequeños, es recomendable ajustar el lente para que la imagen del filamento de la fuente de luz se forme en el plano a través del cual el objeto pasa.

Fibras ópticas pueden ser utilizadas para transferir luz a la posición donde el objeto pasa.

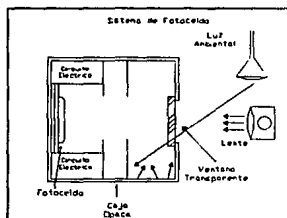


Figura #14. Sistema de Fotocelda

Capítulo III

Materiales de Empaque

Celofán

El celofán forma parte de los materiales del tipo termofijo, ya que no pierde sus propiedades mecánicas al momento de la aplicación de calor. El celofán es una película con base en la celulosa. La producción mundial es de aproximadamente 500 millones de kg al año, con 44 fabricantes en 28 países. El proceso de manufactura del celofán es complejo. Sin embargo, esta complejidad permite a esta película de empaque satisfacer muchas necesidades en diversas aplicaciones que sóamente en Estados Unidos consumen alrededor de 64 millones de kilogramos al año.

La materia prima del celofán es una pulpa de madera especial. Se disuelve esta pulpa de madera y se mezcla con sosa cáustica para preparar a la celulosa para el intercambio molecular. Después, una carga de disulfito de carbono se adiciona para crear un xantato. Es en esta parte del proceso químico que el intercambio molecular ocurre. El xantato se transforma en una forma viscosa que es muy similar al jarabe de azúcar. Esta forma viscosa es filtrada y después se le deja reposar para que se airee antes de ser bombeada por la máquina de encapsulado. Aquí es bombeada hacia un recipiente con ácido sulfúrico. Inmediatamente al entrar en contacto con el ácido sulfúrico la viscosidad se regenera en gel de celulosa. Este gel translúcido es movido a una serie de baños donde es lavado de impurezas haciéndolo altamente transparente. En esta serie de baños se le agregan plastificadores y ablandadores. Una vez hecho esto el celofán es secado mediante una serie de rodillos calentados con vapor.

El celofán se utiliza principalmente en el empaque de alimentos donde es una parte integral del sistema de preservación y también juega un papel importante en el de mercadotecnia debido a su transparencia. La mayoría de sus usos incluyen galletas, alimentos cocinados, dulces, botanas, café, carnes procesadas, té, frutas secas, pastas, quesos, etc.

Las características que debe de incluir un material de empaque incluyen, eficiencia de empacado, protección del producto, apariencia y propiedades termosellables.

En la primera característica, eficiencia de empacado, el celofán ofrece una excelente estabilidad térmica. No se distorsiona al estar en contacto con los mecanismos de sellado a alta temperatura. Su rápida conductividad térmica pasa la energía de sellado del mecanismo de sellado a las superficies a ser selladas en un instante de tiempo relativamente corto.

El celofán posee un nivel electrostático muy bajo, evitando que se pegue a las partes de la máquina. Su rigidez le permite moverse por las distintas partes de la máquina sin necesidad de soportes mecánicos algunos. Estas características lo hacen una de las películas de empaque más eficientes.

En cuanto a la protección del producto, el celofán ofrece un costo razonable, además una barrera al oxígeno y al aroma del producto. La protección contra la humedad es una función de su recubrimiento.

P o l i e t i l e n o

El polietileno abarca el 30% de todos los materiales de empaque. Las películas de polietileno abarcan una gran parte de la producción de polietileno, alrededor de la mitad del de baja densidad y es una de las aplicaciones de más rápido crecimiento para los de alta densidad.

El etileno, un monómero reactivo de la olefina es el componente básico para ambos tipos de polietileno. El polietileno de baja densidad es producido por el método de alta presión (reactor tubular) y por el de baja presión también (fase gaseosa). Todos los polietilenos de baja densidad son producidos por el método de baja presión. Las condiciones de reacción son controladas para obtener las características deseadas en el producto. El polietileno es producido en un gran rango de densidades 0.915- 0.925 g/cc (baja densidad), 0.925-0.940 g/cc (densidad media) y 0.940-0.970 g/cc (alta densidad). La película de polietileno puede ser producida por el proceso de soplado o por el de encapsulado de la película (rolado). El de soplado es producido mediante la extrusión a través de un orificio circular, inflando el tubo a un diámetro determinado y jalándolo con un par de rodillos. Esta película es enfriada por aire posteriormente. La mayoría del polietileno es hecho usando este proceso, ya que ofrece la mayor versatilidad en la producción de un amplio rango de tamaños de la película.

El método de producción de película rígida rolada en frío se hace por extrusión a través de un troquel de ranura en un cilindro frío para bajar su temperatura rápidamente. Esto da una gran producción y una película de muy alta claridad. Este método ha reemplazado al de enfriado por inmersión en agua, sin embargo, las técnicas de orientación uniaxial dan como resultado una película con una rigidez menor comparado al método de soplado.

La coextrusión ofrece mejoras en ambos procesos. Esta técnica toma ventaja de la adición de capas adicionales en la película. Esto produce una estructura multicapa, tomando ventaja de las diferentes propiedades de cada capa.

La amplia gama de polietilenos disponibles ofrece a la industria de empaque una gran variedad de tipos de película. Las películas de polietileno se encuentran disponibles en calibres que van desde 0.0004 pulg. hasta 0.010 de pulgada.

Las películas de baja densidad tienen buena flexibilidad y una resistencia al impacto adecuada y buenas propiedades termosellantes. Se utiliza principalmente para producir bolsas de empaque. Los de densidad media tienen una aplicación más específica y se utilizan donde se requieren mejores propiedades de protección contra agentes ambientales. Los de alta densidad tienen un campo de aplicación muy bajo, por lo general se utilizan en aplicaciones donde se usan como reemplazo de papel como en adornos florales.

El polietileno es una película de empaque de bajo costo. Su gran volumen de producción y baja gravedad específica lo hacen uno de los materiales más económicos disponibles en el mercado. El rendimiento contra costo, el gran rango de propiedades que ofrece el polietileno, en adición a su seguridad en el uso, lo hacen el material de empaque más versátil en la actualidad.

Capítulo IV

I m p l a n t a c i ó n

Una vez que se ha estudiado el proceso con todas las variables a controlar es posible implantar un PLC. Actualmente existen en el mercado una gran variedad de estos dispositivos, por lo que es conveniente hacer antes un estudio sobre el que más convenga a nuestros propósitos. Para esto es necesario tomar en cuenta entre otras cosas: el costo del equipo, su facilidad de programación, calidad de los componentes que lo forman, posibles mejoras que se le puedan hacer una vez instalado, confiabilidad, etc. En nuestro sistema a controlar fué necesario tomar en cuenta cada uno de los siguientes aspectos:

i) Que se tratara de un equipo modular. Esto es, que permitiera una ampliación futura o una serie de modificaciones en sus características para que permita su uso en varios tipos distintos de máquinas envasadoras. Debía tener un número razonable de puertos de comunicación (entrada y salida), temporizadores externos, contadores externos, etc.

ii) Respaldo y Servicio. Esto es conveniente ya que no siempre se contará con un equipo y personal técnico de planta que pueda solucionar los problemas que se presenten en este aspecto. Se estudiaron las opciones que ofrecían las marcas Allen-Bradley, Siemens, Omron, Square D y Cutler Hammer, dentro de PLC's de características similares. En cuanto al costo cabe señalar que no existía una diferencia muy grande entre estos modelos. El PLC que mejor se adaptó a nuestras necesidades fué el modelo SS-100U de Siemens.

Este modelo tiene las siguientes ventajas sobre sus competidores:

- a) Tiene una resolución de 11 "bits". (Allen-Bradley tiene una resolución de 16 "bits" pero su equipo no es modular).
- b) Es posible intercambiar los módulos sin necesidad de hacer desconexiones de cables de comunicación.
- c) La memoria (EEPROM) es fácilmente intercambiable.
- d) Tiene 3 opciones a seleccionar en lo relativo a su lenguaje de programación.
- e) Satisface un mayor número de normas de protección que los demás.

Una vez que se ha elegido el equipo que se considere más idoneo se procederá a su programación. Para esto es necesario estudiar el lenguaje de programación del PLC. Estos lenguajes varían de uno a otro fabricante. Nos son lenguajes muy complicados pero es necesaria una comprensión completa de los mismos para explotar al máximo la capacidad del PLC.

Una manera muy útil de representar el proceso a controlar es mediante el uso de diagramas de flujo. Estos son una representación gráfica del comportamiento del sistema durante el proceso a controlar mediante la indicación de las variables que intervienen en cada parte del proceso. Con esto se facilita mucho la programación, en especial si no se tiene mucha experiencia o cuando se trabaja con un nuevo lenguaje con el que no se es familiar. Para nuestro caso de la máquina envasadora tenemos en la Figura #15 el Diagrama de Flujo simplificado. Como podemos observar en el diagrama de flujo, se indica en cada parte del proceso la o las variables de estado que intervienen en ese instante así como la operación a llevarse a cabo, ya sea una decisión, lectura de alguna variable de estado, una respuesta a un proceso, etc.

Es conveniente analizar todos los posibles caminos que se pueden tomar en nuestro diagrama de flujo considerando los distintos valores de las variables de estado, esto es con el fin de encontrar posibles fallas en nuestro proceso. Una vez que estamos seguros de que nuestro diagrama de flujo representa el comportamiento de nuestro proceso llega el momento de la escritura del programa del PLC. Para esto, pasamos del lenguaje gráfico del diagrama de flujo al que utilice el PLC. Cada parte de nuestro proceso debe de tener una instrucción mediante la cual nuestro programador la lleve a cabo. Es por esto que es necesario estar familiarizado con las instrucciones del programador para hacer esta tarea más fácil y evitar tener que consultar constantemente el manual del PLC.

Lenguaje de Programación STEP 5

El lenguaje de programación STEP 5 en conjunción con el PLC sirve para formular funciones de control. Tres tipos de representaciones usadas por el usuario simplifican la tarea de programación y ayudan considerablemente en el aprendizaje y uso del lenguaje.

La representación de los programas como flujo en un sistema de control utilizando símbolos estandarizados con la norma DIN 40700 así como su representación en un diagrama de escalera define la función de control gráficamente en un formato. Su representación también es posible en una lista de instrucciones estandarizada con la norma DIN 19239, esta representación es más adecuada para su

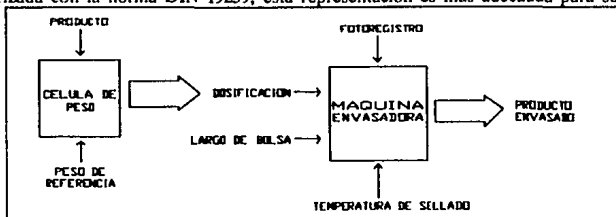


Figura #15. Diagrama de Flujo

programación a través de tarjetas perforadas. A continuación se examinarán la terminología y conceptos asociados con STEP 5. Después se listarán las funciones básicas, con una breve explicación de cada función.

Conceptos y Definiciones

Programa

Los programas escritos en lenguaje STEP 5 están divididos en programas de sistema y programas de usuario. Los programas de sistema consisten en instrucciones y arreglos para asegurar el funcionamiento interno correcto del controlador (p.e. la retención de información al momento se una falla en la alimentación, funciones de organización con bloques de programa anidados, etc.). Los programas de sistema son almacenados en memorias EPROM las que permanecen inalteradas cuando falla la alimentación de voltaje. El usuario no tiene acceso a los programas de sistema.

Los programas de usuario lo conforman el grupo completo de instrucciones que influyen al proceso a controlar de acuerdo con los requerimientos de control. Los programas del usuario se subdividen en bloques de programa. Un bloque de "software" es una sección del programa separada por su función, estructura o aplicación. En el lenguaje de programación STEP 5 se hace una distinción entre bloques que contienen instrucciones para procesamiento de señales y los que se usan para almacenamiento de datos (bloques de información).

Los bloques de organización (OB) sirven para administrar los programas del usuario listando los bloques de programa en el orden en el que se llaman. Los bloques de organización (OB) para programas cíclicos, de interrupción por tiempo o controlados por éste también son posibles. Los bloques de programa (PB) contienen la estructura del programa del usuario estructurado de acuerdo al criterio tecnológico o funcional; p.e. elementos de control de unidad. Los bloques funcionales (FB) sirven para realizar funciones de programación complejas. Se encuentran disponibles como paquetes de programación, o pueden ser programados por el usuario. Internamente los bloques de función ofrecen operaciones adicionales (operaciones suplementarias) además del repertorio de funciones básicas. Los bloques funcionales pueden ser indexados con parámetros de las variables, p.e. la función realizada con un bloque de funciones en particular puede ser ejecutada nuevamente con operandos distintos (parámetros de bloque).

Los bloques de secuencia son usados para secuencias en cascada. Cada paso en la secuencia requiere un bloque en la secuencia. Los bloques de secuencia son llamados por el "bloque controlador de secuencias" el cual organiza una secuencia en cascada. Los bloques de datos (DB) contienen la información necesaria para el programa del usuario. Para que los contenidos de un bloque cualquiera sean procesados es necesario llamar a dicho bloque. Esto se puede hacer directamente o condicionalmente dependiendo del resultado de una operación lógica.

Instrucciones

Una instrucción es la entidad más pequeña de un programa. Presenta un comando a la unidad de proceso. Una instrucción consiste en una operación y un operando, el operando comprende al identificador del mismo y sus parámetros.

Una instrucción, por lo tanto, se compone de:



La operación define la función que se llevará a cabo. Dice al procesador qué hacer. El operando contiene la información necesaria para que se lleva a cabo la operación. Dice al procesador con qué debe hacer algo.

El lenguaje de programación STEP 5 reconoce las áreas siguientes de operación:

Entradas (Inputs I) Representan la interfaz de una operación de control al controlador (imagen de proceso)

Salidas (Outputs Q) Representan la interfaz del controlador a la operación de control (imagen de proceso)

Banderas (Flags F). Se usan para almacenar resultados lógicos

Datos (Data D). Se usan para almacenar números binarios

Temporizadores (Timers T). Son usados para formar funciones de tiempo

Contadores (Counters C). Usados para formar funciones de conteo

Periféricos (Peripherals P, X) Los periféricos son accedidos directamente a través de los puertos de entrada y/o salida

Bloques, OB, PB, FB, DB, SB Estructuran toda la programación.

Todas las áreas de operación han sido asignadas con identificadores de operando. Para operar un operando en particular dentro de un área de operando específica es necesario especificar el parámetro.

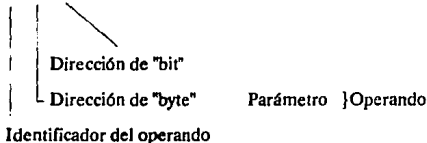
El parámetro define la dirección del operando. Todas las entradas I, salidas Q, y banderas F, ocupan longitudes de un "byte" del área del operando. Para estas áreas del operando los campos de "bit" también pueden ser accedidas. La dirección del "bit" se separa de la dirección del "byte" por un punto decimal.

Ejemplo:

I 10.3

Q 7.0

F 120.7

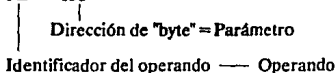


El área de operando para periféricos P y X poseen una dirección de un "byte".

Ejemplo:

QB 17

PB 150



Las áreas de operando para temporizadores T y contadores C tienen direcciones de dos "bytes" (direcciones de palabra). Estas áreas de operando no tienen dirección de "bit".

Ejemplo:

T 15

C 7

| Dirección de palabra =
| Parámetro Operando

Identificador de operando

El area de operando para datos D tiene una dirección de una palabra y de un "bit".

Ejemplo:

DW 127

D 109.13

| Dirección de "bit"
| Dirección de palabra — Parámetro Operando

Identificador del Operando

El parámetro para el area de operando para constantes K representa el valor numérico que será procesado en forma digital. Representaciones numéricas distintas son posibles. Los parámetros para el código del operando OB, PB, SB, y DB representan el valor numérico del operando en estas areas.

Ejemplo:

K 1047

PB 17

| Valor digital
| Parámetro Operando

Identificador del operando

Funciones Básicas. Explicación

Adición

+F Los contenidos de los dos acumuladores son sumados **+G** de acuerdo con la representación numérica para F o G. El resultado se almacena en el acumulador 1 para usos posteriores.

Substracción

-F El contenido del acumulador 1 es sustraído del acumulador 2 de acuerdo de la representación numérica para F o G.

El resultado se almacena en el acumulador 1.

xF Multiplicación

El contenido de los dos acumuladores es multiplicados de acuerdo con la representación numérica para F o G. El resultado se almacena en el acumulador 1.

:F División

El contenido del acumulador 2 es dividido entre el contenido del acumulador 1. El resultado se almacena en el acumulador 1.

L- Operación de carga

El valor del operando especificado con la operación de carga se almacena en el acumulador.

Llamada incondicional de un bloque de programa

El procesamiento cíclico del programa actual se interrumpe. Se inicia la ejecución del bloque PB n.

Llamada condicional a un bloque de programa

El resultado de la operación lógica (RLO) que sea "1" en la presente ejecución causa que se interrumpa el proceso del programa principal. Se inicia la ejecución del bloque PBn. Un resultado de operación lógica (RLO) igual a "0" causa que se ignore la llamada el bloque.

CDBn Llamada a un bloque de datos

El llamado a un bloque de datos accesa un area en particular de la memoria. Todas las operaciones subsecuentes asociadas con el area del operando para datos D son asociados con el bloque de datos DBn.

BE Fin de bloque

La ejecución del programa continua en el siguiente bloque enlazado exterior en la instrucción inmediata siguiente a la llamada del bloque que ha sido terminado.

BE siempre es la última instrucción de un bloque.

BEU Fin de bloque incondicional

La ejecución del programa continua en el siguiente bloque exterior anidado en la instrucción inmediata después de la llamada del bloque que acaba de finalizar.

BEC Fin de bloque condicional

Un resultado de operación lógica "1" de la función precedente causa que la ejecución del programa continúe en el siguiente bloque exterior.

Un resultado lógico igual a "0" hace caso omiso de esta instrucción.

STP Paro

Se interrumpe la ejecución del programa.

O OR lógica combinada con AND lógica

El resultado de la siguiente operación lógica AND se combina con el resultado de la operación lógica previa con una operación lógica OR.

A(AND lógica de expresiones en paréntesis

El resultado de una operación lógica de la expresión contenida entre paréntesis se combina con el resultado de la operación lógica previa con una operación lógica AND.

O(OR lógica de expresiones entre paréntesis

El resultado de una operación lógica entre paréntesis se combina con el resultado lógico anterior por una operación lógica OR.

= - Asignación

La señal de estado del operando asociado con esta operación es "1" si el resultado de la operación lógica es "1". Para un resultado lógico "0" la señal del operando es "0" también.

S- Puesta (función de memoria)

La señal de estado del operando asociado con esta operación es "1" si el resultado de la operación lógica es "1". Un resultado lógico de "0" no influye esta operación.

S Cn Activación de contador

El contador Cn especificado con esta operación es activado cuando el valor de cuenta (CV) dado en el acumulador 1 siempre que el resultado del operando lógico cambie de "0" a "1". Resultados lógicos estáticos no tienen influencia en esta operación.

R- Reposición (función de memoria, temporización)

El estado de la señal del operando asociado con esta operación es "0" si el resultado de la operación lógica es "1". Un resultado lógico de "0" no tiene influencia en esta operación.

SP Tn Temporizador como pulso

El temporizador se activa con un periodo de tiempo especificado en el acumulador 1.

SE Tn Temporizador como pulso extendido

El temporizador se activa con un periodo de tiempo especificado en el acumulador I.

SR Tn Temporizador con retardo a la conexión.

El temporizador se activa con un periodo de tiempo especificado en el acumulador I.

SF Tn Temporizador con retardo a la desconexión.

El temporizador se activa con un periodo de tiempo especificado en el acumulador I.

CU Cn Conteo ascendente

Un cambio de la operación lógica de "0" a "1" causa que el contenido de el acumulador Cn sea incrementado por un resultado de operación lógica "0" y un estado de "1" estático no tiene influencia en esta operación.

CD Cn Conteo descendente

Un cambio de operación lógica de "0" a "1" causa que el contador Cn decremente su valor por un resultado de operación lógica "0" y un estado de "1" estático no tiene influencia alguna en esta operación.

Símbolo Explicación

I=D Compara para igualdad con

El contenido del acumulador 2 se compara con el contenido del acumulador 1. Si existe igualdad el resultado de la operación lógica da como respuesta "1", de otra forma "0".

><F Compara para desigualdad con

El contenido del acumulador 2 es comparada con el contenido del acumulador 1. Una desigualdad resulta en un "1" lógico como respuesta. Una igualdad resulta en un "0".

>F Compara para mayor que

El contenido del acumulador 2 es comparado con el contenido del acumulador 1. Si el valor del acumulador 2 es mayor al del acumulador 1 entonces el resultado de la operación lógica es puesto a "1", "0" de otra manera.

=F Compara para mayor que o igual a

El contenido del acumulador 2 es comparado con el contenido del acumulador 1. Si el valor del acumulador 2 es mayor que o igual al contenido del acumulador 1, el resultado de la operación lógica es puesto a "1", para otro caso "0".

<F Compara para menor a

El contenido del acumulador 2 es comparado con el contenido del acumulador 1. Si el valor del acumulador 2 es menor al valor del acumulador 1, el resultado de la operación lógica es puesto a "1", "0" para cualquier otro caso.

<=F Compara para menor que o igual a

El contenido del acumulador 2 es comparado con el contenido del acumulador 1. Si el valor del acumulador 2 es menor o igual al valor del acumulador 1, el resultado de la operación lógica es puesto a "1", "0" para otro caso.

+F Adición

El contenido de los 2 acumuladores es sumado de acuerdo con la representación numérica F o G. El resultado de esto se almacena en el acumulador 1.

-F Substracción

El contenido del acumulador 1 es sustraído al contenido del acumulador 2 de acuerdo con la representación numérica F o G.

El resultado de esto se almacena en el acumulador 1.

xFMultiplicación

El contenido de ambos acumuladores es multiplicado de acuerdo con la representación numérica F o G.

El resultado de esto se almacena en el acumulador 1.

:F División

El contenido del acumulador 2 es dividido entre el contenido del acumulador 1 de acuerdo con la representación numérica F o G.

El resultado de esto se almacena en el acumulador 1.

L- Carga (general)

El valor del operando especificado con la operación de carga es alimentado en el acumulador

L- Carga (tiempo, contador)

El valor de tiempo (TV) o valor de conteo (CV) especificados con la operación de carga son alimentados en el acumulador en código binario puro.

LC- Carga tiempo y conteo en BCD

El valor de tiempo (TV) o de conteo (CV) especificado en la operación de carga es alimentado en el acumulador en código BCD, incluyendo el factor de escala, pero excluyendo los "bits" de estado.

T- Transferencia

El contenido del acumulador es transferido (movido) al operando especificado en la operación de transferencia.

JU PBN Llamada incondicional a un bloque de programa

El procesamiento cíclico del programa se interrumpe. La ejecución del bloque de programa llamado se inicia.

JC PBN Llamada condicional a un bloque de programa

Un resultado de operación lógica de "1" interrumpe el proceso cíclico del programa y se inicia la ejecución del bloque llamado. Un resultado lógico de "0" no tiene efecto alguno.

JC SBN Llamada condicional a un bloque de secuencia

Un resultado de operación lógica "1" interrumpe el proceso cíclico del programa y continua en el bloque llamado de secuencia. Con un resultado lógico "0" la operación es ignorada.

JU SBn Llamada incondicional a un bloque de secuencia

El procesamiento cíclico del programa se interrumpe. Se inicia la ejecución del bloque de función **FBn**.

JC FBn Llamada condicional a un bloque de función

Un resultado lógico "1" se interrumpe la ejecución del programa y la ejecución se interrumpe y se inicia la ejecución del bloque **FBn**. Un resultado lógico "0" no tiene validez alguna.

CDBn Llamada a un bloque de datos

Con esta llamada se accesa a un area particular de datos. Todas las operaciones subsecuentes asociadas con el area de operando para datos **D** son relacionadas con el bloque de datos **DBn**.

BE Fin de bloque

La ejecución del programa continua en el siguiente bloque anidado en la instrucción inmediata a la llamada del bloque finalizado.

BE siempre es la última instrucción de un bloque

BEC Fin de bloque condicional

Un resultado de operación lógica igual a "1" interrumpe la ejecución cíclica del programa y la ejecución continua en el siguiente bloque anidado. Un resultado lógico de "0" es ignorado

STP Paro

La ejecución del programa se detiene por completo.

AKKU 1 Acumulador 1 (Al cargar el **AKKU 1** se desplaza su contenido anterior al **AKKU 2**).

AKKU 2	Acumulador 2
AWL	Lista de instrucciones
FUP	Esquema de funciones
KOP	Esquema de contactos
PAE	Imagen de proceso de las entradas
PAA	Imagen de proceso de las salidas
VKE	Resultado de combinación

¿Depende del **VKE**?

S La operación solo se ejecuta si **VKE = 1**

S+,- La operación solo se ejecuta si hay cambio de flanco positivo (**S+**) o si hay cambio de flanco negativo en el **VKE**.

N La instrucción se ejecuta siempre.

¿Influencia del **VKE**?

S/N El **VKE** es influenciado/no influenciado por la operación.

¿Inhibe el **VKE**?

S/N Con la siguiente operación combinacional (p.e. U E 0.0) el VKE es reconfigurado/no reconfigurado.

Operando formal Expresión con un máximo de 4 caracteres: el primero debe de ser una letra.

ANZ 0/ANZ 1 Indicación del resultado 0/resultado 1

OV Indicación de desbordamiento (overflow). Esta se activa cuando p.e., en las operaciones aritméticas se sobrepasa el régimen admisible.

Margen admisible del operando con el CPU

A	Salida	0.0 ... 127.7
AB	Byte de salida	0 ... 127
AW	Palabra de salida	0 ... 126
BF	Constante de byte	-127 ... + 127
BS	Zona de datos del sistema	0 ... 255

- en operaciones de carga (op. compl.) y peración de transferencia (op. de sistema)

- en op. de prueba y forzado 0 ...255 de bits. (op. de sistema).

D	Palabra de datos (1 bit)	0 ... 255.15
DB	Módulo de datos	2 ... 63
DL	Palabra de datos (byte iz.q.)	0 ... 255
DR	Palabra de datos (byte der.)	0 ... 255
DW	Palabra de datos	0 ... 255
E	Entrada	0 ... 127.7
EB	Byte de entrada	0 ... 127
OB	Módulo de organización	0 ... 63
PB	Módulo de programa	0 ... 63
T	Temporizadores	0 ... 15
Z	Contadores	

- remanentes 0 ... 7

- no remanentes 8 ... 15

- en las op. comp.

"Prueba de activar bit" y "Activar". 0 ... 15

Asignación de Variables en el PLC

Entrada Analógica I0

- IB64 Báscula 1
- IB66 Referencia ext. Báscula 1
- IB68 Báscula 2
- IB70 Referencia ext. Báscula 2

Entrada digital I1

- 1.0 Marcha-Paro
- 1.1 M.S. Mordaza cerrada
- 1.2 Fotoregistro
- 1.3 Tiempo sello horizontal alto
- 1.4 Calibración referencia Báscula 1
- 1.5 Calibración referencia Báscula 2
- 1.6 Manual-Auto
- 1.7 Baja presión aire

Salida digital Q2

- 2.0 Apertura-cierre de mordazas horizontales
- 2.1 Corte-sello horizontal
- 2.2 Sello vertical
- 2.3 Avance película
- 2.4 Preimpulso horizontal
- 2.5 Impulso horizontal
- 2.6 Enfriamiento horizontal y vertical
- 2.7 Alarma baja presión de aire

Salida digital Q3

- 3.0 Descarga Báscula 1
- 3.1 Vibrador paso alto Báscula 1
- 3.2 Vibrador paso fino Báscula 1
- 3.3 Escobeta Báscula 1
- 3.4 Descarga Báscula 2
- 3.5 Vibrador paso alto Báscula 2
- 3.6 Vibrador paso fino Báscula 2
- 3.7 escobeta Báscula 2

Control Total del Programa

OB 1

JU FB 0

BE

FB 0 DIRECCIONAMIENTO DE PROGRAMA

A I 1.6 Entrada Manual-Auto

JC M0

JU FB 10 Toma inicial de referencias (I 1.6

JU FB 20 Manual)

M0 AN I 1.7 Señal baja presión de aire

JC M1

JU FB 1 Secuencia operativa envasadora

JU M2

M1 A I 1.1 Interruptor descarga manual báscula

R F 0.3 Paro total al regresar presión aire

L KT 10.0

SP T 4

A T 4

= F 5.2 Descarga básculas (FB 11 y FB 21)

M2 JU FB 11

JU FB 21

BE

OB 22

L KF 16380 Condición arranque reg. corrimiento

T FW 14

T FW 24

BE

Secuencia Operativa de la Envasadora

FB 1

AN I 1.0

AN F 1

= F 0.0 Pulso paro-marcha

A F 0.0

S F 0.1

A I 1.0

R F 0.1

A F 0.0

A F 0.3

= F 0.2

A F 0.0

A F 0.3

= F 0.2

A F 0.0

AN F 0.2

AN F 0.3 Paro-marcha enganchado

S F 0.3

A F 0.2

R F 0.3

O F 6.3	Cierre mordazas cíclico
O F 0.0	Cierre mordazas horizontal manual
S Q 2.0	
O F 9.0	Apertura mord. hor. alarma (T 15)
ON F 0.3	Apertura mord. hor. manual
O F 3.0	Apertura mord. hor. cíclico
R Q 2.0	
A Q 2.0	
AN I 1.1	
L KT 120.0	
SR T 15	Temporizador seguridad transv.
A Q 2.0	
A I 1.1	
L KT 15.0	Tiempo presión cierre mord. hor.
SR T 13	
A T 13	
AN T 12	Retardo retiro sello hor. después L KT 20.0 del sobreimpulso
SR T 11	
A I 1.3	
JC M0	Secuencia tiempo alto bajo del
L KT 60.0	temporizador de impulso horizontal
JU M1	
M0 L KT 100.0	
M1 A Q 2.0	
A I 1.1	Temporización impulso horizontal
SP T 12	
A T 12	Impulso horizontal
= Q 2.5	
A I 1.3	
JC M2	Tiempo alto bajo sellador 1

L KT 100.0
 JU M3
 M2 L KT 140.0

 M3 A Q 2.0 Temporizador sellador
 SP T 10
 A T 10
 = Q 2.2
 A I 1.3
 JC M4
 L KT 80.0 Tiempo alto-bajo enfriamiento
 JU M5
 M4 L KT 140.0
 M5 AN Q 2.5
 A I 1.1 Temporización enfriamiento H y V
 SP T 14
 A T 14
 = Q 2.6
 AN Q 2.6
 AN Q 2.2
 A F 3.1
 A(
 ON I 1.6
 O
 A I 1.6
 A(
 O F 3.4
 O F 3.3
)
)
 = F 3.0
 A F 3.0
 R F 3.1

A Q 2.6
 S F 3.1
 A F 3.0
 S F 3.2
 O F 0.0
 O Q 2.3
 R F 3.2
 A F 3.0
 R F 3.3
 A F 64.7
 S F 3.3
 A F 3.0
 R F 3.4
 A F 66.7
 S F 3.4
 A F 3.2
 L KT 30.0
 SR T 6
 A T 6
 AW F 6.1
 = F 6.0
 A F 6.0
 S F 6.1 Pulso al finalizar T6
 AN T 6
 R F 6.1
 A F 6.3
 R F 6.2
 A I 1.2 Pulso al finalizar el avance de los
 rodillos
 AN I 1.2
 A F 6.2
 = F 6.3

A F 0.3
 A F 6.0
 S Q 2.3 Avance película de empaque
 O F 6.2
 O F 0.0
 R Q 2.3

A I 1.1
 AN F 5.0
 = F 5.1

A F 5.2 Señal de máquina lista para des-
 = F 5.0 carga de báscula

A Q 2.0
 A F 5.1
 S F 5.2
 AN F 8.0
 A F 9.0 Temporizador de alarma
 L KT 30.0
 SE TI

A T 1
 = F 8.0

AN F 8.0
 A Q 2.7
 S F 8.1
 AN F 8.0
 AN Q 2.7
 R F 8.1

AN F 0.0
 A F 8.0
 AN F 8.1 Salida de alarma
 S Q 2.7
 A F 8.0
 A F 8.1
 O F 0.0
 R Q 2.7
 A T 15
 S F 9.0
 A F 0.0 Auxiliar timer 15
 R F 9.0
 BE

Ajuste dinámico de referencia

FB 12
 L FW 10 Pesada final de la báscula
 L FW 12 Referencia exterior
 ! =F Compara para igualdad
 BEC

F
 JC M0
 L FW 14 Carga registro de cambio
 SRW 1
 T FW 14
 AN F 15.0 Verifica inicio de corrección +
 BEC

L KF 8184 Repone el registro de cambio a con-

T FW 14 condiciones dinámicas iniciales

L FW 16

L KF 20 Corrección en +20 puntos

+ F Paso 1

T FW 16

L FW 18

L KF 20 Corrección en +20 puntos

+ F paso 2

T FW 18

BEU

L FW 14

SLW 1

T FW 14

AN F 14.7 Verifica para corrección -

BEC

L KF 8184 Repone a condiciones iniciales

T FW 14

L FW 16

L KF 20

- F Corrección en -20 puntos

T FW 16 paso 1

L FW 18

L KF 20

- F

T FW 18

BE

Secuencia Operativa Básculas

FB 11

AN I 1.6

JC M0

A F 64.3

L KT 60.0 Tiempo de estabilización

SR T 0 Estabilización y toma de lectura
final

A F 64.1

L KT 100.0 Tiempo de descarga básculas

SP T 2 Temporizador descarga básculas

A F 64.1

L KT 80.0 Tiempo de cierre compuertas

SR T 3 Temporizador cierre de compuertas

JC M1

A F 64.1

JC M2

L IW 64 Valor de entrada básculas

SRW 3 Corrección en 3 puntos

T FW 10

A F 10.4

S F 10.5 Corrección si es valor negativo

S F 10.6

S F 10.7

A F 64.2

JC M3

L FW 10

L FW 16 Referencia dinámica paso 1

F

JC M4

S Q 3.1 VM 1 paso 1 báscula 1

BEU

M4 R Q 3.1

R Q 3.3

S F 64.2

M3 A F 64.3

JC M5

L FW 10

L FW 18

F

JC M6

S Q 3.2

S Q 3.3

BEU

M6 R Q 3.2 VM 1 paso 2 báscula 1

R Q 3.3

Esobeta báscula 1

S F 64.3

AN T 0

Temporizador estabilización toma de
lectura

JC M7

A F 64.5

JC M8

JU FB 12

S F 64.5

M8 A F 5.2

S F 64.1

BEU

M2 A T 2

AN Q 3.4

= Q 3.0

JC M7

S F 64.0

M1 A T 3

JC M9

BEU

M9 A F 64.5

JC M0

S F 64.7

BEU

M0 R Q 3.0

R Q 3.1

R Q 3.2

R F 5.2

AN I 1.6

JC M10

R Q 3.3

M10 L KF 0

T FB 64

M7 NOP 0

BE

Toma inicial de referencias

FB 10

L KF 0	
T FB 64	Pone a cero las marcas en FB 11 y
T FB 66	FB 21
A I 1.4	Botón pulsador báscula 1
JC M0	
L FW 10	Valor entrada báscula 1
JU M1	
M0 L IW 64	Valor entrada báscula 1
SRW 3	Corrección en 3 puntos
T FW 10	
A F 10.4	
S F 10.5	
S F 10.6	
S F 10.7	
M1 L IW 66	Valor de referencia externo
SRW 3	Corrección en 3 puntos
T FW 12	Almacenar valor ref. corregido
A F 12.4	
S F 12.5	
S F 12.6	
S F 12.7	
L FW 10	Valor entrada báscula corregido
L FW 12	
= F	
S Q 3.3	Salida escobeta báscula 1
F	
R Q 3.3	
A I 1.4	Toma inicial de referencias
JC M2	
BEU	

M2 L FW 12

L KF 1024

+ F

T FW 16

L FW 12

L KF 512

+ F

T FW 18

Descripción del Programa

Para facilitar la comprensión del programa es necesario antes entender la forma en que el PLC maneja la información.

Procesamiento de valores analógicos

En electrónica digital las magnitudes se representan mediante números. Un número esta formado por varias cifras consecutivas.

El número $a_4a_3a_2a_1a_0$ representa la suma de:

$$Z = a_4b^4 + a_3b^3 + a_2b^2 + a_1b^1 + a_0b^0 = \sum a_i b^i$$

"b" es la base del sistema de numeración usado (p.e. "10" en el sistema decimal).

Cada sistema tiene pues b cifras diferentes.

Los números cuya magnitud es menor a uno se representan con exponentes negativos.

Código BCD

Por código se entiende una representación unívoca de cantidades, de tal forma que a cada una de estas se le asigna una combinación de caracteres determinados, y viceversa. Un código binario permite reproducir números utilizando dos caracteres.

Para representar diez cifras diferentes se necesitan como mínimo cuatro posiciones binarias (bits).

En el código BCD (decimal codificado en binario) cada cifra decimal se representa mediante cuatro bits. El valor decimal se determina sumando las cifras representadas por los cuatro bits.

Ejemplo:

Representación del número 27

en el sistema decimal: 27

en el sistema binario: 11011

en código BCD: 0010 0111

Significado de los diferentes bits de datos

Cada señal analógica del proceso debe de digitalizarse para que pueda almacenarse en la memoria del PLC. El número analógico se transforma para ello en un número binario que se escribe en dos bytes. Las potencias de dos se encuentran en determinadas posiciones dentro de la configuración binaria. Por ellos las palabras de datos se rellenan con ceros de forma que estén ocupados todos los 15 bits.

Los valores negativos se expresan en forma de complemento a dos; para hacer esto todos los ceros se sustituyen por uno y viceversa, y a continuación se suma un uno en la posición menos significativa.

Representación de un valor analógico en forma de configuración binaria.

	Byte alto							Byte bajo								
Número del bit	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Entrada analógica	VZ	2 ¹¹	2 ¹⁰	2 ⁹	2 ⁸	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	X	F	U
Salida analógica	VZ	2 ¹¹	2 ¹⁰	2 ⁹	2 ⁸	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	X	X	X

donde:

VZ Bit de signo 0 = "+", 1 = "-"

X Bit irrelevante

F Bit de error 0 = no hay rotura de hilo, 1 = rotura de hilo

U Bit de desbordamiento 0 = valor absoluto medido, como máximo 4095 unidades

1 = valor absoluto medido mayor o igual a 4096 unidades

D e s c r i p c i ó n

Lo primero que revisa el controlador es que el interruptor de Manual-Automático se encuentre en la posición de Automático. Si esta condición se cumple, esto es, que se desean hacer bolsas con producto, la siguiente instrucción revisa si se tiene la suficiente presión de aire comprimido. Esto es necesario ya que la máquina opera electro-neumáticamente y sin aire no sería posible abrir y cerrar las mordazas de sellado, enfriar los sellos, operar compuertas de la báscula, etc.

Si estas condiciones se cumplen, la máquina se encuentra lista para operar normalmente y se pasa al FB 1. Este bloque controla la secuencia operativa de la envasadora. Aquí se realizan y revisan diversos estados. Primero se chequea si la mordaza horizontal se encuentra abierta, y de ser esto, se cierra. Se activa un temporizador para que mantenga esta condición de mordaza horizontal cerrada y se activa la salida del sellador horizontal al mismo tiempo que entra la cuchilla de corte. Se activa un segundo temporizador que controla el tiempo de sellado horizontal y se hace lo mismo con el sellador vertical. Un tercer temporizador controla el tiempo de acción del enfriamiento de los sellos tanto horizontal como vertical.

Después de esto, se hace avanzar la película de empaque mediante los rodillos de tracción y se repite la rutina del sellador horizontal. Al acabar esta rutina se activa una bandera que indica que la máquina se encuentra lista para la descarga de producto. Esta bandera lee la rutina de operación de la(s) báscula(s).

Toma inicial de referencia.

Esta rutina se usa con dos propósitos. El primero es el de calibrar las básculas al peso a envasarse. Esto debe de hacerse antes de poner en operación a la envasadora o cada vez que se cambie el valor del peso a envasar. Como segundo propósito está el de obtener un ajuste de peso, en caso de ser necesario durante la rutina de operación normal de la envasadora.

Para la calibración de la báscula se debe de proceder como sigue: Primero el interruptor de operación de la báscula debe de estar en la posición de apagado, esto es necesario ya que no es posible realizar una calibración de peso con la báscula en operación. Al detectar el PLC que este interruptor está en esta posición inmediatamente entrará en operación esta subrutina. Aquí lo primero que se hace es poner a cero los bytes 64 y 66 para establecer condiciones iniciales. Después se puede dar una de dos condiciones, se desea calibrar la báscula o se quiere hacer una corrección de peso. Si lo que se desea es calibrar la báscula primero se debe de poner el peso que se desea envasar en la misma y esperar a que se estabilice la balanza. Después el operario procederá a pulsar el botón de calibración en la máquina envasadora y con esto el PLC leerá el valor que exista en ese instante en la entrada analógica, el cual será repre-

sentativo del peso existente en la báscula. Esta entrada analógica se digitalizará con 12 bits de resolución. Lo primero que hay que hacer es desechar los 3 bits menos significativos ya que no nos son útiles para nuestros propósitos y no son parte del valor del peso de entrada. Para esto corremos el byte 3 lugares a la derecha con lo que estos 3 bits se desechan. Si se trata de un número negativo se realiza el complemento a dos revizando si el cuarto bit es uno, si esto ocurre los tres últimos bits se ponen en estado alto para no alterar el valor de la entrada. Esto se realiza tanto para el valor de referencia que nos lo da un valor analógico mediante un potenciómetro colocado en la máquina así como para el peso de la báscula. Este potenciómetro lo girará el usuario hasta que el PLC detecte y compare los valores de éste y del peso a envasar. En el instante en que ambos valores sean iguales le dará una señal al operador accionando la escobeta de la báscula que se está calibrando. En este momento se ha igualado el valor de referencia del potenciómetro y el del peso presente en la báscula. Ahora el operador procederá a pulsar el botón de calibración con lo que el PLC almacenará este valor en memoria y lo usará desde ese instante como el valor al cual la báscula comenzará a dosificar a la envasadora.

Si lo que se desea es realizar una corrección del peso por que exista una desviación en este, solamente debe de girarse el potenciómetro estando en operación normal la envasadora con la báscula dosificando producto, el PLC leerá el valor de referencia del potenciómetro y hará los ajustes necesarios de peso.

No obstante el programa cuenta con una subrutina de ajuste dinámico de la referencia. En ésta se revisan constantemente el peso dosificado a la envasadora y en el caso de que tres bolsas consecutivas estén fuera del valor de referencia se hará una corrección en 20 puntos hacia arriba o hacia abajo, dependiendo del caso.

Estos 20 puntos se le suman (o restan) al valor de referencia obtenido en la rutina de calibración del peso y son con el propósito de compensar automáticamente cualquier variación existente en el peso envasado durante la operación sin intervención alguna del operador.

Esta variación puede ser debida a cambios en la densidad del producto durante la operación producida por un aumento de la humedad contenida en el mismo, variaciones en su peso específico, etc.

El control total del programa lo lleva a cabo el bloque operativo 1. De aquí salta al bloque funcional 0 (FB 0), el cual lleva a cabo el direccionamiento del programa. En este bloque se revisa primero si existe suficiente presión de aire para la correcta operación de la máquina envasadora. Esto se lleva a cabo con la lectura de la señal de entrada conectada al suministro de aire comprimido de la envasadora.

P r u e b a s

Una vez que se ha escrito el programa en el PLC se procederá a su prueba en la máquina. Es necesario señalar que el listado que se presenta no fué obtenido en una sola sesión de programación y prueba. Fueron necesarias muchas horas para su depuración y corrección hasta que se logró un desempeño óptimo a través de diversas pruebas de implantación. Los errores que se tienen pueden ser tanto de una mala interpretación del lenguaje de programación, errores en las conexiones de las señales de salida y/o entrada en el puerto del PLC, de interpretación de las mismas, etc.

La parte clave del programa se encuentra en la rutina del ajuste dinámico de referencia. Es en esta rutina en la que el PLC corrige las variaciones de peso que se pueden llegar a presentar por tratarse de productos a envasarse de densidad variable. Para esto la primera puesta en marcha del PLC corrige el peso del producto con un valor que se encuentra en el programa. Este valor tiende a adelantar la desconexión del sistema de alimentación de la báscula (o lo que es lo mismo, reduce el valor del peso de referencia) con el propósito de compensar el peso del producto que se encuentra en suspensión en el aire al momento de darse la señal de desconexión del sistema de alimentación de producto.

En la figura 16 se muestra una gráfica del comportamiento de la señal de voltaje recibida por la báscula contra el peso a envasar. Como primera característica tenemos que hay una relación lineal entre la diferencia de potencial en el transductor utilizado (esta relación depende del transductor usado; en nuestro caso es lineal ya que utilizamos un LVDT), y la cantidad de producto pesado. El punto en el que la báscula recibe una señal de entrada de cero volts corresponde al peso deseado a envasar o peso

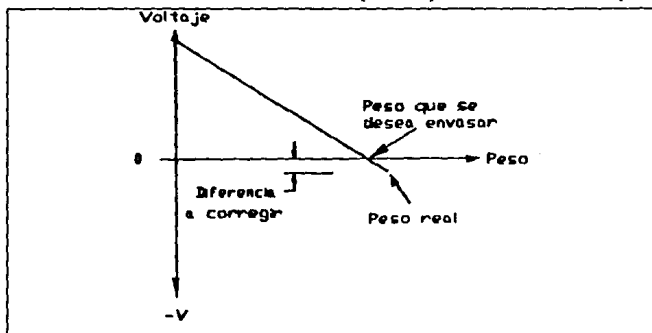


Figura #16. Relación de Voltaje vs. Peso

final. También se muestra el peso "real" que se obtiene en la primera pesada. Como podemos observar existe una diferencia entre el peso deseado y el peso obtenido en la operación. Esta diferencia es causada por el producto en suspensión en el momento en que se produce la señal de corte de alimentación de producto, de la velocidad de alimentación, del tipo de producto y del peso final del producto. El programa tiene una rutina la cual ajusta esta diferencia sumando un valor numérico el cual se traduce en un voltaje positivo en el puerto de entrada del PLC. Este valor es de 1024 puntos para el paso 1 del vibrador y 512 puntos para el paso 2 del mismo. Traducidos en voltaje estos dos valores representan 25 mV y 12.5 mV respectivamente. Esto es, la señal de corte de la báscula es anticipada para lograr compensar la diferencia de peso. Esta compensación ocurre siempre que se inicia la operación de la envasadora y es un "pre-ajuste" de peso para hacer que la rutina de ajuste dinámico del mismo se lleve a cabo con una rapidez mayor a la que existiría sin este pre-ajuste. Una vez terminada esta rutina, la lógica del programa se encarga de hacer las correcciones necesarias que ocurran durante el proceso de envasado, ya sea que falte o sobre producto en la báscula se anticipa o se retrasa la señal de corte de la misma. Con esto se logra una eficiencia mucho mayor que la que se tenía anteriormente, además de que todo se realiza de forma automática sin intervención alguna del operario.

C o n c l u s i o n e s

C o n c l u s i o n e s

En el presente trabajo se llevó a cabo la implantación de un control lógico programable (PLC) en el proceso de envasado. En un principio se expuso el porque existe una considerable mejora al hacer esto ya que nos minimiza las partes operativas sujetas a una posible falla y al mismo tiempo obtenemos una elasticidad de operación que antes era imposible de obtener. Todo esto nos lleva a un ahorro económico a largo plazo lo cual beneficia tanto al fabricante como al dueño de la Máquina Envasadora e indirectamente al consumidor.

Debido a que se trataba de un trabajo de implementación fué necesario un análisis completo de todo el proceso para poder llevar a cabo no solo una imitación del proceso de envasado anterior, sino una mejora considerable en el mismo, al tener un control total de las variables que intervienen en el proceso logrando la intervención mínima del operario durante los ciclos de pesado y llenado de las bolsas. Con esto obtenemos un ahorro en película de empaque y evitamos desperdicios en la dosificación del producto.

Una de las mejoras que se llevaron a cabo en el proceso es el Ajuste Dinámico del peso, lo que no se tenía antes y requería del cuidado constante del operario sobre posibles variaciones de peso debidas a causas fuera de su control como son: la humedad del producto, su densidad variable, cambios en su peso específico, etc.. Con este ajuste dinámico todo esto se evita o se reduce al mínimo ya que constantemente se está comparando el peso envasado contra el valor de referencia que se obtuvo en el proceso de calibración, y cualquier diferencia es compensada inmediatamente después de tres bolsas consecutivas fuera de rango.

Es necesario esperar a que se llenen tres bolsas fuera de rango debido a que siempre va a existir una pequeña oscilación de peso. Es imposible construir un mecanismo de pesado que nos entregue siempre el peso que deseamos. Es por esto que al estar tres bolsas fuera de rango tenemos una garantía de que existe una diferencia "real" sobre nuestro valor de referencia y se procede entonces a hacer la corrección de peso pertinente.

El programador está protegido contra un posible "enganche en un lazo cerrado" (latch), esto es gracias a la función de "perro guardián", con esto al no regresar el "pointer" del programa después de 65 ms al Bloque Operativo 01 automáticamente aborta el proceso evitando así el enganche.

Es importante señalar que este programa puede trabajar indistintamente con cualquier tipo de báscula que estemos utilizando, es decir, no importa el tipo de transductor que se emplee. Además cualquier corrección de peso que sea necesaria se puede hacer sin necesidad de detener la operación normal de la envasadora lo que permite un ahorro considerable de tiempo.

El mismo programa se puede extender a dos, tres, o más básculas operando al mismo tiempo con una corrección mínima lo que permite una expansión futura del equipo.

Todas las rutinas del programa se han hecho teniendo en mente el mínimo de pasos para ejecutar la tarea en cuestión de la manera más eficiente, aprovechando al máximo todas las señales de entrada y de salida que disponemos. Un ejemplo de esto lo constituye la rutina de calibración de peso. En la máquina se carecía de un dispositivo el cual mediante una señal visual o audible le indicara al usuario que se había logrado la calibración de la báscula con el peso de referencia colocado en la misma. Existía la posibilidad de instalar dicho dispositivo de señalización, pero esto hubiera requerido una modificación de la envasadora así como una inversión extra de dinero. Es por esto que se decidió que la señal de calibración se diera mediante la escobeta del cangilón de la báscula que se estuviera calibrando. Al llegar la posición del potenciómetro a un valor tal que iguale al del puerto de entrada de la báscula se activa la salida del puerto de esta escobeta haciendo que el pistón neumático que la gobierna la desplace hacia el cangilón. Esto le indica al usuario que se posee en ese instante una calibración exacta y puede entonces proceder a presionar el botón de toma del valor de referencia, para que entre a la memoria del PLC.

Al realizarse esto la máquina queda lista para entrar en operación, envasándose con un peso igual al que se obtuvo en la subrutina de calibración.

Fuera de las rutinas de calibración y corrección del peso no se requiere ninguna otra intervención del operario, por lo que la labor de este se resumirá en el abastecimiento de película de empaque y producto a la máquina envasadora, este último en el caso que no se posea de un tren de abastecimiento automático.

Al implementar este PLC se ha dado un paso más en el campo de la automatización de procesos electromecánicos. Actualmente es posible automatizar todo proceso donde se utilicen todavía interruptores electromecánicos para el control del mismo. Con esto se entiende que esta no es la única aplicación ni la única solución posible al proceso que se pretendía controlar. Es posible hacerle todavía muchas mejoras al programa pero estas van más allá de los propósitos del presente trabajo de

tesis. De la misma manera, al contar con un gran número de fabricantes de estos dispositivos en el mercado, el número de soluciones posibles se extiende grandemente, limitándose únicamente por la capacidad del programador y de la inversión económica que se pretenda llevar a cabo.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

- **SIMATIC S5. S5-100U Automata Programable.**

Manual del Propietario.

SIEMENS.

Segunda Edición.

- **RCA PHOTOCCELLS.**

Radio Corporation of America.

- **PACKAGE ENGINEERING**

THE PACKAGING ENCYCLOPEDIA 1982

EDWARD E. HERCEG

- **Handbook of Measurement and Control**

Schaevitz Engineering, 1972, Pennsauken, N.J.