



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN BANDAS
TRANSPORTADORAS POR MEDIO DE UN ALGORITMO GENÉRICO
DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA CARGA DEFINIDA**

Carlos Antonio Ramírez Soto

Asesorado por el Ing. José Antonio de León Escobar

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN BANDAS
TRANSPORTADORAS POR MEDIO DE UN ALGORITMO GENÉRICO
DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA CARGA DEFINIDA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ANTONIO RAMÍREZ SOTO
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ANTONIO DE LEÓN ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN BANDAS
TRANSPORTADORAS POR MEDIO DE UN ALGORITMO GENÉRICO
DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA CARGA DEFINIDA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Electrónica, con fecha 23 de noviembre de 2010.


Carlos Antonio Ramírez Soto



Ref. EIME 78. 2011

Guatemala, 28 de OCTUBRE 2011.

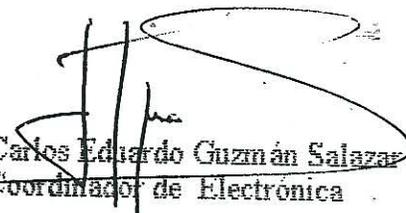
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN BANDAS
TRANSPORTADORAS POR MEDIO DE UN ALGORITMO
GENÉRICO DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA CARGA
DEFINIDA", del estudiante Carlos Antonio Ramírez Soto, que
cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica

CEGS/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 07 de septiembre de 2011

Ing. Carlos Guzmán,
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado "Optimización del consumo de energía en bandas transportadoras por medio de un algoritmo genérico de automatización según la carga definida", elaborado por el estudiante Carlos Antonio Ramírez Soto.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,

M.A. José Antonio de León Escobar
INGENIERO ELECTRONICO
COL. 8,281

Asesor



REF. EIME 62. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de la estudiante; CARLOS ANTONIO RAMÍREZ SOTO titulado: OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA, EN BANDAS TRANSPORTADORAS POR MEDIO DE UN ALGORITMO GENÉRICO DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA CARGA DEFINIDA, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 02 DE FEBRERO 2,012.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 600.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE BANDAS TRANSPORTADORAS POR MEDIO DE UN ALGORITMO GENÉRICO DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA CARGA DEFINIDA**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Antonio Ramírez Soto**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 29 de agosto de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Esperanza Soto

Por su gran amor de madre, invaluable apoyo y paciencia durante mis años de estudio.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la vida y permitirme alcanzar este logro.
- Mis padres** Esperanza Soto y Nicolás Ramírez, Lidia Soto, por su apoyo moral y económico durante la carrera.
- Mis hermanos** José Alejo y Pilar Ramírez, por ser el ejemplo y motivación para llegar a la meta.
- Mis amigos** Alejandro Carpio, Francisco Nájera, Diego Chajón, Luisa Fernanda Zamora, Andrea Xitumul, por la ayuda brindada en cada curso y sus palabras de aliento para seguir adelante.
- Mi prometida** Ivonne Palacios, por ser la fuerza que me movió a dar los últimos pasos de este ciclo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO TEÓRICO	
1.1. Conceptos generales de bandas transportadoras	1
1.2. Mecánica de los transportes	1
1.2.1. Fricción.....	2
1.2.1.1. Fricción estática	3
1.2.1.2. Fricción dinámica	4
1.2.1.3. Lubricantes.....	5
1.2.2. Banda o cadenas	6
1.2.3. Curvas.....	8
1.2.4. Motorreductores	10
1.2.4.1. Características de operación.....	12
1.2.4.2. Características del trabajo a realizar	12
1.2.4.3. Condiciones del ambiente	12
1.2.4.4. Ejecución del equipo	12
1.2.4.5. Potencia de selección (Pn).....	13
1.2.4.6. Instalación	13
1.2.4.7. Mantenimiento.....	14
1.2.4.8. Potencia y torque	14

	1.2.4.9.	Relación de velocidad	14
	1.2.4.10.	Tipos de motorreductores	15
	1.2.4.11.	Instalación	15
1.3.		Electricidad y electrónica en los transportes	17
	1.3.1.	Motores	17
	1.3.1.1.	Motor de corriente continua	17
	1.3.1.2.	Motor de corriente alterna	19
	1.3.1.3.	Regulación de velocidad	20
	1.3.2.	Sensores	21
	1.3.2.1.	Sensores inductivos	24
	1.3.2.2.	Sensores de efecto Hall	26
	1.3.2.3.	Sensores capacitivos	27
	1.3.2.4.	Sensores ultrasónicos	29
	1.3.2.5.	Sensores ópticos	31
	1.3.2.6.	Uso de sensores en sistemas automatizados de transporte	32
	1.3.3.	Variación de velocidad	34
	1.3.3.1.	Variadores mecánicos	34
	1.3.3.2.	Variadores electrónicos	35
2.		AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE	
	2.1.	Ventajas de un transporte automatizado	39
	2.1.1.	Ahorro de energía al regular la velocidad de los motores	40
	2.1.2.	Disminución del riesgo de dañar la carga	40
	2.1.3.	Disminución del desgaste físico en el sistema de transporte	41
	2.1.4.	Mejora la fluidez de la carga en los equipos de proceso	42

3.	ALGORITMO GENÉRICO DE AUTOMATIZACIÓN	
3.1.	Variables	44
3.2.	Desarrollo y presentación del algoritmo	46
3.2.1.	Escenario 1	46
3.2.2.	Escenario 2	49
3.2.3.	Escenario 3	51
3.3.	Formas de automatización	53
3.4.	Alcances del algoritmo	54
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA	
4.1.	Costo sin automatización	55
4.2.	Costo con relevación.....	56
4.3.	Costo de automatización utilizando un PLC.....	57
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	ANEXO	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Conversión de velocidad angular a lineal.....	2
2.	Fuerzas que actúan en una banda transportadora	3
3.	Acción de la fricción estática mientras la carga se encuentra en movimiento	4
4.	Acción de la fricción estática mientras la carga se encuentra acumulada	5
5.	Ejemplo de una banda y de una cadena de transporte	7
6.	Ejemplos de curvas y las fuerzas que actúan sobre la carga mientras avanza en ella	9
7.	Forma de aprovechar una curva para los objetos caídos	10
8.	Componentes internos de un motorreductor	17
9.	Motor CC	18
10.	Constitución interna de un sensor inductivo	25
11.	Líneas de flujo magnético en un sensor inductivo	25
12.	Sensor efecto hall	26
13.	Sensor capacitivo	28
14.	Imagen de un sensor capacitivo	29
15.	Sensor ultrasónico	30
16.	Imagen de un sensor ultrasónico	30
17.	Funcionamiento de un sensor óptico	31
18.	Sensores ópticos	32
19.	Posibles escenarios de acumulación y movimiento de carga en una sección de transporte	33

20.	Variador mecánico	34
21.	Diagrama de Variador de Frecuencia con Modulación de Ancho de Pulso (PWM)	37
22.	Escenario de una sección de transporte	44
23.	Variables de entrada	46
24.	Diagramas lógicos para la implementación de 3 velocidades en escenario 1	48
25.	Escenario 2	49
26.	Diagrama lógico para la implementación del escenario 2	50
27.	Escenario 3	51
28.	Diagrama lógico para la implementación del escenario 3	52

TABLAS

I.	Características de un variador mecánico	35
II.	Operaciones lógicas para velocidades en escenario 1	47
III.	Operaciones lógicas para velocidades en escenario 2	50
IV.	Operaciones lógicas del escenario 3	52
V.	Costos de implementación para el sistema sin automatización	56
VI.	Análisis económico de la propuesta utilizando relevadores	57
VII.	Análisis económico de la propuesta utilizando PLCs como medio de automatización	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
μ	Coeficiente de fricción
PLC	Controlador Lógico Programable
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
F	Fuerza
N	Fuerza normal
Kw	Kilowatts
W	Peso
R	Radio
RPM	Revoluciones por minuto
K	Subíndice indica cinética
S	Subíndice indica estática
VAN	Valor Actual Neto
V	Velocidad angular
V	Velocidad lineal

GLOSARIO

Compuerta lógica	Dispositivo cuyo comportamiento responde a una función lógica.
EGE	Eficiencia Global del Equipo
Motorreductor	Dispositivo mecánico que cambia la velocidad del movimiento de un motor.
Pallet	Tarima
PLC	Progammable Logic Controller, Controlador lógico programable (en ingles).
Relevador	Dispositivo compuesto por un electroimán que actúa como interruptor al ser energizado.
VAN	Valor Actual Neto
Variador	Dispositivo utilizado para modificar la velocidad de un motor.

RESUMEN

Observando el funcionamiento y deficiencias que existen en el sistema de transporte en una línea de producción, se observó que existe un desperdicio de energía eléctrica al mantener funcionando los motores que accionan las bandas o cadenas transportadoras. La manera lógica de tener un ahorro en ese malgasto de energía es apagando dichos motores cuando su funcionamiento no es necesario, esto sin la intervención de un operador más.

Se debe automatizar entonces el sistema de transporte, pero la secuencia de arranque y paro de los transportadores debe ser de una forma armónica con el funcionamiento entero de la línea de producción de manera que el sistema ayude a mantener la fluidez necesaria en la línea para no dañar el producto y mantener la eficiencia de los equipos.

Utilizando un sistema retroalimentado se puede saber el status de cada uno de los equipos y se convierte en un ente que toma decisiones y comparte su estado a cada sección de transporte, de manera que el sistema completo se adapte a la necesidad del equipo que le sigue. Finalmente se analiza la conveniencia de implementar dicho proyecto, haciendo un análisis económico sobre la propuesta.

OBJETIVOS

General

Determinar una propuesta para el diseño de un sistema de transporte automatizado práctico y eficiente, que a su vez presente ahorro en el consumo de energía eléctrica en una línea de producción.

Específicos

1. Desarrollar un método eficiente y versátil para seleccionar las variables, características y poder implementar un algoritmo para un sistema automático de transporte.
2. Determinar la eficiencia energética de un sistema no automatizado versus un sistema automatizado.
3. Evaluar la factibilidad económica del algoritmo propuesto.

INTRODUCCIÓN

En la implementación de transportes para carga en una línea de producción, la inversión es menor a cualquier otro equipo del proceso; sin embargo, este no debería ser siempre el caso, ya que una mala planeación en el sistema de transporte puede traer como consecuencia una baja eficiencia en la producción y por consiguiente la pérdida de dinero.

La idea de automatizar un sistema de transporte surge primero de la necesidad del ahorro de energía eléctrica, luego se observa que una mala automatización repercute nuevamente en la eficiencia de los equipos, por lo que es necesario crear de un algoritmo que sea capaz de aplicarse en cualquier ambiente simplemente considerando variables sencillas y una implementación rápida.

Además de mejorar la eficiencia de la producción, se protege al producto de la fricción con el transporte y la presión con otros productos en la línea y por supuesto, logra su fin inicial, el ahorro de energía eléctrica, manteniendo el esquema del algoritmo y tomando la parte en que su velocidad es armónica con el ritmo de producción, el algoritmo se puede aplicar a diferentes ambientes.

El nivel de complejidad de la automatización debe pasar por un análisis económico del proyecto, en donde se pueda ver reflejada la magnitud de la inversión y la cantidad de ingresos que se pueden obtener a través del ahorro de energía en la implementación del proyecto.

1. MARCO TEORICO

A continuación las bases de conocimiento necesarios para el desarrollo del proyecto. Opciones y características de los diferentes dispositivos y equipos a utilizar para la implementación del algoritmo.

1.1. Conceptos generales de bandas transportadoras

En el diseño de una línea de producción el tema del transporte detalla que debe tomarse en cuenta la capacidad de la línea y su velocidad, de manera que este sea capaz de surtir a los equipos con la materia que está siendo procesada y a la vez de liberar la línea en los momentos que ésta se congestione debido al paro momentáneo de un equipo en la trayectoria de la carga transportada.

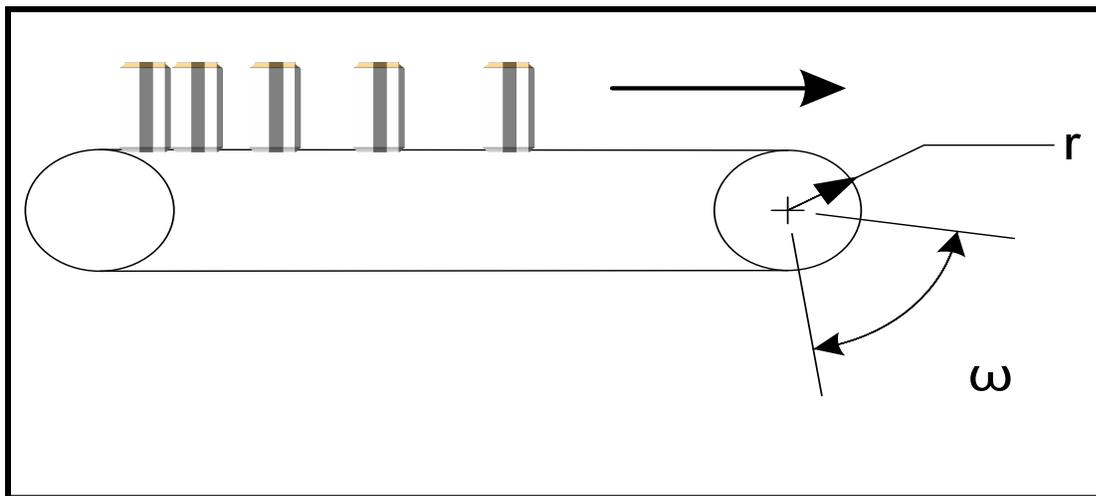
En su diseño se encuentran diferentes tipos de trasportes dentro de una misma línea, esto se debe a que durante el proceso la materia puede cambiar en su constitución física y por lo tanto la forma de transportarla debe variar.

1.2. Mecánica de los transportes

La constitución física de los transportes consta en su forma más básica de un motor, el cual genera la fuerza necesaria para mover la carga y la banda o cadena transportadora, sobre ella descansa la carga que es desplazada a lo largo de la línea. De esta forma la velocidad a la que se desplazará la carga se calcula en base a la relación que sostiene la conversión del movimiento rotatorio del eje del motor hacia el movimiento lineal traducido en el

desplazamiento de la carga sobre la banda transportadora. La figura 1 muestra la forma en que sucede el cambio de movimiento rotacional del motor hacia el movimiento lineal de la carga, la ecuación 1 demuestra la relación matemática.

Figura 1. **Conversión de velocidad angular a lineal**



Fuente: elaboración propia.

De manera que la velocidad lineal a la que avanza la carga esta dada por

$$v = \omega * 2\pi r / 60$$

Ecuación 1 Conversión de velocidad angular a lineal.

1.2.1. Fricción

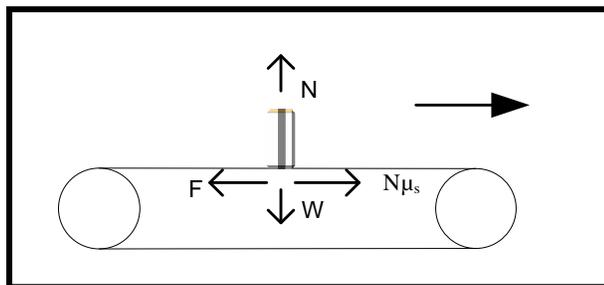
Los factores físicos a tomar en cuenta para el apropiado funcionamiento de un sistema de transporte tienen la fuerza de fricción. Esta fuerza así como puede permitir el avance constante de la carga, también la puede dañar ó

deteriorar. Si la carga es expuesta durante un tiempo prolongado a la fuerza de fricción existente entre ella y la banda transportadora, puede provocar un daño físico a la misma. Nuevamente la forma en que la fuerza de fricción puede afectar la carga dependerá en gran parte de la consistencia física de la carga que se transporta y del tipo de banda a utilizar para transportarla. La fricción en un sistema de transporte se experimenta en sus dos formas.

1.2.1.1. Fricción estática

En el ejemplo la carga se encuentra en movimiento y gracias a la fricción estática la carga puede avanzar hacia donde el transporte la dirige, si ésta fuerza es menor a la ejercida por el transporte, la carga no se desplazará a la misma velocidad lineal que el transporte y por lo tanto esa parte de la energía se desperdiciará. La figura 2. indica de forma gráfica los vectores de fuerza que actúan en un transporte cuando se tiene el efecto de la fricción sobre un elemento.

Figura 2. **Fuerzas que actúan en una banda transportadora**

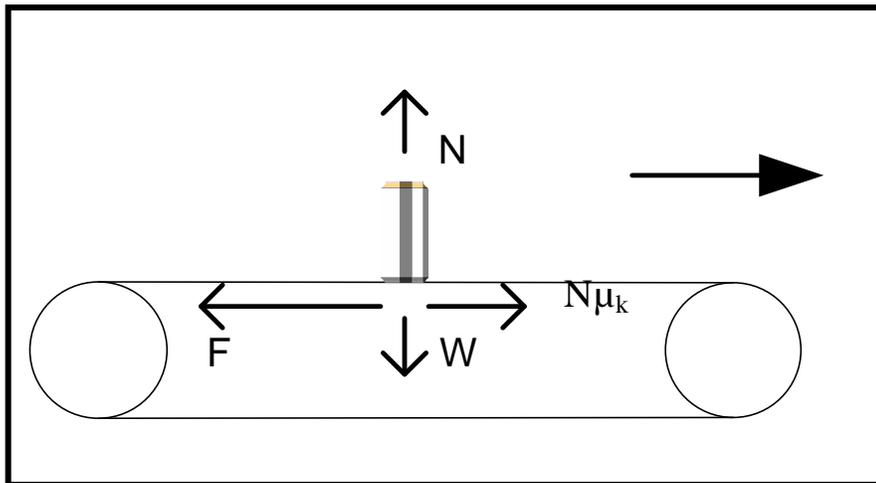


Fuente: elaboración propia.

1.2.1.2. Fricción dinámica

En el siguiente ejemplo la fricción dinámica permite el suave desplazamiento de la carga a lo largo del transporte, este tipo de fricción también ayuda a transmitir los cambios de estado del transporte hacia la carga sin que esta sufra una caída. En la figura 3, la fuerza generada por el repentino desplazamiento del transporte hace que la carga no avance sino hasta que las fuerzas se igualan.

Figura 3. **Acción de la fricción estática mientras la carga se encuentra en movimiento**

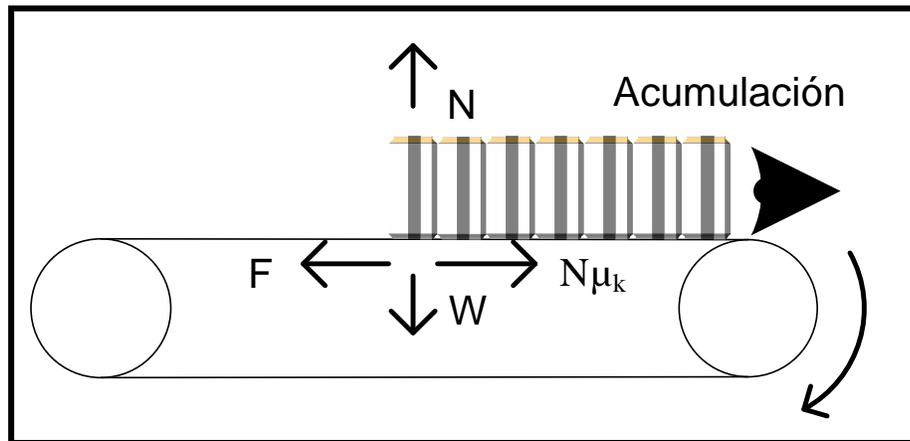


Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura la carga se encuentra detenida por la acumulación de la misma; sin embargo, el transporte sigue en movimiento, un buen coeficiente de fricción dinámica permite que tanto la carga como la banda transportadora no sean maltratadas por el contacto que existe entre ellas. Si

uno de los dos elementos está hecho de un material poco resistente, éste podría dañarse si el coeficiente de fricción dinámica es alto.

Figura 4. **Acción de la fricción estática mientras la carga se encuentra acumulada**



Fuente: elaboración propia.

1.2.1.3. Lubricantes

Se puede aplicar un lubricante en las bandas o cadenas transportadoras cuando sea necesario reducir el coeficiente de fricción dinámica. Al disminuir la fricción entre la carga y la banda transportadora, se protege la carga de daños físicos causados por el desgaste en las superficies de contacto con la banda. Si la carga tiende a caer, los lubricantes reducen este riesgo, al disminuir los coeficientes de fricción.

Los lubricantes también ayudan a disminuir la fricción existente entre las bandas transportadoras y sus guías. Estas dos partes se mantienen en

constante fricción durante el funcionamiento de la banda, de manera que el desgaste ya sea de la banda o de las guías es un factor implícito de las bandas transportadoras. El desgaste causado por la fricción entre las guías y la banda transportadora se debe tomar en cuenta dentro de la planificación de mantenimiento preventivo. Utilizando el lubricante adecuado al trabajo que realiza el transporte se prolonga la vida de las bandas transportadoras y de sus guías. Se puede concluir fácilmente también que si existe una fuerza de fricción más fácil de vencer se ahorrará energía que el motor debe producir para mantener la banda en movimiento. Dependiendo de la constitución física de la carga y el transporte se podrá utilizar lubricantes con las siguientes características:

- Líquidos
- Secos
- Biodegradables
- A base de detergentes
- Orgánicos

1.2.2. Banda o cadenas

Dentro de las opciones que se tienen para un sistema de transporte se pueden observar dos grupos principales. La elección de una o de otra dependerá del tipo de carga que se está transportando, de igual forma cada una de estas opciones ofrece variantes que igualmente dependerán del tipo de carga que se desea transportar. Cabe notar que dentro de una misma línea de producción se pueden observar las variantes de los transportadores, esto se debe a la transformación que sufre la carga a lo largo del proceso de producción.

Al tomar por ejemplo una línea de producción de bebidas en lata de aluminio, en un inicio se tiene que transportar las latas vacías en una banda que las conduce hacia un transporte que las debe alinear para dirigirlas de esta forma al sistema de llenado, las latas vacías alineadas avanzan sobre una cadena transportadora, mientras que las latas llenas de producto y debidamente selladas pueden ser transportadas nuevamente en grupo, por lo que puede ser posible el uso de bandas o múltiples cadenas.

Al continuar con el proceso, ahora se llega al área de empaque donde se transforman las latas en grupos y son colocadas en cajas, por lo cual la carga se ha transformado de latas a cajas. De ser el caso y la línea de producción lo permite, las cajas de latas se agruparán en cantidades determinadas para ser llevadas a bodega de esta forma se ve cómo nuevamente la carga se ha transformado de cajas a pallets.

Como se concluye en el ejemplo anterior se observa que las secciones de transporte a seleccionar dependen enteramente de la carga que se está transportando y de la forma en que se desea hacer. Viendo la figura 5, se tiene una mejor idea de las bandas y cadenas.

Figura 5. **Ejemplo de una banda y de una cadena de transporte**



Fuente: [<http://www.sygma.com.mx/productos.htm>] [Consulta: marzo de 2011].

Generalmente las bandas se utilizan para tramos rectos de transporte, donde no es necesario tener variaciones de velocidad dentro de la misma sección, como es el caso de las secciones de transporte en donde se utilizan múltiples cadenas con diferentes velocidades, en este caso a pesar de ser un tramo recto de transporte, las diferentes velocidades en cada cadena son necesarias para producir el efecto de alineación necesario previo a un probable proceso que necesite llevar la carga alineada una tras otra, probablemente un proceso de etiquetado o codificación necesite este tipo de formación.

Existen bandas especiales para transportar la carga a lo largo de una curva, este tipo de banda se utiliza cuando la carga no desea ser desalineada o girada, por ejemplo si se transporta una caja a lo largo de una curva, una banda especial es ideal para este tipo de movimiento.

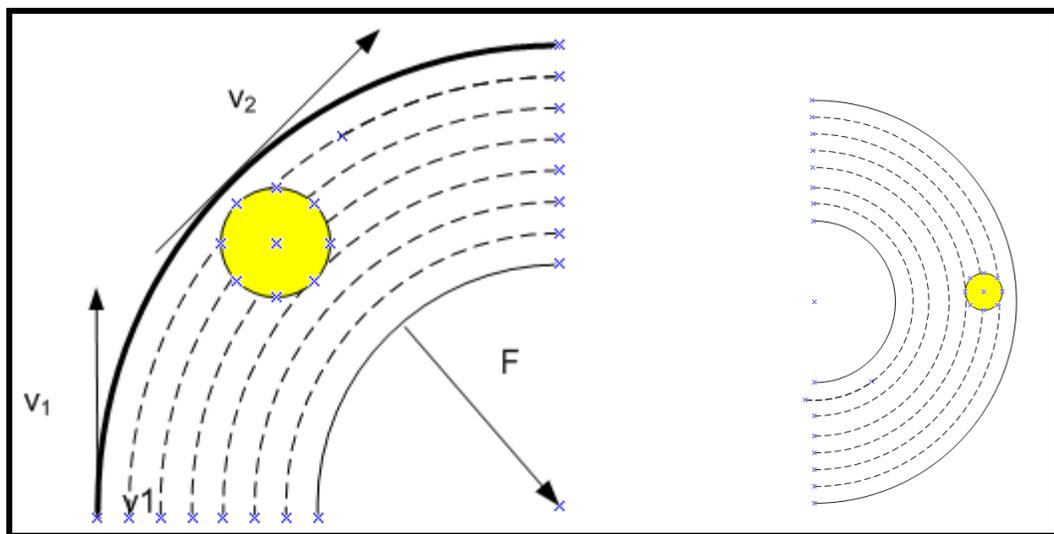
Las cadenas son el tipo de transporte más común en la mayoría de transportadores. Las cadenas poseen la característica de ser fácilmente reparadas, su montaje y desmontaje es a la vez sencillo. Las cadenas se pueden utilizar en grupos para formar algo parecido a una banda, son fácilmente manipuladas para formar curvas y su individualidad les permite su participación en la construcción de tramos para la alineación de la carga luego de ser transportada en grupos.

1.2.3. Curvas

Tal y como fue mencionado anteriormente las curvas pueden ser construidas utilizando una banda especial o con múltiples cadenas, esto dependiendo nuevamente del tipo de carga a transportar. Para las curvas se observa que las guías deben ser capaces de soportar el trabajo que se ejerce sobre ellas, ya que la fuerza que hala la cadena o banda se encuentra en el

extremo de la curva, por lo que siempre existirá una fuerza que impulsa la banda o cadena con el fin de tensarla e intentar colocarla en una posición recta. La fuerza mencionada provoca que la banda o cadena se presione sobre una de las orillas, provocando un aumento en la fricción ejercida entre ella y su guía.

Figura 6. **Ejemplo de curvas y las fuerzas que actúan sobre la carga mientras avanza en ella**



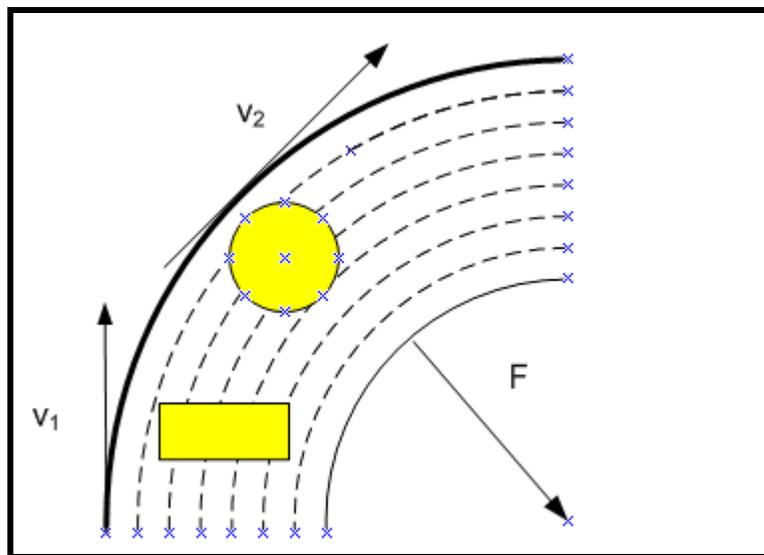
Fuente: elaboración propia.

En la figura 6 se observa el cambio de dirección de la velocidad lineal, lo cual provoca una aceleración angular cuyo producto con la masa generan la fuerza centrípeta, esta fuerza provoca que la banda se pegue y se mantenga en constante contacto con la guía interna del transporte, esta fricción se convierte en un posible punto de desgaste tanto para la guía como para la banda.

En la imagen a la derecha el cambio de dirección es de 180°, dentro de los inconvenientes a analizar se encuentra nuevamente el roce que existe entre la

banda y la guía interna del transporte, esta fricción es mayor en esta configuración, bajo estas circunstancias el uso de un lubricante también ayuda a disminuir los coeficientes de fricción entre los materiales y de esta forma aumentar el tiempo de vida útil del equipo.

Figura 7. **Forma de aprovechar una curva para los objetos caídos**



Fuente: elaboración propia.

En el escenario presentado en la figura 7 se muestra un objeto caído en la banda, si se aprovecha el cambio de velocidad en la banda se puede sacar dicho objeto del sistema sin necesidad de intervenir manualmente.

1.2.4. Motorreductores

Un motorreductor es un dispositivo mecánico utilizado para la reducción de la velocidad de un motor y la transmisión del torque hacia un equipo. Las transmisiones de fuerza pueden ser por correa, cadena o trenes de engranajes.

Dentro de los beneficios al utilizar los motorreductores se encuentran:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.

Los motorreductores se suministran normalmente acoplado a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz.

Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo motorreductor un guarda motor que limite la intensidad y un relé térmico de sobrecarga. Los valores de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor.

Normalmente los motores empleados responden a la clase de protección IP-44 (Según DIN 40050). Bajo pedido se puede mejorar la clase de protección en los motores y unidades de reducción. Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción debe tenerse en cuenta la siguiente información básica:

1.2.4.1. Características de operación

Las características principales de la operación de un motor son:

- Potencia (HP tanto de entrada como de salida)
- Velocidad (RPM de entrada como de salida)
- Torque (par) máximo a la salida en Kg.-m
- Relación de reducción (I)

1.2.4.2. Características del trabajo a realizar

Según el trabajo realizado existen las siguientes características:

- Tipo de máquina motriz (motor eléctrico, a gasolina, etc.)
- Tipo de acople entre máquina motriz y reductor
- Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua etc.
- Duración de servicio horas/día
- Arranques por hora, inversión de marcha

1.2.4.3. Condiciones del ambiente

Las condiciones ambientales a tomar en cuenta son:

- Humedad
- Temperatura

1.2.4.4. Ejecución del equipo

El equipo puede ejecutar el trabajo de la siguiente forma:

- Ejes a 180° o 90°
- Eje de salida horizontal, vertical, etc.

1.2.4.5. Potencia de selección (Pn)

Es difícil encontrar en la práctica, que una unidad de reducción realice su trabajo en condiciones ideales, por tanto, la potencia requerida por la máquina accionada, debe multiplicarse por un factor de servicio Fs, factor que tiene en cuenta las características específicas del trabajo a realizar y el resultado, llamado Potencia de selección, es el que se emplea para determinar el tamaño del reductor en las tablas de selección.

Potencia de selección (Pn)= Potencia requerida (Pr) X Fs.

En algunos casos los reductores se determinan no por la potencia sino por los torques de selección. El torque y la potencia están relacionados mediante la siguiente función:

$$T_n(kgm) = \frac{716.2 * P_n * HP}{N(RPM)}$$

Ecuación 2 Torque de un motor

Para las tablas de selección: Pn= HP de salida y Tn= Torque

Pn está dada por Pn=HP entrada X n, donde n, = Eficiencia del reductor

1.2.4.6. Instalación

Para un buen funcionamiento de las unidades de reducción es indispensable tener en cuenta las siguientes recomendaciones: las unidades deben montarse sobre bases firmes para eliminar vibraciones y desalineación en los ejes.

Si la transmisión de la unidad a la máquina es por acople directo entre ejes, es indispensable garantizar una perfecta alineación y centrado. Si la

transmisión se hace por cadenas o correas, la tensión dada a estos elementos debe ser recomendada por el fabricante, previa una alineación entre los piñones o poleas.

Las unidades de acoplamiento deben montarse cuidadosamente sobre los ejes para no dañar los rodamientos y lo más cercanas a la carcaza para evitar cargas de flexión sobre los ejes, antes de poner en marcha los Motorreductores, es necesario verificar que la conexión del motor sea la adecuada para la tensión de la red eléctrica.

1.2.4.7. Mantenimiento

Los engranajes y los rodamientos están lubricados por inmersión o salpique del aceite alojado en la carcaza. Se debe revisar el nivel del aceite antes de poner en marcha la unidad de reducción. En la carcaza se encuentran los tapones de llenado, nivel y drenaje de aceite. El de llenado posee un orificio de ventilación el cual debe permanecer limpio.

Los reductores tienen una placa de identificación, en la cual se describe el tipo de lubricante a utilizar en condiciones normales de trabajo.

1.2.4.8. Potencia y torque

Estos equipos se ofrecen para potencias desde 1/3 de HP hasta 70 HP con torques de salida que van desde 0.9 Kg.-m hasta 1500 Kg.-m.

1.2.4.9. Relación de velocidad

Las relaciones de velocidad se obtienen con las siguientes reducciones

- SIMPLE: Comprenden desde 6.75:1 hasta 70:1

- DOBLE: Desde 100:1 hasta 5000:1. Estas relaciones se logran con doble Sinfín- Corona o Sinfín-Corona piñones helicoidales.

1.2.4.10. Tipos de motorreductores

Sinfín-corona

El sinfín se fabrica de acero aleado, cementado y rectificado, y está apoyado con dos rodamientos cónicos y uno de rodillos cilíndricos. La corona se fabrica de bronce de bajo coeficiente de fricción está embutida atornillada a un núcleo de fundición de hierro. La corona está generada con fresas especiales que garantizan exactitud en el engranaje, el eje de salida es fabricado en acero al carbono, resistente a la torsión y trabaja apoyado en dos rodamientos de bolas.

1.2.4.11. Instalación

Los aditamentos deben montarse cuidadosamente sobre los ejes para evitar daños en los cojinetes (no deben golpearse al entrar en los ejes). El reductor debe mantenerse rígidamente sobre las bases para evitar vibraciones que puedan afectar la alineación de los ejes. El reductor lleva tapones de llenado y ventilación, nivel y vaciado, en la placa de identificación del reductor se encuentra el tipo de aceite apropiado. MOBIL GEAR 629. El aceite a usar debe tener las siguientes características:

- Gravedad Específica 0.903
- Viscosidad SSU A 100 grados F 710/790
- Viscosidad CST A 40 grados C 135/150
- Clasificación ISO V G 150

El aceite a usar debe contener aditivos de extrema presión del tipo azufre-fósforo, los cuales le dan características antidesgaste de reducción a la fricción, disminuyendo así la elevación de temperatura en los engranajes. Adicionalmente aditivos contra la formación de herrumbre y la corrosión, así como agentes especiales para aumentar la estabilidad a la oxidación y resistencia a la formación de espuma.

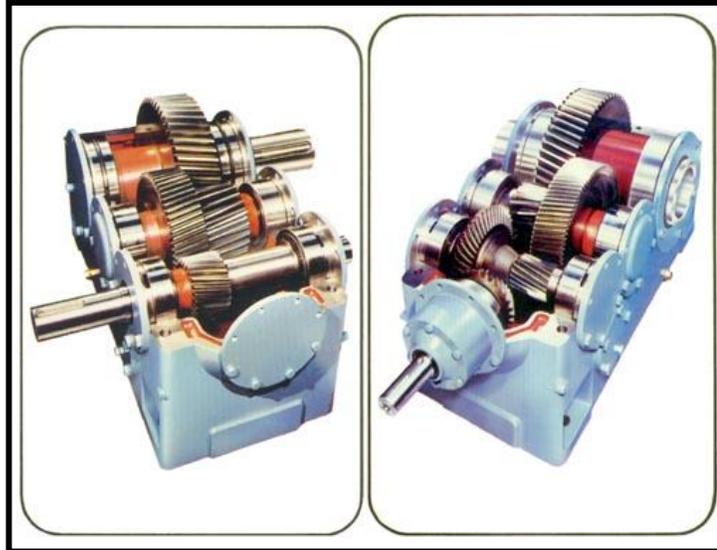
Bajo condiciones extremas de temperatura o humedad deben emplearse aceites adecuados. Los reductores se suministran sin aceite y deben llenarse hasta el nivel indicado antes de ponerlos en marcha.

Todos los reductores se someten a un corto período de prueba antes de enviarse al cliente, pero son necesarias varias horas de funcionamiento a plena carga antes de que el reductor alcance su máxima eficiencia. Si las condiciones lo permiten, para tener una mayor vida de la unidad, debe incrementarse la carga progresivamente hasta alcanzar la máxima, después de unas 30 a 50 horas de trabajo.

La temperatura en los momentos iniciales de funcionamiento es mayor de la normal hasta lograr el ajuste interno adecuado, el nivel del aceite debe comprobarse regularmente, mínimo una vez al mes; el agujero de ventilación debe mantenerse siempre limpio. En el reductor nuevo después de las 200 horas iniciales de funcionamiento debe cambiarse el aceite realizando un lavado con ACPM; los posteriores cambios se harán entre las 1500 y 2000 horas de trabajo.

Para almacenar de manera indefinida debe llenarse totalmente de aceite la unidad, garantizándose la completa inmersión de todas las partes internas. Para tener una mejor idea, la figura 8 muestra la vista interna de un motorreductor.

Figura 8. **Componentes internos de un motorreductor**



Fuente: [<http://html.rincondelvago.com/reductores-velocidad-motorreductores.html>] [Consulta: enero de 2011].

1.3. Electricidad y electrónica en los transportes

A continuación las características y factores eléctricos y electrónicos a considerar en un sistema de transportes.

1.3.1. Motores

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

1.3.1.1. Motor de corriente continua

Los motores de corriente continua se componen de dos partes un estator y un rotor, generalmente el estator provee soporte mecánico y es hueco, mientras que el rotor es de forma cilíndrica y posee un devanado.

Figura 9. **Motor CC**



Fuente: Irving Gottlieb. *Electric Motors & Control Techniques*. p.80.

La figura 9 da una idea de la apariencia física de un motor DC. Los motores DC se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- Motor serie
- Motor compound
- Motor shunt
- Motor eléctrico sin escobillas

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- Motor paso a paso
- Servomotor
- Motor sin núcleo

1.3.1.2. Motor de corriente alterna

A nivel industrial principalmente se utilizan los motores de corriente alterna. Los motores de C.A. se clasifican de la siguiente manera:

- **Asíncrono o de inducción:** los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.
- **Jaula de ardilla:** un rotor de jaula de ardilla es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama motor de jaula de ardilla, en su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula, el nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas). Este tipo de motor es el de mayor uso a nivel industrial, y será el que comúnmente se utilizado en sistemas de transporte.
- **Monofásicos:** motor de arranque a resistencia, posee dos bobinas una de arranque y una bobina de trabajo.
- **Motor de arranque a condensador,** posee un condensador electrolítico en serie con la bobina de arranque, la cual proporciona más fuerza al momento de la marcha y se puede colocar otra en paralelo la cual mejora la reactancia del motor permitiendo que entregue toda la potencia.

- Motor de marcha
- Motor de doble condensador
- Motor de polos sombreados o polo sombra
- Trifásicos: motor de inducción a tres fases, la mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V.
- El rotor devanado: el rotor devanado o bobinado, como su nombre lo indica, lleva unas bobinas que se conectan a unos anillos deslizantes colocados en el eje; por medio de unas escobillas se conecta el rotor a unas resistencias que se pueden variar hasta poner el rotor en corto circuito al igual que el eje de jaula de ardilla.

Para efectuar el cambio de sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna se siguen unos simples pasos tales como:

- Para motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque.
- Para motores trifásicos únicamente es necesario invertir dos de las conexiones de alimentación correspondientes a dos fases de acuerdo a la secuencia de trifases.

1.3.1.3. Regulación de velocidad

En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico

especial y la otra es variando la polaridad gracias al diseño del motor. Esto último es posible en los motores de devanado separado, o los motores de conexión Dahlander.

Características a tomar en cuenta

Para la aplicación de un motor en un sistema de transporte las características principales a tomar en cuenta son:

- Potencia
- Velocidad
- Tipo de alimentación

1.3.2. Sensores

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cuál pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Los descriptores estáticos definen el comportamiento en régimen permanente del sensor:

- Rango: valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- Exactitud: la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medidas y las reales.
- Repetitividad: la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- Reproducibilidad: tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
- Resolución: la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.
- Error: es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- No linealidades: la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal. No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.
- Sensibilidad: es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada: $s = \partial V / \partial x$
- Excitación: es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.

- Estabilidad: es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.

Descriptores dinámicos de un sensor

A continuación se listan los descriptores dinámicos de un sensor:

- Tiempo de retardo: es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el cincuenta por ciento de su valor final.
- Tiempo de subida: es el tiempo que tarda la salida del sensor hasta alcanzar su valor final. => velocidad del sensor, es decir, lo rápido que responde ante una entrada.
- Tiempo de pico: es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el pico máximo de su sobre oscilación
- Pico de sobre oscilación: expresa cuanto se eleva la evolución temporal de la salida del sensor respecto de su valor final.
- Tiempo de establecimiento: el tiempo que tarda la salida del sensor en entrar en la banda del cinco por ciento alrededor del valor final y ya no vuelve a salir de ella.

Sensores en un sistema de transporte

El uso de sensores es vital en un sistema automatizado ya que de alguna forma se debe hacer saber al cerebro de este sistema el estado operativo y/o el comportamiento actual de la carga transportada.

Dependiendo del tipo de carga que se transporta, así se elige el tipo de sensor a utilizar, aunque en su forma básica lo que se desea hacer es notar la presencia y comportamiento de la carga. Refiérase al comportamiento de la carga a la forma en que ella se mueve a lo largo de la línea de producción.

Se puede definir tres estados principales en los que la carga se puede encontrar:

- Carga en movimiento normal
- Carga detenida (por la acumulación en la fase siguiente)
- Ausencia de carga

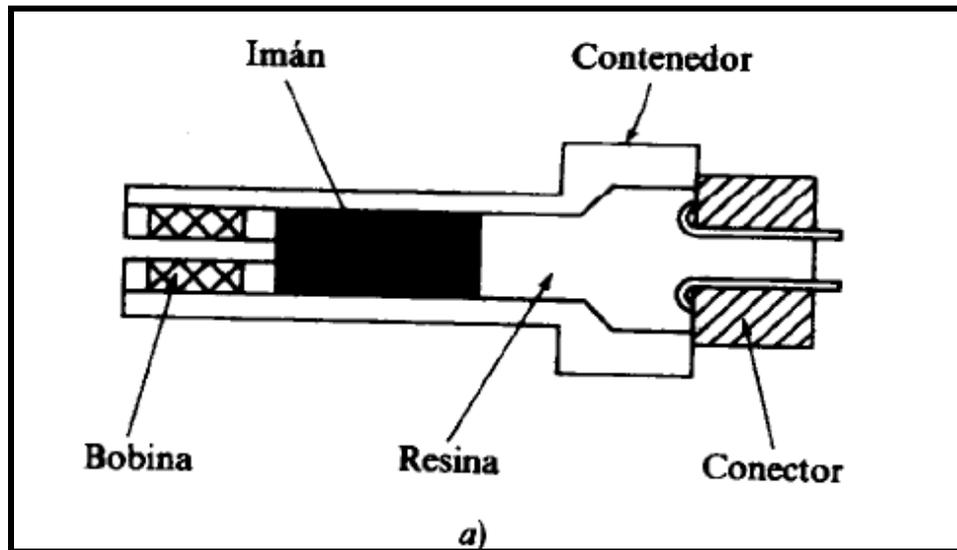
El comportamiento de la carga se verá reflejado en su presencia frente al sensor, para este fin se puede utilizar varios tipos de sensores los cuales se describen a continuación.

1.3.2.1. Sensores inductivos

En su forma más básica se utiliza la modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. Consiste en una bobina situada junto a un imán permanente. En condiciones estáticas no hay ningún movimiento en las líneas de flujo y no se induce ninguna corriente en la bobina.

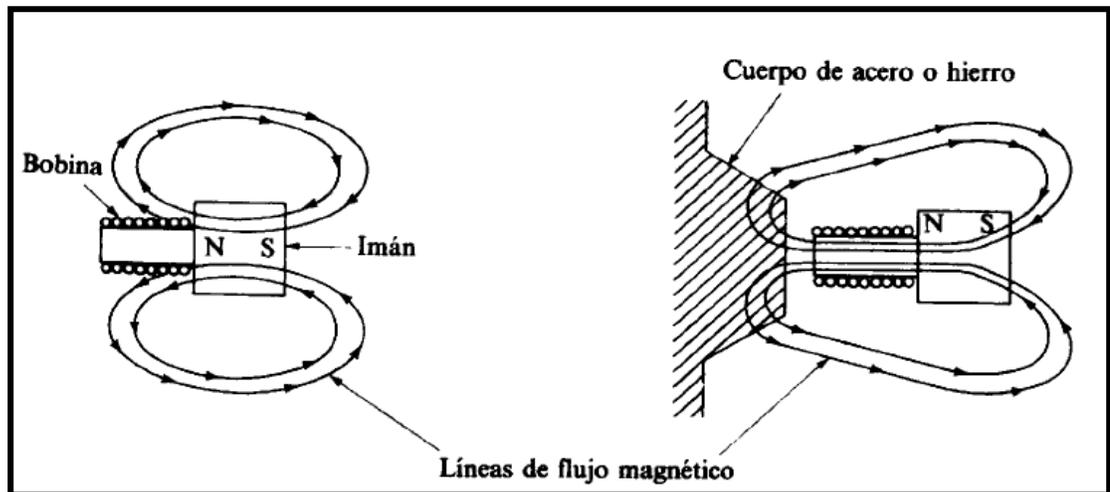
Cuando un objeto metálico penetra en el campo del imán o lo abandona, el cambio resultante en las líneas de flujo induce un impulso de corriente, cuya amplitud es proporcional a la velocidad del cambio del flujo. La forma de onda de la tensión a la salida de la bobina proporciona un medio para detectar la proximidad de un objeto.

Figura 10. Constitución interna de un sensor inductivo



Fuente: [<http://www.guemisa.com/articul/html/sensores.htm>] [Consulta: febrero de 2011].

Figura 11. Líneas de flujo magnético en un sensor inductivo



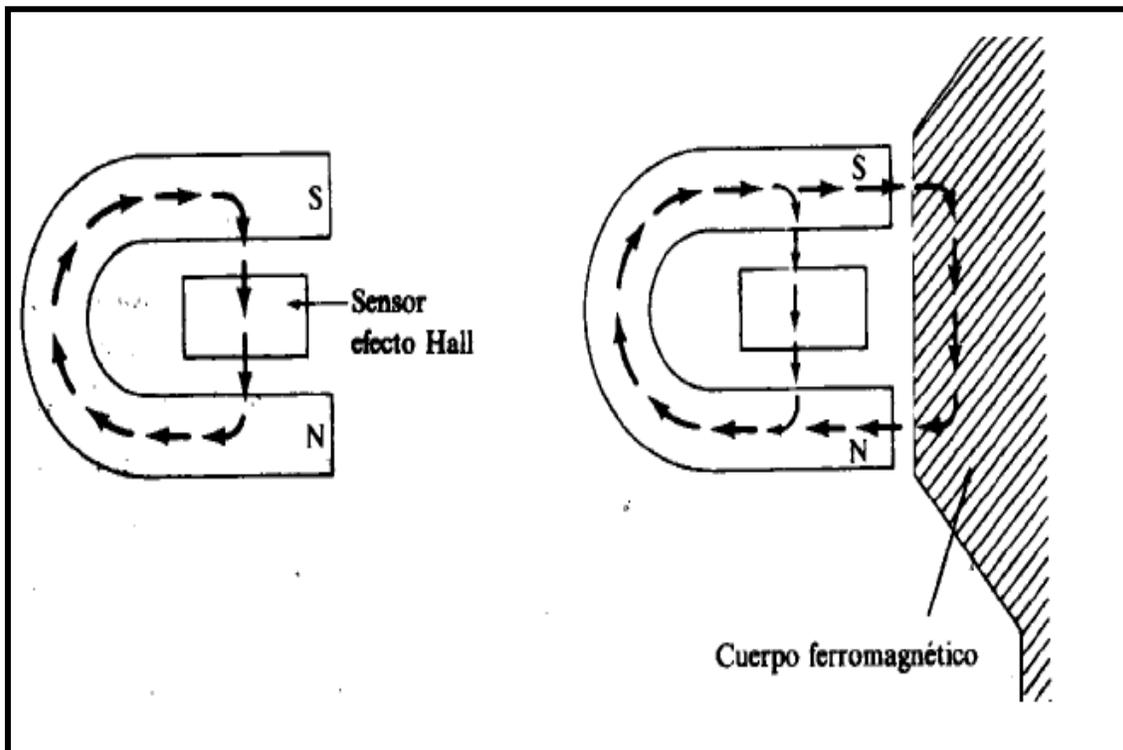
Fuente: [<http://www.guemisa.com/articul/html/sensores.htm>] [Consulta: febrero de 2011].

La figura 10 ayuda a comprender mejor la composición interna de un sensor inductivo y la figura 11, muestra las líneas de flujo magnético en el sensor cuando se acerca a un objeto.

1.3.2.2. Sensores de efecto Hall

Modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través de un material. Detección por un sensor de efecto Hall en conjunción con un imán permanente.

Figura 12. **Sensor efecto Hall**



Fuente: [<http://www.guemisa.com/articul/html/sensores.htm>] [Consulta: febrero de 2011].

En ausencia de material el sensor de efecto Hall detecta un campo magnético intenso. Cuando el material se aproxima al sensor el campo magnético se debilita en el sensor debido a la curvatura de las líneas de campo a través del material.

El efecto Hall se basa en el principio de la fuerza de Lorentz que actúa sobre una partícula cargada que se desplaza a través de un campo magnético:

$$F = q(v \times B)$$
$$V = \frac{B_f * i}{d}$$

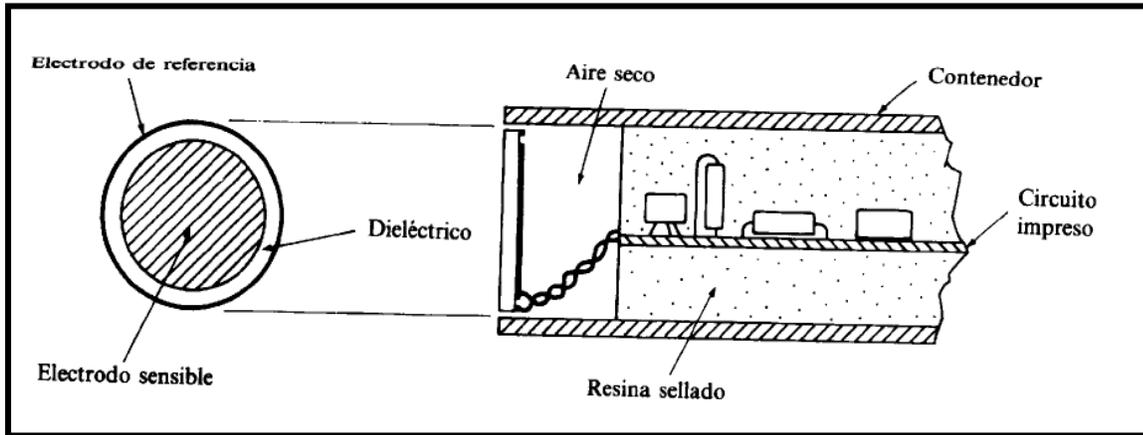
Ecuación 3 Fuerza de Lorentz

El sensor se construye con un semiconductor, y la detección se realiza a través del potencial medido entre los extremos del material.

1.3.2.3. Sensores capacitivos

En este tipo de dispositivos trabajan por medio de la modificación de la capacidad de un condensador por presencia de objetos sólidos

Figura 13. **Sensor capacitivo**



Fuente: [<http://www.guemisa.com/articul/html/sensores.htm>] [Consulta: febrero de 2011].

En la figura 13 se ve como el elemento sensor es un condensador constituido por un electrodo sensible y un electrodo de referencia separados por un dieléctrico, una cavidad de aire seco para aislar y un conjunto de circuitos electrónicos.

$$C = \epsilon_a \frac{S}{d}$$

Ecuación 4 Capacitancia

Utilizado como medidor de desplazamiento, se consigue haciendo que el desplazamiento a medir provoque un desplazamiento en algún componente del condensador => cambio en su capacidad.

El elemento capacitivo es parte de un circuito que es excitado de manera continua por una forma de onda sinusoidal de referencia. Un cambio en la

capacidad, produce un desplazamiento de fase entre la señal de referencia y una señal obtenida a partir del elemento capacitivo.

El desplazamiento de fase es proporcional al cambio de capacidad, este cambio se utiliza para detección de proximidad.

- La capacidad varía con la distancia a la que está el objeto
- La capacidad depende del material objeto de detección

Figura 14. **Imagen de un sensor capacitivo**



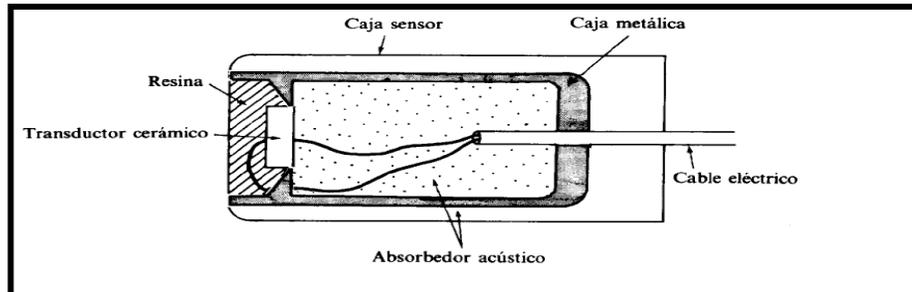
Fuente: [<http://zensotec.com/sensor-inductivo-2hilos-sensores-de-proximidad>] [Consulta: febrero de 2011].

1.3.2.4. Sensores ultrasónicos

Modificación de la distancia de objetos mediante la detección de ecos de ultrasonidos. Las ondas ultrasónicas tienen la capacidad de que cuando viajan por un medio cualquiera son reflejadas si encuentran en su camino una discontinuidad o algún elemento extraño.

La reflexión de la onda es debida a la diferencia de impedancias acústicas entre el medio y el objeto. El tiempo de espera entre el envío de la onda ultrasónica hasta su recepción se denomina tiempo de eco, y es utilizado para determinar la distancia al objeto.

Figura 15. **Sensor ultrasónico**



Fuente: [<http://www.guemisa.com/articul/html/sensores.htm>] [Consulta: febrero de 2011].

El elemento básico es un transductor electroacústico, de tipo cerámico piezoeléctrico. La capa de resina protege al transductor contra la humedad, polvo y otros factores ambientales. Absorbedores acústicos, se utilizan para amortiguar rápidamente la energía acústica, para detectar objetos a pequeñas distancias, ya que el mismo transductor se utiliza como emisor y como receptor. Dentro de sus limitaciones se pueden mencionar: Los ángulo de incidencia de la onda sobre el objeto; la temperatura induce cambios en la densidad del aire => cambio en la velocidad de propagación de la onda, aire, superficie del objeto, distancia mínima detectada, la forma de onda es cónica y solo detecta objetos dentro del cono del ultrasonido, falsos ecos, etc.

Figura 16. **Imagen de un sensor ultrasónico**



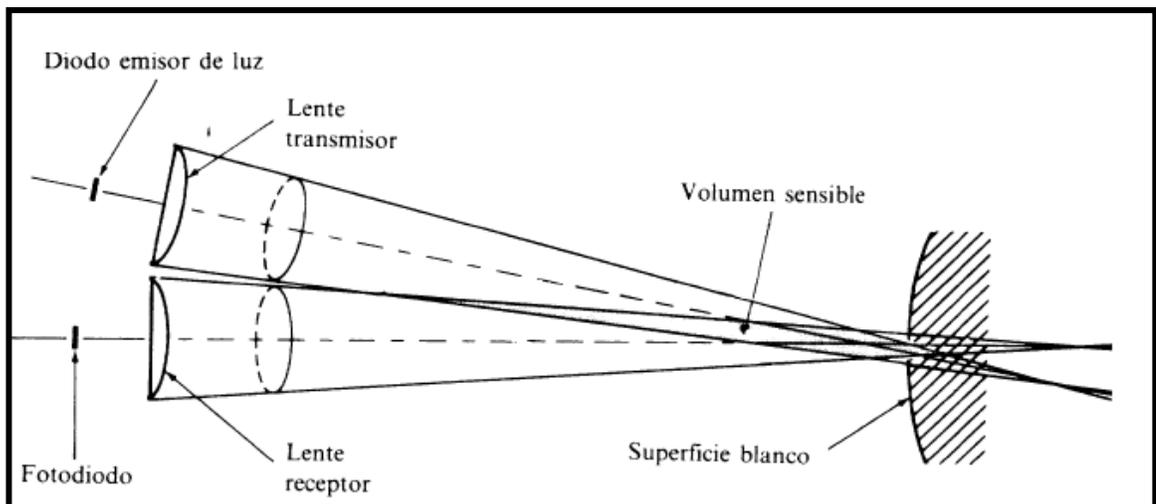
Fuente: [<http://zensotec.com/sensor-inductivo-2hilos-sensores-de-proximidad-30x15mm-6-36vdc-con-conector-no-zi303015lat4>] [Consulta: marzo de 2011].

1.3.2.5. Sensores ópticos

Se componen de un emisor y un receptor óptico, el emisor envía un haz de luz que debe ser recibido por el receptor, la forma de trabajo puede variar de un modelo a otro, dependiendo de la aplicación que se trabaje, por ejemplo, se puede tener emisor y receptor separados en diferentes dispositivos, también se construyen con el emisor y el receptor en un solo dispositivo y se utiliza un reflector para poder enviar la luz de regreso al dispositivo, de manera que, si el haz de luz se interrumpe el dispositivo se activa.

En otra aplicación, no es necesario el espejo reflector, por lo que el propio cuerpo que se coloca frente al sensor tiene la propiedad de reflejar la cantidad de luz necesaria hacia el receptor de manera que cuando el objeto se encuentra frente al dispositivo la luz se refleja y el dispositivo se activa.

Figura 17. Funcionamiento de un sensor óptico



Fuente: [<http://www.guemisa.com/articul/html/sensores.htm>] [Consulta: marzo de 2011].

Los conos de luz formados enfocando la fuente y el detector en el mismo plano intersectan en un volumen largo. Este volumen define el campo de operación del sensor, puesto que una superficie reflectora que intersecta ese volumen se ilumina por la fuente y es vista simultáneamente por el receptor.

Sensor con salida binaria: un objeto se detecta cuando se recibe una intensidad de luz superior a un umbral preestablecido.

Figura 18. **Sensores ópticos**

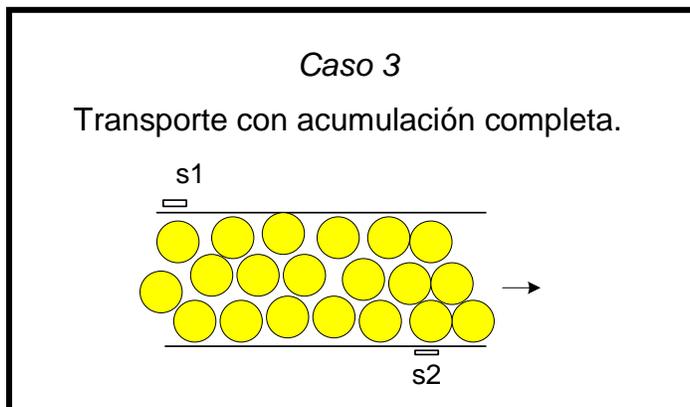
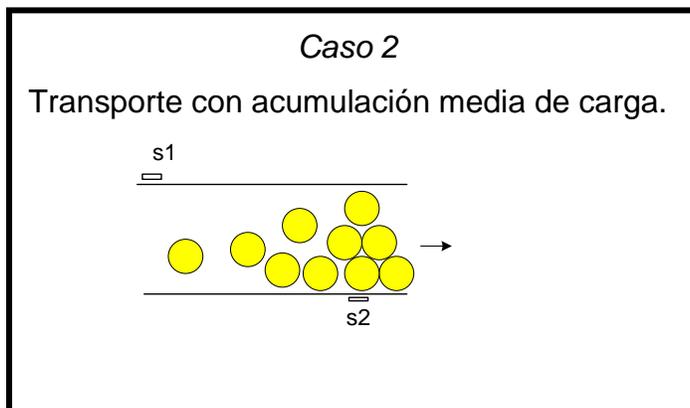
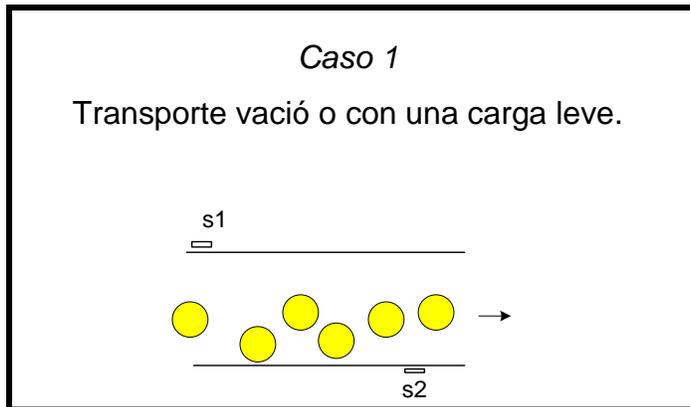


Fuente: [<http://zensotec.com/sensor-optico>] [Consulta: marzo de 2011].

1.3.2.6. Uso de los sensores en sistemas automatizados de transporte

Para los fines se utilizarán 2 sensores colocados al inicio y al final del tramo de transporte que automatizará, de manera que se puede definir por medio de su estado la cantidad de carga que tiene y el comportamiento que tiene.

Figura 19. Posibles escenarios de acumulación y movimiento de carga en una sección de transporte



Fuente: elaboración propia.

1.3.3. Variación de velocidad

La variación de velocidad que se presenta en la carga a lo largo de la línea de producción tiene como fin primordial cambiar el comportamiento sobre la carga, ya sea por alineación o agrupación necesaria de la misma. Sin embargo se ha de considerar también que al variar la velocidad de un transportador se está ahorrando energía durante los momentos en que la velocidad máxima del transporte no es completamente necesaria. Este punto se tratará durante el capítulo tres por el momento se definen los siguientes sistemas para la variación de velocidad de un motor.

1.3.3.1. Variadores mecánicos

Este tipo de variador consiste en juegos de engranajes que reducen la velocidad del motor y un timón que al girarlo provoca que internamente los engranajes se desplacen sobre un cono dentado, este desplazamiento provoca el cambio en la relación existente y por consiguiente el cambio en la velocidad entregada a la salida del variador. Por lo que se ve, la variación en este caso no se hace manipulando al motor sino por medio de un ajuste mecánico a la salida del mismo.

Figura 20. **Variador mecánico**



Fuente: [<http://www.productosindustriales.es/variador-mecanico.htm>] [Consulta: febrero de 2011].

Tabla I. **Características de un variador mecánico**

Modelo	Línea VARIBLOC	
Rango de Potencia	Desde 45.0 Kw.	0.37
Velocidades	Hasta 4690 rpm.	
Torques de Salida	Hasta 48296 Nm.	

Fuente: SEW eurodrive base de datos de EDS.

1.3.3.2. Variadores electrónicos

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: *Variable Frequency Drive* o bien AFD *Adjustable Frequency Drive*) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

Principio de funcionamiento

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de Corriente Alterna (CA) está determinada

por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

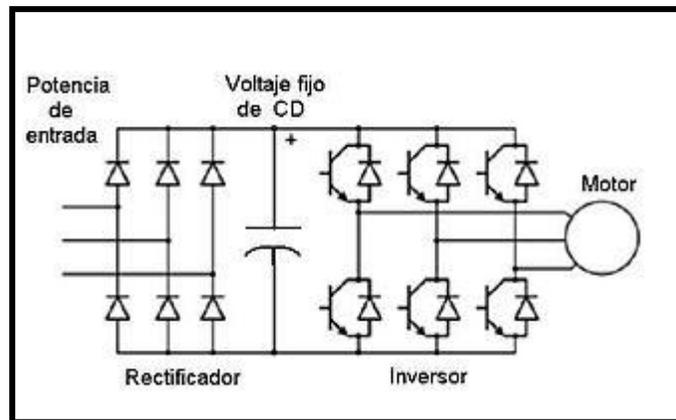
$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

Ecuación 5 Cálculo de RPM para un motor

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50Hz o 60Hz. El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador.

La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un *convertidor de fase*, un variador de velocidad).

Figura 21. **Diagrama de Variador de Frecuencia con Modulación de Ancho de Pulso (PWM)**



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia] [Consulta: marzo de 2011].

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores fueron introducidos en los VFD, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponible. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores. Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada.

Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7.67 \text{ V/Hz}$ en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general. El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por PWM.

Actualmente en el mercado las presentaciones de los variadores de velocidad para motores AC están equipados con un panel digital, el cual es la interfaz para la programación del mismo, dependiendo del modelo y marca escogidos, se puede obtener desde un variador con sencillos displays de 7 segmentos, hasta una pantalla de matriz lcd.

Aunque las características de programación son similares, por ejemplo, rampas de aceleración, programación de entradas y salidas, frecuencia, etc., lo amigable, versátil y funcional que pueda ser un variador es lo que se deberá tomar en cuenta al momento de elegir un modelo. En el apéndice se encuentra una tabla con valores y características generales que se toman en cuenta y utilizan en la mayoría de variadores.

2. AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE

No se debe olvidar el importante papel que juega el transporte de la carga a lo largo de la línea de producción, sea un sistema funcionando actualmente o un proyecto a desarrollar.

El sistema de transportes es un hilo del que depende toda línea de producción, aunque menospreciado por su fidelidad (si este no falla con regularidad), una falla por mínima que parezca puede conducir al paro completo de la línea de producción.

El considerar al sistema de transportes un sistema básico y sencillo genera la idea errónea de no invertir en él y construirlo del modo más económico posible. Esta decisión trae de vuelta un gasto mayor a la inversión que en su momento se pudo haber hecho en él.

La idea general sobre el comportamiento de un transporte automatizado es la siguiente: Si un equipo de proceso se detiene el sistema automatizado disminuye gradual y armónicamente la velocidad de las bandas y si es necesario, detenerlas.

2.1. Ventajas de un transporte automatizado

El equipo siguiente al que se debe dirigir la carga está provocando acumulación por paros cortos, puede ser un problema operativo o una falla en el equipo.

2.1.1. Ahorro de energía al regular la velocidad de los motores

Con un transporte automatizado, el sistema se encarga de reducir la velocidad de los transportadores o detenerlos por completo si la acumulación ha llenado por completo el tramo de carga. Dependiendo del nivel de automatización se puede tener simplemente un sistema de arranque y paro de transportadores, sin embargo el algoritmo que se propone incluye el manejo de 3 velocidades distintas dependiendo de las condiciones que presente la línea de producción en su flujo.

Al disminuir la velocidad de un transporte, o detenerlo por completo se ahorra la energía que un transporte no automatizado consumiría, ya que durante esos momentos no es necesario mantener las bandas transportadoras funcionando porque obviamente la carga no tiene lugar hacia donde moverse.

2.1.2 Disminución del riesgo de dañar la carga

Cuando la acumulación alcanzó a llenar por completo el transportador con carga, hay un aumento de presión en la carga, esta presión es provocada por la misma carga, haciendo que los elementos se presionen unos contra otros o contra los rieles, guías o bordes del transporte, si bien es cierto que al tener lubricantes para disminuir la fricción entre la carga y las bandas o cadenas transportadoras.

Siempre existe este factor y por lo tanto al sumar cada una de estas fuerzas cuando la carga se encuentra acumulada resulta en una fuerza que sobre el área de contacto entre cargas se convierte en una presión que puede dañar el producto, si se está transportando productos delicado cuya

presentación se puede ver fácilmente afectada por el maltrato físico, éste es un factor importante a tomar en cuenta.

En otro caso, si se transporta un producto que por su misma constitución física se debe incluir un lubricante con un coeficiente de fricción dinámica mayor, es muy probable que si la carga se encuentra inmóvil en un punto del transporte pero la banda sigue avanzando, la fricción entre la banda y la carga puede dañar la superficie de contacto que existe entre ellas. Un sistema automatizado al disminuir la velocidad o detener dicha sección de transporte, disminuye el riesgo que puede correr la carga de ser dañada.

2.1.3. Disminución del desgaste físico en el sistema de transporte

Mediante la reducción de la velocidad o paro total del sistema de transporte se disminuye el desgaste físico de los componentes que lo constituyen. Cada uno de los componentes que se encuentran en movimiento en el sistema reducirá la cantidad de tiempo que pasa friccionando con otro, ya sea que el otro componente se encuentre también en movimiento o estático, en cualquier caso, este tiempo disminuye y por lo tanto aumenta su tiempo de vida.

Con un mayor tiempo de vida en los componentes se reduce la cantidad de tiempo invertida en mantenimiento preventivo, se reduce la necesidad de un mantenimiento correctivo y todo esto en conjunto refleja un ahorro en repuestos y el costo que junto con el mantenimiento se adhiere a los costos de producción. En el mantenimiento del equipo con un tiempo de vida mayor el reemplazo de piezas por desgaste será menor con el sistema de transporte automatizado.

2.1.4. Mejora la fluidez de la carga en los equipos de proceso

Contribuye al balanceo de la línea de producción ó una línea de ensamble. Una línea de ensamble junta las partes fabricadas en una serie de estaciones de trabajo. Ambas pertenecen a los procesos repetitivos y en ambos casos la línea debe ser balanceada. Es decir, el trabajo llevado a cabo en una máquina debe balancear el trabajo realizado por la siguiente. De la misma manera en que se debe balancear la actividad realizada por un empleado en una estación de trabajo dentro de una línea de ensamble, esto mismo debe llevarse a cabo con el trabajo hecho en la siguiente estación de trabajo por el siguiente empleado.

Las líneas de producción tienden a estar acompasadas por las propias máquinas. Las líneas de ensamble, por lo tanto, pueden ser balanceadas moviendo las tareas de un individuo a otro. De esta manera, la cantidad de tiempo requerido por cada individuo o estación se iguala.

El problema central en la planeación de la distribución orientada al producto es balancear la salida de cada estación de trabajo en la línea de producción, de tal forma que sea casi igual, mientras se obtiene la cantidad de salida deseada.

La meta de la administración es crear un flujo continuo suave sobre la línea de ensamble, con un mínimo de tiempo ocioso en cada estación de trabajo de la persona.

“Una línea de ensamble bien balanceada tiene la ventaja de la gran utilización del personal, y de la instalación y equidad entre las cargas de trabajo de los empleados.” Michael L., *Operación de las plantas industriales*.

3. ALGORITMO GENÉRICO DE AUTOMATIZACIÓN

Pensar simplemente en el arranque y paro de los motores en el transporte utilizando un simple sensor como elemento de decisión, es una idea errónea sobre un transporte automatizado.

Mantener el concepto que expone la teoría de balanceo de líneas, es necesario conocer el flujo que se debe mantener en los equipos de proceso en relación a la carga. La idea de generar un algoritmo para la automatización es principalmente mantener en funcionamiento la mayor cantidad de tiempo el equipo que marca la Eficiencia Global de Equipo (de aquí en adelante llamada EGE), esto lo se logra al mantener la fluidez de la carga en la línea y un balanceo correcto en su recorrido.

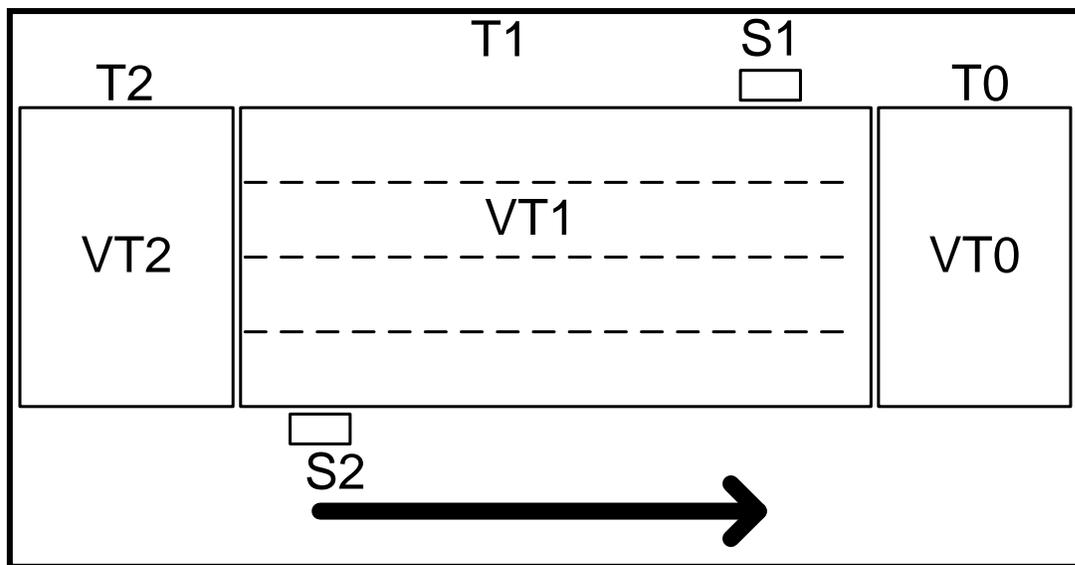
El algoritmo será generado para poder aplicarse a cualquier tipo de carga uniforme, con variables fáciles de obtener y un procedimiento sencillo de aplicación. El algoritmo consiste en disminuir la velocidad de una sección del transporte cuando la sección siguiente (ya sea un equipo o un tramo más de transporte) disminuya su velocidad ó se encuentre detenida, si el paro es mayor y la sección presente se llenó de producto, será entonces necesario detener el transporte, durante el proceso de funcionamiento normal, reducción de la velocidad y paro de la sección presente, existirá comunicación constante hacia el sistema central el cual definirá el comportamiento general del transporte.

De manera que la velocidad de una sección de transporte dependerá de la velocidad de la sección siguiente y su estado presente afectará la velocidad de la sección anterior.

3.1. Variables

El escenario en que se desenvuelve un transporte es el siguiente, en el mismo se marcan las variables a tomar en cuenta.

Figura 22. Escenario de una sección de transporte



Fuente: elaboración propia.

Con base en la figura 22 se puede ver que dependiendo de la posición en la que se encuentre la sección de transporte a la que se va a aplicar el algoritmo, se tienen tres posibilidades:

- La sección se encuentra después de una máquina del proceso
- La sección se encuentra en medio de dos secciones de transporte
- La sección se encuentra antes de una máquina

Independientemente de la situación, se tienen las mismas variables para regular el transporte y las mismas salidas hacia el equipo anterior.

Al definir las variables de entrada se tiene:

- Velocidad del equipo previo a la sección de transporte **VT0**
- Estado de los sensores en la sección de transporte **S1** y **S2**

De manera que las variables de salida son:

- Velocidad de la sección de transporte **VT1**
- La velocidad **VT1** se indicará en una salida lógica hacia el equipo anterior a la sección

La velocidad a la que se debe mover nuestra sección de transporte depende del flujo de carga que se desea mover, de manera que se define las tres velocidades a utilizar de la siguiente forma:

- 0 = Paro del transporte
- 1 = Caudal de entrada igual al caudal de salida (velocidad media)
- 2 = Flujo de entrada menor al flujo de salida (velocidad máxima)

Al asumir que las condiciones de trabajo de los equipos de producción son solamente activo e inactivo, las variables anteriormente presentadas se encuentran involucradas en cualquier tipo de transporte.

3.2. Desarrollo y presentación del algoritmo

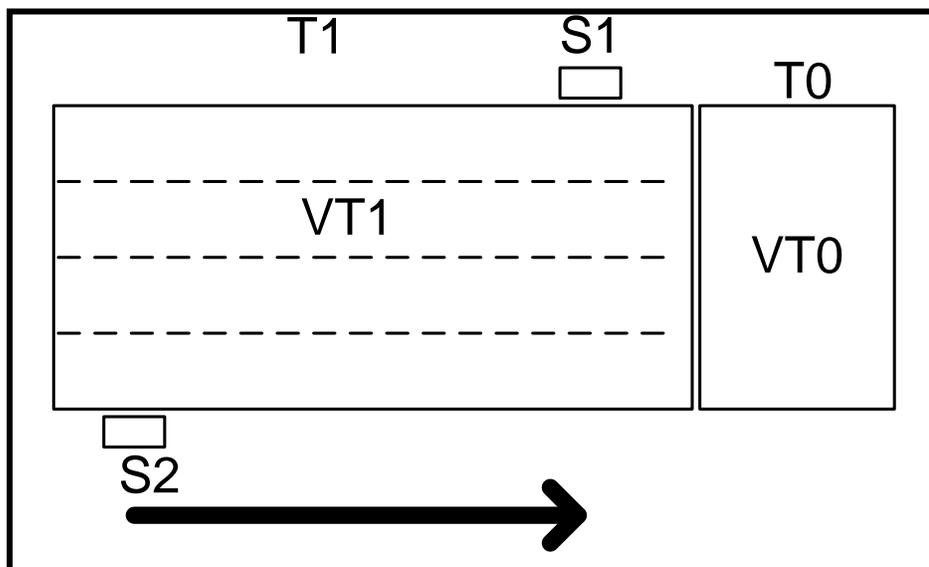
Al tomar en cuenta los temas anteriormente expuestos se explica el desarrollo del algoritmo de automatización.

Se presentan tablas de verdad y diagramas lógicos para el desarrollo del algoritmo, la implementación se puede hacer sobre cualquier dispositivo lógico programable.

3.2.1. Escenario 1

La sección de transporte a ser automatizada se encuentra antes de un equipo de producción como indica la figura 23.

Figura 23. Variables de entrada



Fuente: elaboración propia.

En consecuencia a las variables pueden trabajar bajo las siguientes tablas de verdad:

- Estado del equipo de producción (0= inactivo, 1= activo)
- Estado de los sensores de acumulación (0 = inactivo, 1= activo)

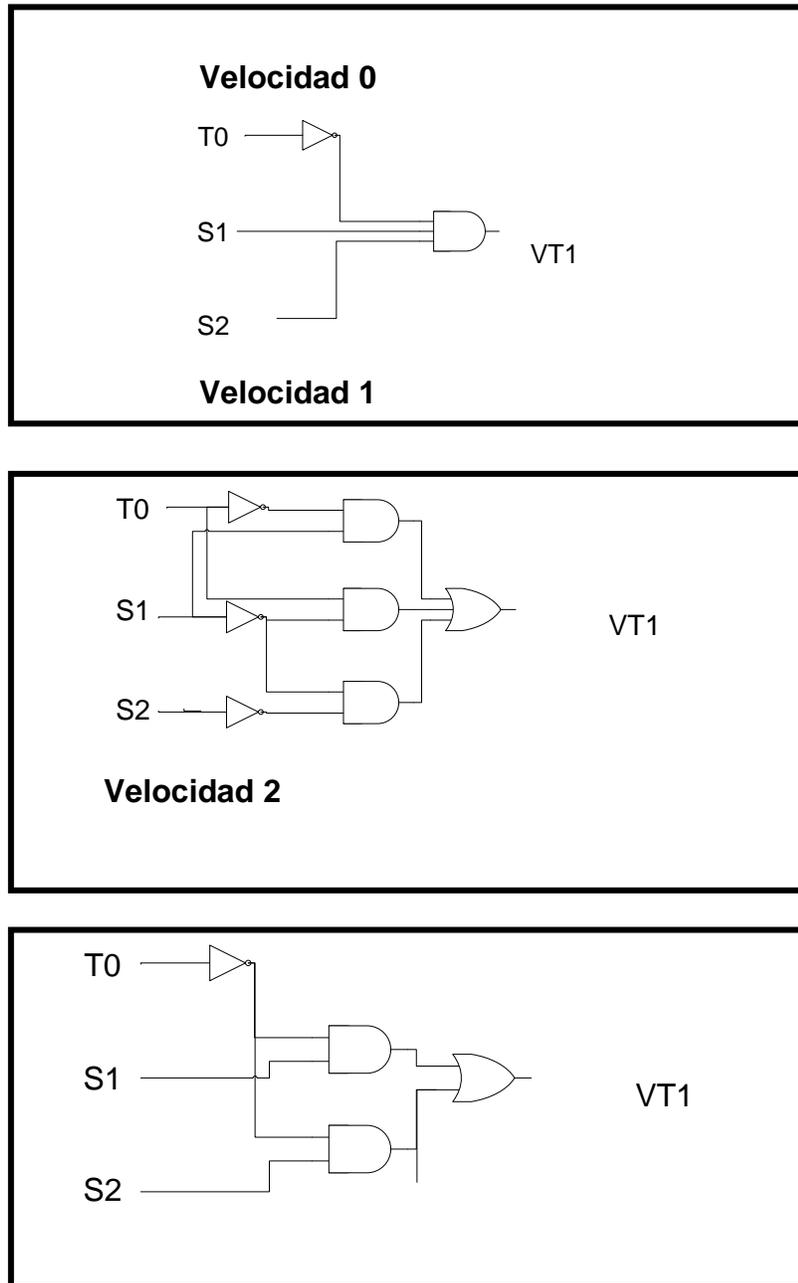
Tabla II. **Operaciones lógicas para velocidades en escenario 1**

Para Velocidad 0				Para Velocidad 1				Para Velocidad 2			
T0	S1	S2	VT1	T0	S1	S2	VT1	T0	S1	S2	VT1
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

En la figura 24 se muestran los diagramas obtenidos de la tabla de verdad expuesta en la tabla II.

Figura 24. **Diagramas lógicos para la implementación de 3 velocidades en escenario 1**

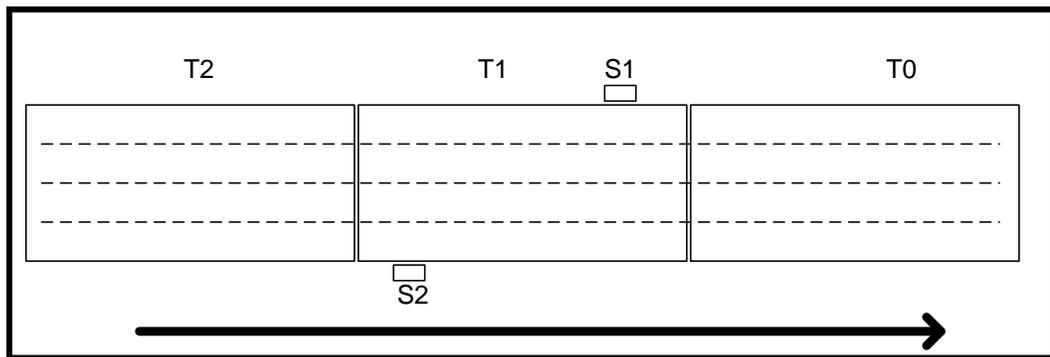


Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Escenario 2

La sección de transporte se encuentra en medio de dos secciones de transporte.

Figura 25. Escenario 2



Fuente: elaboración propia.

Variables de entrada:

Velocidad del transporte siguiente (0= sin movimiento, 1 = velocidad media, 2= velocidad máxima)

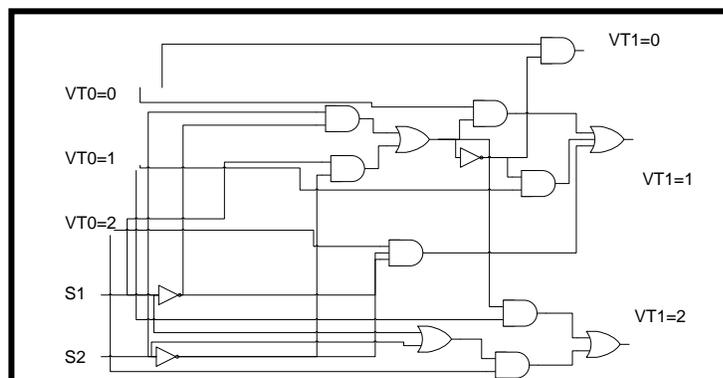
Estado de los sensores de acumulación en la sección presente T1

Tabla III. Operaciones lógicas para velocidades en escenario 2

VT0	S1	S2	VT1
0	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0
1	0	0	1
	0	1	2
	1	0	2
	1	1	1
2	0	0	1
	0	1	2
	1	0	2
	1	1	2

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Diagrama lógico para la implementación del escenario 2

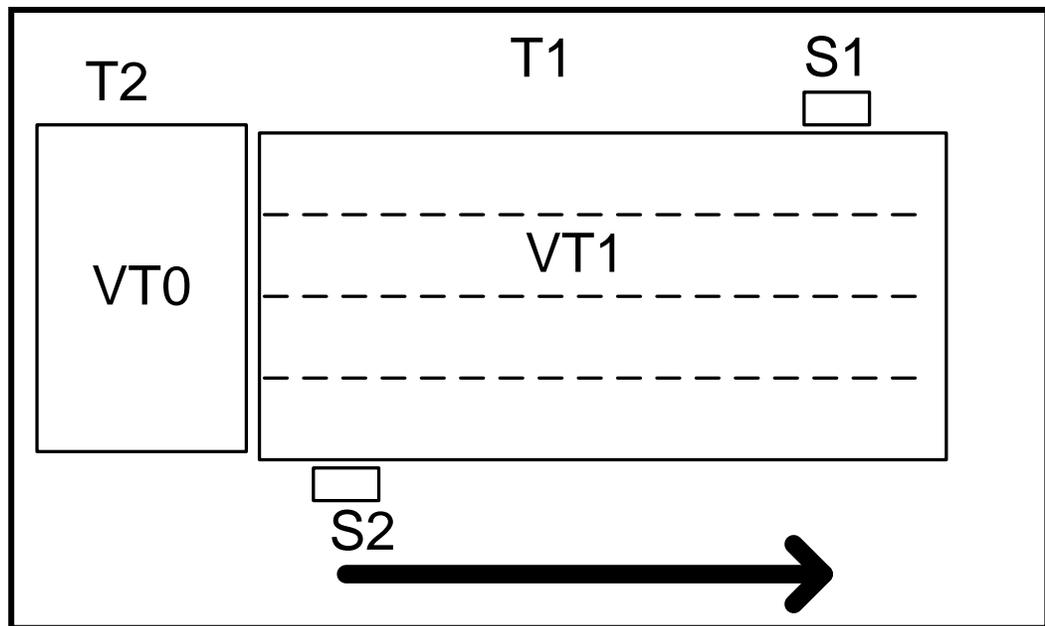


Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Escenario 3

La sección de transporte se encuentra después de un equipo de producción, por lo que es necesario enviar las señales de regulación de velocidad al equipo anterior.

Figura 27. Escenario 3



Fuente: elaboración propia.

Para este escenario se toma el estado actual de la sección de transporte para comunicarle al equipo anterior cuál es el comportamiento apropiado a seguir, por esta situación se tiene la siguiente tabla de verdad:

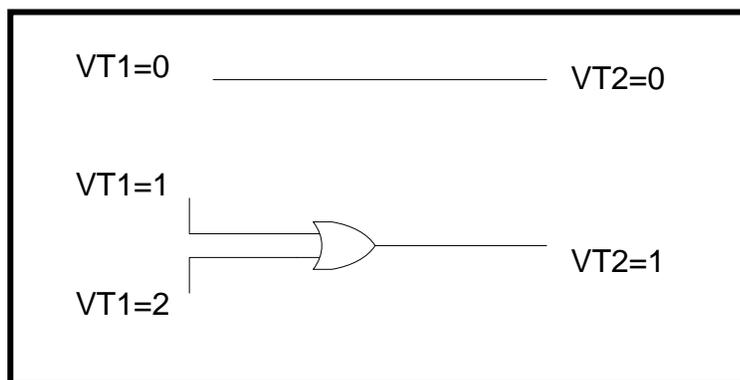
Tabla IV. **Operaciones lógicas del escenario 3**

VT1	T2
0	0
1	1
2	1

Fuente: elaboración propia.

La activación del equipo anterior se recomienda hacerla después de un tiempo prudente, cuando se hace una transición de 0 a 1, esto es posible realizarlo utilizando un temporizador. Si el equipo que recibe la señal del sistema de transporte, permite ser programado para trabajar en más de una velocidad a partir de una entrada lógica, es posible enviarle directamente la señal de VT1 para que trabaje en armonía con el sistema.

Figura 28. **Diagrama lógico para la implementación del escenario 3**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Formas de automatización

Analizando los diagramas lógicos presentados anteriormente se ve que son factibles dos métodos de automatización:

- Relevación
- PLC

La utilización del método de implementación dependerá de la cantidad de secciones de transporte que se desea automatizar. Esto se debe al nivel de complejidad y de inversión que se puede obtener con cada método, por ejemplo, una sección pequeña y sencilla de transporte puede no necesitar o contar con todas la funcionalidades o escenarios que se presentaron, por lo que la inversión de un Controlador Lógico programable, por sus siglas en inglés, PLC (a partir de este punto se hará referencia simplemente como PLC) puede estar fuera del alcance del presupuesto o incluso puede ser una solución holgada para la tarea.

De igual forma si el sistema de transporte es de mayor tamaño, aumentará la complejidad de construir un sistema automatizado a base de relevación, sin mencionar las dimensiones que puede llegar a tener dicho sistema y también las complicaciones que existen detrás de estos sistemas cuando se intenta encontrar una falla.

Por otro lado al tener un sistema más complejo de transportadores es conveniente considerar la gran ventaja que ofrece el uso de un PLC para la implementación del proyecto, el desarrollo del mismo puede tener un alcance que dependerá del nivel de inversión que se pueda hacer, tomando en cuenta

siempre que dicha inversión debe ser recuperada mas adelante a través del ahorro que se está generando al aplicar la solución.

3.4. Alcances del algoritmo

Dado que la variable principal a tomar en cuenta para la implementación del algoritmo es, el flujo de la materia que está siendo procesada, se puede utilizar el algoritmo no solo para cargas que se mueven sólidamente y cuya cantidad se puede medir en dos dimensiones o contando unidades exactas (en el caso de las botellas), sino el balanceo y fluidez propios del sistema depende de la armonía con la que éste opere.

Se concluye entonces, que el algoritmo se puede aplicar también a cargas que no son unidades físicas enteras (latas, botellas, cajas, etc.), la carga también puede ser medida en unidades volumétricas. Por ejemplo si el transporte lleva arena sobre bandas por lo que las unidades de medida se convierten en centímetros cúbicos, si el sistema transporta líquidos las unidades serán también volumétricas y el caudal será el volumen sobre el tiempo que se transportará la carga.

Con este nuevo punto de vista se tienen nuevos alcances para la aplicación del algoritmo, donde la variable principal es el caudal y los dispositivos a controlar no son necesariamente motores. En una planta de tratamiento de agua la materia a transportar es líquido, el caudal es ml/s o m³/min., y los dispositivos a variar de velocidad son bombas de agua.

Aplicaciones diferentes pueden ser: la producción de ropa en una maquila, donde como variadores de velocidad es posible implementar señales visuales que indiquen a los operadores su velocidad a seguir.

4. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

El escenario en el que se desarrollará el análisis económico será sobre una línea con 10 secciones de transporte. La selección de los materiales para la construcción de una sección de transporte depende del tipo de carga a transportar, por esta razón, obviando la construcción del transporte como tal, el enfoque del análisis económico es la solución electrónica del transporte.

El escenario del análisis de costos, se hace sobre una línea que ha cubierto un turno de 10 horas de producción continua y con una Eficiencia Global de Equipo de 85%, lo cual indica que la línea estuvo parada durante 1.5 horas en total, en 30 lapsos de 3 minutos cada uno, en los cuales al transporte le toma 5 minutos llenarse y 5 minutos más en volver a fluir normalmente después del paro.

4.1. Costo sin automatización

Los componentes del transporte sin automatización son:

- 10 Motores
- 10 Contactores
- Misceláneos (cable, borneras, terminales, tornillos, Switches, etc.)

Este listado de materiales se apega a la implementación normal del sistema, en ella se incluyen los gastos en el consumo de energía eléctrica.

Tabla V. **Costos de implementación para el sistema sin automatización**

Costos a implementar	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Totales
Motores	\$ 3,500.00					\$ 3,500.00
Contactores	\$ 200.00					\$ 200.00
Miscelaneos	\$ 1,200.00					\$ 1,200.00
implementacion	\$ 2,000.00					\$ 2,000.00
Mantenimiento	\$ 1,000.00		\$ 5,000.00			\$ 6,000.00
Consumo energetico mensual	\$ 7,700.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 39,210.00
Totales	\$ 15,600.00	\$ 8,400.00	\$ 13,400.00	\$ 8,400.00	\$ 8,400.00	\$ 52,110.00

Fuente: elaboración propia.

4.2. Costo con relevación

Como se mencionó anteriormente, este tipo de solución debe de plantearse cuando el sistema de transporte es pequeño y no amerita una inversión mayor con un PLC, sin embargo cuando el sistema crece, la complejidad del sistema relevado es mayor, de manera que la mejor opción será un sistema utilizando PLC.

Los materiales a considerar son:

- Relevadores
- Misceláneos

Tabla VI. **Análisis económico de la propuesta utilizando relevadores**

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Totales
Relevadores	\$ (1,200.00)					\$ (1,200.00)
Miscelaneos (cables, botoneras, canaletas,etc)	\$ (500.00)					\$ (500.00)
Costos de Implementación	\$ (800.00)					\$ (800.00)
Costos de mantenimiento			\$ (600.00)			\$ (600.00)
Egresos Totales	\$ (2,500.00)	\$ -	\$ (600.00)	\$ -	\$ -	\$ (3,100.00)
INGRESOS POR IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA						
Ingresos por medio del ahorro energetico	\$ 990.00	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00	\$ 5,390.00
Ingresos Totales	\$ 990.00	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00	\$ 5,390.00
Total Ingresos - Egresos	\$ (1,510.00)	\$ 1,100.00	\$ 500.00	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00	\$ 2,290.00
Ingresos - Egresos Acumulados	\$ (1,510.00)	\$ (410.00)	\$ 90.00	\$ 1,190.00	\$ 2,290.00	
Tasa de Interés (Máxima Bancaria)	5%					
VAN	\$1,041.06					
TIR (Tasa Interna de Retorno)	20%					

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI se presenta el análisis de la inversión que se debe hacer para poder implementar el sistema automatizado utilizando relevadores. Los ingresos representan la diferencia que existe en el consumo energético entre el transporte sin automatizar y esta propuesta.

4.3. Costo de automatización utilizando un PLC

Para este escenario es importante considerar que el sistema puede crecer a un nivel más complejo y de mayor capacidad, sin importar el tamaño del sistema, lo único que se agregará serán líneas de programación y probablemente módulos de expansión I/O. Por ser dispositivos sólidos de conmutación no existe un desgaste físico en el movimiento mecánico de sus componentes, a diferencia de la solución de relevación.

Los materiales a considerar son:

- Variador de frecuencia
- PLC
- Módulos I/O
- Misceláneos

Tabla VII. **Análisis económico de la propuesta utilizando PLCs como medio de automatización**

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Totales
Fuente	\$ (300.00)					\$ (300.00)
PLC CPU	\$ (300.00)					
Modulos I/O	\$ (900.00)					
Variadores	\$ (4,000.00)					
Miscelaneos (cables, botoneras, canaletas, etc)	\$ (800.00)					\$ (800.00)
Costos de Implementación	\$ (800.00)					\$ (800.00)
Costos de mantenimiento			\$ (600.00)			\$ (600.00)
						\$ -
Egresos Totales	\$ (7,100.00)	\$ -	\$ (600.00)	\$ -	\$ -	\$ (7,700.00)
						\$ -
						\$ -
INGRESOS POR IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA						
Ingresos por medio del ahorro energetico	\$ 2,800.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 14,800.00
Ingresos Totales	\$ 2,800.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 14,800.00
Total Ingresos - Egresos	\$ (4,300.00)	\$ 3,000.00	\$ 2,400.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 7,100.00
Ingresos - Egresos Acumulados	\$ (4,300.00)	\$ (1,300.00)	\$ 1,100.00	\$ 4,100.00	\$ 7,100.00	
Tasa de Interés (Máxima Bancaria)	5%					
VAN	\$4,611.96					
TIR (Tasa Interna de Retorno)	28%					

Fuente: elaboración propia.

Dentro de los ingresos se toma en cuenta también que la línea mantendrá un mejor flujo de la carga y por ende contribuye a mejorar la eficiencia de la línea.

CONCLUSIONES

1. En la construcción del algoritmo las variables de entrada son sencillas de obtener para la implementación, por lo que la recolección de datos se facilita de manera que la etapa de construcción y desarrollo del proyecto es corta.
2. El consumo de energía eléctrica total de un transporte automatizado utilizando relevación logra un ahorro de 13.09 % en comparación con el sistema no automatizado, al utilizar el algoritmo con la automatización con PLC el ahorro asciende al 35.71 %.
3. El Valor Actual Neto (VAN) de la implementación es de \$ 4 611,96 y tiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 28 %. Con este análisis se ha concluido que es factible la implementación del algoritmo, ya que un valor aceptable para la implementación de un proyecto es del 20 %.

RECOMENDACIONES

1. Tomar las variables sugeridas para implementar el algoritmo de manera que no sea complicado su desarrollo.
2. Realizar una evaluación detallada en los costos operativos, de implementación, para obtener una evaluación económica real y de esta manera garantizar la factibilidad del proyecto (no obviar costos) Una evaluación integral de las soluciones para decidir sobre el tipo de implementación. (licencias, software, mantenimientos).
3. Evaluar la eficiencia energética del sistema actual y comparar con los beneficios de la automatización.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ, Manuel. *Variadores de Frecuencia*. Barcelona: Marcombo, 2000. 78 p. ISBN 8426712681, 9788426712684.
2. ARBONES, Eduardo. *Ingeniería Económica*. Barcelona: Marcombo, 1989. 127 p. ISBN 84-267-0761-0.
3. DE LA FUENTE, Maria de Jesús. *Sensores*. [en línea] Valladolid, España. 24 p. [ref. 20 de enero 2011] Disponible en web:
<http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>.
4. ELONKA, Michael. *Operación de Plantas Industriales*. Francisco G. Noriega (trad.). 3a ed. México: McGraw-Hill, 1995. 128 p ISBN 978968-4513327.
5. MARKS. Lionel. *Manual del Ingeniero Mecánico*. 3a ed. México: McGraw-Hill. 1995. 97p. ISBN 9686046674, 9789686046670.

ANEXO

Datos técnicos para variadores electrónicos:

A continuación los datos generalmente presentados por el fabricante, en este ejemplo se muestran los datos de los variadores VLT de Danfoss.

General technical data:

AC line supply (L1, L2, L3):

Supply voltage 200-240 V units 3 x 200/208/220/230/240 V $\pm 10\%$

Supply voltage 380-500 V units 3 x 380/400/415/440/460/500 V $\pm 10\%$

Supply voltage 525-600 V units 3 x 525/550/575/600 V $\pm 10\%$

Supply voltage 525-690 V units 3 x 525/550/575/600/690 V $\pm 10\%$

Supply frequency 48-62 Hz +/- 1 %

Max. imbalance of supply voltage:

VLT 5001-5011, 380-500 V and 525-600 V and VLT 5001-5006, 200-240 V $\pm 2.0\%$ of rated supply voltage

VLT 5016-5062, 380-500 V and 525-600 V and VLT 5008-5027, 200-240 V $\pm 1.5\%$ of rated supply voltage

VLT 5072-5500, 380-500 V and VLT 5032-5052, 200-240 V $\pm 3.0\%$ of rated supply voltage

VLT 5075-5250, 525-600 V $\pm 3.0\%$ of rated supply voltage

True Power factor (λ) 0.90 nominal at rated load

Displacement Power Factor ($\cos \varphi$) near unity (>0.98)

No. of switches on supply input L1, L2, L3 approx. 1 time/2 min.

Max. shortcircuit rating 100,000 A

VLT output data (U, V, W):

Output voltage 0-100% of supply voltage

Output frequency VLT 5001-5027, 200-240 V 0-132 Hz, 0-1000 Hz

Output frequency VLT 5032-5052, 200-240 V 0-132 Hz, 0-450 Hz

Output frequency VLT 5001-5052, 380-500 V 0-132 Hz, 0-1000 Hz

Output frequency VLT 5062-5302, 380-500 V 0-132 Hz, 0-450 Hz

Output frequency VLT 5352-5552, 380-500 V 0-132 Hz, 0-300 Hz

Output frequency VLT 5001-5011, 525-600 V 0-132 Hz, 0-700 Hz

Output frequency VLT 5016-5052, 525-600 V 0-132 Hz, 0-1000 Hz

Output frequency VLT 5062, 525-600 V 0-132 Hz, 0-450 Hz

Output frequency VLT 5042-5302, 525-690 V 0-132 Hz, 0-200 Hz

Output frequency VLT 5352-5602, 525-690 V 0-132 Hz, 0-150 Hz

Rated motor voltage, 200-240 V units 200/208/220/230/240 V

Rated motor voltage, 380-500 V units 380/400/415/440/460/480/500 V

Rated motor voltage, 525-600 V units 525/550/575 V

Rated motor voltage, 525-690 V units 525/550/575/690 V

Rated motor frequency 50/60 Hz

Switching on output Unlimited

Ramp times 0.05-3600 sec.