

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA



DIGITALIZACION DE UN PROCESO DE
MANUFACTURA EN UNA FABRICA
DE PLASTICO

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

HENRY GALVEZ HERNANDEZ
AL CONFERIRSELE EL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

Guatemala, Noviembre de 1995

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca General

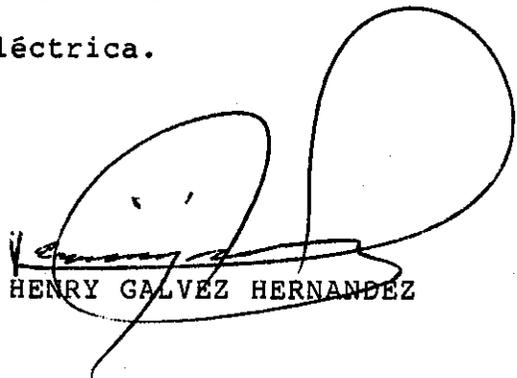
DB
T(3870)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DIGITALIZACION DE UN PROCESO DE
MANUFACTURA EN UNA FABRICA
DE PLASTICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.



HENRY GALVEZ HERNANDEZ



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Fernando Waldemar de León Contreras
VOCAL 5o.	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Edwin Adalberto Solares Martínez
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIO	Ing. Efraín Boburg



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 1 de agosto de 1,995

Señor Director
Ing. Edgar F. Montúfar Urizar
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

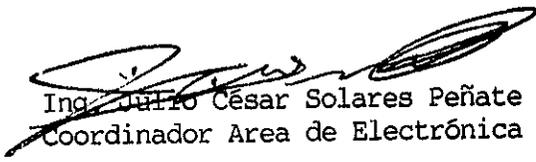
Señor Director.

Me permito dar mi aprobación al trabajo de tesis desarrollado por el señor Henry Gálvez Hernández, titulado: Digitalización del proceso de manufactura de una fábrica de plástico en Guatemala, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica

JCSP/sdem.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA CENTRAL

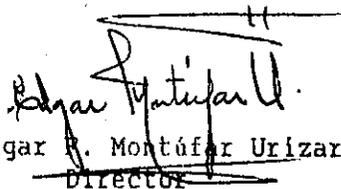


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Henry Gálvez Hernández, titulada: Digitalización de un Proceso de Manufactura en una Fábrica de Plástico, procede a la autorización del mismo.


Ing. Edgar R. Montúfar Urizar
~~Director~~

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, 14 de noviembre de 1,995



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: **Digitalización del proceso de manufactura de una fábrica de plástico en Guatemala**, del estudiante **Henry Gálvez Hernández**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck

Decano

Guatemala, 17 de noviembre de 1,995



INDICE GENERAL

LISTA DE ILUSTRACIONES.

INTRODUCCION.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES DEL PROCESO DE EXTRUSION.

- 1.1 MOLECULAS DE POLIETILENO.
- 1.2 CONSIDERACIONES DEL EQUIPO.
- 1.3 REGION 1: MOTOR D.C. - CAJA REDUCTORA.
- 1.4 REGION 2: EL EXTRUSOR.
- 1.5 REGION 3: SECCION ADAPTADOR.
- 1.6 REGION 4: DISEÑO DEL DADO.
- 1.7 REGION 5: SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BURBUJA.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DE MICROPROCESADORES. INTRODUCCION.

- 2.1 EL MICROPROCESADOR - ESTRUCTURA BÁSICA.
 - 2.1.1 DIRECCIONAMIENTO DE LA INSTRUCCION A EJECUTAR.
 - 2.1.2 DECODIFICADOR DE INSTRUCCIONES.
 - 2.1.3 SECUENCIADOR O UNIDAD DE CONTROL Y TIEMPO.
 - 2.1.4 UNIDAD LÓGICA - ARITMÉTICA.
 - 2.1.5 REGISTROS DE TRABAJOS DIVERSOS.
 - 2.1.6 OTROS COMPONENTES.
- 2.2 SISTEMA BÁSICO CON MICROPROCESADOR.
 - 2.2.1 INFORMACIÓN DE DATOS E INSTRUCCIONES.
 - 2.2.2 INFORMACIÓN DE DIRECCIONAMIENTO DE MEMORIA Y OTROS.
 - 2.2.3 INFORMACIÓN DE CONTROL Y TIEMPOS.
- 2.3 DIAGRAMA DE CONEXIONADO DE UN MICROPROCESADOR HIPOTÉTICO.
- 2.4 TIPOS DE MEMORIAS INTEGRADAS.
 - 2.4.1 MEMORIAS ROM DE MASCARA.
 - 2.4.2 MEMORIA PROM.
 - 2.4.3 MEMORIA EAROM.

- 2.5 PUERTAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL MICROPROCESADOR.
- 2.6 ELEMENTOS NECESARIOS PARA PROGRAMAR EN MICROPROCESADOR.
 - 2.6.1 CONFECCIONADO DE UN PROGRAMA.

CAPITULO III: GENERALIDADES DE TRANSDUCTORES.

INTRODUCCION.

- 3.1 TRANSFORMADORES DIFERENCIALES DE VARIACIÓN LINEAL (LVDTs).
 - 3.1.1 RANGO NOMINAL LINEAL DE UN LVDT.
 - 3.1.2 SENSITIVIDAD DE UN LVDT.
 - 3.1.3 LINEALIDAD DE UN LVDT.
 - 3.1.4 VOLTAJE NULO DE UN LVDT.
 - 3.1.5 RESOLUCION Y REPETIBILIDAD DE UN LVDT.
 - 3.1.6 VOLTAJE DE EXCITACION DE UN LVDT.
 - 3.1.7 REGULACION DE EL VOLTAJE DE EXTRADA DE EL LVDT.
 - 3.1.8 FORMA DE ONDA PARA EXCITACION DE UN LVDT.
 - 3.1.9 IMPEDANCIA DE UN LVDT.
 - 3.1.10 ANGULO DE FASE DE UN LVDT.
 - 3.1.11 ANGULO DE FASE EN LA POSICION DE EL LVDT.
- 3.2 POTENCIOMETROS.
 - 3.2.1 RESOLUCION DE UN POTENCIOMETRO.
 - 3.2.2 PARAMETROS IMPORTANTES DE UN POTENCIOMETRO. LINEALIDAD DEL POTENCIOMETRO.
- 3.3 CELDAS FOTOVOLTAICA.
- 3.4 CELDAS FOTOCONDUCTORAS.
- 3.5 ACOPLAMIENTOS OPTICOS: FOTOTRANSISTORES, DIODOS EMISORES DE LUZ.
- 3.6 AISLADOR/ACOPLADOR OPTICO DE LED-FOTOTRANSISTOR.
- 3.7 TACOMETROS.
 - 3.7.1 TACOMETRO GENERADOR D.C.
 - 3.7.2 TACOMETRO DRAG CUP.
 - 3.7.3 TACOMETRO DE A.C. DE CAMPO ROTATORIO.
 - 3.7.4 TACOMETRO DE ROTOR DENTADO.
 - 3.7.5 TACOMETROS DE CAPTADOR FOTOELECTRICO.
 - 3.7.6 TACOMETROS DE FRECUENCIA VERSUS TACOMETROS DE MAGNITUD.

CAPÍTULO IV: TRANSDUCTORES PIEZOELECTRICOS.

- 4.1 INTRODUCCIÓN.**
- 4.2 EL EFECTO PIEZOELECTRICO DISPONIBLE DE VARIOS MATERIALES.**
- 4.3 APLICACIONES DE ELEMENTOS PIEZOELECTRICOS.**
- 4.4 ULTRASONIDO.**
- 4.5 ESPECTRUM ULTRASONICO.**
- 4.6 TIPOS DE TRANSDUCTORES ULTRASONICOS.**
- 4.7 TEORIA BASICA DEL ULTRASONIDO.**
 - 4.7.1 NATURALEZA DEL ULTRASONIDO.**
 - 4.7.2 VELOCIDAD Y LONGITUD DE ONDA.**
 - 4.7.3 PULSOS DE ULTRASONIDO.**
 - 4.7.4 EL TRANSDUCTOR PIEZOELECTRICO USADO EN EL DIAGNOSTICO DEL SONIDO.**
 - 4.7.5 FRECUENCIA DE RESONANCIA.**
 - 4.7.6 IMPEDANCIA DE ACOPLAMIENTO Y DE AMORTIGUACION.**
- 4.8 LENTES ACUSTICOS.**
- 4.9 IMPEDANCIA ACUSTICA Y DE INTENSIDAD.**
- 4.10 IMPEDANCIA ACUSTICA.**
- 4.11 CONSIDERACIONES PRACTICAS.**
- 4.12 COMPARACION DE INTENSIDADES.**
- 4.13 REFLEXION Y REFRACCION.**
 - 4.13.1 REFLEXION.**
 - 4.13.2 REFRACCION.**
- 4.14 IMPEDANCIA DE ACOPLAMIENTO.**
- 4.15 DIFRACCION.**
- 4.16 FENOMENO SCATERING.**
- 4.17 ABSORCION.**

CAPITULO V: DIGITACION DEL PROCESO

- 5.1 ESQUEMA DEL HARDWARE NECESARIO.**
- 5.2 CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPLEMENTACION DEL HARDWARE DEL PROYECTO.**

5.3 CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL PROYECTO.

5.4 ELEMENTOS A UTILIZAR EN EL SISTEMA.

5.4.1 EL CONVERTOR ANALÓGICO - DIGITAL ADC084.

5.4.2 VARIADOR DE FRECUENCIA.

5.4.3 TRANSDUCTOR DE SONIDO SONAR BERO.

5.5.4 MULTIPLEXOR 3RX173.

5.6.5 MÓDULO SALIDA - DIGITAL 3RX1715.

5.7.6 MÓDULO SALIDA - DIGITAL 3RX175

5.5 SOFTWARE DEL SISTEMA.

5.5.1 DESIGNACIÓN DE VARIABLES.

5.5.2 PROGRAMA PRINCIPAL.

5.5.3 SUBROUTINA DE CONTROL DE SENSORES DE ULTRASONIDO Y DAMPERS.

5.6 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.

5.6.1 DESPERDICIO GENERADO EN SISTEMA ACTUAL Y COSTO DEL MISMO.

5.6.2 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.

5.6.3 ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.

CONCLUSIONES.

RECOMENDACIONES.

APÉNDICES.

LISTA DE ILUSTRACIONES

CAPÍTULO I

No. DE FIGURA	DESCRIPCION
1	ESTRUCTURA MOLECULAR DEL POLIETILENO.
2	SISTEMA DE EXTRUSIÓN TÍPICO.
3	MONITOREO DE TEMPERATURA Y PRESIÓN.
4	CONSIDERACIONES SOBRE EL ADAPTADOR.
5	ADAPTADOR MEJORADO.
6	DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DEL DADO.
7	DADO CON MANDRIL ESPIRAL.
8	ENFRIAMIENTO DE LA BURBUJA.
9	DADO Y ANILLO DE ENFRIAMIENTO.
10	SISTEMA IBC.
11	DISTRIBUCIÓN FÍSICA DEL IBC.
12	CIRCUITO DE CONTROL.

CAPÍTULO II

1	ESTRUCTURA BÁSICA DEL MICROPROCESADOR.
2	SISTEMA BASADO EN MICROPROCESADOR.
3	IMPORTANCIA DE ELEMENTOS TRIESTADO.
4	MICROPROCESADOR HIPOTÉTICO.
5	TRATAMIENTO DE LA I/O O SISTEMA MEMORY MAPPED.
6	INSTRUCCIONES EN UN MICROPROCESADOR.
7	SÍMBOLOS USUALES EN ORDINOGRAMAS.

CAPÍTULO III

1	TRANSFORMADOR DIFERENCIAL.
2	CORTE DE TRANSFORMADOR DIFERENCIAL.
3	DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN LVDT.
4	CARACTERÍSTICAS DE SALIDA DE UN LVDT.
5	ESCALA PLENA NOMINAL DE SALIDA DE UN LVDT.
6	MAGNITUD ABSOLUTA DE EL VOLTAJE DE SALIDA DE UN LVDT.
7	CONEXIÓN DE UN LVDT PARA MEDICIÓN DE VOLTAJE.
8	SALIDA DE PLENA ESCALA Y DISTORSIÓN ARMÓNICA DE UN LVDT.
9	ÁNGULO DE FASE DE UN LVDT.
10	ÁNGULO DE FASE VRS. FRECUENCIA EN UN LVDT.
11	CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN LVDT.
12	REPRESENTACIÓN VECTORIAL DEL ÁNGULO DE FASE DE SALIDA EN UN LVDT.
13	CIRCUITOS PARA REDUCIR EL ÁNGULO DE FASE.

14	SÍMBOLOS ESQUEMÁTICOS DE POTENCIOMETROS.
15	GRÁFICAS DE RESISTENCIA VRS. ÁNGULO DE ROTACION DEL EJE.
16	POTENCIÓMETRO UTILIZADO EN CIRCUITOS DE MEDICION.
17	SÍMBOLOS DE CELDAS FOTOLVOTAICAS.
18	CIRCUITO UTILIZANDO CELDA FOTOVOLTAICA.
19	SÍMBOLOS PARA CELDAS FOTOCONDUCTORAS.
20	AISLADOR ÓPTICO.
21	CURVAS EN UN AISLADOR ÓPTICO.
22	CURVAS DE FOTOTRANSISTOR.
23	TACOMETROS ROTOR DENTADO.

CAPÍTULO IV

No. DE FIGURA	DESCRIPCIÓN
1	ACCION DE CORTE EN LAS PLACAS CERÁMICAS.
2	GENERADOR DE ALTO VOLTAJE USANDO ELEMENTOS PIEZOELÉCTRICO.
3	VISTA EN CORTE DE UN TRANSDUCTOR DE ULTRASONIDO.
4	CONSTRUCCION DE LENTE ACÚSTICO.
5	COEFICIENTE DE REFLEXION EN ONDAS ULTRASONICAS.
6	REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE UNA ONDA DE ULTRASONIDO.
7	IMPEDANCIA DE ACOPLAMIENTO.
8	FENÓMENO SCATERING.

CAPÍTULO V

No. DE FIGURA	DESCRIPCIÓN
1	DISPOSICIÓN DE UNA LINEA DE EXTRUSIÓN.
2	DISPOSICIÓN HABITUAL DE UN SISTEMA IBC.
3	ESQUEMA DE UN GLOBO CUANDO ESTE YA SE HA ESTABILIZADO.
4	DISPOSICIÓN DE UN SISTEMA IBC.
5	IDENTIFICACIÓN DE TERMINALES EN PERIFÉRICO 8255.
6	TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDO.
7	EVALUADOR DE SENAL 3RX1 79
8	DEFINICIÓN DE RANGOS CON EL SONAR.
9	DEFINICIÓN DE RANGOS PARA EL EVALUADOR DE SENAL 3RX1.
10	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E IDENTIFICACIÓN DE TERMINALES EN EL EVALUADOR DE SENAL.

11
12

MULTIPLEXOR 3RX1.
CORRELACION ENTRE LA DISTANCIA ACTUAL Y
SU RESPECTIVA CODIFICACION.

TABLAS

No. DE TABLA	DESCRIPCION
1	VELOCIDAD DEL SONIDO EN DIFERENTES MEDIOS.
2	DENSIDADES E IMPEDANCIAS ACUSTICAS APROXIMADAS DE LOS DIFERENTES MEDIOS HUMANOS.
3	CARACTERISTICAS DE SONARES Y EVALUADORES DE SENAL.
4	ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL MODULO DIGITAL 3RX1711.
5	DATOS DE PRODUCCION EN EXTRUSORA DURANTE EL PERIODO 1992 - 1994.

GRAFICA

1	CURVAS CARACTERISTICAS DE BLOWERS.
---	------------------------------------

INTRODUCCION

El extrusor es indiscutiblemente la parte más importante de la maquinaria para la extrusión o procesamiento de plástico. Extruir significa empujar o forzar un material a través de un cilindro y luego a través del dado.

La parte de la maquinaria que contiene el orificio a través del cual el plástico es forzado a salir se le llama dado. Conforme el material pasa a través del mismo, el material adquiere la forma de éste. Esta forma generalmente cambia conforme el material sale del orificio del dado.

Los plásticos o polímeros pueden ser divididos en 3 principales grupos:

- a) Termoplásticos
- b) Termoset.
- c) Elastómetros.

Termoplásticos son blandos cuando son calentados y son sólidos cuando han sido enfriados. Si el material extruido no reúne las especificaciones, puede generalmente ser reciclado. De esta manera, la naturaleza química básica de un termoplástico no cambia significativamente, como resultado del proceso de extrusión.

Los termoset sufren una reacción atómica cuando la temperatura es llevada arriba de cierto valor. Esta reacción une las moléculas del plástico en una forma tridimensional, cuando la temperatura es reducida; dicha estructura se mantiene intacta; al mismo tiempo, esta reacción produce un cambio irreversible en el material, por lo tanto, no puede ser reciclados.

Los elastómetros o "hules" son materiales capaces de ser deformados enormemente cuando una fuerza es aplicada. Esto significa que cuando la fuerza deformadora es removida, el material completamente o casi completamente recupera su forma original.

Diferentes clases de materiales son formados a través del proceso de extrusión: metales, cerámica, plásticos, etc. La industria del plástico, en particular, hace frecuente uso de extrusores para hacer, por ejemplo: bolsas, telas de lluvia, películas plásticas agrícolas y otros productos.

En la presente tesis, el material que se tratará, confinado a los plásticos o termoplásticos y en especial al proceso de extrusión de película de polietileno, llamado "Blown Film".

Los materiales pueden ser extruidos en forma sólida o fundida. Si el plástico es alimentado a el extrusor en estado sólido y el material es fundido conforme el material es transportado por el tornillo del extrusor desde la zona de alimentación hasta el dado, el proceso es llamado proceso de plastificación.

En este caso, el extrusor desarrolla una función adicional: la de ejecutar la fundición del material, además de la función regular de extrusión.

Se puede decir también que hay dos tipos básicos de extrusión:

- 1) Continuo
- 2) Discontinuo

El proceso de extrusión continuo es capaz de desarrollar un flujo fijo y continuo de el material, como es el caso del proceso Blown Film, utilizando miembros rotativos para transportar el producto terminado.

El proceso discontinuo generalmente tiene miembros reciprocantes para transportar el material y los extrusores funcionan en forma ciclica.

En el caso de una línea de extrusión para procesar película de polietileno (Blown Film), está formada de los siguientes elementos y cada uno de ellos desarrolla la siguiente función:

- 1) Tolva. En ella se almacena la resina o materia prima a extruir.
- 2) Extrusor. Formado por el motor principal, caja reductora, barril, tornillo y el adaptador. A través de este sistema, el material es alimentado, homogenizado y presurizado a través del giro del tornillo.
- 3) Dado. Su función principal es darle forma al plástico y mantener el mismo a una temperatura y presión constante.
- 4) Anillo. Es el encargado de enfriar el plástico que fluye a través del orificio del dado, y permite de esta forma que el plástico sea halado y, posteriormente, embobinado y luego convertido en el producto que el cliente desea.

La primera máquina para extrusión de plástico fue construida en el año de 1935 por Paúl Troester en Alemania; esta máquina fue utilizada primariamente para la extrusión de hule pero; posteriormente los diseños fueron mejorados para procesar alimentos, plásticos, hules, etc.

Desde que la primera máquina fue diseñada, el afán del hombre siempre ha estado orientado a fabricar máquinas capaces de producir la mayor cantidad de Libras/Hora al menor costo posible. Para ello se ha empeñado en mejorar el diseño de cada uno de los componentes del extrusor.

En el caso del Anillo de aire, éste ha ido evolucionando. El primer anillo diseñado era de simple labio y tenía pobre capacidad de enfriamiento. Con este diseño, se podían obtener producciones en el rango de 5 a 7 Lbs/Hr/pulgada circunferencial de anillo.

Posteriormente, fue diseñado el anillo de doble labio, el cual fue mejorado aerodinámicamente, para enfriar mejor el plástico y obtener con el mismo, producciones hasta 18 Lbs/Hr/por pulgada circunferencial.

En las últimas dos décadas, se han diseñado sistemas de enfriamiento de doble labio y enfriamiento interno de burbuja, los cuales han demostrado dar producciones hasta de 25 Lbs/Hr/pulgada circunferencial. En este sistema, la película de polietileno es enfriada externa e internamente. Al sistema de enfriamiento interno se le ha llamado Sistema de Enfriamiento de Burbuja (en inglés IBC System, Internal Blowing Cooling System), y ha tenido diferentes formas de diseño en los últimos años. Cada diseño ha tenido sus ventajas y desventajas, pero todas han utilizado potenciómetros y elementos mecánicos para controlar el diámetro de la burbuja, los cuales introducen retrasos en la respuesta del sistema provocando inestabilidad en el proceso.

El presente trabajo pretende mejorar dicho sistema de control de enfriamiento interno de burbuja, introduciendo sensores de ultrasonido para el control del diámetro de la burbuja.

Para ello se ha dividido el desarrollo de la tesis en la siguiente forma:

- 1) En el primer capítulo, se proporciona información necesaria para comprender aspectos físicos, mecánicos y eléctricos que toman parte en el proceso de los plásticos.
- 2) El segundo capítulo, trata en forma muy general sobre los microprocesadores, su funcionamiento, cómo programarlos e identificación de terminales.
- 3) El tercer capítulo presenta la información referente a

transductores. Se trata de incluir la mayor información general posible, en especial de los que serán utilizados en la elaboración del proyecto.

- 4) El capítulo cuatro presenta las consideraciones tomadas en el desarrollo del proyecto, para controlar el enfriamiento interno de la burbuja, el equipo utilizado y sus características, elementos discretos tales como: motores, transistores, puertos, transductores, etc. y un análisis económico del mismo.
- 5) El capítulo cinco presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

CAPÍTULO I

Este capítulo es una rápida descripción del proceso básico de las resinas, para extrusión de polietileno. La disposición del equipo es muy escueta, debido a que en lo que se edita la presente, la tecnología del proceso sufre grandes cambios. Se tratará de discutir el material, el proceso y el equipo que se necesita.

1.1. MOLECULAS DE POLIETILENO

Cada una de las moléculas que se muestran en la figura No. 1 son usadas en la fabricación de película plana en la industria. Es necesario entender como las resinas de polietileno lineal de baja densidad (en el resto de este capítulo se refiere a cómo PELBD a resinas de Polietileno lineal de baja densidad y, Polietileno de alta densidad PEAD y, Polietileno de baja densidad PEBP) difieren del PEBD, del PEAD, y el por que de los diferentes diseños de equipo disponibles en la industria. Cada uno de éstos es un polímero de ethylene con o sin copolímero. Diferentes catalizadores y aditivos son usados en conjunto con específicos reactores, que operan a apropiadas presiones y adecuadas temperaturas para producir estructuras moleculares. La figura No. 1, que sugiere una idea generalizada de la configuración de las cadenas moleculares.

Las resinas PEBD son llamadas de alta presión de polimerización, con ambas cadenas, y cortas que se bifurcan. Este tipo de resina tiene moléculas que son relativamente compactas y tienen un alto peso molecular, lo cual hace que sean de fácil procesamiento. La resina PEBD es la única que sufre cambios de tensión en el flujo longitudinal; esto hace que tenga excelente estabilidad en la burbuja.

Lo compacto de las ramificaciones de la molécula PEBD resulta en una baja viscosidad y elasticidad de fundido. PEBD sufre desalineamiento de la cadena en el proceso de rasgado. El intenso proceso de rasgado produce un mejor proceso de extrusión y más tiempo de relajación, lo que resulta en propiedades más balanceadas. Se ha encontrado que los mismos efectos son presentados en PELBD, pero en un grado diferente.

La baja presión de polimerización de la resina PELBD tiene solamente cortas cadenas de comonomeros. Estos comonomeros son polimerizados en el proceso a relativamente baja temperatura y presión, lo cual utiliza alta eficiencia en la coordinación de catalizadores, para reaccionar con alphaethylene, con alpha tales como el butene, hedene, methylpentene y octene.

Por otro lado, existen las resinas de alto peso molecular AMP-PEAD producidas por la reacción a relativamente bajas temperaturas y presiones. El ethylene es usualmente reaccionado con butene, hexene, octene y comonómeros. Los polímeros son lineales en naturaleza y son llamados PEAD cuando su densidad está arriba de 0.940 gramos/cc. Estas resinas dan buenas propiedades en el espesor de la película. Tienen alta y fuerte viscosidad, lo cual requiere un motor de alto caballaje y equipo especial para formar la película.

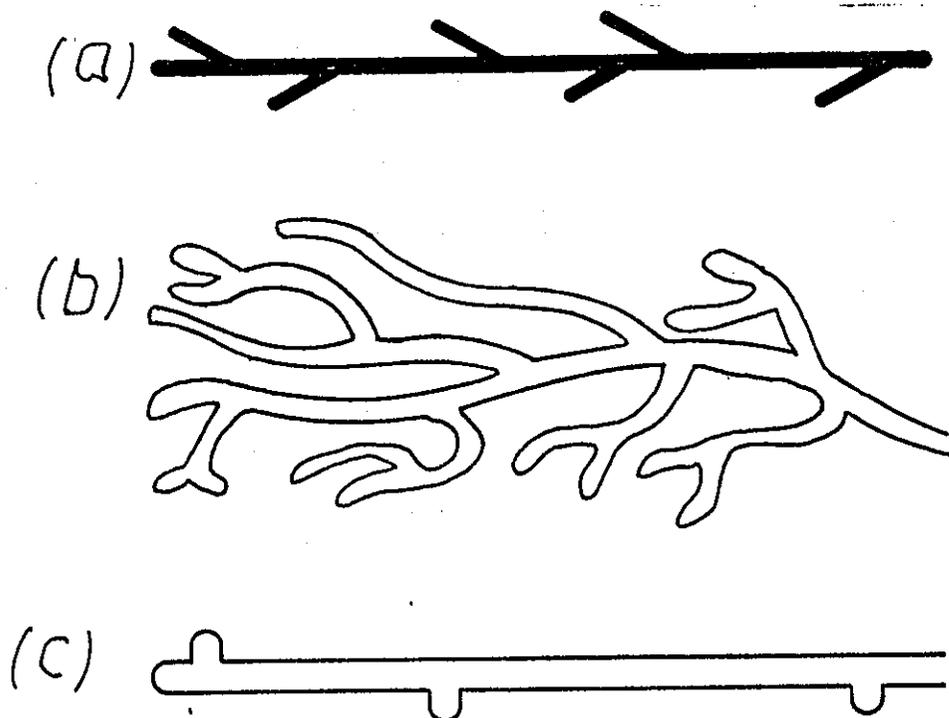


Figura 1. Comparación de estructura molecular de Polietileno. (a) Polietileno de Alta Densidad; (b) Polietileno de Baja Densidad, (c) Polietileno Lineal de Baja Densidad. (Ref. 1, Pag. 4)

El punto más importante, hasta aquí, es reconocer que cada tipo de resina de polietileno tiene una estructura molecular especial, la cual requiere equipos diferentes de procesamiento de la película. Cuando las resinas son corridas en equipo diseñado para un amplio rango, se tienen que cumplir algunos compromisos; por eso hay diferentes tipos de equipo para procesamiento de resinas.

1.2 CONSIDERACIONES DEL EQUIPO

Hay generalmente algunos aspectos básicos, los cuales deben ser considerados cuando se piensa extruir resinas de polietileno PEBD, PELBD o PEAD, sobre un equipo existente de extrusión. Como se indicó anteriormente, cada pieza de un equipo original es diseñado para un polímero con específicas características. Hay situaciones en que se puede correr PELBD sobre equipo PEBD sin realizar ninguna revisión. Esto es lo que regularmente ocurre, cuando el equipo fue diseñado para extruir PEBD con un índice de fundición fraccional. El torque y la potencia son generalmente más grandes para una máquina diseñada en un extrusor de altas revoluciones, de más alto índice de fundición en RPM. En este último caso, es usualmente necesario revisar la caja reductora y el motor a través de todos sus mecanismos.

Muchas de las posteriores discusiones tratarán con las características de equipo diseñado especialmente con material o resina de PELBD, en forma de gránulos.

La figura 2 muestra un sistema de extrusión básico y sus componentes, los cuales se han dividido en regiones básicas. Un sistema aproximado es la forma más simple de estudiar la fabricación de la película.

Hay tres partes básicas o subsistemas:

El primero son los materiales del subsistema, los cuales incluyen resinas, aditivos, pigmentos, auxiliares para el procesamiento, estabilizadores, componentes de mezcla, etc.

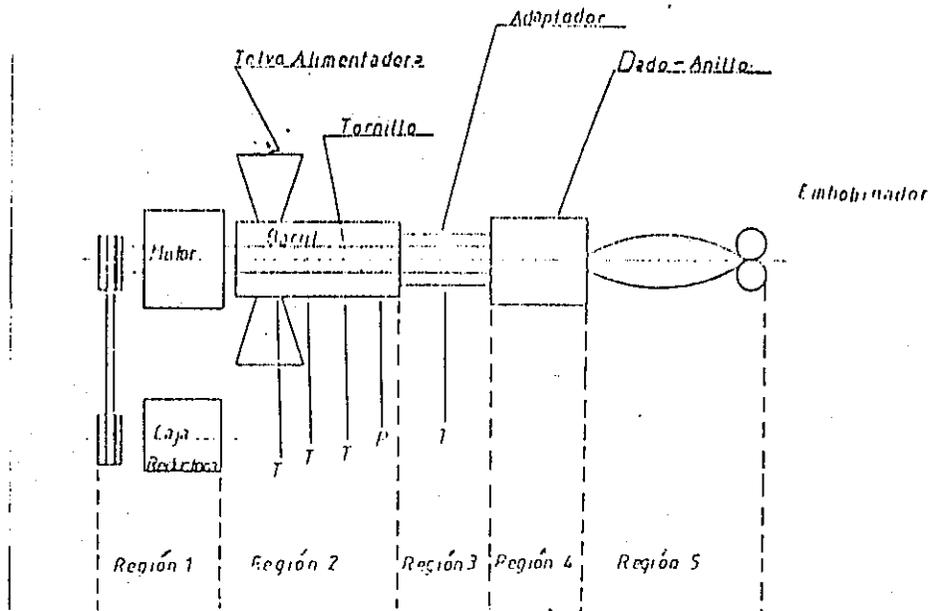


Figura 2. Sistema de Extrusión Típico.

El sistema de extrusión incluye: el motor, caja reductora, barril, tornillo, adaptador, dado, anillo de aire, dispositivos de enfriamiento y dispositivos para el manejo de la película. La tercera parte está compuesta de los embobinadores, cuchillas y post tratadores.

Es esencial indicar que el cambio de cualquier componente del sistema, altera completamente su funcionamiento. Como meta se debe controlar la operación del sistema. El producto final depende de la interacción de los componentes individuales.

Como se observa en la figura No. 2, se ha dividido el sistema en 5 regiones, cada una de las cuales será discutida en términos de factores de diseño óptimo y cómo interactúan entre ellas. Cada sección será discutida brevemente.

1.3 REGION 1.

MOTOR DC - CAJA REDUCTORA

El equipo para extruir polietileno requiere de un motor de corriente directa y velocidad variable. El torque es definido como la cantidad de Pies-Lb de fuerza aplicadas al tornillo para producir el efecto de rotación.

Una medida práctica del torque es simplemente la cantidad disponible de caballos de fuerza (HP) dividida por el máximo de RPM del tornillo, por ejemplo, un tornillo de 2.5" de diámetro nominal puede requerir 0.5 caballos de fuerza por RPM del tornillo.

El sistema principal de manejo del extrusor consiste básicamente de un motor y una caja reductora; la salida de esta última, está acoplada al extremo del tornillo. El motor es DC de velocidad variable, con un rango de velocidad de 1150 RPM a 2300 RPM. La más común es 1750 RPM. En la máquina de las extrusoras, cuando la velocidad del motor va de 0 a 1750 RPM, la velocidad del tornillo varía de 0 a 100 RPM, lo cual significa una reducción de velocidad de 17.5:1. El torque proporcionado a la caja reductora se cambia variando la relación de reducción de la caja.

Las formas más comunes de unir el motor D.C., con la caja reductora y cambiar la velocidad del sistema, son las siguientes:

- Fajas y poleas
- Acoplamiento directo
- Acoplamiento directo con caja de transmisión
- Variación de la corriente de campo

Con las poleas y fajas la relación de velocidad, puede ser alterada con el cambio del tamaño del motor o cambiando

la polea de caja reductora.

El acoplamiento directo requiere un cambio en los engranajes internos de la caja reductora.

El acoplamiento directo con caja de transmisión y el cambio de velocidad se puede hacer cambiando el tamaño de los engranajes sin necesidad de desmontar la caja reductora principal.

La variación de corriente de armadura es el método de control de velocidad del motor a través de un drive electrónico que cambian la magnitud de la corriente de armadura.

Es esencial consultar con el fabricante de la caja reductora antes de alterar la relación de transmisión, para prevenir sobrecarga de la misma. Cada caja reductora está diseñada para un específico caballaje y otras limitaciones mecánicas, las cuales no deben excederse por seguridad de operación.

La capacidad de bombeo del extrusor depende de la cantidad de caballaje entregada al propio nivel de torque. Como una regla general, los requerimientos estimados para resinas PELBD es de 5 lbs/hr/hp y para PEBD cerca de 7 a 8 lbs/hr/hp.

1.4 REGIÓN .2

EL EXTRUSOR

Las funciones primordiales de un extrusor son plastificar el pellet o resina sólida, mezclar y homogenizar el material a los subsistemas, a los cuales será entregada la mezcla, luego de haberla extruido a una temperatura constante y dispersión a una presión constante.

Ciertos factores en la calidad de extrusión son objetivos y pueden ser medidos con exactitud; éstos son:

- Relación de extrusión
- Caballaje
- Nivel de presión
- Variación

Otros factores son subjetivos y difíciles de cuantificar, tales como: dispersión, nivel de viscosidad, uniformidad de fundido y el calor.

Calentadores eléctricos con enfriamiento de aire o de agua son el medio fundamental para el control de temperatura del barril. Algunas veces se prefiere el enfriamiento por agua debido a su versatilidad y a su máxima capacidad de

enfriamiento.

Ultimamente sistemas de enfriamiento por aire han sido diseñados para incrementar el enfriamiento y proveer medios exhaustivos para sacar el aire caliente del área de la burbuja de polietileno.

La longitud del barril determina la habilidad del extrusor para producir material fundido de calidad, a una razonable producción. La tabla 3 resume los factores, claves para la selección de un extrusor.

- RELACION LARGO/DIAMETRO DEL TORNILLO (L/D)
- ALGUNAS RELACIONES L/D ADOPTADAS POR ALGUNAS INDUSTRIAS SON:
15:1, 18:1, 20:1, 24:1, 28:1, 30:1, 32:1, 34:1.
- LA RELACION LARGO/DIAMETRO DEL EXTRUSOR INDICA LA HABILIDAD DEL MISMO PARA:
PRODUCIR CANTIDAD, CALIDAD Y BUENA FUNDICION A EL DADO.
- INCREMENTANDO LA LONGITUD DEL TORNILLO GENERALMENTE INCREMENTA LA CAPACIDAD DE MESCADO DEL PRODUCTO.
- CALIDAD SIGNIFICA UNIFORME TEMPERATURA AXIAL Y TRANSVERSAL CON UNA MINIMA FLUCTUACION EN LA PRESION A LA ENTRADA DEL DADO.

Tabla 3.

1.5 REGION 3

SECCIÓN ADAPTADOR

La figura 4 muestra la sección donde se filtra el flujo de polímero y donde ocurre la transición del tornillo a la sección del dado. En esta sección, la oportunidad de medir la presión y temperatura libre de disturbios provocados por el tornillo es factible. El flujo laminar en esta región es crítico.

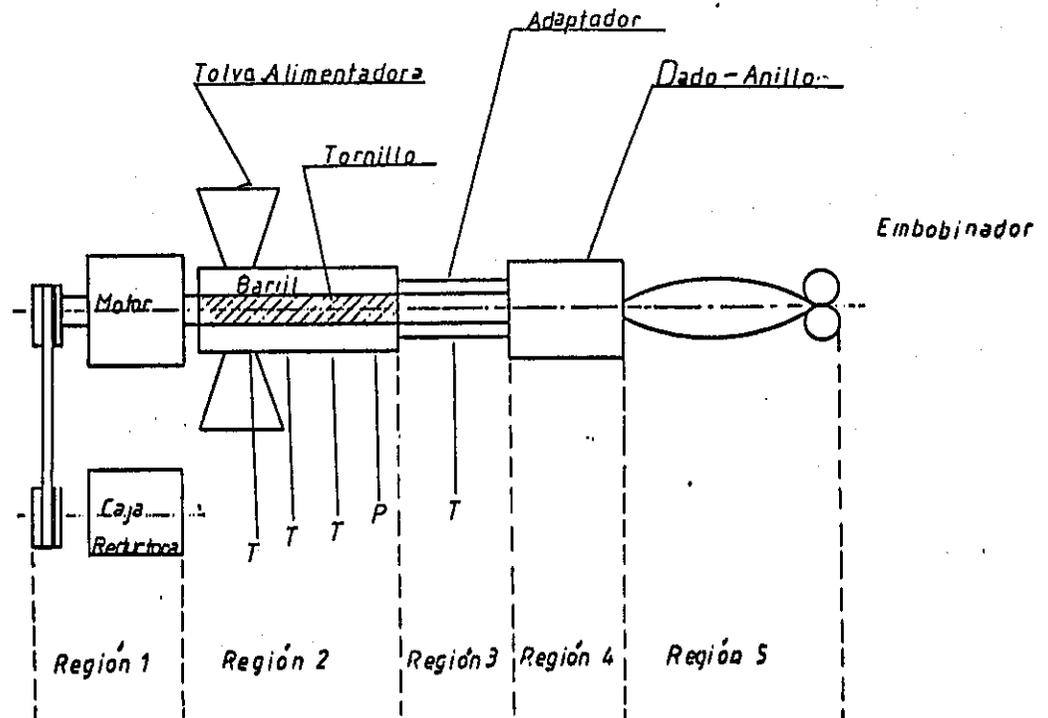
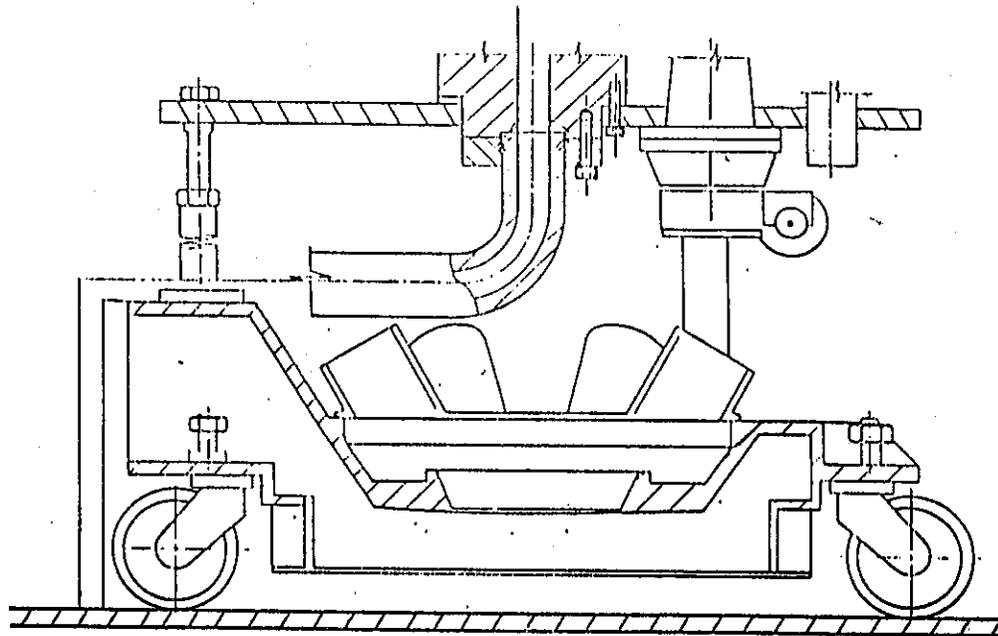


Figura 2. Sistema De Extrusion Típico.

Figura 3. El monitoreo de temperatura y presión en el adaptador es crítico. (Ref. 1, Pag 35)

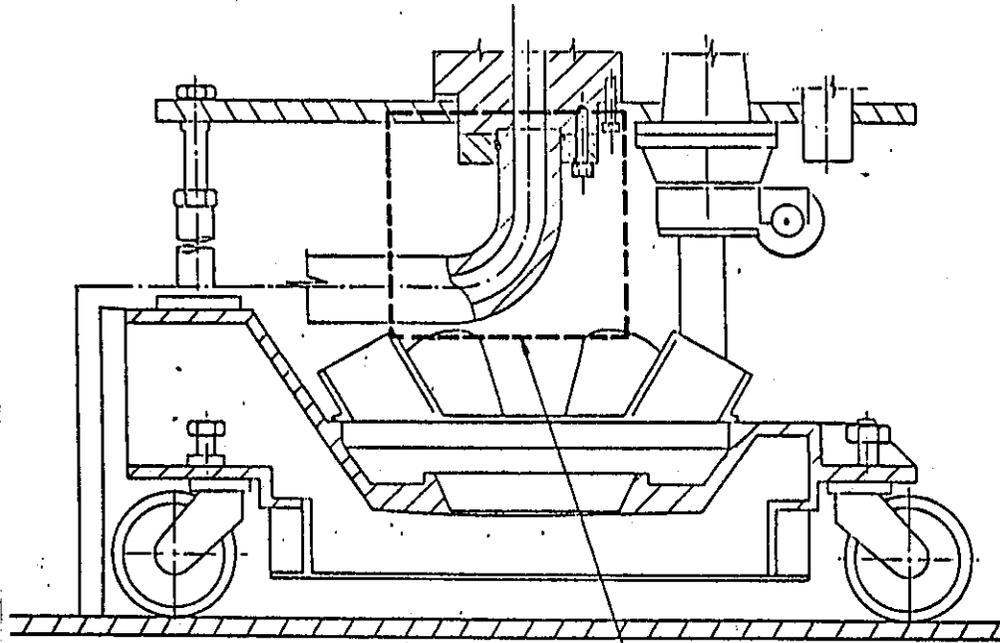
La figura 4 muestra los factores críticos en la región del adaptador. Es muy importante diseñar el paso del flujo y las transiciones de diferente tamaño de boquilla para poder evitar áreas de lento movimiento donde el material puede adherirse o cruzarse.



- El adaptador es el área usada para monitorear la temperatura y presión del plástico antes de que entre al flujo.
- Con resinas LLDPE es más crítico la medición de presión que con resinas convencionales de LDPE en donde el flujo en los canales debe ser bien conducido para evitar la formación de Giel.

Figura 4. Consideraciones sobre el Adaptador (región 3)
(Ref. 1, Pag. 35)

La figura 5 muestra un adaptador curvo a 90 grados, el cual optimiza el flujo del extrusor.



*Un adaptador como para mejorar
el flujo de resina fundida.*

Figura 5. Adaptador Mejorado. (Ref. 1, Pag. 41)

1.6 REGIÓN .4

DISEÑO DEL DADO

El principio concerniente al diseño del dado es mostrado en la figura 6.

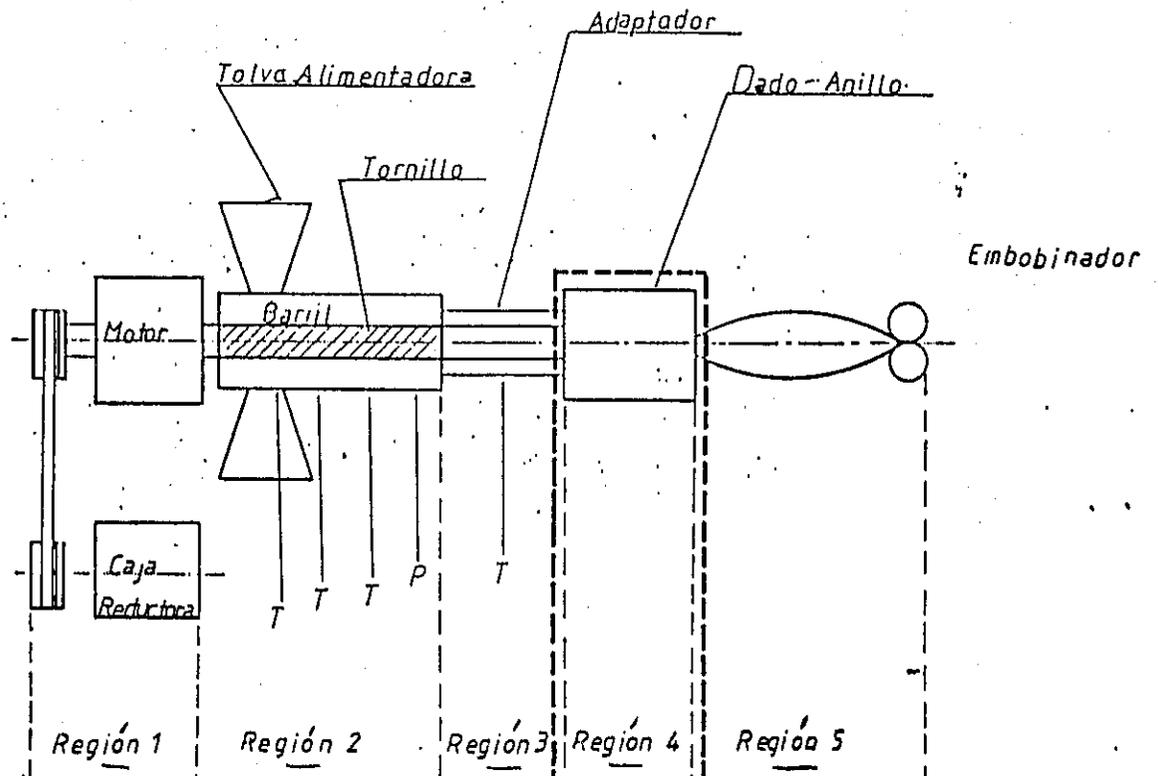


Figura 6. Descripción del diseño del dado, zonas de alivio - flujo uniforme, abertura del dado que establece la producción, altura del labio, diámetro del dado. (Ref. 1, pag. 70)

Pero la primera mirada básica sobre el dado en uso, es indicada en la figura 7.

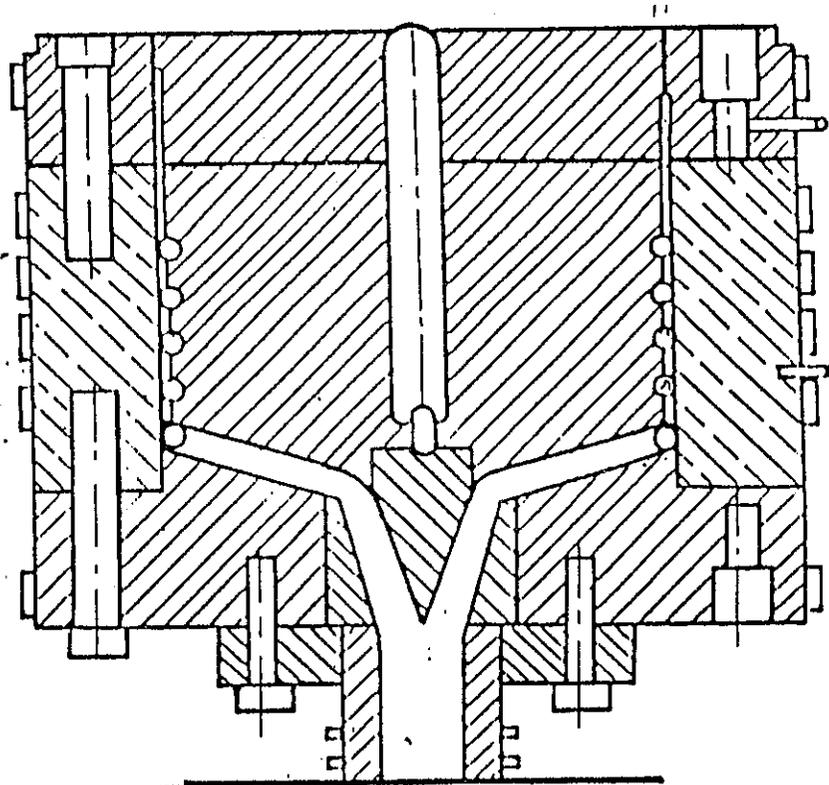


Figura 7. a) Dado para tubo de film con mandril espiral. b) Alimentación del finm tubular. c) Tubular film con alimentación inferior. (Ref. 1, Pag. 4)

Las espirales del dado, mostrado en la figura No. 7, son un diseño con vinil y con polietileno de alta densidad donde el streamlining es crítico por la estabilidad térmica del polímero. Su mayor problema es que las líneas de soldadura formada conforme el flujo avanza, es dividido por las espirales. El lado de alimentación es un diseño antiguo usado en pequeñas máquinas. Su problema es que puede dar pobre uniformidad de calibre, tiene pobre la distribución de temperatura alrededor del dado y del mandril.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BURBUJA

La burbuja de plástico debe ser enfriada rápidamente para poder darle una buena estabilidad a la misma. El aire refrigerado es una considerable ayuda pero no absolutamente necesaria. La figura 8 nos lleva a la última fase de el sistema. Los anillos de doble labio y dados con enfriamiento interno de burbuja, han demostrado operación estable a las mejores producciones. Aquí es donde debe enfocarse en mayor forma la discusión, ya que hay recientes avances en cuanto al enfriamiento interno de la burbuja.

La figura 8 muestra un clásico anillo de doble labio, como es comúnmente encontrado en la práctica; como puede observarse, el aire de entrada es primariamente dividido. Parte del aire es dirigido al espacio entre la burbuja y el cono de la misma. Este flujo de aire empuja el globo del cono formado, le da estabilidad y actúan a la vez como un cojinete de aire; esto último es necesario con un contacto entre el polímero caliente y el aire frío del anillo que empuja la burbuja y ayuda a una mejor fluidez del polietileno. La más grande porción del flujo de aire es dirigido de tal forma que puede seguir la curvatura de la burbuja para poder realizar un primer enfriamiento. Con un anillo de simple labio, se pueden obtener producciones de 5 a 7 lbs/Hr/por pulgada de circunferencia del dado, mientras que con un anillo de doble labio se pueden obtener producciones de 13 lbs/hr/por pulgada de circunferencia dado.

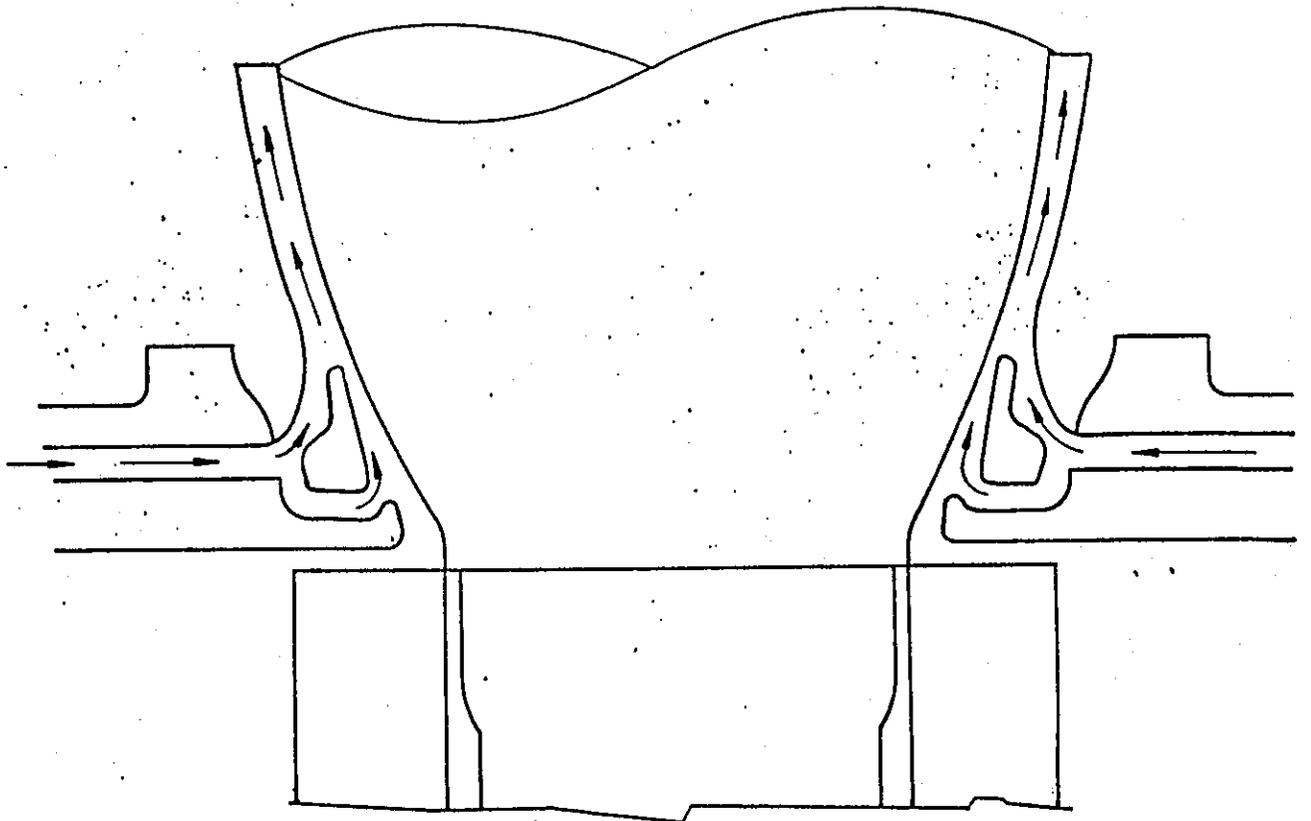


Figura 8. Enfriamiento de la burbuja. Enfriamiento del globo con aire enfriado, con anillos especiales o enfriamiento interior. (Ref. 1, Pag.52)

La figura 9 muestra un típico anillo de doble labio montado en la parte superior del dado. Esta ilustración es muy útil en la discusión de las partes componentes y su relación.

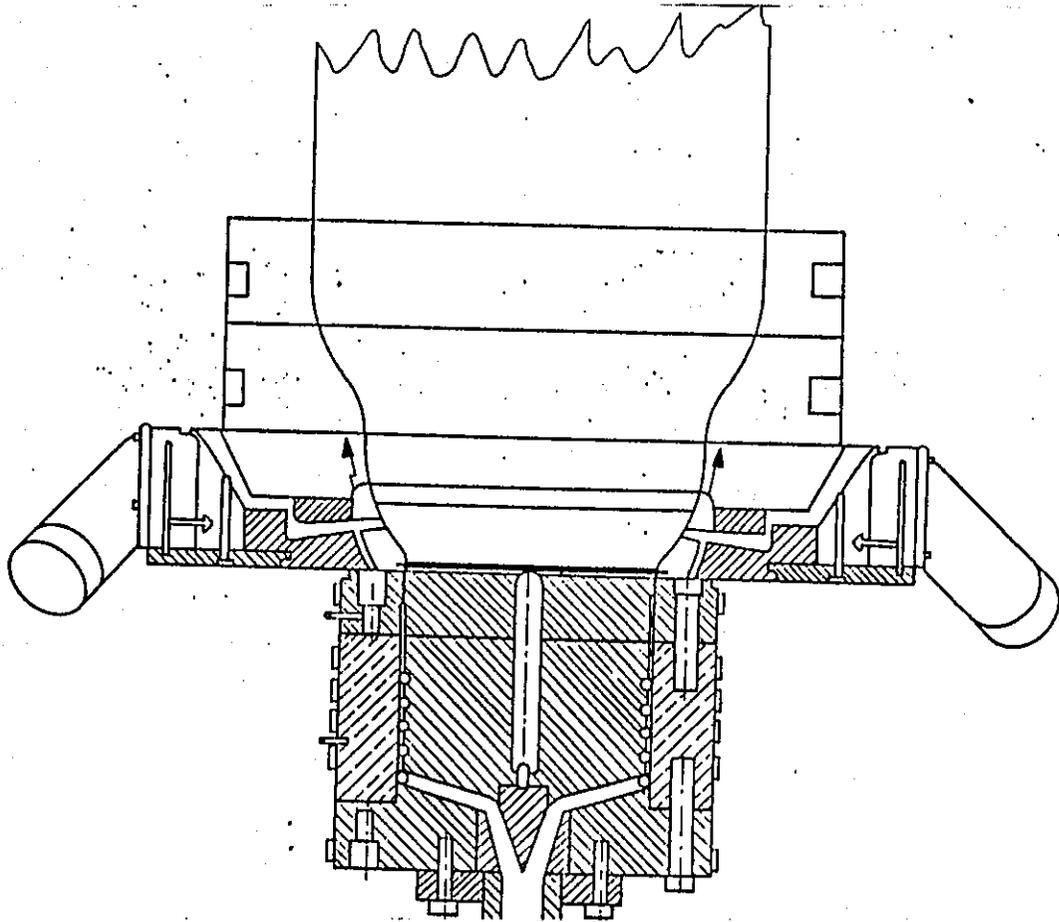


Figura 9. Dado y anillo de enfriamiento. (Ref. 1, Pag.53)

La figura 10 muestra someramente recientes adaptaciones de cámaras de aire con iris; concepto que es de nueva aplicación. Recientemente se ha trabajado con ambos sistemas, anillo de simple labio y doble labio con cámara de aire. En este último caso, la cámara con iris provee un mejor control de la burbuja y mejora el enfriamiento. Se ha encontrado un 20% más de producción en este tipo de anillo, con únicamente poner el anillo de doble labio, es decir, 17 lbs/hr/por pulgada de circunferencia del dado, pero junto con enfriamiento interno de la burbuja IBC (Internal Blowing Cooling).

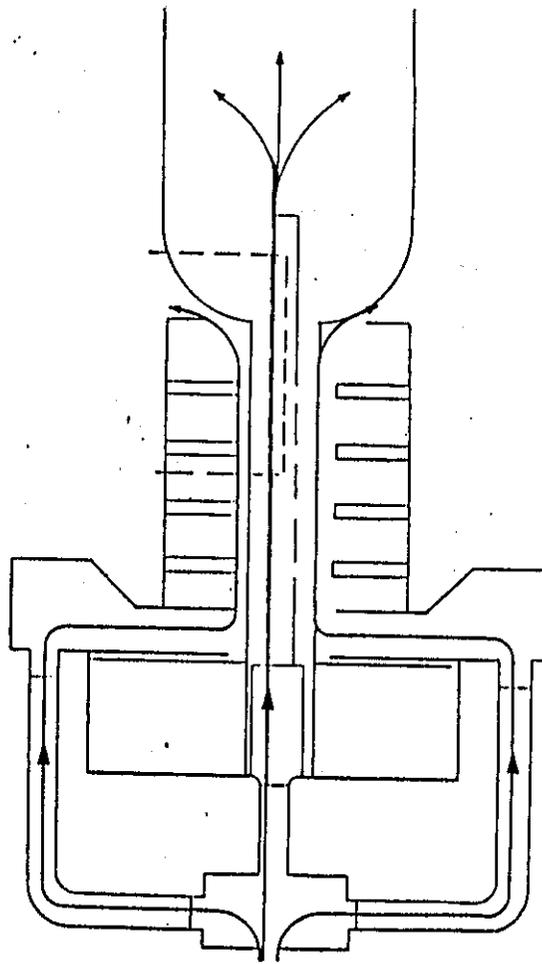


Figura 10. Dado y anillo de enfriamiento. Además instalado el sistema IBC. (Ref. 1, Pag. 57)

Este remarcado incremento en la producción se puede lograr con pequeñas inversiones. Se avisa un buen futuro para este dispositivo.

Un reciente sistema de enfriamiento de burbuja IBC introducido por Sano Machine & Design Co., utiliza un anillo de simple labio para realizar extrusión de cuello alto en polietileno de alta densidad. Hasta este momento los objetivos del diseño han dado producciones en el orden de 30 lbs/hr/pulgada circunferencial del dado.

La figura 11 muestra la disposición actual del sistema de control interno de enfriamiento de burbuja y el diagrama del circuito que controla la posición de dampers para mantener un volumen constante del globo, el cual es mostrado en la figura 12.

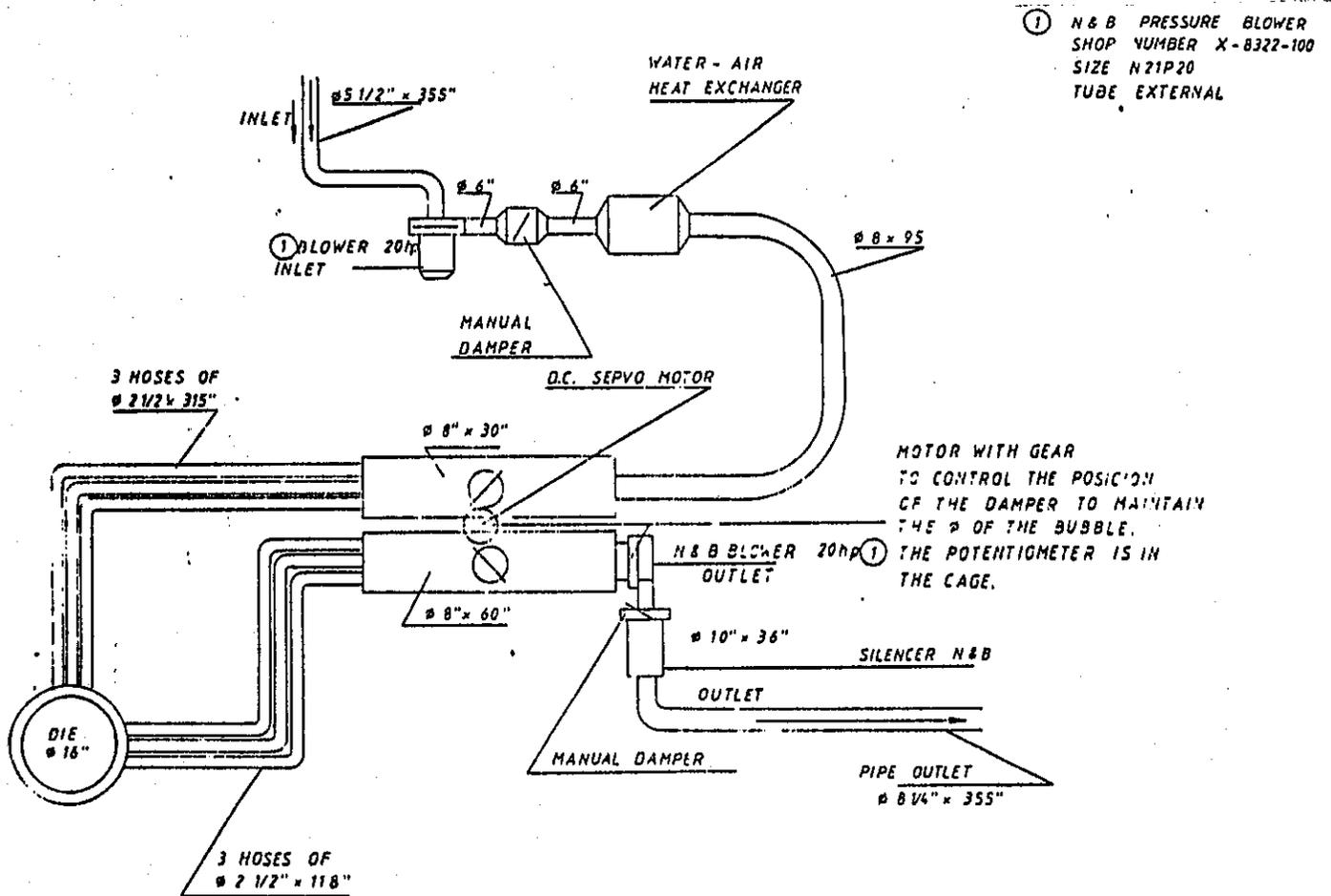


Figura 11. Disposición actual del sistema de control interno de enfriamiento de burbuja. (Ref.5)

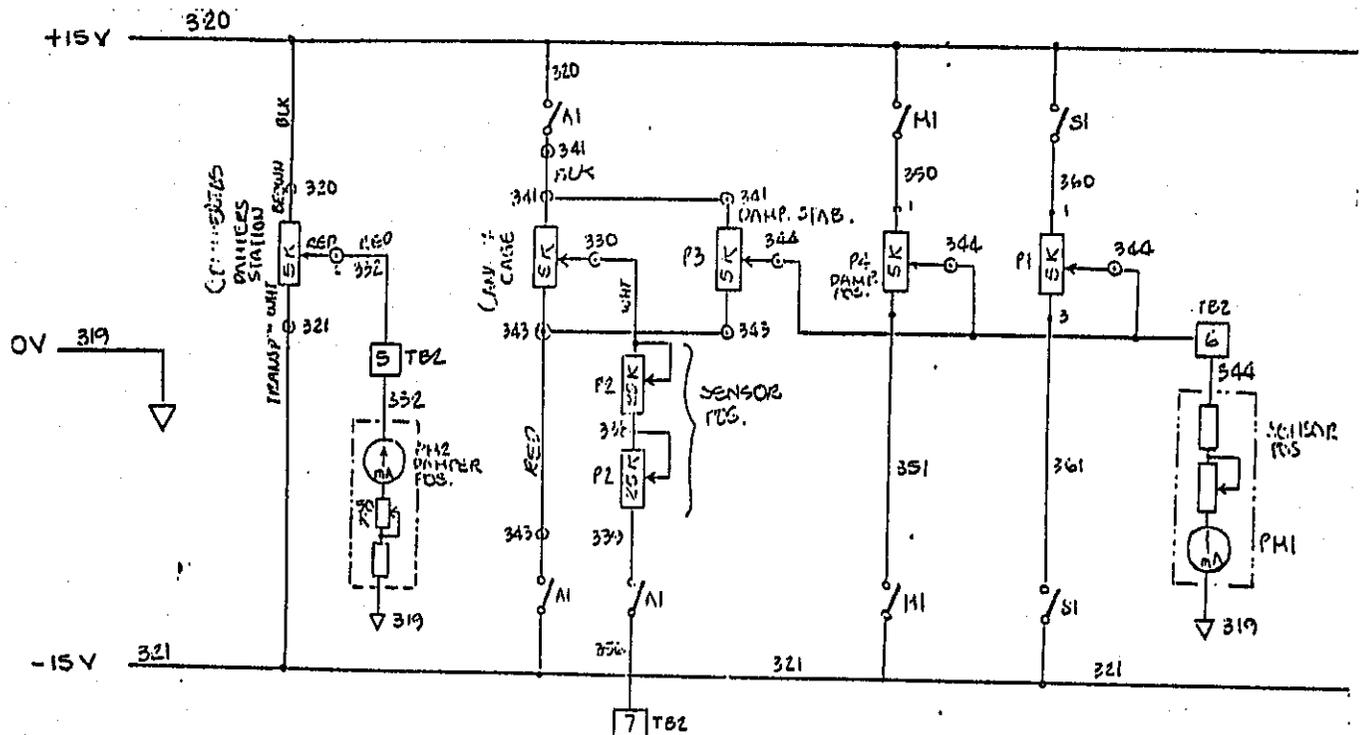


Figura 12. Actual circuito de control para posicionado de Dampers. (Ref. 5)

Todo este capítulo ha sido una breve descripción de lo que son los principales componentes de una línea de extrusión de Polietileno para película plana, si el lector desea más información acerca de la operación y funcionamiento de una Línea de Extrusión; al final está indicada alguna bibliografía que contiene información interesante en relación a este tema.

CAPÍTULO II

INTRODUCCIÓN.

Las causas fundamentales que propiciaron la aparición y desarrollo de las máquinas programadas basadas en microprocesadores, fueron:

- 1.- El incremento de la complejidad de las funciones y del número de elementos que constituían las máquinas, las cuales tenían que resolver trabajos cada vez más importantes.
- 2.- Los avances tecnológicos en la fabricación de circuitos integrados de alta escala de integración, que permitieron disponer en una sola pastilla de numerosos componentes activos y pasivos formando circuitos muy completos. En estos logros tuvieron mucho que los contratos gubernamentales de carácter militar en Estados Unidos.
- 3.- La "casualidad" que tanto ha acompañado a los descubrimientos a los descubrimientos en la Electrónica. El primer microprocesador comercializado por INTEL a comienzos de la década de los 70 surgió de un contrato con un fabricante japonés de máquinas de cálculo.

Hasta mediados del siglo XX, la máquina cableada había solventado todos los problemas y su principio de funcionamiento se basaba en la utilización de un circuito específico para resolver la aplicación a la que se destinaba. Los cambios que requerían las máquinas para adaptarse a otras características de funcionamiento distintas a las originales, exigían nuevos diseños y la consiguiente variación del circuito. Por otra parte, el aumento de prestaciones exigía un elevado número de componentes con un importante costo tanto en mano de obra como de materiales.

En este capítulo, se da una breve descripción de lo que son los Microprocesadores, su estructura básica y una idea general de los principales pasos que deben seguirse para poderlos programar.

2. GENERALIDADES DE MICROPROCESADORES.

2.1 EL MICROPROCESADOR - ESTRUCTURA BÁSICA.

Con la aparición del Microprocesador a principios de la década de los 70's, se originó una profunda transformación de las técnicas de control y diseño convencionales, y constituye en nuestros días una verdadera revolución industrial que no sólo incluye el aspecto técnico, sino que afectará incluso la misma estructura social.

Técnicamente se aplica a la denominación de Microprocesador a un simple circuito, que contienen los elementos que constituyen la Unidad Central de Proceso CPU.

El Microprocesador por sí solo no es operativo y precisa la colaboración de la Memoria que almacena el programa de instrucciones y los datos, así como los módulos de Entrada y Salida; esto se muestra en la figura 1.

Las principales funciones de los elementos digitales que conforman el Microprocesador son las siguientes:

2.1.1 DIRECCIONAMIENTO DE LA INSTRUCCIÓN A EJECUTAR.

Se lleva a cabo mediante un contador, llamado "Contador de Programa" (PC), que aunque normalmente se incrementa en cada ciclo una unidad, puede cargarse con cualquier valor, lo que permite la rotura de la secuencia de las instrucciones del programa.

Otro registro, denominado Registro de Direccionamiento de Datos, se emplea para posicionar los datos de la memoria. La memoria puede considerarse dividida en dos partes: la que contiene las instrucciones y la que contiene los datos.

2.1.2 DECODIFICADOR DE INSTRUCCIONES

Se trata de un elemento de la CPU que recibe la instrucción en su código binario (Código de máquina) e interpreta su significado.

2.1.3 SECUENCIADOR O UNIDAD DE CONTROL Y TIEMPO

Es la unidad encargada de transmitir las señales de gobierno y sincronismo a todo el sistema, para ejecutar la instrucción decodificada.

2.1.4 UNIDAD LÓGICO-ARITMÉTICA.

Es la encargada de efectuar las operaciones de carácter lógico y aritmético. Es gobernada directamente por la unidad de control y está muy relacionada con un registro de trabajo llamado acumulador (A). Normalmente el acumulador contiene a uno de los operandos que participan en la operación que efectúa la ALU, así como el resultado de la operación, una vez ejecutada.

2.1.5 REGISTROS DE TRABAJOS DIVERSOS.

Sus misiones más representativas son:

1. Participar en el direccionamiento de la memoria, (Registro índice y de direccionado).
2. Contener información sobre el estado del sistema, una vez ejecutada la instrucción.
3. Guardar temporalmente algunos elementos significativos de la CPU. (Posiciones direccionadas por el puntero de la pila o el Stack Pointer).

2.1.6 OTROS COMPONENTES.

En este apartado, destacan los Buffer Triestado que transfieren las informaciones con, y desde el exterior, el generador de señales de reloj que sincroniza el sistema y otros registros auxiliares.

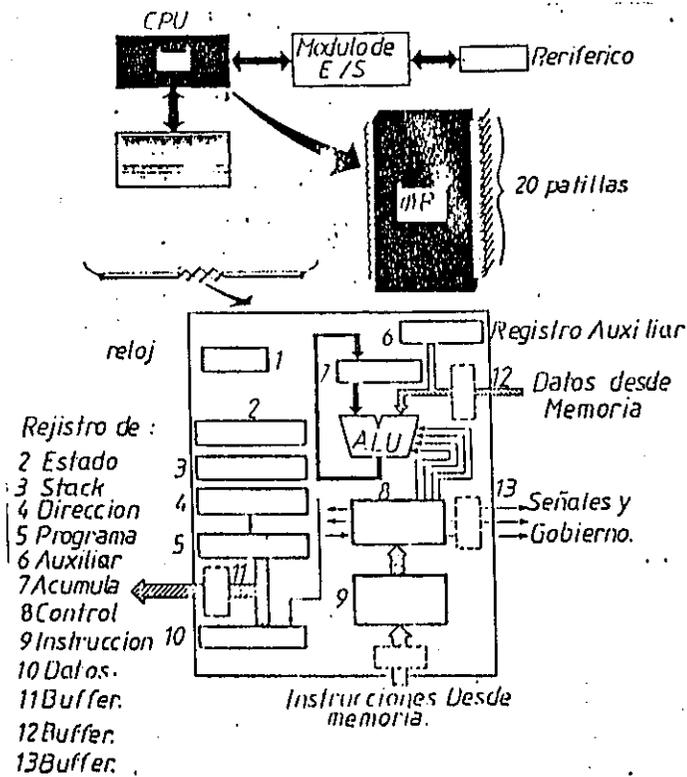


Figura 1. Estructura básica del Microprocesador. (Ref. 2, Pag. 17)

La estructura descrita del Microprocesador le confiere la potencia precisa para poderse aplicar en casi todos los campos de la industria, comercio, gestiones etc. Variando en cada caso, solamente la secuencia de las instrucciones y los módulos de adaptación con el exterior.

El Microprocesador constituye la solución práctica, en un amplio nivel o margen de aplicación, para el desarrollo de las máquinas programadas.

La parte inferior de la figura 1 ofrece una arquitectura básica de un Microprocesador típico e hipotético y las principales interrelaciones internas y externas de los elementos que contiene.

2.2 SISTEMA BÁSICO CON MICROPROCESADOR.

La máquina programada, o sea el computador o procesador de datos completo, consta de 3 partes relacionadas entre sí:

1. CPU.
2. Memoria.
3. Unidades de entrada y salida. (I/O).

La CPU ejecuta las instrucciones que le proporciona la memoria y procesa los datos recibidos de los módulos de entrada, para originar unos resultados que salen al exterior por los puertos de salida.

2.2.1 INFORMACIÓN DE DATOS E INSTRUCCIONES.

Las instrucciones están almacenadas siempre en la memoria, mientras los datos que procesa u obtiene el programa de instrucciones pueden proceder tanto de la memoria como de los módulos de entrada y salida.

Se supone, desde este momento, que las informaciones que contienen datos e instrucciones constan de 8 bits y circulan a través de 8 líneas comunes con todos los elementos del sistema, que como conjunto reciben el nombre de "Bus de Datos" o también "Colector de Datos". Este bus es bidireccional, puesto que la información puede circular, entrando o saliendo de la CPU.

2.2.2 INFORMACIÓN DE DIRECCIONAMIENTO DE MEMORIA Y OTROS

Se trata de la información digital que envía la CPU a la memoria y restantes elementos del sistema para determinar y escoger una posición específica. Se supondrá que esta información binaria sobre el direccionamiento circula por 8, 16, 32 ó 64 (según el modelo de procesador) líneas que conectan la CPU con los restantes elementos direccionales del sistema y reciben en conjunto el nombre de "Bus de Direcciones" o también "Colector de Direcciones". Este bus es Unidireccional, puesto que su información siempre procede de la PCU.

2.2.3) INFORMACIÓN DE CONTROL Y TIEMPOS.

Es la información que envía la CPU a los elementos del sistema, o bien recibe de éstos, y cuya misión es gobernar e informar el estado del conjunto de los elementos que forman el sistema.

El número de líneas que constituyen el canal de transferencia de este tipo de información es variable y recibe la denominación de "Bus de Control" o también "Colector de Control".

En lugar de relacionarse entre los elementos del sistema basado en Microprocesador mediante líneas independientes, las informaciones se transmiten por medio de conjuntos de líneas o buses comunes a todos los elementos, y reducen considerablemente el conexaso y el número de patillas del Microprocesador. Esta reducción exige un incremento del control de la CPU sobre el sistema, puesto que a cada momento las informaciones contenidas en los buses se dedican a un solo elemento, debiendo impedirse la participación o interferencia de los restantes elementos.

Obsérvese en la figura 2, que la participación de las puertas I/O, se regula a través de la CPU mediante el empleo del bus de direccionamiento que las selecciona de manera similar a las posiciones de la memoria. Los decodificadores de los diversos elementos reciben e interpretan si la dirección enviada por la CPU, contenida en el bus de direccionamiento, les corresponde. También debe observarse en dicha figura que la recepción y transmisión de información de los elementos del sistema se realiza desde elementos triestado, que permitan la no interferencia entre los mismos.

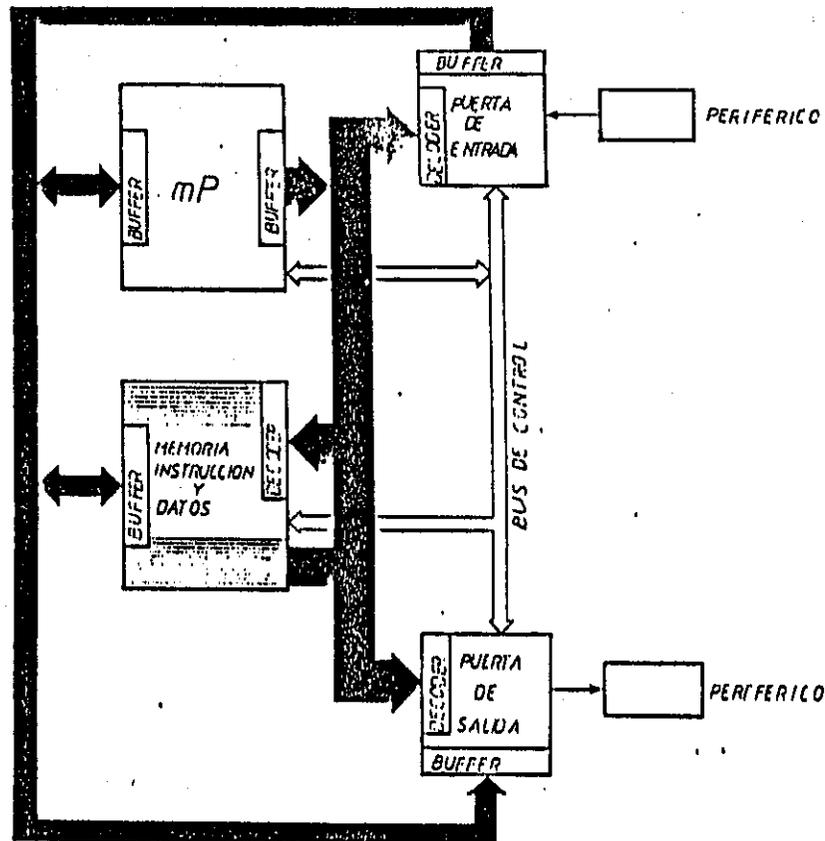


Figura 2. Sistema basado en Microprocesador con una configuración típica a base de buses o colectores. (Ref. 2, Pag. 19)

La conexión en paralelo de todos los elementos del sistema con microprocesador a los buses, entre la desconexión total de aquellos elementos que no participan en el intercambio en un momento determinado, si las líneas conectadas al bus de datos fueran digitales con sólo dos estados estables, se produciría un cortocircuito permanente entre las líneas correspondientes de los diversos componentes. Para evitar que los componentes que no participan en una transferencia, cortocircuiten el estado de las líneas, todos ellos disponen de Buffers Triestado en la recepción y salida de información en el bus de datos bidireccionales, como se puede observar en la figura 3-a.

Como se puede observar en la figura 3-b, un elemento triestado deja pasar la información desde su entrada hasta su salida, siempre que la línea de "permiso" (Enable) esté activada. En caso contrario, la salida no es de nivel 1 ni tampoco 0, simplemente queda desconectada o estado "Flotante" o de alta impedancia.

Cuando por el bus de direccionamiento se recibe una información que corresponde con una posición de la memoria, ésta decodifica con el interior del correspondiente elemento de memoria. En caso contrario, si la dirección de información no pertenece al elemento analizado, el buffer triestado que posee para entrada o salida de información, queda en estado de alta impedancia y por lo tanto las líneas del bus de datos quedan interrumpidas o desconectadas con las del elemento de memoria que se comenta.

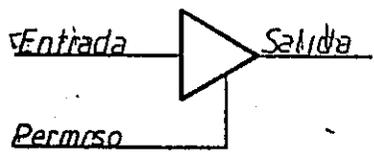
Elegida una determinada posición de memoria, los restantes elementos del sistema quedan desconectados al bus de datos por mediación de sus buffers. Entonces caben dos operaciones en la memoria, la de lectura de posición y traspaso de su contenido al bus de datos, o la de escritura de dicha posición con el contenido de la información del bus de datos. La selección de la operación adecuada se efectúa mediante la activación de las correspondientes líneas de Escritura y de Lectura pendientes al bus de control y enviadas desde la CPU.

2.3 DIAGRAMA DE CONEXIONADO DE UN MICROPROCESADOR HIPOTETICO.

En la figura 4, se muestra el diagrama de pines de un Microprocesador hipotético y por tanto no existente en el mercado. Con él se trata de analizar las diferentes líneas de interconexión del Microprocesador con el resto del sistema, tratando de simplificar la comprensión del funcionamiento tanto del propio Microprocesador como del sistema que gobierna.

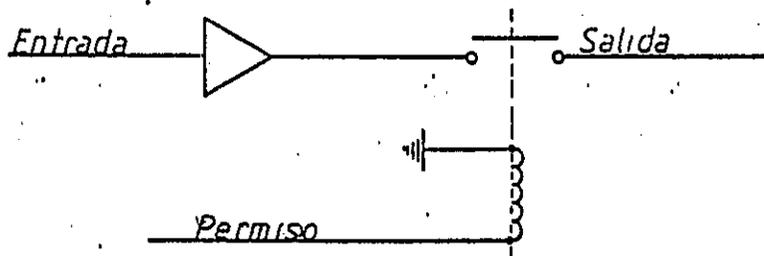
Cualquier Microprocesador dispone de una serie de líneas comunes con todos los modelos, que se ha tratado de generalizar en la configuración de la figura 4. Dichos conjuntos de líneas similares pueden agruparse de la siguiente manera:

1. Líneas de direccionamiento.
2. Líneas de datos.
3. - Entrada de alimentación.
4. - Cristal o red RC.
5. - Salida de las señales de reloj.
6. - Petición de Reset.
7. - Hold y Holda.
8. - Ready.
9. - Interrupciones.

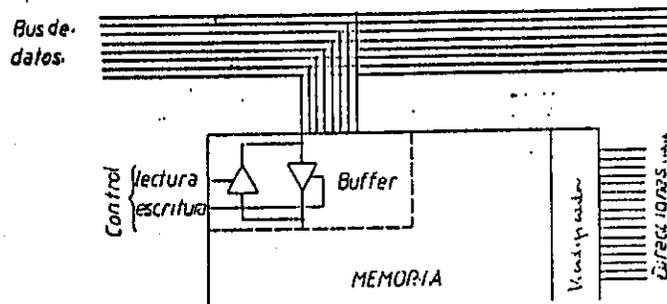


Permiso	Entrada	Salida
1	1	1
1	0	0
0	1	Alta Imp.
0	0	Alta Imp.

a. Actuación de un buffer triestado.



b. Circuito equivalente de un elemento triestado.



c. Acción del buffer Triestado.

Figura 3. Importancia de los elementos triestados para compartición de líneas de la estructura de buses de los sistemas con microprocesador. (Ref. 2, Pag. 20)

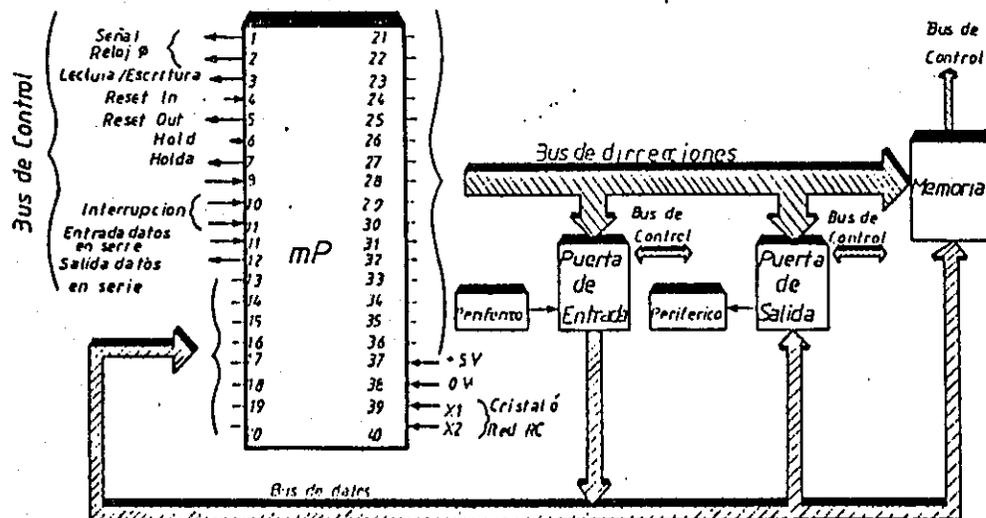


Figura 4. Configuración de los pines de un microprocesador hipotético. (Ref. 2, Pag. 21)

2.4 TIPOS DE MEMORIAS INTEGRADAS.

La memoria es la parte del sistema basada en el microprocesador, que se encarga de almacenar datos e instrucciones en el código binario.

Existen dos tipos fundamentales de memorias integradas:

- a) Memoria RAM (Random Access Memory) Memoria de acceso aleatorio.
- b) Memoria ROM (Read Only Memory): Memorias de sólo Lectura que también es de acceso aleatorio.

Acceso aleatorio significa que se puede acceder a cualquier posición sin seguir un orden determinado. Las memorias RAM pueden ser leídas o escritas mientras que las posiciones de la ROM una vez grabadas sólo se pueden leer.

Las memorias RAM son volátiles y en caso de cortarse su alimentación se pierde el contenido de sus células. Las ROM tienen grabado en forma permanente en el programa principal que ejecuta el Microprocesador.

Según el tipo de conexión que se emplee, las memorias ROM se clasifican en 3 grandes grupos:

2.4.1 MEMORIAS ROM DE MÁSCARA.

Por procedimientos sofisticados, se diseña en fábrica una máscara que permite el conexionado de los cátodos de los diodos que deben contener nivel 1 durante la fabricación de los circuitos integrados.

La realización de esta máscara es muy costosa y sólo interesa la producción, si sus alcances fueran superiores al millar de unidades.

2.4.2 MEMORIA PROM.

El fabricante suministra este tipo de memorias con un fusible electrónico especial que actúa de conexión. Mediante un apropiado instrumento que se denomina programador de PROM, se funden aquellos fusibles correspondientes a los diodos que deben representar un nivel 0. Este sistema es idóneo en pequeñas series y prototipos.

2.4.3 MEMORIA EAROM.

El contenido de sus células es eléctricamente alterable y pueden grabarse mediante un programador especial y posteriormente borrar la información grabada por aplicación de intensidades adecuadas de rayos ultravioletas. Se pueden grabar y borrar un cierto número de veces.

2.5 PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL MICROPROCESADOR.

El interface entre los periféricos y el sistema con Microprocesador requiere circuitos de adaptación que puedan estar implementados con componentes convencionales (Decodificadores, buffers, etc); con circuitos integrados de propósito general como los PIA (Paralelo) y los UART (Serie) o con controladores específicos para (I/O) se les considera posiciones destinadas a la memoria. Este procedimiento se denomina "Memory Mapped".

Existen tres importantes procedimientos para el manejo de las entradas y salidas, que se describen a continuación:

1. Por software.

Se trata de un sistema de consultas sucesivas denominado Software, que consulta a los periféricos, realizado por medio de un programa, para detectar quien de ellos solicita la atención de la CPU para proceder a una entrada o salida de información. Este sistema es síncrono y por lo tanto no atiende a las peticiones en el instante en que se producen, sino cuando corresponde por programa.

También tiene el inconveniente, este método, que utiliza gran parte de la memoria del propio programa para el tratamiento de las I/O.

2. Mediante interrupciones.

Los periféricos provocan una interrupción a la CPU para reclamar su atención. En este caso, las interrupciones tienen carácter prioritario y además es posible su enmascaramiento o no atención en los momentos que esto interesa que suceda.

3. Acceso directo a memoria. (DMA).

Con este procedimiento, cada vez que un periférico interrumpe, se lo comunica al controlador de DMA, que detiene a la CPU mediante una señal de Hold y se encarga de transferir datos desde la memoria al periférico (salida) o viceversa (entrada) directamente, es decir, sin participación de la CPU, lo que supone alcanzar grandes velocidades.

En la figura 5, se muestra el diagrama del bloque de un sistema de Microprocesador que emplea el procedimiento de Memory Mapped antes aludido. Mediante el bus de direcciones, se selecciona el periférico que se va a tratar y la información de entrada y salida se transfiere por el bus de datos.

En la actualidad, los fabricantes de productos electrónicos trabajan en diseños muy perfeccionados de controladores de periféricos específicos, que incluyen a otro microprocesador para el gobierno del controlador.

2.6 ELEMENTOS NECESARIOS PARA PROGRAMAR EN MICROPROCESADOR.

El empleo de máquinas programadas requiere, además del conocimiento de la estructura de los componentes que la forman, la manera de confeccionar los programas de instrucciones que resuelven las aplicaciones específicas en las que se utiliza, que son la arquitectura y características de físicas de los componentes de la máquina. Estos componentes de la máquina se engloban bajo las denominaciones de "HARDWARE", mientras que el manejo de las instrucciones y las técnicas de

programación son denominadas genéricamente como "SOFTWARE". El especialista en sistemas basados en microprocesadores debe reunir amplios conocimientos de Hardware y Software, pues ambos campos están estrechamente ligados.

El decodificador de Instrucciones de una CPU es capaz de interpretar un repertorio de instrucciones limitado, que en la mayoría de los casos ronda el centenar. Todos los elementos del sistema son digitales y trabajan exclusivamente con información binaria.

El "Lenguaje de Máquina" es el que interpreta directamente el sistema, luego en este lenguaje las intrucciones se representan en el código binario. Así por ejemplo, la instrucción de restar puede tener como código binario en lenguaje de máquina 11110000, mientras que la instrucción para realizar la operación lógica "AND" puede ser 10101010.

Dado que se considera a las posiciones de memoria múltiplos de 8 bits, cada vez que se accede a la lectura de una de ellas, se envía al decodificador de instrucciones, vía el bus de datos e instrucciones, el código de una instrucción, según se muestra en la figura 6. También se puede enviar de esta forma un dato de 8 o más bits, en cuyo caso no va para el decodificador de instrucciones.

Con el objeto de evitar trabajar con el sistema binario, que origina largas expresiones y produce frecuentes equivocaciones, al ser muy posible cambiar un "1" por un "0" o viceversa, es interesante emplear como código de operación, el sistema hexadecimal, con el que se representa cada 4 bits por un dígito. Así el código binario 11110000 correspondiente a la instrucción de restar, se convierte en F0 en código OP.

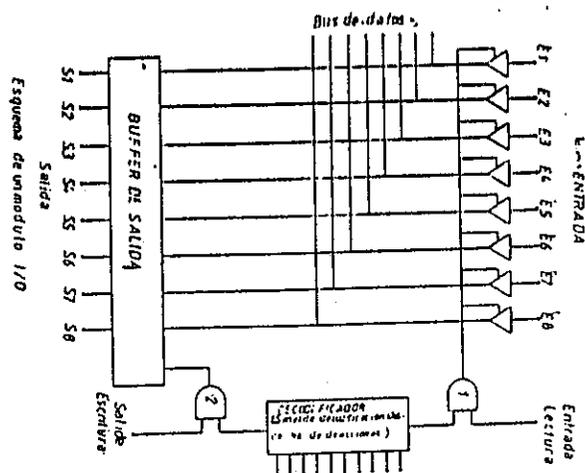
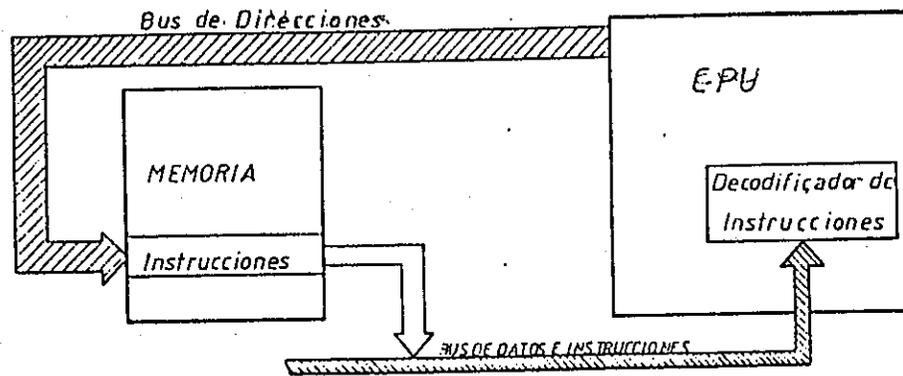


Figura 5. Tratamiento de las I/O o sistema "Memory Mapped". (Ref. 2, Pag. 28)

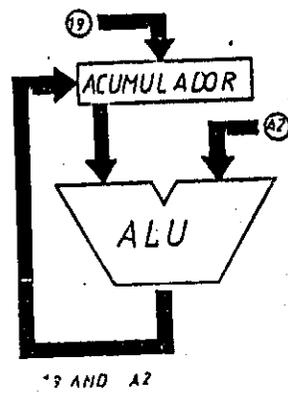


a. - Búsqueda de una instrucción en la memoria.

Lenguaje de Máquina en Binario.

INSTRUCCION	LENGUAJE DE MAQUINA (BINARIO)		OP (Hex)	NEMONICO
RESTAR	1111	0000	F0	SUB
SUMAR	0000	1111	0F	ADD
CARGAR ACUMULADOR	1111	1111	FF	LDA
ALMACENAR ACUMULADOR	0000	0000	00	STA
OPERACION AND	1010	0111	A7	AND
OPERACION OR	0101	1010	7A	ORA
FIN	1000	1000	88	END

b. - Instrucciones expresadas en lenguaje binario hexadecimal y nemónico.



INSTRUCCIONES	NEMONICO	OP	BINARIO
CARGAR ACUMULADOR CON 19	LDA	FF	1111 1111
OPERACION AND CON A2	AND A2	A7	1010 0111
ALMACENAR ACUMULADOR EN 23	STA 23	00	0000 0000
FIN	END	88	1000 1000

c. - Un ejemplo de programación en los 3 lenguajes.

Figura 6. Instrucciones en un microprocesador. (Ref. 2, Pag. 31)

Los programas confeccionados en código binario o Hexadecimal no tienen significado para la mente humana formando una serie de números y letras que carecen de sentido. Para proporcionar un significado inteligible, tanto en la realización como en la interpretación de programas, se creó un lenguaje de tipo nemónico, en el que cada instrucción se representa con varias letras que corresponden a las abreviaturas del significado de la instrucción en idioma inglés. Así restar, (Substract) en lenguaje nemónico se expresa Sub, sumar (Add) por ADD. cargar A (Load A) por LDA, etc.

2.6.1 CONFECCIONADO DE UN PROGRAMA

Una vez definido completamente el problema que se trata de resolver con una máquina programada (sistema con Microprocesador), las fases para la confección del programa son las siguientes:

1. Ordinograma o diagrama de flujo.

Consiste en dibujar un diagrama de tipo gráfico que ordena la secuencia de las operaciones que se va a ejecutar por la máquina para resolver el problema. Estas operaciones se han de especificar en pasos elementales capaces de ser llevados a cabo por el repertorio de instrucciones compatible con la máquina. Estos elementos pueden ser:

a) De operación.

Indican la realización de una operación determinada, por ejemplo sumar, cargar, etc.

b) De toma de decisión.

Permiten la rotura de secuencia o continúan el programa según se dé o no una condición. Un ejemplo de la utilización de este símbolo puede ser "A=10?" que admite dos repuestas: Si o No, y ofrecen para cada posibilidad una forma diferente de continuar el programa.

c) De terminal.

Empleado al principio y al final del programa.

d) De línea de flujo.

Indican el camino operativo del programa.

2. Listado de instrucciones.

A la vista del diagrama, se escribe el programa de instrucciones, y se resuelven las fases del ordinograma mediante las instrucciones que admite el decodificador de instrucciones.

Se supone que para la confección de los programas de sistemas basados en Microprocesador, se utiliza el código de máquina, bien directamente en binario, en Hexadecimal o con nemónico.

3. Depuración, corrección y mejora del programa. Para esta fase conviene disponer de sistemas de desarrollo con facilidades en el software.
4. Ejecución del programa y comprobación de resultados.

En programas extensos y complicados, es conveniente dividirlos en bloques funcionales y resolver cada uno separadamente para alcanzar el resultado final.

CAPÍTULO III

GENERALIDADES DE TRANSDUCTORES.

INTRODUCCIÓN:

Un transductor está definido como un dispositivo que recibe energía de un sistema y retransmite ésta, a menudo en una forma diferente a otros sistemas. También un Sensor está definido como un dispositivo que es sensible a la luz, al calor o temperatura, impedancia eléctrica, o nivel de radiación y transmite una señal a un dispositivo de medida o de control. Por ejemplo, un Transductor de Presión no solamente incluye un Sensor de Presión, sino también de redes de compensación requeridas al grupo de sensores para que sea compatible con otros tipos de transductores.

El término transductor, galga, sensor o también, recolector, como aplicación en instrumentación electrónica, denota la magnitud de un estímulo aplicado, y convierte a éste en una señal eléctrica proporcional a la cantidad de estímulo. Variaciones de el fenómeno pueden, en muchos casos, ser referenciados a la vez.

Ampliamente definido, el Transductor es un dispositivo del cual la energía fluye de uno o más sistemas de transmisión, a también uno o más sistemas de recepción. La energía transmitida por estos sistemas puede ser de cualquier forma, por ejemplo una señal mecánica o acústica. Esta energía puede ser de la misma o diferente forma en las varias entradas o las salidas del sistema. Esta amplia definición de un Transductor también incluye dispositivos que convierten potencia eléctrica en fuerza mecánica o desplazamiento.

La naturaleza de la salida eléctrica de un Transductor depende del principio básico incluido en su diseño. Los Transductores son usados en la industria y en la medicina como instrumentos para realizar mediciones de: Presión, fuerza, velocidad y aceleración, flujo de fluidos, sonido, temperatura; parámetros químicos tales como presión parcial, PH, impedancia eléctrica y muchas más. Recordando que los electrodos son también parte integral de lo que nosotros llamamos sensor. El propósito de este capítulo es introducir al principio vinculado en la operación de los transductores.

El transductor deber ser físicamente compatible con su función. Sobre la operación de un transductor, hay cerca de siete parámetros importantes que deben ser tomados en cuenta, y éstos son:

1. El principio de operación usada.
2. Voltaje externo o corriente aplicada al transductor para hacerlo funcionar.
3. Salida eléctrica del transductor.
4. Facilidad del transductor para reproducir la lectura de salida sobre todas las condiciones ambientales.
5. Estabilidad del transductor cuando éste trabaje.
6. Confiabilidad, por ejemplo, si el Transductor está contaminado, que tanto funcionará en este estado.
7. La forma que el Transductor puede ser operado y que no sea dañado.

Los factores en la medición de un Transductor son los siguientes:

1. Efectos de linealidad.
2. Efectos de histéresis.
3. Efectos de temperatura.
4. Efectos de alimentación de carga.
5. Efectos de calibración.
6. Limitación de los componentes.
7. Tamaño, si es usado en medicina.

Los Transductores de mayor uso en la industria son los siguientes:

1. Transductores de presión.
2. Transductores para mediciones de torque y fuerza.
3. Transductores para mediciones de desplazamiento.
4. Transductores para mediciones de velocidad.
5. Transductores para mediciones de espesores.
6. Transductores para mediciones de flujo.
7. Transductores para mediciones de temperatura.
8. Transductores para mediciones de sonido.

3.1 TRANSFORMADORES DIFERENCIALES DE VARIACIÓN LINEAL (LVDTs).

Un importante transductor de desplazamiento usado en aplicaciones médicas e industriales es el transformador Diferencial de variación lineal. La figura 1 muestra el diagrama del transformador. Este transformador produce una salida eléctrica proporcional al desplazamiento de un núcleo suelto movable. La excitación AC es aplicada al primario, como se observa en la figura 1. Dos secundarios idénticos, simétricamente espaciados o separados del primario, son conectados en circuito oposición-serie. El movimiento del núcleo magnético varía la inductancia mutua de cada secundario sobre el primario, el cual determina el voltaje inducido del primario, a cada secundario. La figura 2 muestra una sección de un LVDT.

Si el núcleo está ubicado en el centro del secundario, el voltaje inducido en cada secundario es idéntico y 180 grados fuera de fase, aunque no haya ninguna carga conectada en la salida. Si el núcleo es movido fuera de centro, la inductancia mutua del primario con el secundario será mas grande que el del otro. El voltaje diferencial aparecerá a través del secundario en serie. Para desplazamientos del núcleo idéntico, el rango de operación es función lineal de el desplazamiento. Por no haber contacto físico entre el núcleo y el devanado, los componentes mecánicos de un LVDT no sufren desgaste.

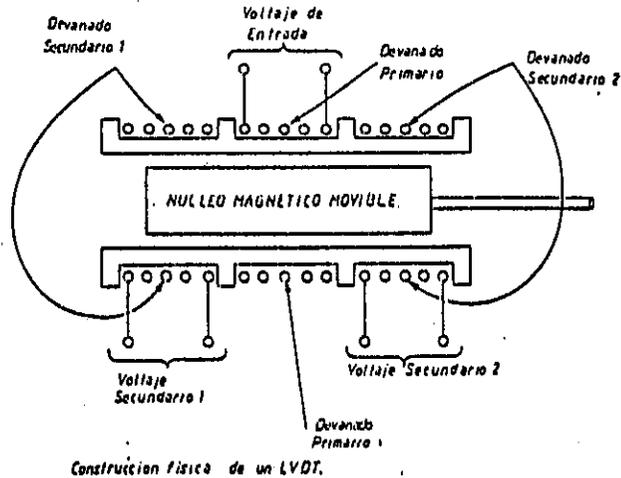


Figura 1. Transformador diferencial de variación lineal. (Ref. 3, Pag 70).

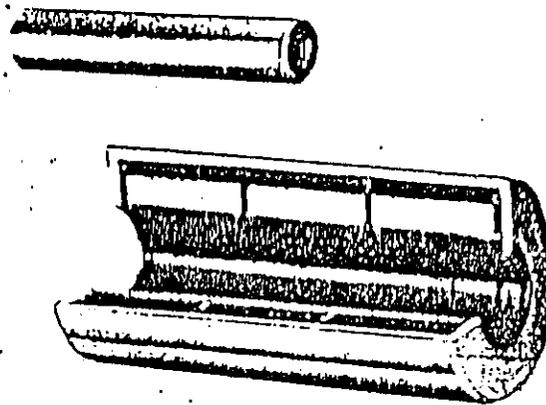


Figura 2. Corte de transformador diferencial de variación lineal. (Ref. 3, Pag. 71)

La correspondiente ausencia de fricción da verdaderamente infinita resolución y ninguna histéresis. El pequeño núcleo y la carencia de fricción realiza respuestas capacitadas para mediciones dinámicas.

El LVDT presenta las siguientes características:

1. Su resolución es excelente.
2. Muy pocas pérdidas por histéresis.
3. Su respuesta y características mecánicas son excelentes.
4. Características de temperatura son excelentes.
5. Su sensibilidad a la vibración y al ambiente son buenas.
6. Linealidad, capacidad de sobrecarga mecánica y vida excelentes.

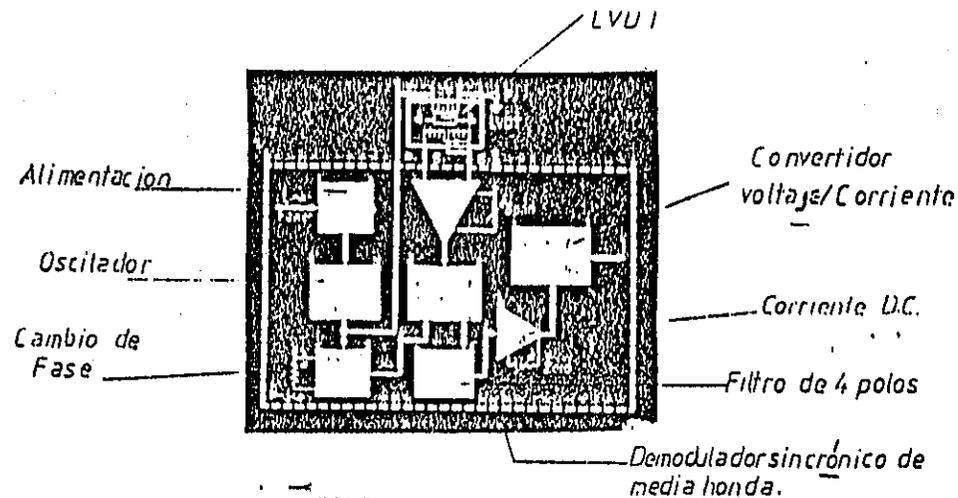


Figura 3. Diagrama de bloques de un LVDT para instrumentación. (Ref. 3, Pag. 70)

3.1.1 RANGO NOMINAL LINEAL DE UN LVDT

La variable básica para la selección de un LVDT es su máximo desplazamiento del núcleo desde su posición nula, que produzca una salida de específica linealidad. La distancia que se mueve el núcleo, es llamado desplazamiento de plena escala. Así el núcleo puede ser desplazado, desde su posición nula, hacia el final del rango de operación lineal, que es 2 veces el desplazamiento de plena escala y es llamado el rango de operación lineal del LVDT.

El rango lineal de algunos LVDT puede variar algún porcentaje con la frecuencia de la red de alimentación. El rango de linealidad del LVDT es un valor conservativo para cualquier frecuencia, a la cual el transformador es alimentado. Cuando el LVDT es usado con el núcleo correcto, para la frecuencia

especifica, el rango actual de linealidad será siempre igual o excederá al valor nominal. Donde la linealidad óptima no sea esencial, el rango de operación puede ser extendido más allá del rango nominal lineal. Contrariamente, linealidades impredecibles pueden ser obtenidas usando el LVDT en menos del rango nominal.

Otro factor que afecta la linealidad de operación de un LVDT es la resistencia de carga. La figura 4 muestra el efecto de la frecuencia de entrada y la resistencia de carga para un LVDT típico. El rango de operación lineal es mejor especificado para una alta resistencia de carga, típicamente de 50 kilohms a 0.5 Megohms. Si se necesita en el proceso baja resistencia, el efecto sobre el rango lineal debe ser considerado.

3.1.2 SENSITIVIDAD DE UN LVDT.

La sensibilidad de un LVDT puede ser especificada en términos de escala plena nominal de salida. Esto quiere decir: la salida de un LVDT posicionada en el desplazamiento de plena escala y con el primario excitado a su voltaje nominal de entrada específica. La sensibilidad es generalmente dada en términos de los milivoltios de salida, por milésimas de pulgada de desplazamiento, por voltios de salida, por pulgada, por voltio de entrada.

La salida ideal de un LVDT con resistencia de carga infinita, a alguna dada posición de el núcleo, es el producto de la sensibilidad, desplazamiento del núcleo y el voltaje de entrada. Sin embargo, el voltaje de salida real depende sobre todo de la resistencia de carga y la frecuencia de excitación. Esto puede ser observado en las figuras 4 y 5. Si es usada una alta resistencia de carga, la diferencia entre la salida ideal y la real, será insignificante, sin embargo, si se va a utilizar una resistencia de carga muy baja el efecto de ésta sobre la salida debe ser considerada. La sensibilidad de voltaje varía con la frecuencia de excitación, por tanto, ésta debe ser conocida cuando se tomen consideraciones sobre la sensibilidad.

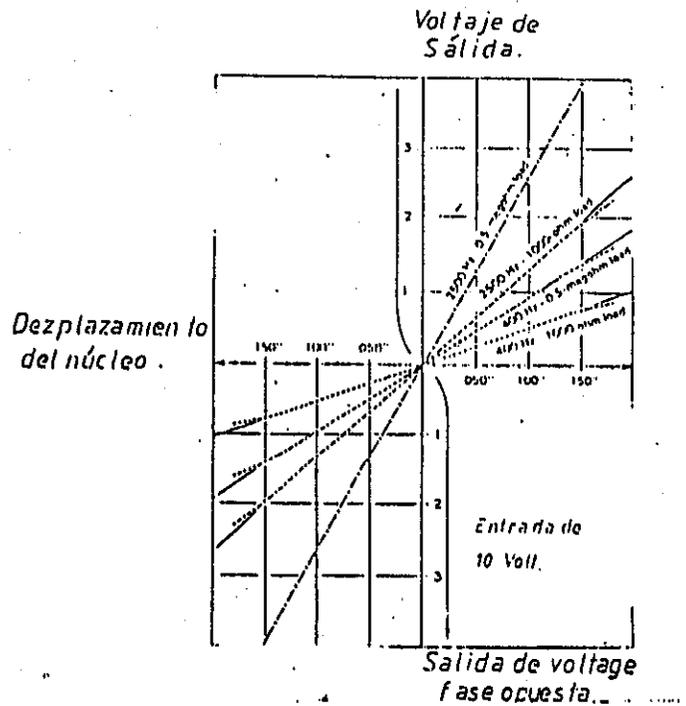


Figura 4. Característica de salida de un típico LVDT para varias resistencias de carga y frecuencias de excitación. (Ref. 3, Pag. 73)

3.1.3 LINEALIDAD DE UN LVDT.

El voltaje de salida de un LVDT es precisamente una función lineal del desplazamiento del núcleo dentro de un rango especificado de movimiento. Consecuentemente, una curva del voltaje de salida versus el desplazamiento del núcleo, es esencialmente una línea recta, dentro del rango especificado del movimiento del núcleo, como se ilustra en la figura 5.

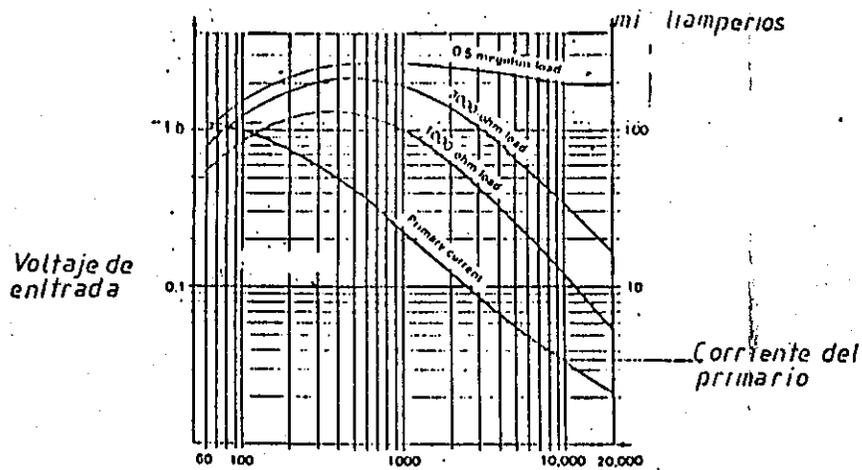


Figura 5. Escala plena nominal de salida a varias cargas y corriente de primario versus frecuencia de excitación para un típico LVDT. (Ref 3, Pag 75)

Más allá del rango nominal lineal, la salida empieza a desviarse de una línea recta y se aproxima a una línea curva. Dentro del rango nominal, la máxima desviación de salida de un LVDT, que caiga dentro de los mejores puntos de la curva de salida, está definida como linealidad de un LVDT.

La linealidad es generalmente expresada como un porcentaje de plena escala de salida, pero ocasionalmente como un porcentaje de lectura. La mejor línea recta de un LVDT es determinada por el método de mínimos de una serie de lecturas calibradas.

La linealidad es normalmente especificada para una alta resistencia de carga; la figura 5 muestra las no linealidades resultantes de una carga excesiva.

Típicas linealidades de LVDT standards son 0.25% de plena escala, pero perfeccionamientos más allá del ordinariamente especificado, son posibles por especiales técnicas de construcción. Linealidades de 0.05% de plena escala pueden ser obtenidas de esta manera. Ahora, linealidades pueden también ser perfeccionadas por la operación de el LVDT a menos de su rango nominal lineal del desplazamiento del núcleo, o solamente usando un lado de el transformador.

3.1.4 VOLTAJE NULO DE UN LVDT.

Alguna salida residual de un LVDT cuando el núcleo está en posición para salida mínima es llamado voltaje nulo. Idealmente la salida de un LVDT a posición nula del núcleo, debe ser cero. Sin embargo, voltajes en cuadratura y componentes armónicos de la fuente de excitación no son cancelados.

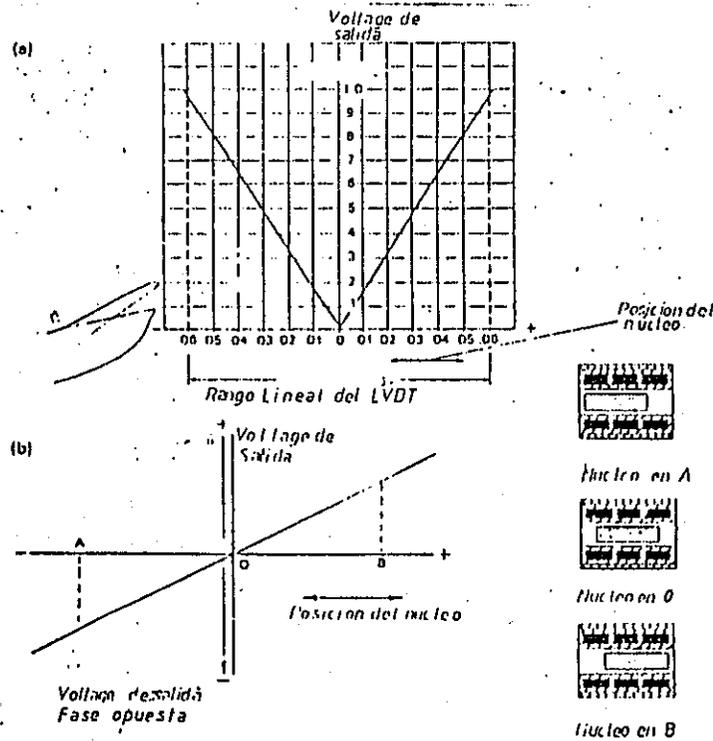


Figura 6. (a) Magnitud absoluta de el voltaje de salida y (b) Fase de referencia del voltaje de salida como una función de la posición del núcleo de el LVDT. (Ref. 3, Pag. 75)

Los voltajes en cuadratura son resultado de la diferencia de capacitancia entre el primario y cada secundario. La salida del secundario no tiene exactamente el mismo ángulo de fase, por lo tanto, ellos no cancelarán completamente a la salida de alguna posición del núcleo.

Las componentes armónicas son indicios de distorsión armónica en la señal de excitación o imperfecciones en los materiales magnéticos. Los voltajes secundarios de las frecuencias armónicas no son generalmente canceladas a la salida a la misma posición del núcleo, como es la componente fundamental de la frecuencia de excitación.

La magnitud de la combinación de los voltajes en cuadratura y armónicos, es insignificante para muchos propósitos, típicamente menos que un 0.25% del de plena escala. Además, si un LVDT es usado con adecuadas señales y demoduladores, no existirá un voltaje nulo.

El voltaje nulo para algún LVDT puede ser definido para condiciones de un circuito particular, puesto que el voltaje nulo puede diferir sobre las condiciones de otro circuito. La óptima razón de voltaje nulo para standard LVDT es basado en las condiciones del siguiente circuito, como se muestra en

la figura 7, el cual es deseable y práctico para muchas (pero no necesariamente todas) aplicaciones:

- 1) El voltaje del primario es equilibrado o balanceado al circuito común o tierra, cada uno por medio de un tap central de tierra sobre la fuente de excitación o por medio de dos resistencias iguales retornadas a tierra.
- 2) El final del secundario es retornado a tierra.

3.1.5 RESOLUCIÓN Y REPETIBILIDAD DE UN LVDT.

El cambio más corto en la posición, que puede ser observado en la salida de un LVDT, es llamado resolución. Así, un LVDT que opera sobre el principio de acoplamiento magnético, su resolución es esencialmente infinita. Esto significa que un cambio infinitesimal en la posición del núcleo producirá un cambio en la salida. En la práctica, la limitación sobre la resolución del sistema es la habilidad del equipo electrónico asociado para sensar la salida de el LVDT. Resolucionadores en milésimas de pulgada no son muy comunes. La habilidad de un transductor para reproducir la misma salida para repetidas señales de entrada, sobre operaciones constantes y condiciones ambientales, es llamada repetibilidad.

La repetibilidad de un LVDT es afectada solamente por factores mecánicos de los miembros físicos o estructuras a las cuales el núcleo es unido.

3.1.6 VOLTAJE DE EXCITACION DE UN LVDT.

Los LVDT son diseñados para operar en el rango nominal de entrada de 1 a 10 voltios AC, aunque otros voltajes pueden ser usados sobre ciertas aplicaciones. Las características de operación de los LVDT son especificadas y comparadas para un voltaje en particular de entrada, dentro de este rango la potencia de excitación requerida, para producir sensibilidades útiles sobre diferentes tipos de LVDT, varían el tamaño del transformador y su aplicación. En muchas aplicaciones, esto es solamente una fracción de watt.

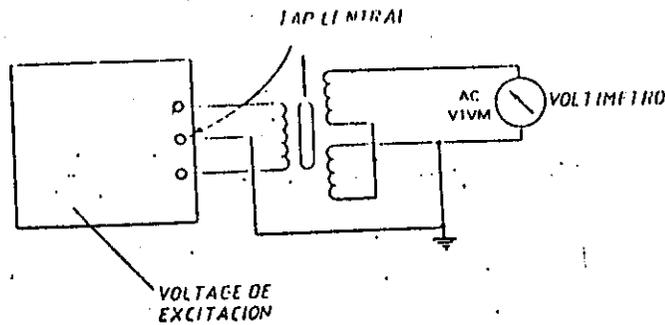


Figura 7. Conexiones de un LVDT para mediciones de voltaje nulo. (Ref. 3, Pag. 77)

Dependiendo de la frecuencia de excitación y la temperatura ambiente, la salida de un LVDT puede algunas veces ser incrementada por el aumento de voltaje de entrada. Una restricción sobre el voltaje de entrada de un LVDT es la máxima potencia de entrada permisible; esto es generalmente limitado por el máximo calentamiento del primario, por el efecto de temperatura de la corriente del primario a la máxima temperatura ambiente.

La corriente del primario de un LVDT excitado a un voltaje decrementado fijo, como a una frecuencia de excitación incrementada, se muestra en la figura 5. Así el voltaje de entrada a altísimas frecuencias de excitación puede ser incrementado, dentro de los límites de máxima potencia de entrada. Sin embargo, el voltaje de entrada no debe producir la saturación del núcleo o exceder el voltaje de ruptura del aislamiento.

La máxima precisión de un LVDT puede ser comprometida, cuando un alto voltaje de entrada es usado, para producir alta sensibilidad a causa de los efectos térmicos de operación, sobre la operación de el LVDT. Además, los incrementos de excitación, pueden producir indeseables salidas debido a distorsión. La figura 9 muestra el porcentaje de distorsión armónica, sobre la salida de un típico LVDT planteando además, voltaje de entrada para frecuencias de excitación comunes. Esta figura también muestra que el voltaje de salida es cerradamente proporcional al voltaje de entrada a varios niveles de excitación.

Algunas veces, el voltaje de salida puede ser incrementado más allá de las razones de la carga. Tal arreglo puede ser verificado experimentalmente para evitar efectos adversos sobre el funcionamiento del transformador, particularmente de la linealidad y sensibilidad a variaciones de frecuencia y temperatura.

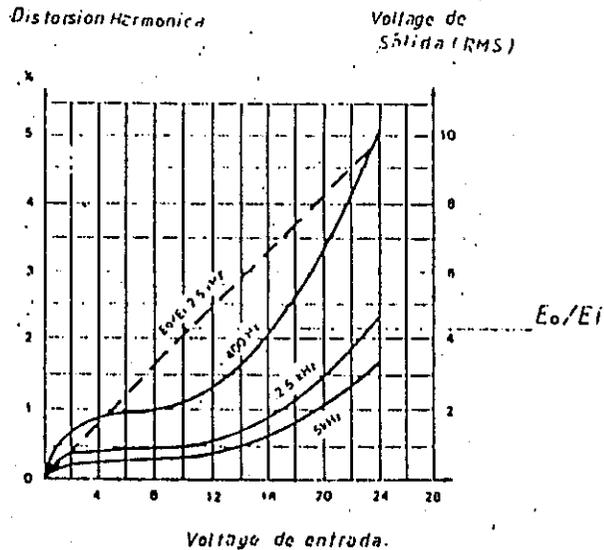


Figura 8. Salida de plena escala y distorsión armónica de salida para un típico LVDT. (Ref. 3, Pag. 79)

3.1.7 REGULACIÓN DEL VOLTAJE DE ENTRADA DEL LVDT.

El voltaje de salida de un LVDT es directamente proporcional al voltaje del primario. Por lo tanto, a menos que el LVDT este siendo usado en una aplicación donde el voltaje o la corriente del primario es una de las variables, la excitación debe ser lo más constante posible y monitoreada.

El generador de señal puede tener una baja impedancia de salida, para minimizar alguna variación del voltaje de pequeños cambios de la impedancia del primario de un LVDT, con las diferentes posiciones del núcleo y temperaturas ambientes. Cuando el voltaje de excitación no es automáticamente y precisamente regulado, esto puede ser monitoreado y reajustado como sea necesario. La calibración de un LVDT es mejor con la misma entrada de voltaje y frecuencia, que usando un material de mediciones.

Cuando un LVDT teniendo similares características es usado en un sistema de balance nulo ACM, el voltaje de excitación puede variar sobre una considerable medida causando un error, porque la medida voltaje y la comparación son idénticas; para los LVDT, la frecuencia puede asimismo variar sobre un ancho rango afuera, causando errores. Sin embargo, variaciones de frecuencia pueden tener un efecto sobre el voltaje nulo y los voltajes en cuadratura. Una fuente de potencia de corriente constante, antes que una fuente de voltaje constante, es algunas veces preferible para una precisa operación de un LVDT. Esto es

específicamente cierto cuando usando un nivel de excitación, produce un substancial aumento de temperatura sobre el transformador. En una fuente de corriente constante, las variaciones de salida que resultan de la normal variación de la resistencia del primario, como resultado de la temperatura ambiente, esta resistencia del primario es significativa a bajas frecuencias de excitación, cuando la resistencia es una fracción significativa de la impedancia del primario, pero llega a ser menos significativa a altas frecuencias, donde la impedancia del primario viene o llega a ser principalmente inductiva.

3.1.8 FORMA DE ONDA PARA EXCITACIÓN DE UN LVDT.

La mayoría de los LVDT necesitan para su funcionamiento una excitación de forma senoidal, la forma de onda pura es importante de tal forma que el voltaje de excitación debe ser relativamente libre de armónicos. La forma onda puede ser observada en la pantalla de un osciloscopio para detectar algún ancho de distorsión. Una medición de distorsión armónica o análisis de spectrum puede ser usada para mejores mediciones. Moderadas distorsiones pueden no influir en la linealidad de un LVDT, pero pudiendo incrementar el voltaje nulo. Si el voltaje nulo es excesivo para una particular aplicación, y filtra el voltaje de excitación o el voltaje de salida para remover armónicas, nos conducirá en una mejor operación.

3.1.9 IMPEDANCIA DE UN LVDT.

Un LVDT teniendo un especial voltaje de excitación, puede a menudo ser usado para satisfacer una particular aplicación. Además, el acoplamiento del primario al secundario es relativamente pequeño. La impedancia del secundario y su carga tiene un pequeño efecto sobre la impedancia del primario, sobre la corriente de entrada. Para un bien diseñado LVDT, la impedancia del secundario es prácticamente constante, a través de todo el rango de operación lineal del transformador.

Algunas veces es necesario conectar la salida de un LVDT directamente a un medidor electrónico. La entrada eléctrica requerida para producir una dada deflexión de un medidor, es más propiamente especificada en términos de potencia, que del voltaje. Para un específico LVDT, la impedancia de carga para una máxima potencia de salida, debe ser igual a la impedancia del secundario.

Este valor es una incógnita, pero puede ser determinado, al conectar una carga ajustable al secundario y realizar mediciones de potencia hasta ser determinado el máximo de potencia. Cada carga

conectada al secundario de un LVDT, puede afectar la linealidad de éste.

Cuando la salida de un LVDT debe ser acoplada hacia una baja impedancia de carga, para la cual una apreciable cantidad de potencia es requerida, un apropiado amplificador operacional puede ser usado con escasas pérdidas en la señal o en su fidelidad.

3.1.10 ANGULO DE FASE DE UN LVDT.

En un bien diseñado LVDT, el ángulo de fase del voltaje de salida, comparado con el voltaje de entrada, es esencialmente constante a través de una mitad del rango de operación lineal. Un cambio abrupto de 180 grados sobre la fase, toma lugar cuando el núcleo se desplaza de 180 grados, la fase toma lugar cuando el núcleo pasa por el punto nulo. Desplazamiento del núcleo de un LVDT a través del rango lineal, cambia el ángulo de salida ligeramente, que es típicamente menor que 1°. Esto normalmente es insignificante. Las características de ángulo de fase se muestran en la figura 9.

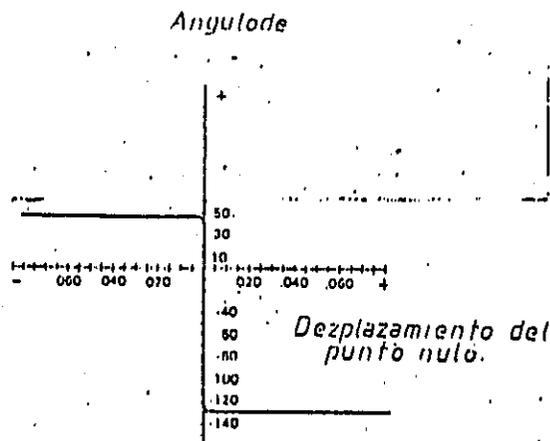


Figura 9. Ángulo de fase constante de un LVDT versus posición del núcleo, sobre cada lado de la posición nula. (Ref. 3, Pag. 83)

El ángulo de fase del voltaje de salida tiene 2 valores diferentes para 180 grados, que depende si el núcleo está sobre un lado de la posición nula o está sobre el otro. Cuando no se especifica otro ángulo, el valor nominal del ángulo de fase es al cruzar el cero.

Generalmente el ángulo de fase está comprendido entre 20° y 75° grados, que depende sobre todo del tipo de transformador, frecuencia, carga y otros factores, como se puede observar en la figura 10.

Un cálculo aproximado del ángulo de fase es justamente simple. Tomando el voltaje de entrada como referencia, la fase de la corriente del primario es:

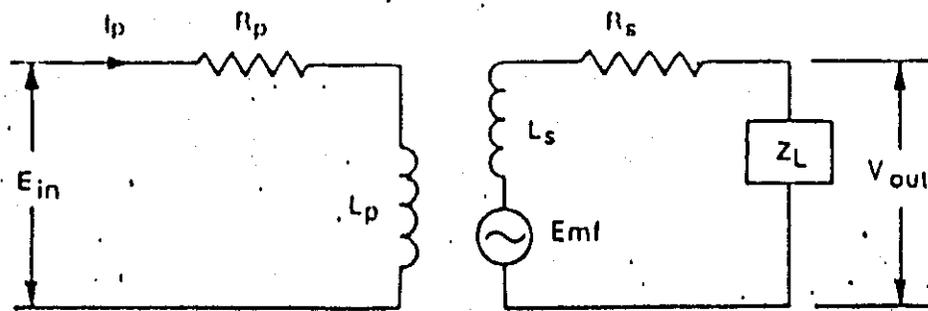
$$\theta_p = \tan^{-1}(2 \quad F l_p / R_p).$$

La fem generada en el secundario adelanta a la corriente del primario por 90° grados, por lo tanto, el ángulo de fase de esta fem inducida en secundario es fácilmente calculada como:

$$\theta_s = 90 + \theta_p = 90 - \tan^{-1}(2 P_i F l_p / R_p).$$

Si la impedancia de carga en la salida es muy alta, el voltaje de salida será prácticamente igual a la fem inducida en el secundario y ambos en amplitud y en fase. Si la impedancia de carga no es muy alta, la fase del voltaje de salida aparecerá a través de la carga, y puede ser calculada por la teoría elemental de circuitos, asumiendo que la resistencia del secundario, su inductancia y la carga, son conocidos.

El ángulo de fase calculado por el procedimiento simplificado precedido, es solamente aproximado, porque éste ignora la impedancia de reflexión del secundario que tiene efectos sobre la impedancia en el primario. Sin embargo, por el acoplamiento cercano del primario con el secundario, este efecto es pequeño. El efecto de la capacitancia, lo cual siempre está presente con alguna extensión, puede ser apreciable a alta frecuencia. Un circuito equivalente, basado en las simples suposiciones de la anterior descripción, es mostrada en la figura 11.



Nota: Emf adelanta I_p por 90°

Figura 11. Circuito equivalente simplificado de un LVDT. (Ref. 3, Pag. 82)

3.1.11 ÁNGULO DE FASE EN LA POSICIÓN NULA DEL LVDT.

Normalmente, conforme el núcleo pasa por el punto nulo, la fase de salida cambia abruptamente en 180 grados. Sin embargo, en condiciones de alto voltaje en cuadratura, la inversión de fase de 180 grados no es abrupta, pero toma la forma de un cambio de fase gradual en la vecindad del punto nulo. Esto es porque la fase del voltaje en cuadratura se suma a la fase de salida del LVDT en el punto nulo. En el punto nulo, la red del ángulo de fase del LVDT difiere por 90 grados de los dos ángulos de fase obtenidos a apreciable distancia de ambos lados del punto nulo.

Estas relaciones de fase están ilustradas en la figura 12. El vector OP representa el voltaje de entrada en el primario. OS1 y OS2 representan el voltaje de salida en los dos finales opuestos del rango de operación lineal. OS0 representa el mínimo voltaje de salida, el cual ocurre en el punto nulo. Las otras líneas sólidas de vectores representan el voltaje de salida para desplazamientos intermedios.

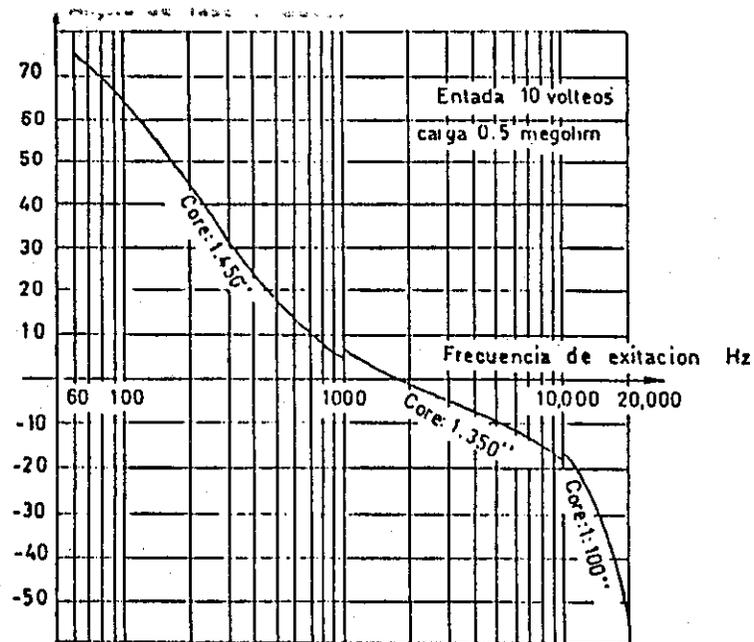


Figura 10. Angulo de fase versus frecuencia de excitación de un LVDT. Se debe notar que diferentes rangos de frecuencia de excitación requieren diferentes longitudes de núcleo para tener óptimas características. (Ref. 3, Pag. 83)

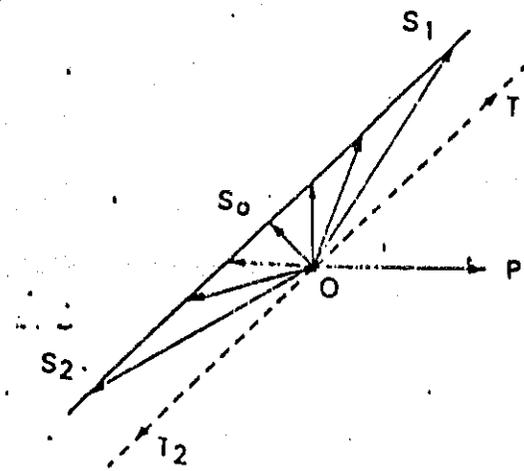


Figura 12. Representación vectorial del ángulo de fase de salida a varias posiciones del núcleo para un LVDT que tiene alto voltaje en cuadratura. La amplitud del voltaje nulo (OS_0) ha sido exagerada para mejor claridad. (Ref. 3, Pag. 84)

Para una adecuada ilustración la magnitud del voltaje mínimo de salida OSO ha sido grandemente exagerado en la figura 12. La línea punteada representa la salida de un LVDT perfectamente balanceada, y tiene cero como voltaje mínimo; OT1 y OT2 son los voltajes de salida en el final del rango lineal. La línea pasa a través del cero y, la fase cambia abruptamente por 180 grados en ese punto.

En algunas aplicaciones, el ángulo de fase de salida no es importante. En muchas aplicaciones, sin embargo, es deseable hacer el ángulo de fase muy pequeño o cero. Generalmente, incrementando la frecuencia de excitación, se reduce el ángulo de fase.

Así, en algunos casos, el ángulo de fase deseado puede ser obtenido por una conveniente selección de la frecuencia a ángulo cero. Excitando un LVDT en su frecuencia de ángulo cero, resulta una menor sensibilidad de frecuencia y temperatura.

En otros casos, un simple circuito modificado puede efectivamente producir salida de fase cero. Típicos circuitos correctores son mostrados en la figura 13. Los valores y componentes de estos circuitos dependen del tipo de transformador y la aplicación en la cual está usada.

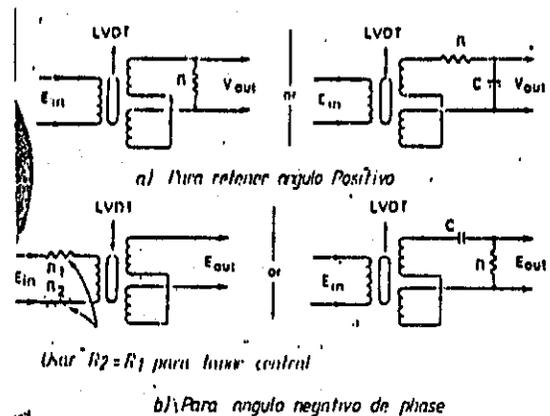


Figura 13. Circuitos para reducir el ángulo de fase un LVDT. (Ref. 3, Pag. 85)

3.2.1 POTENCIOMETROS.

El potenciómetro es el transductor eléctrico más común. Los potenciómetros pueden utilizarse solos o pueden unirse a un sensor mecánico para convertir un movimiento mecánico en una variación eléctrica. Desde el punto de vista de concepción un potenciómetro es móvil y puede posicionarse en cualquier punto a lo largo del elemento resistivo. Este contacto móvil se denomina de varias maneras, incluyendo toma, contacto y deslizador; se usan indistintamente los tres términos. La figura 14 muestra dos representaciones esquemáticas de un potenciómetro. En la figura 14-a, el elemento resistivo se ha dibujado en forma circular; esta representación hace referencia a la construcción física de la mayoría de los potenciómetros.

La gráfica 15 muestra una relación de resistencia versus ángulo del eje para un potenciómetro perfectamente lineal. La resistencia marcada en el eje vertical puede considerarse como la resistencia entre el contacto y uno de los terminales laterales de la figura 14.

El ángulo del eje dibujado en las abcisas es el ángulo a través del cual el deslizador está en contacto directo con el terminal lateral. Como puede observarse, un potenciómetro perfectamente lineal da una cierta cantidad de cambio en la resistencia, para un número dado de grados de rotación del eje, sin importar en qué punto se encontraba el eje. Es decir, que un movimiento del eje desde 0 grados hasta 60 grados produce un cambio de resistencia del 20% de la resistencia total, asimismo un movimiento del eje desde 180 grados a 240 grados de rotación, produce un cambio en la resistencia que va desde el 60% al 80% de la resistencia total, es decir, un cambio del 20%.

Es, desde luego, imposible fabricar potenciómetros que tengan linealidad perfecta. La situación real se muestra en la figura 15-b en la cual la resistencia se desvía de la recta ideal. El punto de la peor desviación respecto a la recta ideal determina el porcentaje de linealidad del potenciómetro. Por ejemplo, en la gráfica de la figura 15-b, en el peor punto de la resistencia real, difiere de la resistencia generada en una cantidad que es el 10% de la resistencia esperada, es decir de la resistencia total. Por tanto, la linealidad de este potenciómetro es del 10%.

Mientras que un 10% de linealidad podría ser adecuado para la mayoría de las aplicaciones industriales de los potenciómetros, es casi seguro que no sería adecuado para una aplicación de medición. Generalmente los

potenciómetros utilizados como transductores tienen linealidades menores que el 1% y en algunos casos tan baja como el 0.1%.

3.2.1 RESOLUCIÓN DE UN POTENCIÓMETRO.

Muchos potenciómetros son del tipo bobinado. En un potenciómetro bobinado, una cierta cantidad de cable delgado es arrollado alrededor de un núcleo aislante. Entonces, el contacto se mueve de una vuelta de alambre a la siguiente a medida que se ajusta el potenciómetro. El resultado es que la resistencia del contacto no varía de manera uniforme, sino que varía de manera a pasos. Este fenómeno de comportamiento se muestra bastante exagerado en la figura 16-c. El hecho importante aquí es que hay un límite en el cambio mínimo posible de resistencia. El cambio mínimo en resistencia es igual a la resistencia de una vuelta de alambre (hará un contacto que no hace puente entre vueltas). Por ejemplo, un potenciómetro de 500 ohmios que tenga 200 vueltas tendrá resistencia por vuelta de $500/200 = 2.5$ ohmios.

El más pequeño ajuste posible del potenciómetro movería el contacto de una vuelta a la siguiente inmediata, de modo que el cambio más pequeño posible en la resistencia determina la resolución del potenciómetro.

La resolución de un potenciómetro puede considerarse como la mínima variación posible de resistencia, expresada como un porcentaje de la resistencia total. Para el potenciómetro en el párrafo anterior la resolución será de $2.5/500 = 0.5\%$. Como regla general, los potenciómetros que inherentemente tienen buena resolución inherentemente tienen baja linealidad y viceversa. Desde luego, tomando precauciones especiales en el proceso de fabricación, es posible hacer potenciómetros utilizados para hacer mediciones que generalmente son de este tipo.

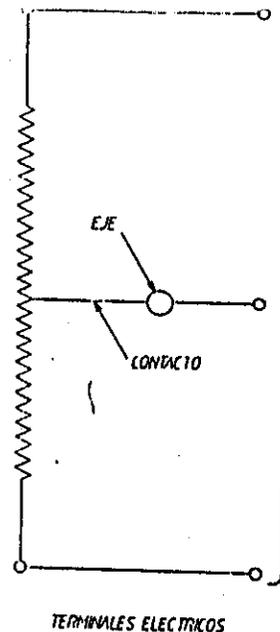
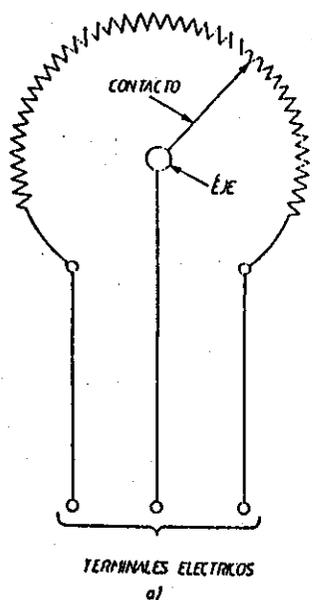


Figura 14. Símbolos esquemáticos de potenciómetros. (a) Símbolo circular el cual hace referencia a la apariencia física de los potenciómetros. (b) Símbolo rectilíneo. (Ref. 4, Pag. 397)

Con bastante frecuencia, un potenciómetro se instala en un circuito con un voltaje aplicado entre sus terminales laterales como se ilustra en la figura 16-a. Entonces la rotación del eje crea una variación del voltaje entre sus terminales en lugar de simplemente una variación de sus resistencia entre sus terminales, si la posición es circular y barre un ángulo del orden de 300 grados. Entonces la posición del contacto se ajusta girando el eje al cual se encuentra unido.

3.2.2 PARÁMETROS IMPORTANTES DE UN POTENCIÓMETRO. LINEALIDAD DE UN POTENCIÓMETRO

El grado preciso de linealidad de un potenciómetro es muy importante en algunas aplicaciones. Por tanto, los fabricantes especifican un porcentaje de linealidad en potenciómetros que fabrican. El significado de porcentaje de linealidad o simplemente linealidad puede entenderse, refiriéndose a la figura 16, el potenciómetro establece una correspondencia entre variable medida y el voltaje de salida.

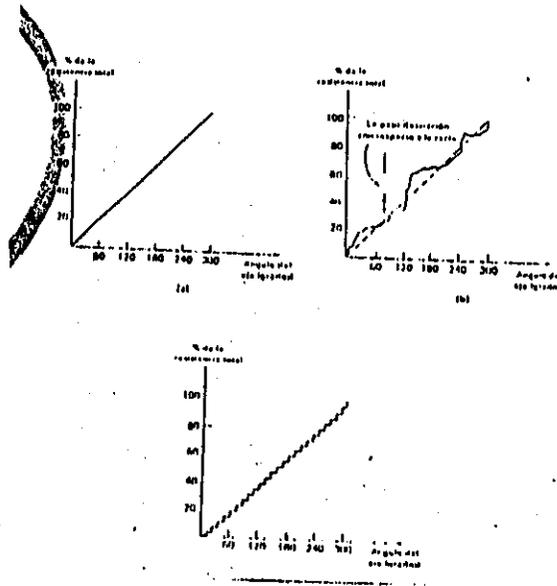


Figura 16. Gráficas de resistencia versus ángulo del eje para un potenciómetro. (a) Potenciómetro perfectamente lineal. (b) Potenciómetro real, con resistencia que se desvía de la línea recta. (c) Contacto a paso o variación no continua de la resistencia. (Ref. 3, Pags. 398 y 399)

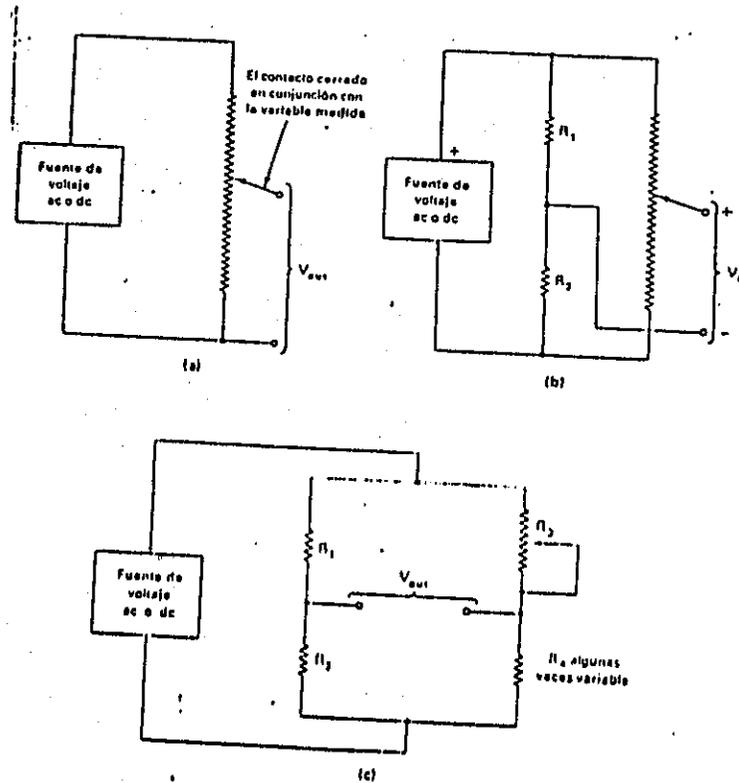


Figura 17. Potenciómetro utilizado en circuitos de medición. (a) Potenciómetro como un simple divisor de voltaje. (b) Circuito Puentes, con el Potenciómetro formando el lado del puente. (c) Circuito puente con el potenciómetro que forma una rama del puente. (Ref. 4, Pag. 401).

Otra conexión de potenciómetros bastante común se muestra en la figura 17-c. Las resistencias R_1 y R_2 son iguales y, el aparato del potenciómetro se encuentra exactamente en el centro para alguna condición neutra o valor de referencia de la variable medida. Esto es un circuito puente. Si el puente está alimentado por una fuente de voltaje DC, la magnitud de V_{out} corresponde a la cantidad en la cual la variable medida difiere del valor de referencia, y la polaridad de V_{out} corresponde a la dirección de la diferencia, mayor que o menor que el valor de referencia.

Si el puente está alimentado por una fuente de AC, la magnitud de V_{out} corresponde a la cantidad de desviación a

partir del valor de referencia y, la base de Vout corresponde a la dirección de desviación. Si el valor medido es mayor que el valor de referencia, el contacto del potenciómetro se mueve hacia arriba de la figura 17-b.

Otro arreglo común de un potenciómetro en un circuito puente se muestra en la figura 17-c. Recordemos que la idea fundamental de los circuitos puente estará balanceado cuando la relación de las resistencias de la izquierda igual a la relación de las resistencias de la derecha. En otras palabras $V_{out} = 0$, si:

$$R1/R2 = R3/R4. -$$

Un puente de esta clase puede utilizarse en cualquiera de estas dos formas.

1. La variable medida puede utilizarse para posicionar el eje del potenciómetro y entonces el voltaje de salida (Vout) del puente representa el valor de la variable medida.
2. La variable medida puede utilizarse para hacer que una de las resistencias, digamos R4, varíe. R4 puede ser en sí un potenciómetro, o podría ser una resistencia que varíe en respuesta a algún estímulo, tal como temperatura. Entonces, R3 es ajustada manual o automáticamente hasta cuando Vout sea igual a cero, lo cual significa que el puente está balanceado. La posición del eje del potenciómetro R3 representa el valor de la variable. El eje puede unirse a algún dispositivo indicador para leer el valor de la variable medida.

3.3 CELDAS FOTOVOLTAICAS.

En la figura 18-a, se muestran los símbolos utilizados con frecuencia para las celdas fotovoltaicas. Las dos flechas onduladas apuntando a la batería encerrada por una circunferencia, sugieren que la energía luminosa externa produce la acción de batería. Debido a que las flechas onduladas son engorrosas para dibujar, con frecuencia se utiliza la letra griega (γ) para sugerir una activación luminosa.

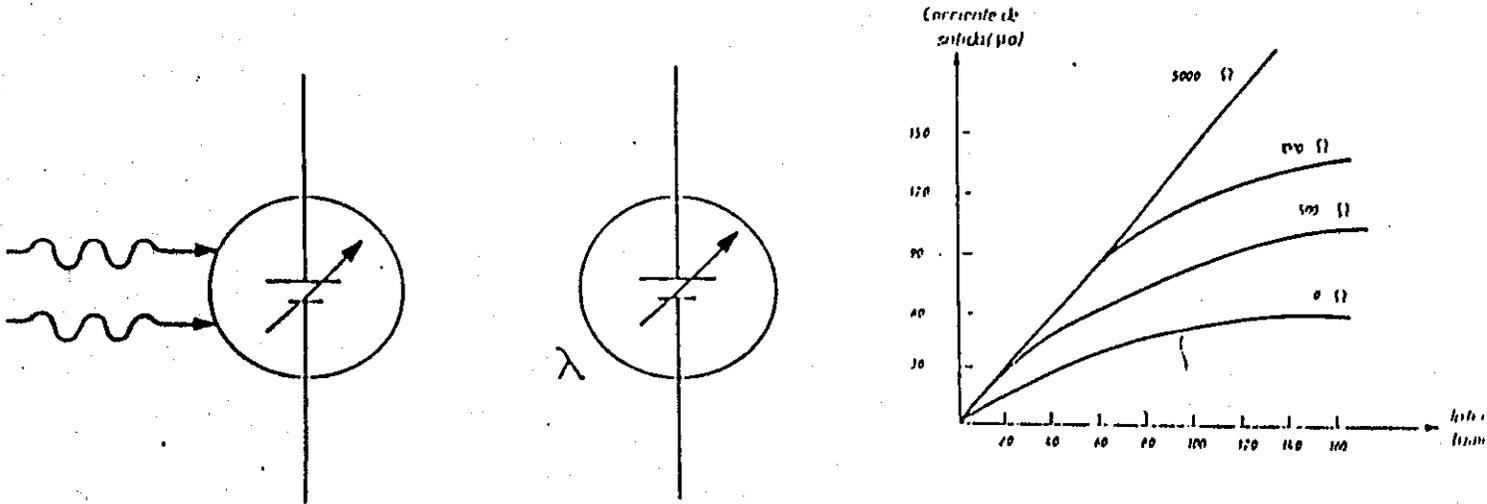


Figura 18. (a) Símbolos esquemáticos utilizados para las celdas fotovoltaicas. (b) Gráfica de voltaje versus iluminación para una celda fotovoltaica. (c) Gráfica de corriente versus iluminación para varios valores de resistencia de carga. (Ref. 4, Pag. 419)

En la figura 18-b, se ha graficado el voltaje de salida en circuito abierto versus intensidad luminosa para una celda fotovoltaica típica. Note que la gráfica en este caso es logarítmica en el eje de intensidad luminosa. Esta gráfica indica que la celda es más sensible a bajos niveles de luz, dado que pequeños cambios de intensidad (digamos de 1 a 10 fc) pueden producir la misma variación de voltaje de salida que un gran cambio de intensidad (digamos de 100 a 1000 fc) a altos niveles de intensidad luminosa.

La figura 18-c se ha graficado la corriente de salida de una celda fotovoltaica operando en carga para varios valores de resistencia de carga; como puede verse, una celda fotovoltaica sola no puede entregar mucha corriente. Las corrientes de salida están medidas en microamperios en este ejemplo. Sin embargo, para aumentar la capacidad de

corriente las fotoceldas pueden conectarse en paralelo.

Un ejemplo de una celda fotovoltaica entregando información del tipo todo o nada a un circuito lógico, se ilustra en la figura 19. En la figura 19-a, la luz proveniente de la fuente luminosa está reunida y enfocada hacia la celda fotovoltaica, la cual se encuentra montada a cierta distancia. Distancias de 10 pies o más no son raras en situaciones industriales. Cuando la celda fotovoltaica es activada por la luz, activa el relé sensible R, cuyo contacto pasa la señal de entrada al circuito lógico. Si un objeto bloquea el haz de luz, la fotocelda desenergiza el relé y, el circuito lógico no recibe entrada.

El objeto que bloquee el haz luminoso puede ser cualquiera. Podría ser un objeto móvil cuyo pasaje se cuenta por un contador electrónico o mecánico, que podría ser un objeto móvil cuyo pasaje avise a una maquinaria más lejana en la línea de producción que se prepare a recibirlo; podría ser una pieza de trabajo o un miembro de una máquina, el cual se supone que debe abandonar la línea de producción antes de que el circuito permita que ocurra algún otro movimiento. Algunas veces la fuente luminosa, el dispositivo de enfoque, la fotocelda y el amplificador, están todos incluidos en un mismo paquete, como se muestra en la figura 19-c. La luz deja el empaque, atraviesa alguna distancia en el espacio, es reflejada por una superficie reflectora, y regresa a través del mismo orificio. Luego es reflejada por un espejo de una vía e incide sobre la fotocelda. El amplificador, el relé y los contactos están todos dentro del empaque, de modo que la salida final es la conmutación de los contactos del relé para indicar si un objeto ha bloqueado o no el haz luminoso. Con frecuencia el problema radica en que la señal luminosa no puede distinguirse de la luz del ambiente.

El sistema fotoeléctrico sería entonces poco confiable, dado que la celda fotovoltaica puede entregar una salida a la luz ambiental. Entonces el sistema indicaría que no hubo objeto bloqueando el haz de luz, cuando de hecho hubo un objeto. La solución a este problema es, que en lugar de que la luz pase directamente hacia afuera a través del aparato de enfoque, el haz luminoso es "Troceado".

Es decir, que el haz es interrumpido periódicamente con alguna frecuencia especificada por medio de un objeto que se mueve internamente en el empaque, entre la fuente luminosa y el orificio de salida.

3.4 CELDAS FOTOCONDUCTORAS

Las celdas fotoconductoras (fotoresistencias) cambian su resistencia a un cambio en la intensidad luminosa (el término formal es iluminación), como se mencionó antes. A medida que la iluminación aumenta, la resistencia disminuye. El símbolo esquemático utilizado con

frecuencia para las celdas fotoconductoras se muestra en la figura 21-a.

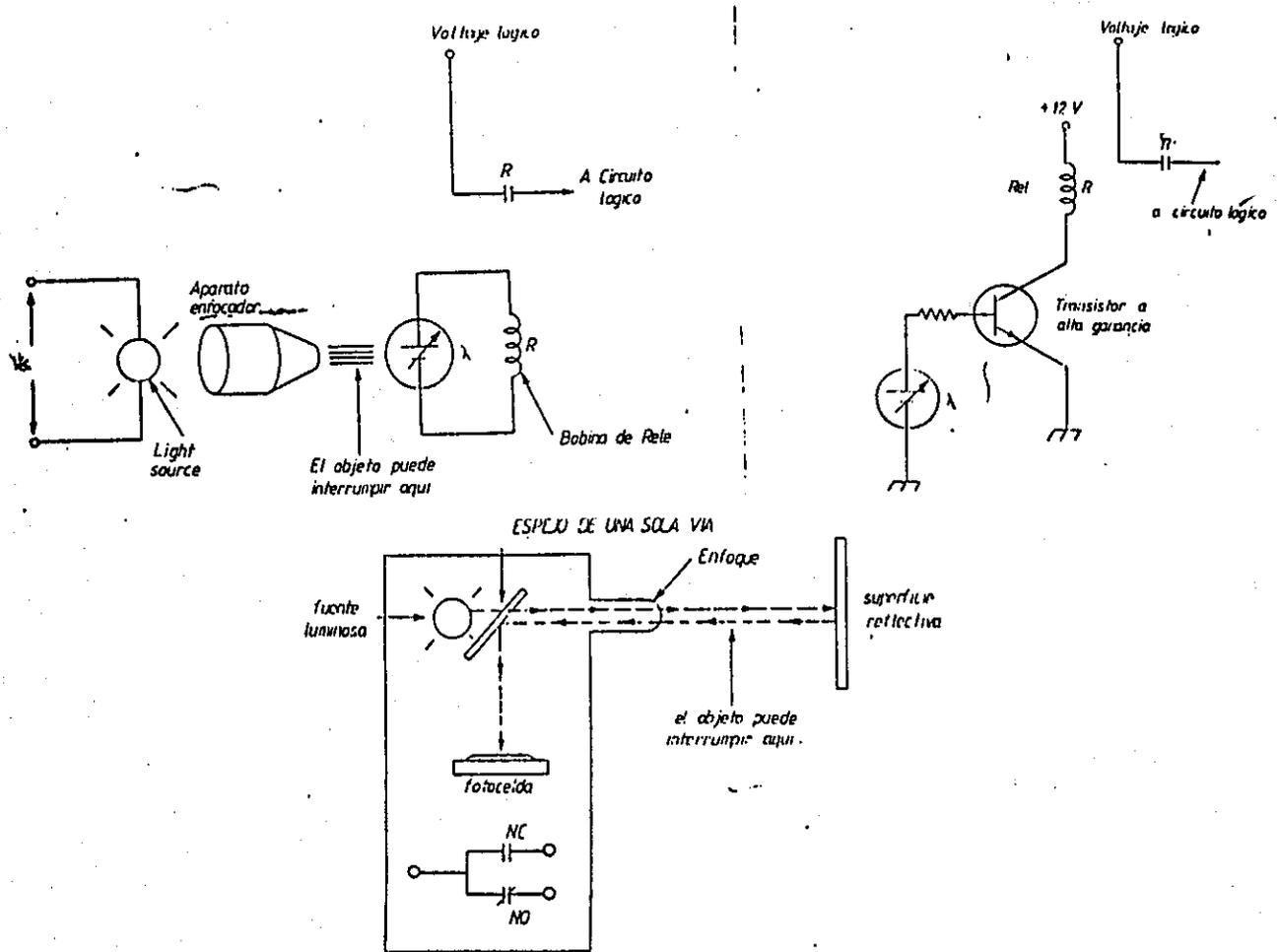


Figura 18. (a) Celda fotovoltaica energizada directamente por un relé. (b) Celda fotovoltaica energizada a través de un transistor. (c) Todos los componentes de una fotocelda contenidos en un sencillo empaque. (Ref. 4, Pag. 420)

En la figura 19-b, se da una gráfica de resistencia versus iluminación para una celda fotoconductoras típica.

Note que ambas escalas son logarítmicas para cubrir los rangos amplios de resistencia e iluminación.

La mayor virtud de las modernas celdas fotoconductoras es su sensibilidad. Como lo ilustra la figura 19-b, la resistencia de la celda puede cambiarse desde más de un millón de ohmios a menos de 1,000 ohmios a medida que la intensidad luminosa cambia desde la oscuridad (la iluminación es menor que 0.01 fc) a la iluminación promedio de una cuarto (de 10 a 100 fc).

Las celdas fotoconductoras pueden utilizarse para muchos

de los propósitos en que se utilizan las celdas fotovoltaicas, excepto desde luego, que no pueden actuar como fuentes de energía. Las celdas fotoconductoras son preferidas a las celdas fotovoltaicas cuando se necesita una respuesta muy sensible en la condición de iluminación.

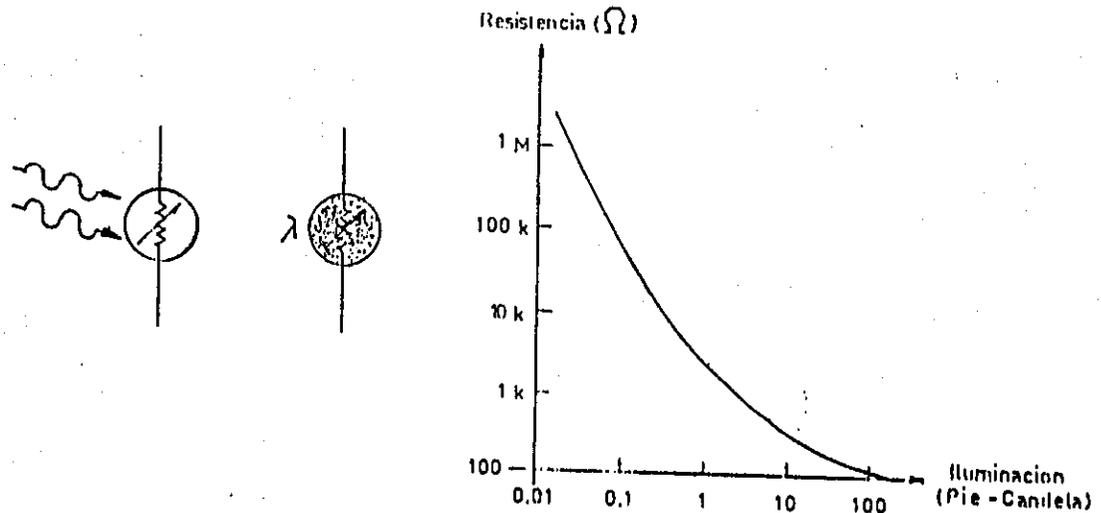


Figura 19. (a) Símbolos esquemáticos para una celda fotoconductoras. (b) Curva de resistencia versus iluminación para una celda fotoconductoras. (Ref. 4, Pag. 423)

Quando se necesita una respuesta rápida, las celdas fotovoltaicas se prefieren a las celdas fotoconductoras. Asimismo si una fotocelda debe ser conmutada rápidamente de conducción a no conducción, las celdas fotovoltaicas son preferidas debido que pueden ser conmutadas a frecuencias más altas que las celdas fotoconductoras. Como regla general, las celdas fotoconductoras no pueden ser conmutadas confiablemente a frecuencias mayores que de 1Khz, mientras que las celdas fotovoltaicas pueden conmutarse confiablemente a frecuencias hasta de 100 Khz y algunas veces más altas.

3.5 ACOPLAMIENTOS ÓPTICOS: FOTOTRANSISTORES, DIODOS EMISORES DE LUZ

La figura 20 muestra dos maneras de construir un aislador óptico. La figura 20 muestra una fuente luminosa incandescente estandar y una celda fotoconductoras para afectar el aislamiento, y la figura 20 muestra un diodo emisor de luz (LED) y fototransistor para afectar el aislamiento. Veamos algunos usos industriales de los aisladores ópticos y entonces se explicará el funcionamiento de estos diseños.

Un aislador óptico es básicamente una interface entre circuitos que operan a (generalmente) diferentes niveles de voltaje.

El uso industrial más común de los aisladores ópticos es

como convertidor de señal entre dispositivos piloto de alto voltaje (interruptores de fin de carrera, etc) y circuitos lógicos de estado sólido de bajo voltaje. Los aisladores ópticos pueden utilizarse en cualquier situación donde una señal deba pasar entre dos circuitos que están aislados entre sí eléctricamente. Recordemos que el aislamiento eléctrico entre circuitos significa que los circuitos no tienen conductores en común.

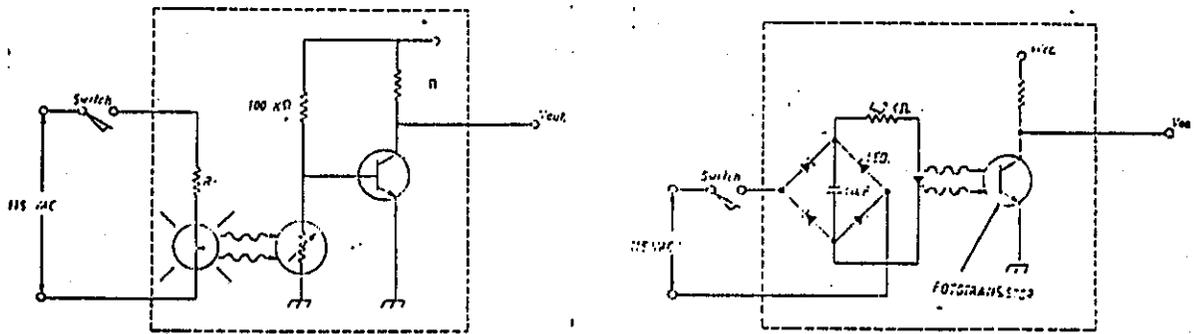


Figura 20. (a) Un aislador óptico utilizando una lámpara incandescente y una celda fotoconductor. (b) Otro aislador óptico utilizando un LED y un Fototransistor. (Ref. 4, Pag. 428)

Son usados frecuentemente para evitar que el ruido generado en un circuito sea transmitido al otro. Esto es necesario especialmente para el acoplamiento entre circuitos de adquisición de datos de alto voltaje y circuitos lógicos digitales de bajo voltaje. Los circuitos de información están casi siempre expuestos a ruido.

Los circuitos lógicos no pueden tolerar señales de ruido. El aislador óptico de la figura 20-a tiene una lámpara incandescente conectada en serie con una resistencia de protección. Esta combinación serie está conectada a través de un dispositivo piloto a la señal de 115 voltios. Si el dispositivo piloto está abierto, no habrá potencia aplicada a la lámpara incandescente, de modo que se encontrará apagada. La celda fotoconductor que está aislada de la luz exterior, tendrá una resistencia muy alta, que hace que suba el voltaje de base del transistor cuando el interruptor conduce, llevando V_{out} al voltaje de tierra, un nivel lógico 0.

Si el dispositivo piloto se cierra, se aplicará potencia

a la lámpara haciendo que se ilumine. La resistencia de la celda fotoconductoras decrecerá, llevando el voltaje de base por debajo de 0.6 voltios. El transistor pasa a corte y hace que su colector suba a +Vcc, a nivel lógico 1. Por tanto, si está presente la señal de entrada de 115 voltios y el circuito entrega un nivel lógico alto. Si no está presente la señal de 115 voltios, el circuito entrega un nivel lógico bajo.

El método de acoplamiento óptico es superior en muchas aplicaciones, porque nos elimina de algunas de las características menos deseables de los relés y los transformadores. Los relés y los transformadores tienen ciertos inconvenientes como acopladores y aislantes, a saber:

- a) Son bastante costosos.
- b) Son más pesados y voluminosos que los dispositivos ópticos.
- c) Crean campos magnéticos y transitorios de conmutación que pueden ser fuentes de ruido eléctrico molesto.
- d) Los contactos del relé crean chispas, que son muy poco deseable en ciertas situaciones industriales.

El acoplador óptico funciona igualmente con señales de alto voltaje AC o DC; por esta razón, los convertidores de señal utilizando el acoplamiento óptico son con frecuencia denominados convertidores universales de señal.

3.6 AISLADOR/ACOPLADOR ÓPTICO DE LED-FOTOTRANSISTOR.

La figura 20-b muestra un aislador/acoplador que utiliza un diodo emisor de luz y fototransistor en lugar de una lámpara incandescente y una celda fotoconductoras. Un diodo emisor de luz, generalmente denominado LED, es un semiconductor que emite luz cuando por él circula corriente de polarización directa. El voltaje directo de arranque de un LED es más alto que 0.6 V, dado que los LED no están hechos de silicio, como sí lo están los diodos rectificadores. Generalmente tienen un voltaje de arranque directo que se encuentra en el rango de 1 a 2.2 voltios. También, los LED tienen un voltaje de ruptura inverso que es mucho mayor que los diodos rectificadores; la figura 21-a muestra la característica Tensión-Corriente de un LED típico. La figura 21-b muestra la relación entre la potencia de salida y corriente directa para un LED.

Un LED de luz visible no es muy brillante como una lámpara de 6 voltios, 1.44 por ejemplo. Algunos LED no emiten luz visible, sino que emiten una luz infrarroja invisible al ojo humano. Desde luego, tales LED deben usarse con fotodetectores que sean sensible a la radiación infrarroja.

Esta es la práctica estándar que se sigue para la

construcción de acopladores ópticos comerciales, dado que el operador de ninguna manera tiene que ver la luz. También los LED infrarrojos son más eficientes que los LED de luz visible, y convierten más cantidad de su energía en luz y menos en calor.

Un fototransistor es un transistor que responde a la intensidad de la luz en su lente, en lugar de corriente a su base. Algunos fototransistores pueden responder tanto a la luz incidente como a corriente de base.

La figura 22 muestra las curvas características de un fototransistor. Note que la familia de curvas representa diferentes valores de densidad de potencia luminosa. Los fototransistores no tienen una respuesta como los transistores de unión.

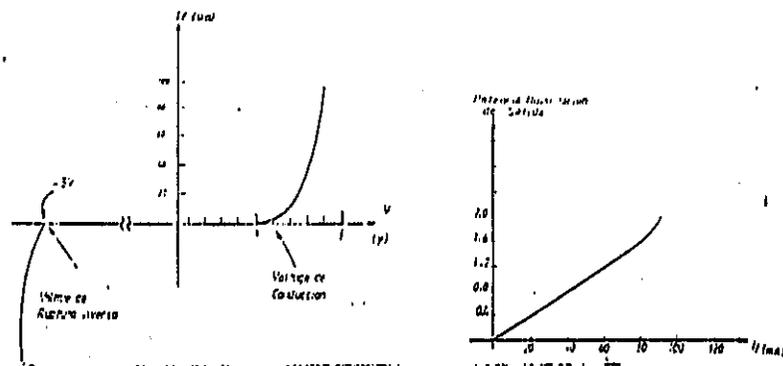


Figura 21. (a) Corriente versus voltaje de un típico LED. (b) Curva de luz del salida versus corriente para un típico LED. (Ref. 4, Pag. 429)

La combinación LED-fototransistor tienen algunas ventajas importantes sobre la combinación lámpara-Celda fotoconductoras y son:

La primera es que un LED tiene una vida extremadamente larga comparado con una lámpara de cualquier clase.

La segunda ventaja es que un LED puede resistir vibraciones y los choques mecánicos en los ambientes industriales mucho mejor que una lámpara de filamento, con lo que proporciona mayor confiabilidad.

Por último, el LED y el fototransistor tienen una velocidad de respuesta más rápida que una lámpara y una celda fotoconductoras. Esto puede ser una ventaja para ciertas aplicaciones de conmutación.

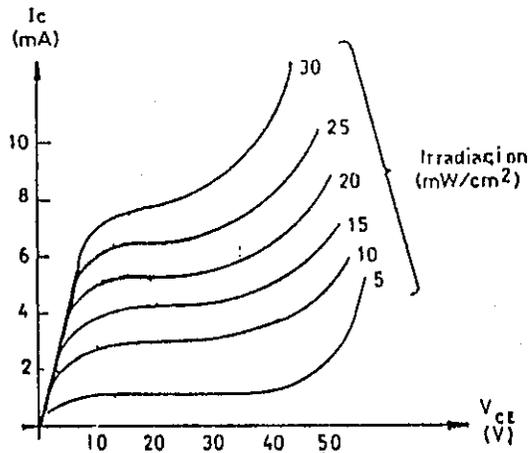


Figura 22. Curvas características de un típico Fototransistor. (Ref. 4, Pag. 430)

3.7 TACÓMETROS

Un tacómetro es un dispositivo que mide velocidad angular de rotación en un eje. Los tacómetros industriales utilizan algunos métodos de medida y ellos son:

- a) La velocidad angular está representada por la magnitud de un voltaje generado.
- b) La velocidad angular está representada por la frecuencia de un voltaje generado.

En el dominio de los tacómetros de magnitud, existen 2 tipos:

- 1) Tacómetro generador DC.
- 2) Tacómetro generador Drag Cup.

Asimismo en el dominio de los tacómetros de frecuencia, se encuentran 3 tipos:

- 1) El tacómetro AC de campo rotatorio.
- 2) El tacómetro AC de Rotor dentado.
- 3) El tacómetro AC de captador Fotoeléctrico.

Estos nombres no son aceptados universalmente, pero describen bien el funcionamiento de los diferentes tacómetros.

3.7.1 TACOMETRO GENERADOR DC.

El tacómetro generador de DC es un puro y simple generador de corriente continua. El campo se establece, bien sea por un imán permanente

colocada en el estator, o por un electroimán de excitación separada, también montado en el estator. La ecuación que da el voltaje generado en un generador DC es:

$$V_g = KB (\text{rpm}).$$

Donde V_g representa el voltaje generado, K es alguna constante de proporcionalidad que depende de los detalles de construcción; B es la fuerza del campo magnético y rpm es la velocidad angular medida en revoluciones por minuto.

Con el campo magnético constante, el voltaje generado es proporcional a la velocidad del eje.

Es por tanto posible conectar el eje del tacómetro al eje al cual se le quiere medir la velocidad, aplicar el voltaje generado a un voltímetro y calibrar el medidor en términos RPM. Una característica interesante de un tacómetro generador DC es que la polaridad del voltaje generado se invierte si la dirección de rotación se invierte. Por tanto, este tipo de tacómetro puede indicar dirección de rotación tanto como velocidad.

3.7.2 TACÓMETRO DRAG CUP.

Un tacómetro Drag Cup tiene dos conjuntos de devanados en su estator y en ángulo recto uno con respecto al otro, justo como un rotor de Jaula de Ardilla. Es un cilindro de cobre hueco denominado copa, con un núcleo interior al hierro laminado, el cual no hace contacto con la copa. La copa está unida al eje de entrada del tacómetro y rota a la velocidad que se quiere medir.

Uno de los devanados del estator denominado el devanado de excitación, está alimentado por una fuente de voltaje AC estable; el otro devanado del estator es el devanado de salida. El devanado de excitación establece un campo magnético alterno que induce corriente de Eddy en la copa de cobre.

Las corrientes de Eddy establecen un campo de reacción de armadura en ángulo recto con el campo del devanado de excitación. El campo en ángulo recto inducirá entonces un voltaje AC en el devanado de salida cuya magnitud depende de la velocidad de rotación de la copa. El resultado es un voltaje de salida AC que varía linealmente con la velocidad.

La frecuencia del voltaje de salida es igual a la

frecuencia de excitación (generalmente 60 Hz), y se encuentra desfasada 90 grados respecto al voltaje de excitación.

La dirección de rotación del eje determina si el voltaje de salida atrasa o adelanta al voltaje de excitación. Por tanto, este tacómetro también puede indicar dirección, así como velocidad de rotación.

3.7.3 TACÓMETROS DE AC DE CAMPO ROTATORIO.

El tacómetro AC de campo rotatorio es un puro y simple alternador de campo rotatorio. El campo generalmente es creado por imanes permanentes montados en el rotor. El eje del rotor está conectado al eje al cual se quiere medir la velocidad y por consiguiente el campo magnético rotatorio induce un voltaje AC en los devanados de salida localizados en el estator. La ecuación que da la frecuencia del voltaje generado en un alternador AC es:

$$f = P(\text{rpm}) / 120$$

Donde f es la frecuencia en Hertz, P es el número de polos magnéticos en el rotor y rpm es la velocidad rotacional. Puede verse que la frecuencia de salida es una medida exacta de la velocidad angular del eje.

3.7.4 TACÓMETROS DE ROTOR DENTADO

El tacómetro del rotor dentado es el más popular de los tacómetros de frecuencia. Este tacómetro tiene varios dientes ferromagnéticos en su rotor.

En su estator, tiene un imán permanente con una bobina de alambre enrollado alrededor del imán. Esta distribución está ilustrada en la figura 25-a, para un rotor de 6 dientes.

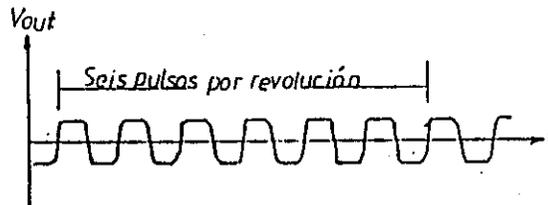
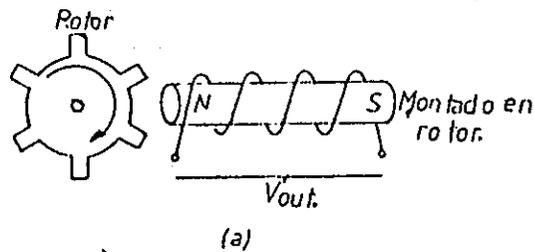


Figura 23. (a) Arreglo de un Tacómetro con rotor dentado. (b) Forma de onda del voltaje de salida de un tacómetro con rotor dentado. (Ref. 4, Pag. 442)

A medida que el rotor gira, los dientes llegan a una proximidad cercana con el imán y luego lo pasa. Cuando un diente está cerca del imán, la reluctancia del circuito magnético es baja, de modo que aumenta la fuerza del campo en el núcleo magnético.

Cuando no hay diente cercano, la reluctancia del circuito magnético es alta, de modo que disminuye la fuerza del campo en el núcleo. Por tanto, es producido un ciclo de fuerza magnética cada vez que un diente pasa frente al imán. Esta variación en la fuerza del campo magnético induce un voltaje en la bobina arrollada en el imán permanente. Se produce un pulso por cada diente, lo cual se muestra en la figura 23-b. La relación entre la frecuencia de los pulsos y la velocidad de rotación está dada por:

$$\text{Rev/Seg} = \text{Pulsos/seg} - 6$$

Dado que toma 6 pulsos para representar una revolución. El número de revoluciones por minuto es igual al número de revoluciones por segundo multiplicado por 60 o sea:

$$\begin{aligned} \text{rpm} &= 60(\text{rev/seg}) = 60(\text{pulsos/seg}/6) \\ \text{rpm} &= 10f \end{aligned}$$

3.7.4 TACÓMETROS DE CAPTADOR FOTOELÉCTRICO

Un tacómetro con captador fotoeléctrico es básicamente un dispositivo para trocear un haz luminoso. Un disco rotatorio se coloca entre la fuente luminosa y la celda fotovoltaica. Parte del disco deja pasar el haz luminoso y otra parte la bloquea. Por tanto, la celda fotovoltaica constantemente es activada y desactivada, a una frecuencia que depende de la velocidad angular del disco. Al conectar el eje del disco con el eje al cual se le quiere medir la velocidad, será generada una forma de voltaje. La frecuencia de la forma de onda será entonces una medida de la velocidad angular del eje.

Por ejemplo, si el disco tiene cuatro áreas transparentes y cuatro áreas opacas, la velocidad estará dada por:

$$\text{rpm} = 15f.$$

Donde f es la frecuencia de la forma de onda de salida de la fotocelda.

3.7.5 TACÓMETROS DE FRECUENCIA VERSUS TACÓMETROS DE MAGNITUD

La principal ventaja de los tacómetros de frecuencia es que están sujetos a errores debido a la carga de la salida, variación de temperatura y vibración del eje. También su linealidad es perfecta.

Sin embargo, todos los tacómetros de frecuencia tienen la desventaja de la incomodidad para leer la velocidad. Es más complicado convertir una frecuencia a una forma leible, que convertir la magnitud del voltaje en una forma leible. Es cierto que los medidores de frecuencia se prestan para la medida y la detección digitales pero los medidores y los indicadores de lectura digitales son mucho más completos que un simple indicador de lectura análogo. Los circuitos digitales deben repetidamente recorrer el ciclo de conteo, almacenamiento, indicación visual y reinicio.

Todos los tacómetros que cuentan con la magnitud de voltaje para representar velocidad están sujetos a errores causados por tres factores:

- a) Carga de la señal.
- b) Variación de temperatura.
- c) Vibración del eje.

CAPITULO IV

TRANSDUCTORES PIEZOELECTRICOS.

4.1 INTRODUCCIÓN.

Aunque el efecto piezoeléctrico ha sido conocido prácticamente por 75 años, ha sido durante los últimos 30 años que prácticos transductores piezoeléctricos han sido desarrollados. La piezoelectricidad descubierta por Pierre y Jaques Curie en 1,880, simplemente significa electricidad debido a la presión, esto es, si un particular tipo de cristal es presionado de acuerdo con una dirección, una carga eléctrica será desarrollada por el cristal.

Cristales en forma curva o cuchilla pueden ser diseñados para una aplicación médica en particular. Ejemplos incluyen micrófonos piezoeléctricos que detectan sonidos del corazón y la presión sanguínea.

Significativos avances en las características del funcionamiento de movimiento, fuerza y transductores de presión han sido hechos en la década pasada a través del uso de nuevos materiales piezoeléctricos. Nuevos transductores que miden grandes amplitudes y que también proveen altas salidas a pequeñas amplitudes están disponibles.

La carga desarrollada en transductores piezoeléctricos es proporcional a la constante piezoeléctrica de el material y a la fuerza aplicada. La constante depende también del modo de operación empleado.

Aunque cristales de cuarzo son usados en algunas unidades, los materiales cerámicos son muy populares, ya que ellos exhiben grandes salidas y a la vez son menos susceptibles a efectos ambientales, tal es el caso de fuerzas longitudinales y transvesales o de movimientos.

Cristales de cuarzo para frecuencia de 1 a 100 Mhz, son usados en relojes, radios, televisores a colores, telecomunicaciones, sistemas de teléfono y aplicaciones industriales. Los transductores de cuarzo son también usados para aplicaciones médicas, periféricos de cómputo, máquinas industriales y últimamente con aplicaciones de microprocesadores.

4.2 EL EFECTO PIEZO ELÉCTRICO DISPONIBLE DE VARIOS MATERIALES.

En los materiales cerámicos piezoeléctricos, la dirección del eje eléctrico y mecánico depende de la dirección original de polarización D.C.-; durante el proceso de pulido del cristal, éste experimenta un permanente incremento en la dimensión entre los electrodos pulidos y permanente disminución en las dimensiones paralelas a los electrodos.

Cuando un voltaje de la misma polaridad que el voltaje de polarización pero de menor valor subsecuente es aplicado entre los electrodos, el elemento experimenta adicional pero temporal expansión en la dirección de polarización y contracción en las caras paralelas a los electrodos. Contrariamente, cuando un voltaje de DC opuesto en polaridad es aplicado, el elemento se contrae en la dirección de polarizado o pulimento y se expande en la dirección paralela a los electrodos. En cualquier caso, el elemento retorna a sus dimensiones originales cuando el voltaje es removido de los electrodos. El espesor y el efecto transversal no son de igual magnitud, por lo tanto, hay un pequeño cambio de volumen cuando un voltaje es aplicado a los electrodos.

Cuando una fuerza comprimida es aplicada en la dirección de polarización o fuerza de tensión y es aplicada paralela a los electrodos, el voltaje que resulta entre los electrodos tiene la misma polaridad que el voltaje original de polarización. Si aplicamos la fuerza en dirección opuesta también se invierte la polaridad del voltaje resultante entre los electrodos.

Cuando los electrodos de polarización son removidos de un elemento piezoeléctrico y el elemento es provisto con una señal perpendicular a la dirección de polarización y un voltaje es aplicado, el corte toma lugar alrededor del eje perpendicular a ambos a el eje de polarización y la dirección de la señal.



Figura 1. Acción de corte en las placas cerámicas de un transductor Piezoeléctrico. (Ref. 3, Pag. 108)

4.3 APLICACIONES DE ELEMENTOS PIEZOELECTRICOS.

La figura 2 ilustra el uso de elementos piezoeléctricos en una fuente de alto voltaje en un mecanismo de ignición de voltaje. Una leva manejada por un eje del mecanismo activa una varilla, la cual aplica una fuerza variadora axial a dos cilindros piezoeléctricos. Un dispositivo de este tipo ha sido usado satisfactoriamente en sistemas de ignición del orden de 20,000 voltios.

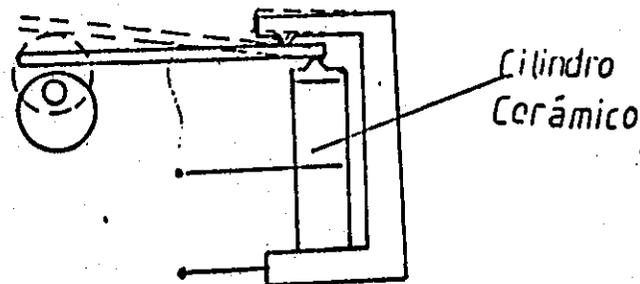


Figura 4.2 Generador de alto voltaje usando Elemento Piezoeléctrico. (Ref. 3, Pag. 108)

4.4 ULTRASONIDO.

Ultrasonido es energía sonora arriba del espectrum de audio. Interfaces ultrasónicas de muchas aplicaciones, incluyen óptica, física de estado sólido, imágenes para diagnósticos médicos y procesamiento de señales.

Como en rayos X, la energía ultrasónica puede penetrar en el cuerpo humano y puede ser usado para el estudio de los tejidos en el cuerpo humano. Los sistemas ultrasónicos han sido desarrollados al punto donde pueden ser usados para el estudio de las condiciones del ojo, cerebro, corazón y abdomen.

4.5 ESPECTRUM ULTRASONICO.

Para poder imaginar el potencial que hay en esta herramienta, es necesario entender el carácter de las vibraciones ultrasónicas. En contradicción con las ondas electromagnéticas, las vibraciones mecánicas requieren de un medio físico de soporte para la propagación. En otros aspectos, estos dos tipos de ondas (electromagnéticas y mecánicas) tienen mucho en común: éstas pueden ser reflejadas y refractadas en interfaces de diferentes materiales, y pueden ser enfocadas, pueden servir para imprimir imágenes y sus energías pueden ser atenuadas por el medio en el cual están viajando.

Es muy importante considerar el espectro de la vibración mecánica. La región de ultrasonido que ha probado ser muy útil en el diagnóstico médico, está en el rango de 1 a 10 MHZ, región que se aplica en condiciones donde sólo se requieren pequeñas cantidades de potencia, en el orden de milivatios. Más allá de este rango, el espectro pasa a la región de aplicaciones de potencia y esta región se encuentra en el rango de 16 a 40 KHZ. Alrededor de 25 KHZ se encuentra mucha aplicación en herramientas para la industria dentista.

4.6 TIPOS DE TRANSDUCTORES ULTRASONICOS.

En un sistema ultrasónico, debe haber un medio para producir, recibir y medir las señales de ultrasonido. Dos tipos de transductores (Magnetostrictivo y Piezoeléctrico) para la conversión señal eléctrica y mecánica son ampliamente utilizados.

Los transductores magnetostrictivos (generalmente hechos en nickel y aleaciones de nickel) son robustos y capaces de manejar alta potencia. Transductores piezoeléctricos son más pequeños y más eficientes.

Ciertos cristales tal como el cuarzo y tornalina, son piezoeléctricos por el hecho de su distribución de carga iónica.

Además, estos cristales, los cuales pueden ser clasificados como transductores para ultrasonido, porque tienen zirconato de tiramo, y porque tienen un alto punto Curie.

La aplicación de un campo eléctrico hace que el transductor ultrasónico vibre a una frecuencia correspondiente a la frecuencia de excitación.

Cuando este transductor es propiamente montado y conectado a una fuente de señal y además es unido a un medio

de transmisión, éste puede en todo caso enviar o recibir energía. A través de la lectura y el estudio de las modificaciones, dicha energía sufre conforme es transmitida, refractada o reflejada en los diferentes medios donde se transmite. Con el estudio del comportamiento del ultrasonido en los diferentes medios, se pueden hacer interpretaciones como tamaño, localización y carácter de las estructuras internas.

4.7 TEORIA BÁSICA DEL ULTRASONIDO.

4.7.1 NATURALEZA DEL ULTRASONIDO.

El sonido es una vibración mecánica de la materia. Aparte del rango audible que el oído humano es capaz de oír, el sonido puede ser dividido en dos grandes categorías:

- Infrasonido.
- Ultrasonido.

El infrasonido está por debajo del rango que el oído humano puede captar, es decir, debajo de 20Hz y el ultrasonido está por encima del rango que el oído humano puede escuchar esto es 20,000 Hz. Desde el punto de vista físico, estas categorías son arbitrarias, ya que el sonido es de la misma naturaleza básica y obedece a las mismas leyes físicas, no importando a que frecuencia se esté desplazando.

4.7.2 VELOCIDAD Y LONGITUD DE ONDA.

El ultrasonido es transmitido a través de un medio, es decir, por vibraciones de las partículas. No hay ningún movimiento neto del medio, sino que cada partícula activada vibra alrededor de su posición de descanso. Las partículas unidas elásticamente juntas y un desplazamiento de una partícula hará que otra se mueva, transmitiendo gradualmente la vibración a través de todo el medio.

Como la unión entre las partículas es elástica y cada una tiene una masa finita, habrá un retraso en la transferencia de energía de una partícula a la otra. También como hay fuerzas friccionales (pérdidas) en el medio; la energía de ubicación será gradualmente absorbida conforme el desplazamiento pasa a través del medio.

La velocidad "C" de una onda logitudinal de sonido en un medio homogéneo es expresada como una función de la elasticidad y la densidad del medio con la siguiente ecuación:

$$C = E/\text{Densidad del medio.}$$

en donde E es la constante de proporcionalidad del medio y D es la densidad del medio.

Algunos ejemplos de la velocidad del sonido en medios comunes y en tejidos humanos son enumerados en la Tabla 1. Se puede observar que la velocidad del sonido tiene casi el mismo valor que en todos los tejidos suaves, a excepción del tejido oseo, en el cual es cerca de tres veces más grande que el resto del cuerpo humano.

4.7.3 PULSOS DE ULTRASONIDO.

En la práctica, los equipos de ultrasonido se fabrican de tal forma que emitan pulsos, los circuitos son diseñados asumiendo una velocidad de sonido en un tejido humano ó en el aire. Las desviaciones experimentadas son principalmente causadas por los diferentes usos que se le pueda dar al equipo, es decir, cardiología, industria, muestreo cerebral o abdominal, etc. Normalmente son insignificantes en el uso diario.

La ecuación necesaria para calcular la distancia de una superficie de reflexión a un transductor es la siguiente:

$$a = 0.5 * C * T$$

Donde "C" es el promedio de la velocidad asumiendo que el medio en el que se esta transmitiendo el sonido es el aire y AT es el tiempo requerido por el impulso de ultrasonido para rebotar en la superficie y regresar al transductor. El factor 0.5 de la ecuación anteriormente indicada es por el hecho de que el ultrasonido viaja de ida y de vuelta, dos veces la distancia del transductor a la superficie de reflexión.

La velocidad del ultrasonido en los diferentes tejidos o medios es virtualmente independiente de la frecuencia, lo que significa que la dispersión puede ser obviada. Así la relación entre la frecuencia y la longitud de onda puede ser expresada simplemente como:

$$= C/F \text{ o } C = *F$$

MEDIO	VELOCIDAD (m/s)
Alre.	331
Sangre.	$1.57 \cdot 10^3$
Huesos.	$2.5 - 4.7 \cdot 10^3$
Cerebro.	$1.54 \cdot 10^3$
Grasa.	$1.45 \cdot 10^3$
Rinon.	$1.56 \cdot 10^3$
Higado.	$1.57 \cdot 10^3$
Musculos.	$1.59 \cdot 10^3$
Agua destilada.	$1.53 \cdot 10^3$

Tabla 1. Velocidades del sonido en diferentes medios. (Ref. 3, Pag. 108)

En donde λ (lambda) es la longitud de onda; "C" es la velocidad del sonido en el medio indicado y F es la frecuencia (Hz, ciclos por segundo). La longitud de onda es de mayor importancia en el diagnóstico de ultrasonido; teóricamente la distancia de un objeto al eje de un transductor y que puede ser resuelto, está en función de la longitud de onda. Por ejemplo en el tejido humano con una velocidad promedio de $1.5 \cdot 10^3$ m/s y un transductor de 2MHZ, la longitud de onda y su límite es 0.8mm.

4.7.4 EL TRANSDUCTOR PIEZOELECTRICO USADO EN EL DIAGNÓSTICO DEL SONIDO.

El transductor es el componente que cuando es conectado al equipo de ultrasonido, trasmite la onda de ultrasonido y su reflexión. Un transductor de ultrasonido puede también ser utilizado solamente para recibir información o para transmitir información, que depende de la conexión al equipo de ultrasonido.

Una vista en corte de un transductor básico de ultrasonido es mostrado en la figura 3. Anteriormente se indicó que un pequeño cristal piezoeléctrico sirve como emisor o receptor de las ondas de ultrasonido. Los materiales piezoeléctricos tales como el cuarzo, titanato de bario, el zirconato, son usados para la fabricación del cristal, los cuales convierten las señales de ultrasonido en señales eléctricas o éstas en ondas de ultrasonido.

El material piezoeléctrico, en el transductor, es cubierto con conductores eléctricos sobre dos superficies paralelas. Si el voltaje es aplicado a los conductores, el cristal piezoeléctrico cambiará su espesor en una cantidad

que dependerá del voltaje aplicado. Similarmente, si el cristal es sometido a una tensión mecánica (es decir pulsos de ultra sónico) tenderá a deformarse, y por lo tanto aparecera un voltaje entre los conductores, lo cual depende de la naturaleza de la onda de ultrasonido. Un voltaje alterno producirá un cambio alterno en el espesor del cristal y viceversa.

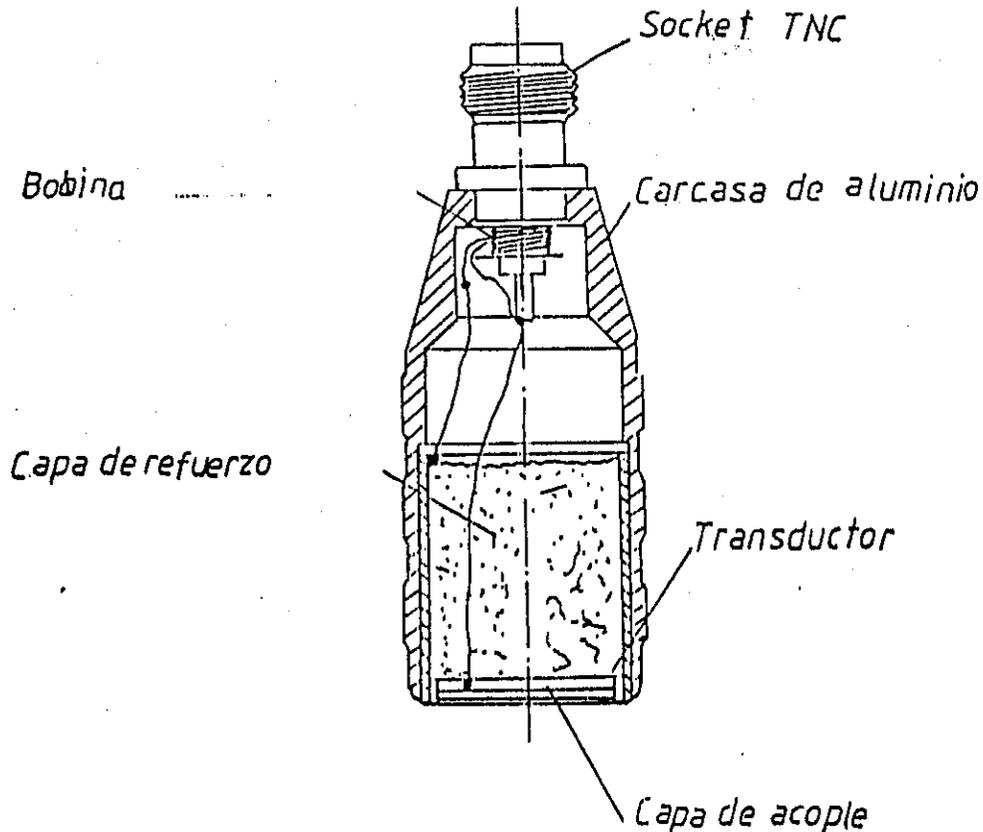


Figura 3. Vista en Corte de un Transductor de Ultrasonido. (Ref. 3, Pag. 319)

4.7.5 FRECUENCIA DE RESONANCIA.

Cualquier transductor tendrá una frecuencia característica llamada frecuencia de resonancia. Si el transductor es excitado con un simple pulso en los sistemas de ultrasonido pulsado, el transductor continuará cambiando su espesor gradualmente, de ahí en adelante. Este fenómeno es conocido como "Ringing" en analogía con una campana, en la cual básicamente el mismo fenómeno toma lugar.

La frecuencia de resonancia es la frecuencia a la cual el espesor del cristal entre los electrodos, es igual a la mitad de la longitud de onda mecánica. A la frecuencia de resonancia, la fuerza mecánica en el transductor tiende a reforzar otra, sin importar si la excitación del transductor

está en el modo de transmisión o recepción.

4.7.6 IMPEDANCIA DE ACOPLAMIENTO Y DE AMORTIGUACIÓN.

Para dar una impedancia de acoplamiento entre el equipo y el transductor a la frecuencia nominal deseada y a la vez obtener la máxima potencia transferida y evitar reflexiones eléctricas en el cable, una bobina de sintonización es normalmente conectada al cristal. Además, el transductor es mecánicamente amortiguado por la alta densidad y la alta absorberencia del material, que asegura un razonable ancho de banda y reduce la resonancia y ecos dentro del transductor, lo cual es importante cuando el ultrasonido es usado.

El ultrasonido es a menudo enfocado por medios dinámicos a lentes acústicos para dar al ultrasonido una deseada forma y longitud focal para propósitos de diagnóstico.

4.8 LENTES ACÚSTICOS.

Si una área irradiante no es plana, cómo podría ser el caso si lentes acústicos fueran aplicados, entonces la forma resultante es alterada. Como una superficie irradiante plana, el rayo de ultrasonido será enfocado a una distancia determinada por la construcción del lente. Esto dará un rayo más estrecho en la zona comparada a la similar de una superficie plana irradiante. Después del punto de enfoque, sin embargo, el rayo divergirá más rápidamente que lo sería un rayo desenfocado. La figura 4 muestra la construcción de un lente acústico para un transductor enfocado.

De las leyes de óptica, la longitud focal F_c , es dada por la expresión:

$$F_c = r / 1 - (C_1 / C_2)$$

Donde "r" es el radio de la superficie esférica del lente, C_1 es la velocidad del sonido en el lente y C_2 es la velocidad del sonido en el medio acústico en el cual el lente esta radiando. El cálculo es solamente válido para lentes de tamaño largo, comparado con la longitud de onda, teniendo una pequeña apertura y una superficie plana adelante del transductor.

En sistemas, por ejemplo, usados para el diagnóstico médico, la superficie de vibración no es continua como el cristal del transductor, conforme el cristal es excitado intermitentemente con pulsos simples. Así, no todas las partes que forman la onda concuerdan con el principio de Hoggen's que puede presentar en cualquier punto particular un frente de onda trasciente de la misma forma que la onda fija.

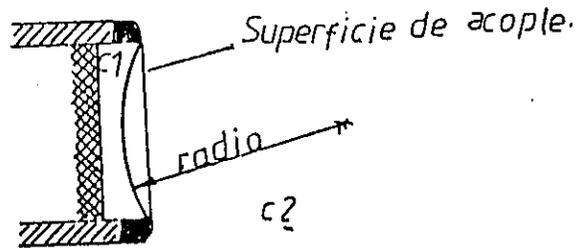


Figura 4. Construcción de un lente acústico para enfocar el transductor. (Ref. 3, Pag. 321)

4.9 IMPEDANCIA ACÚSTICA Y DE INTENSIDAD.

Para iniciar las vibraciones de las partículas que forman la onda de ultrasonido, es requerida la energía.

La potencia es la razón de energía transferida. La unidad de energía es el Joule y la unidad de potencia el Watt o también Joule por segundo (J/S).

La intensidad es definida como la potencia por unidad de área. La unidad de intensidad se da en Watt por metro cuadrado. Muy a menudo es usado en conexión con diagnóstico de ultrasonido, el Watt o Miliwatt, el cual figura más cercanamente para la intensidad usada para propósitos de diagnóstico.

4.10 IMPEDANCIA ACÚSTICA.

La impedancia acústica Z es definida como el producto de la densidad (Letra griega ρ) del medio y la velocidad del sonido en ese medio, es decir:

$$Z = \rho C \quad \text{ó} \quad Z = E \cdot P$$

Algunos ejemplos de impedancia acústica son dados en la tabla 2.

MEDIO	DENSIDAD	IMPEDANCIA ACUSTICA. (Kg/m ² /s)
Aire.	1.2	0.4*10E3
Sangre.	1.06*10E3	1.66*10E6
Huesos.	1.62*10E3	4-7.5*10E6
Cerebro.	1.03*10E3	1.66*10E6
Grasa.	0.92*10E3	1.33*10E6
Riñon.	1.04*10E3	1.33*10E6
Hígado.	1.06*10E3	1.66*10E6
Músculos.	1.07*10E3	1.70*10E6
Agua destilada.	1.00*10E3	1.53*10E6

TABLA II

Densidades e impedancias acústicas aproximadas de los diferentes medios humanos.

La impedancia, el nivel de presión P y la intensidad para una onda de estado estacionario está relacionada por:

$$I = P^2 / z$$

ó

$$I = P^2 / P * C$$

4.11 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS.

En los últimos tiempos, el ultrasonido es usado para diagnósticos médicos, usando para ello ultrasonido pulsado, pero últimamente se ha extendido el uso del misma a la Industria en General. Por esto, es necesario definir exactamente cuáles cantidades deberán ser calculadas. Esto es particularmente cierto, porque la salida de el transductor no es un simple pulso o un tren de pulsos de amplitud constante, emitido en un rayo bien definido con amplitud transversal constante, pero con una función complicada de tiempo y posición espacial.

4.12 COMPARACIÓN DE INTENSIDADES.

A menudo es necesario comparar dos intensidades, por ejemplo, la intensidad reflejada con la intensidad incidente,

en el diagnóstico industrial de ultrasonido. Como las diferencias son generalmente muy grandes, entonces solamente una menor parte de la onda incidente es reflejada, esto es deseable para comprimir el gran valor usando la conversión no lineal del valor actual a la relación de valores. Esto puede ser usando el decibel (dB).

La relación de decibel de las intensidades I_2 e I_1 de dos ondas es definida como:

$$\text{Relación en dB} = 10 \log \frac{I_2/I_1}{10}$$

Si nosotros tenemos un valor conocido de referencia I_0 , I puede ser indicado en decibeles en relación con I_0 como:

Relativo valor de I cuando este en relación I_0 en dB:

$$10 \log I/I_0.$$

El logaritmo de Base 10 de una figura es la potencia con la cual 10 deberá ser elevado para dar la relación indicada, esto es si la relación es 100, entonces el logaritmo de 100 es 2, ya que $10^2=100$.

Cuando se hace una comparación de la amplitud de dos ecos, esto también puede ser expresado como una relación de decibeles, como la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud de acuerdo con la fórmula de Intensidad previamente dada:

$$\text{Relación de amplitudes en dB} = 10 \log P_2^2/P_1^2$$

en donde P_1 es la amplitud de el eco 1 y P_2 es la amplitud del eco 2, entonces similarmente nosotros tenemos:

Valor relativo de P en relación a P_0 . en dB=

$$20 \log P/P_0.$$

en donde P es la amplitud de la onda reflejada y P_0 la amplitud de la incidente.

4.13 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN.

La impedancia acústica definida en la ecuación anterior y la velocidad del sonido son de gran importancia en el cálculo de fenómenos de reflexión y refracción.

4.13.1 REFLEXIÓN.

La relación de amplitud de un eco reflejado, cuando éste

deja la superficie reflectiva, a la relación de amplitud del impulso incidente, es llamado el coeficiente de reflexión R. En referencia a la figura 5, el coeficiente de reflexión puede ser calculado como sigue:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Donde Z_1 es la impedancia acústica del medio 1 y Z_2 es la impedancia acústica del medio 2. Como la diferencia entre Z_2 y Z_1 , es normalmente muy pequeña, para la mayoría de medios, la ecuación anterior puede ser escrita como:

$$R = \frac{\Delta Z}{2Z}$$

El coeficiente de intensidad de reflexión, (en contraste al coeficiente de amplitud de reflexión) es igual al cuadrado de R, esto es, R definido como la relación de intensidad de la onda de sonido reflejada a la intensidad de sonido de la onda incidente.

La ecuación precedente es válida si el sonido incidente es perpendicular a la superficie reflectiva, que es el caso en la mayoría de aplicaciones industriales.

4.13.2 REFRACCIÓN.

La porción de la onda que no es reflejada, es refractada y continua en el segundo medio. La intensidad relativa de esta onda transmitida es $1 - R$. El ángulo de transmisión θ_2 es dependiente de la velocidad del sonido en los dos medios adyacentes. En la aplicación que se desea hacer, no tienen importancia el valor de esta onda, ya que el sistema toma decisiones en función de la onda incidente y la reflejada, pero esto será discutido posteriormente. Sin embargo, podemos decir que:

$$\sin \theta_2 = \frac{C_2}{C_1} \sin \theta_1$$

Donde C_1 es la velocidad del sonido en el medio 1, C_2 es la velocidad del sonido en el medio 2. (Ver figura 6)

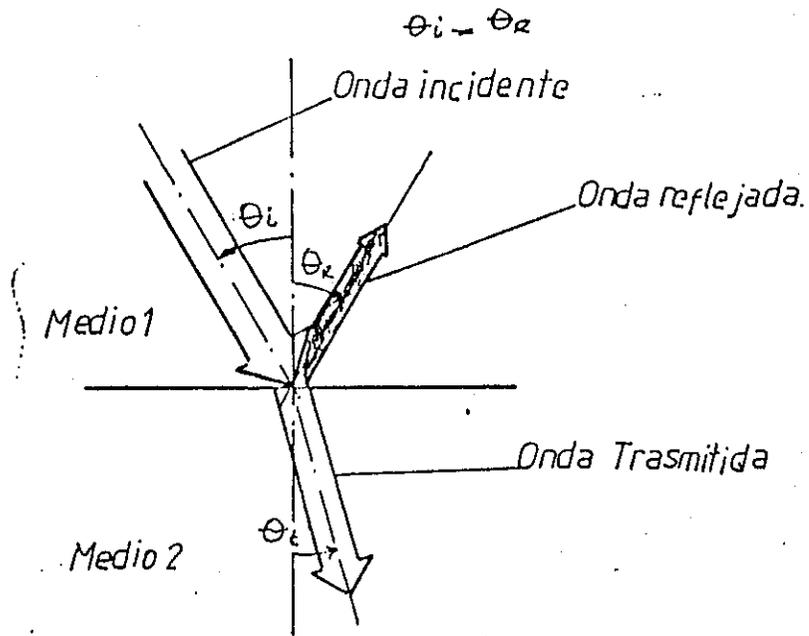


Figura 6. Reflexión y refracción de una onda de ultrasonido. (Ref. 3, Pag. 326)

4.14 IMPEDANCIA DE ACOPLAMIENTO.

Cuando un transductor de ultrasonido es usado, es deseable obtener tanta potencia como sea posible, entre éste y el medio que va a ser detectado. Al igual que en electrónica, la potencia transferida puede ser dada cuando ambos medios tienen la misma impedancia acústica. Si los dos medios no tienen la misma impedancia, un acoplador de impedancias debería tomar la forma de un lente acústico. Un equipo igualador de impedancia es mostrado en la figura 7.

Otros medios también son conocidos; el equipo de acoplamiento de impedancia será un cuarto de la transformada de Fourier de la longitud de onda, esto tendrá un espesor de un número impar de integrales de longitud de onda ($n \cdot \lambda/4$, donde $n=1,3,5,\dots$). La impedancia Z_m de el equipo de acoplamiento deberá ser:

$$Z_m = Z_t \cdot Z_1.$$

Donde Z_t es la impedancia del material del transductor y Z_1 es la impedancia en la cual se utilizará el transductor. Z_t es dependiente de el material del transductor (en el orden de $30 \cdot 10^3 \text{ kg/m/s}$) y Z_1 normalmente será en el rango de $1.5 \cdot 10^3 \text{ Kg/m/s}$.

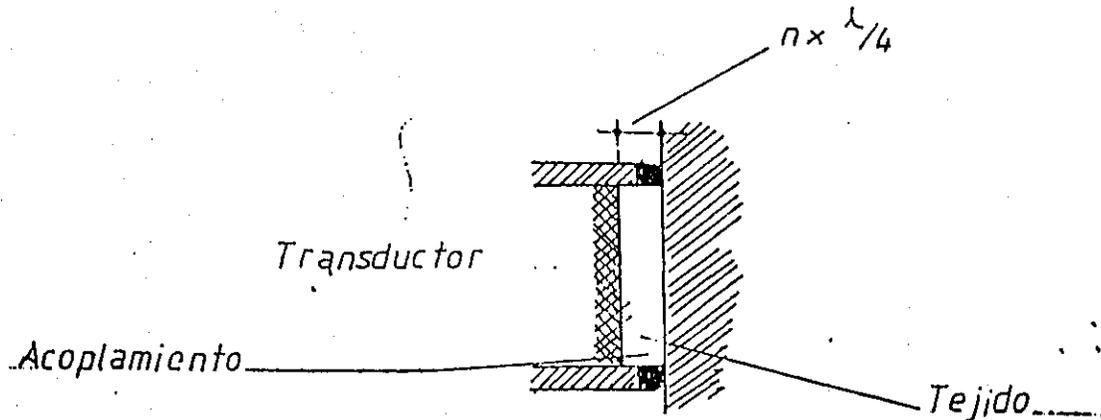


Figura 7. Impedancia de Acoplamiento. (Ref. 3, Pag. 327)

4.15 DIFRACCIÓN.

Si un rayo de ultrasonido pasara un obstáculo en un rango de 1 a 2 veces la longitud de onda, su dirección de propagación es deflectada por difracción. Mientras más cerca esté el rayo al objeto difractor, más se observará el efecto de difracción.

4.16 SCATERING.

Scatering de ultrasonido, es una variación del mismo proceso físico que se aplica cuando la difracción toma lugar. Scatering ocurre cuando partículas pequeñas absorben parte de la energía de ultrasonido e irradia esta en todas las direcciones como si fueran ondas esféricas. Esto significa que el transductor receptor puede ser posicionado a cualquier ángulo del rayo de ultrasonido y no solamente en el camino del rayo reflejado del medio de interés, o como una parte integral del transductor de transmisión, cuando es usado para mediciones de líquido, así éste permite reflexiones de objetos cuando son más pequeños que la longitud de onda de ultrasonido. Una ilustración esquemática de Scatering es mostrada en la figura 8.

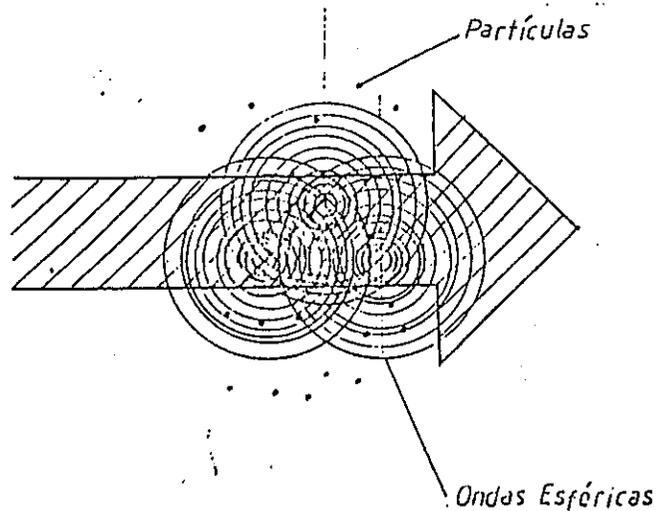


Figura 8. Dibujo esquemático del fenómeno Scatering.
(Ref. 3, Pag. 328)

4.17 ABSORCION.

La fricción en el medio hará que el ultrasonido gradualmente se atenúe; un efecto que se hace más y más significativo conforme incrementa la frecuencia. Si 10% del ultrasonido se mantiene después de 10 cms. del medio cerca de una superficie reflectora, solamente el 10% de el 10% de energía restante (1% de la intensidad original), es disponible 10 cms. de regreso del transductor. Esto hace que el uso de dispositivos logarítmicos más que de escala lineal para expresar la atenuación de una onda de ultrasonido.

Un decibel de atenuación por centímetro de penetración en el medio por megahertz ha sido generalmente adaptado como regla de dedo. Con un transductor de 2 Mhz, la atenuación después de una distancia total de 20 cms, ida y vuelta en el medio, podría entonces ser de 40 dB, éste es el hecho del ejemplo previamente discutido.

CAPITULO V

5.1 ESQUEMA DEL HARDWARE NECESARIO.

Antes de iniciar la descripción del hardware que se va a utilizar en la fabricación del sistema de control de burbuja en una extrusora de plástico, se debe hacer un pequeño resumen de lo que hasta aquí se ha tratado.

En el capítulo No. 1, se tratará de todo lo relacionado con los polímeros, esto es polietileno y polipropileno y del equipo necesario para procesar dichas resinas. En lo que al equipo se refiere, se vio brevemente cada una de las partes del extrusor de polietileno y se hizo énfasis en el sistema de control de burbuja o de ancho de película que comúnmente se llama Sistema IBC (Internal Blowing Cooling System), el cual controla el diámetro de la burbuja por medio de un sistema electrónico-analógico y sopladores, y controla el flujo de aire por medio de dampers y potenciómetros. Se dijo también que este sistema tiene una respuesta muy lenta, lo cual provoca variaciones del perímetro de la burbuja en el rango de 1 a 2", lo cual está fuera del rango de las normas que el Control de Calidad establece.

En el capítulo No. 2, se han tratado brevemente los microprocesadores y el potencial de aplicación que estos pueden tener en la Industria, especialmente en el plástico que tanto avance ha tenido en los últimos años, tanto en tecnología de equipo, como las resinas mismas.

En el capítulo No. 3, se trató a fondo lo que son los transductores, y su utilidad para acoplar el entorno que rodea a el microprocesador. Se vieron también algunos transductores específicos, su respuesta, sus características, aplicaciones, etc.

En la primera parte de este capítulo, se analizó la teoría del ultrasonido, cómo se genera, sus similitudes con la teoría eléctrica, se analizó el efecto piezoeléctrico y la matemática relacionada con este fenómeno que tiene tanta aplicación y que ahora se relacionará con el control del diámetro de burbuja en la extrusora de Polietileno.

Por comodidad y como recordatorio, en la figura 1 se describen en una forma muy general los elementos que conforman una extrusora.

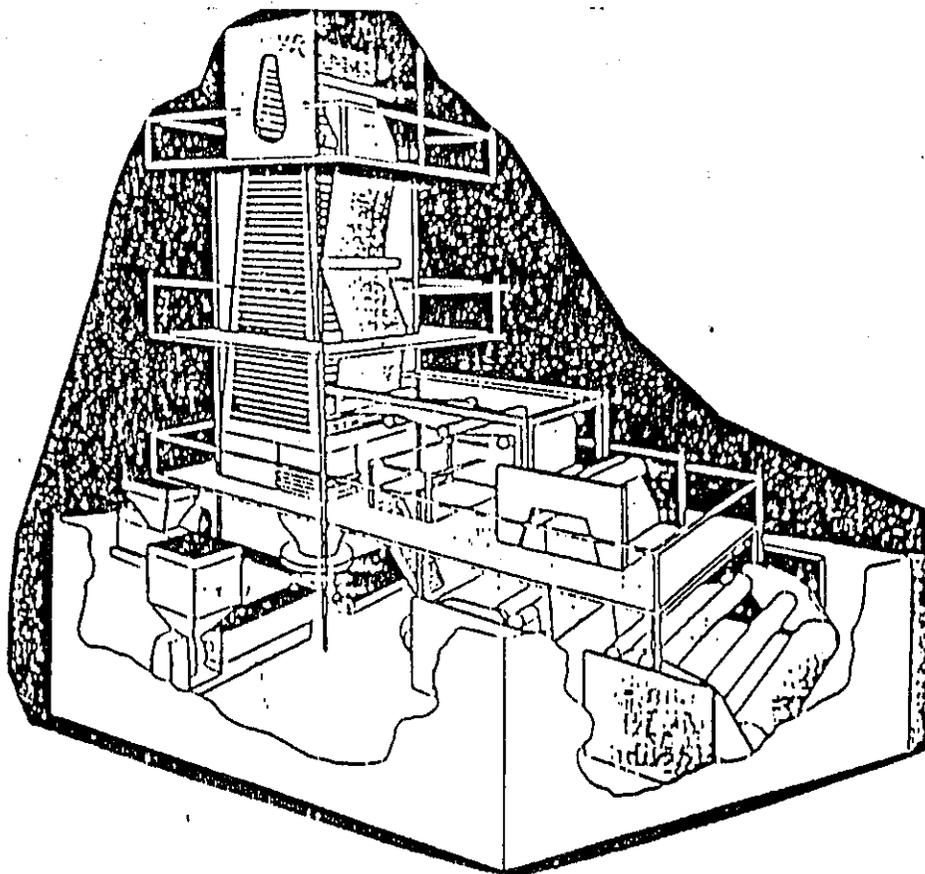


Figura 1. Disposición de una línea de extrusión. (Ref. 5)

En la figura 2 se muestra un diagrama de la forma convencional (es decir la forma en la que lo hace el sistema que se quiere automatizar) ; en la que se controla el diámetro de la burbuja en una extrusora de polietileno.

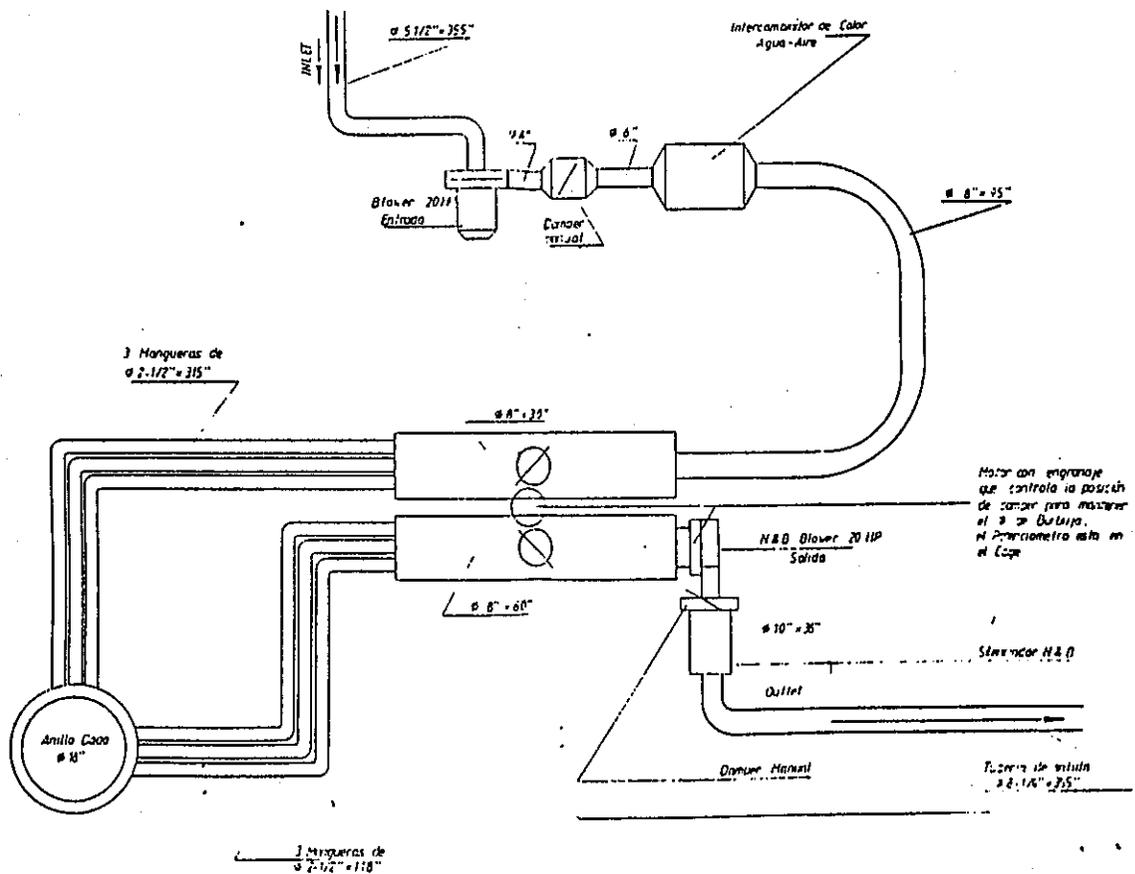


Figura 2. Disposición habitual de un sistema antiguo de IBC. (Ref. 5)

Se dijo en el capítulo No. 1 las ventajas y desventajas, del sistema mostrado en la figura 2 que son las siguientes:

- 1.- Usa elementos mecánicos, lo cual provoca mucha fricción. (Calor y desgaste de piezas)
- 2.- Su respuesta es muy lenta por tener muchas conexiones mecánicas.

3.- Las variaciones del ancho de la película son el del orden de 1 a 2", lo cual es un producto que debe ser rechazado y por lo tanto provoca desperdicio.

4.- Debe ajustarse para cada ancho de película que se va a trabajar, lo cual hace que el sistema sea complicado o difícil de operar.

5.- Cuando el sistema está trabajando bien, sus variaciones oscilan en el rango de 1/2 a 3/8 de pulgada, lo cual, aunque menor a 2", continúa siendo inaceptable.

6.- El sistema no es apto para trabajar película en el rango de 0.5 a 1 milésima de pulgada, sino únicamente película de 1.5 a 8 milésimas de espesor.

El sistema mostrado en la figura 2 funciona de la siguiente manera:

1.- El operador inicia el arranque de la máquina con el producto que desea trabajar. Para ello, se basa en la siguiente fórmula:

B.U.R= Diámetro de la película a trabajar.

Diámetro del dado de la extrusora.

En donde B.U.R es llamado la relación de soplado y se dice que ésta es óptima cuando oscila en los rangos de 2.5 a 3.5; como podrá observarse en la fórmula, es adimensional. La relación óptima es de 3.5 para polietileno de baja densidad, así para una relación de soplado de 3.5 el diámetro del globo será de:

Diámetro del Globo= 3.5*16= 56 pulgadas.

Así el ancho máximo que podemos trabajar viene dado por el perímetro de esta película dividido en dos, es decir:

Ancho máximo= π *diámetro del globo/2

así el ancho máximo viene expresado como:

Ancho Máximo= 3.1416*56/2= 88" pulgadas.

2.- Una vez el operador ha elegido el ancho de la película que se va a trabajar, gradúa las guías de la misma manualmente a este diámetro.

3.- Inicia el arranque de la máquina levantando el globo

sin diámetro específico hasta que la película llega a la parte más alta, donde comienza a ser arrastrada en forma plana.

4.- En este momento, el operador arranca los blowers de entrada y salida de aire y los opera manualmente para hacer más rápido el inflado del globo.

5.- Una vez el globo ha alcanzado el diámetro nominal que se desea trabajar, el operador pone el control de burbuja en el modo automático; este sistema funciona de la siguiente manera:

En la canasta que sirve como guía al globo de polietileno, está instalado un sistema de engranaje-cremallera; en el engranaje de este sistema, se encuentra instalado un potenciómetro que tiene una alimentación de -15 a 15 voltios de DC; cuando el sistema de control está perfectamente equilibrado, la referencia de voltaje es 0 voltios; esto lo interpreta el circuito como si no tuviera que efectuar ningún cambio en el motor de DC que maneja los dampers del sistema. En el momento en que el globo sufre una variación de diámetro, la referencia en el potenciómetro de control interpreta esto como que tiene que mover los dampers de entrada y salida, lo necesario como para mantener el diámetro del globo hasta que la referencia del potenciómetro en la canasta sea otra vez cero.

6.- Una vez el sistema se ha estabilizado, lo cual significa que hay una variación de 1" a 2", el operador deja el sistema trabajando en forma automática.

El modo de control se hace más difícil en la medida que el calibre de la película, o como comúnmente se le llama, su espesor, se hace más pequeño, en el orden de 0.5 a 1 milésimas, y esto se debe al hecho de que mientras más delgada sea la película, la velocidad de la línea de extrusión tiene que estar en el orden de 300 a 350 pies por minuto. A esta velocidad, la respuesta del sistema es aún más lenta y las variaciones son menos aceptadas a nivel de control de calidad, por lo que definitivamente no se puede correr este tipo de película con este sistema de control.

La figura 3 muestra la disposición de un globo de polietileno cuando ya se ha estabilizado, lo cual significa que no hay oscilaciones en el diámetro de la burbuja.

Para iniciar el diseño del control del diámetro de burbuja, se deben considerar cuáles son nuestros requerimientos de pies cúbicos por minuto y presión estática dentro del globo, para mantener el diámetro del mismo en un rango estable y variaciones mínimas.

Como se ve en la figura 2, se necesitan dos blowers, uno para que inyecte aire y el otro para que lo subcione. Tal y como se dijo anteriormente, para mantener estable el globo se debe inyectar en la burbuja tantos pies cúbicos por minutos como sea necesario para mantener el volumen del globo. Como una buena aproximación en el caso de la figura 3, los CFM necesarios para inflar el globo vienen dados por la siguiente fórmula:

$$\text{CFM} = 3.1416 \cdot \text{Diametro del Globo} \cdot H$$

cada variable debe de estar dada en pies. En el caso que se está analizando para un globo de 4.67' de diametro y para una altura de 34 pies, necesitamos:

$$\text{CFM} = 500 \text{ pies cúbicos de aire por minuto.}$$

La presión estática usual en los equipos de extrusión oscilan en el orden de 10-20 pulgadas estáticas de agua.

En la gráfica No. 1, se ve la curva de varios blowers en el cual se grafican en el eje de la ordenadas, las pulgadas de agua de presión estática y en el eje de las abcisas, la cantidad de CFM que se necesitan. Es conveniente dejar siempre un margen de seguridad en el dimensionamiento del blower en el rango del 25 al 30%, es decir, que se puede utilizar blower en el orden de 670 CFM, para esta cantidad de CFMs y para esta presión estática 20", se ve en la gráfica que se necesita un motor de AC del orden de 5.5 Hp el cual no es comercial, sino el de 7.5 HP, que nos dará un caudal máximo de 900 CFM.

Las mismas consideraciones se deben hacer para el blower de egreso de aire, sólo que, éste debe ser capaz de sacar la misma cantidad de caudal o un poco más, para poder tener presión y volumen constante dentro del globo. Otra de las razones por las cuales el blower debe tener mayor capacidad de succión que de inyección, es porque el blower de succión debe ser capaz de sacar todo el aire caliente que exista dentro del globo, de tal forma que el aire dentro del mismo esté frío.

Si se observa la figura 2, se notará que después de la salida del blower de inyección se tiene un intercambiador de Calor Agua-Aire, el cual hace que aire ingrese a una temperatura de 17 grados centigrados; esto produce una película de mejor calidad.

Tomando pues todas estas consideraciones, se concluye que se necesita para la succión un blower de 10 HP con un caudal de 1300 CFM a 20 pulgadas de agua presión estática.

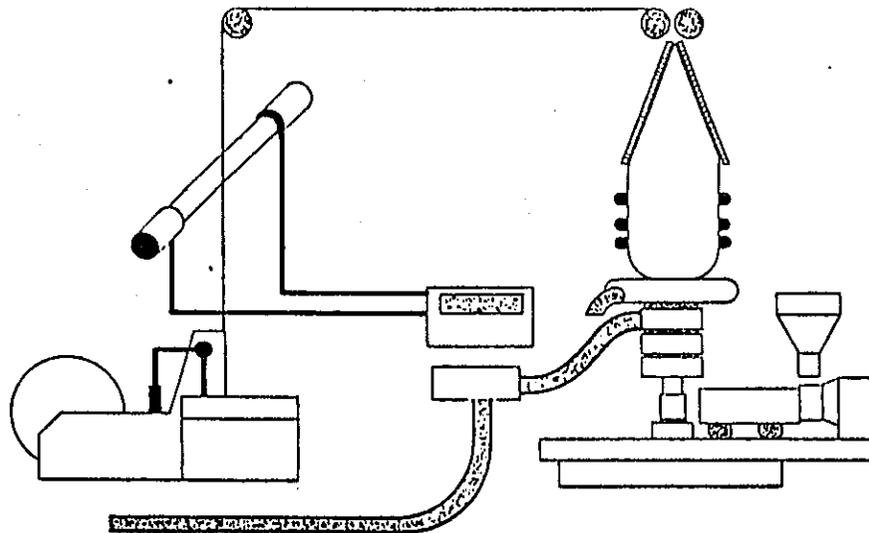


Figura 3. Disposición del sistema de inyección y extracción de aire en un sistema de control de burbuja interna. (Ref. 5)

La diferencia entre el hardware mecánico mostrado en la figura 2 y el de la figura 3, radica en lo siguiente:

- 1.- El sistema utilizará solamente un dämper o válvula para regular el flujo de aire en la entrada.

2.- Por su configuración, ocupa menos espacio que el mostrado en la figura 2.

3.- Siempre utiliza blowers con motor de inducción de AC. El nuevo sistema utilizará motores de 7.5 y 10 HP; el anterior utiliza 2 motores de 20 HP, lo cual es extremadamente grande y sobre todo hace que se esté utilizando un motor de AC ineficientemente.

4.- Respuesta rápida.

5.- Facilidad de operación.

6.- Muy preciso en el control del diámetro.

La figura 4 muestra la nueva disposición para el control del diámetro del globo a través de sensores de ultrasonido. El muestreo del diámetro de burbuja se hace a través de sensores de ultrasonido, que permite la medición más precisa del diámetro del globo de plástico y como consecuencia también del ancho final de la misma, sin que éste tenga contacto directo con el Film y permitir que la dañe. El sistema utilizará hasta 4 sensores de ultrasonido puestos precisamente alrededor del globo de tal forma que podamos controlar del globo.

Los sensores de ultrasonido son excitados con un generador de ultrasonido, los cuales están emitiendo dicha señal alrededor del globo; si hay alguna diferencia entre la distancia de superficie plana del sensor al globo, la señal reflejada será captada por el sensor de ultrasonido, lo cual se interpreta en la salida del sensor como un voltaje de A.C. en el rango de 0 - 10 voltios, los cuales deben ser enviados al Microprocesador y éste enviará una señal al damper que controla el flujo de aire en la entrada.

Las ventajas que se pueden esperar con este sistema son las siguientes:

1.- Aumento de producción de la extrusora en 25% por lo menos, comparativamente, con un equipo sin sistema de enfriamiento interno.

2.- Reducción de variación del ancho de lámina plana por efecto de un mejor control del diámetro de burbuja. Esto implica ahorro de materia prima por ancho plano constante.

3.- Mejor geometría y calidad de rollo, por lo indicado en el inciso anterior.

4.- Menos desperdicio durante cambios de producto que impliquen cambio de ancho de lámina o tubo por hacer la operación en forma automática y con mejor velocidad.

5.- Menor desperdicio que los sistemas convencionales de

enfriamiento interno, por tratarse de un sistema de sensores sin contacto. Los sensores mecánicos no sólo marcan la película, sino que ante variaciones bruscas de diámetro de burbuja, enganchan la película y pueden perforarla.

5.2 CONSIDERACIONES DEL HARDWARE ELECTRONICO NECESARIO.

La figura 4 muestra esquemáticamente la forma en que quedará ubicado el hardware electrónico del sistema de control de burbuja.

Se han indicado anteriormente las ventajas de este sistema, pues se utilizan sensores de ultrasonido, los que no tienen contacto con la película, y permiten tener un mejor control del tubo, sin el riesgo de dañar la misma. El sistema utilizará un máximo de 4 sensores de ultrasonido puestos alrededor de la burbuja para controlar el ancho de la película tan preciso como sea posible. El nivel de precisión es considerablemente mejor que cualquier sistema convencional que tenga contacto con la burbuja.

5.3 CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL PROYECTO.

El desarrollo del hardware que se va a utilizar, al igual que el desarrollo del software, se logra solamente a través de un profundo conocimiento del problema. La diferencia fundamental estriba en el hecho de que el hardware debe encaminarse en una sola línea, puesto que cambios considerables en el mismo, significan pérdida de tiempo y recursos.

Se debe tomar en consideración el ambiente adyacente, material con el que se cuenta y sobre todo, las posibilidades interactivas entre el software y el hardware.

5.4 ELEMENTOS QUE SE VAN A UTILIZAR EN EL SISTEMA.

5.4.1 - INTERFACE PROGRAMABLE PARA PERIFÉRICOS 8255.

El 8255 es un dispositivo de entrada-salida programable, diseñado para su utilización con los microprocesadores de la serie 8000.

Tiene 24 terminales de entrada-salida, que pueden ser programados individualmente en dos grupos de doce y utilizados según 3 modos básicos de operación. Es totalmente compatible con la lógica TTL.

Otras posibilidades del 8255 son: poner a uno o a cero

los bits directamente, y proporcionar una corriente de 1 mA a un tensión de 1.5 voltios de DC. Esto permite conectar directamente transistores Darlington para aplicaciones de impresoras y displays de alta tensión.

En la figura 5, se muestran los detalles del 8255. En la misma figura, aparece la descripción de las terminales del 8255.

5.4.2 EL CONVERTOR ANALÓGICO/DIGITAL ADC084.

Elemento construido con la tecnología CMOS que funciona por aproximaciones sucesivas y provee 8 bits de salida, y presenta sus datos en forma hexadecimal (dos caracteres formados de cuatro bits respectivamente). Es capaz de funcionar, ya sea con un bus de datos dedicado o con bus compartido, puesto que posee latch TRI-STATE.

Tiene la característica de ajustarse al valor de voltaje análogo de ingreso por medio de circuitos simples externos, y se puede utilizar en medidas de volts y milivolts, e incluso en fracciones de milivolts.

Por ser compatible en su totalidad con los microprocesadores 8080, 6800 y el Z-80, no necesita de un interface acoplador (puerto paralelo), sino que funciona como un puerto controlado directamente por el microprocesador, o simplemente trabaja solo en sistemas que no exijan la utilización de un Microprocesador.

El convertor posee un generador de reloj interno, y se logra la utilización con la adición de algunas resistencias y capacitores.

Es compatible con la Tecnología TTL, y su rango de operación normal es de 0 a 5 voltios, o el rango programado desde los circuitería externa para aplicaciones que así lo exijan.

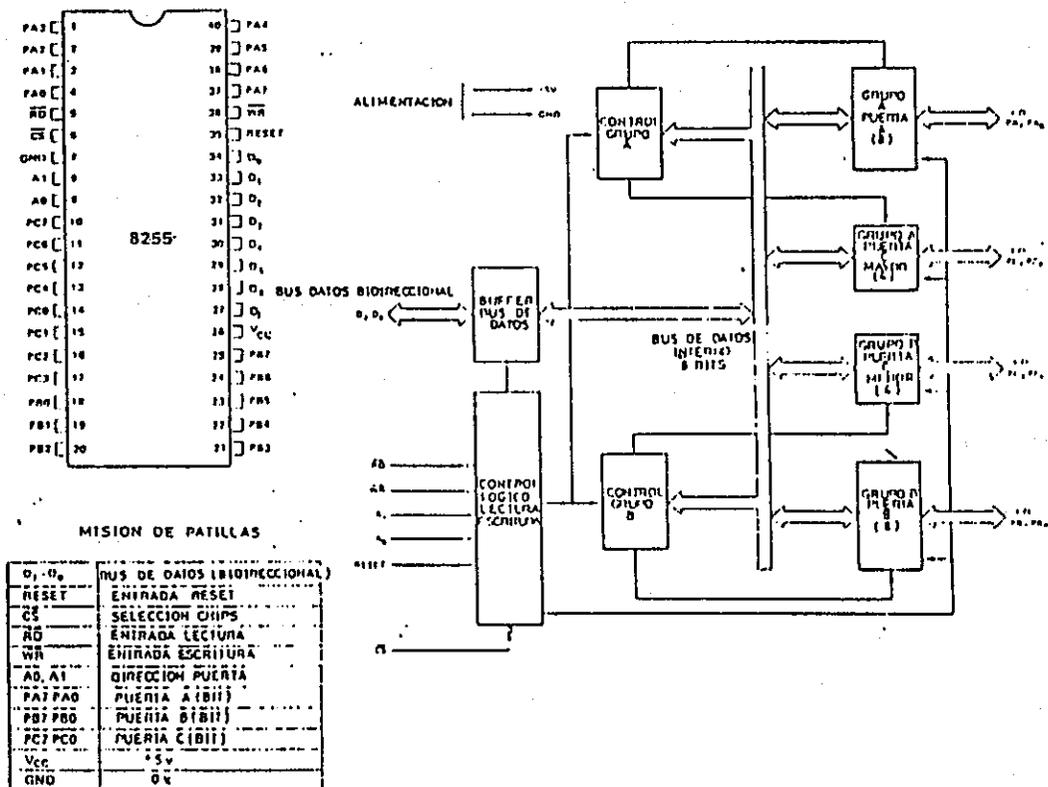


Figura 5. Identificación de Terminales en periférico 8255. (Ref. 2, Pag. 139)

Las especificaciones más generales son: tiempo de acceso 135 nanosegundos, resolución 8 bits, tiempo de conversión 100 microsegundos, error total +/- 0.5% del bit menos significativo, y opera en un rango de temperaturas que va desde 0 grados centígrados y opera a una frecuencia máxima de 1460 Hertz.-

5.4.3 VARIADOR DE FRECUENCIA GPD 503 MAGNETEK.

Este es un variador de frecuencia para motores de corriente alterna y usa el método de modulación de ancho de pulsos, el cual genera un ajustable voltaje trifásico, y a la vez varía la frecuencia para un completo control de la velocidad del motor a través de la frecuencia.

El GPD 503 puede estar en el rango de bajo o alto voltaje. El variador tiene también la característica que puede ser programado a través del control de variables internas, tales como An, Sn, Un y Bn, las cuales definen el

estado de frecuencia, corriente, voltaje, torque, HP, RPM y velocidad en pies, metros o yardas por minuto.

El variador tiene la característica que tiene salida en voltios o amperios, que indican el estado interno del motor, de acuerdo con la frecuencia, corriente, torque o RPMs. El estado del motor lo indica en las terminales 21 y 22. La salida en estas terminales es totalmente analógica en el rango de 0 a 10 voltios DC.

En este proyecto, se usarán los variadores GPD 503 modelo DS316 y DS317 para 7.5 y 10 HP respectivamente; ambos variadores también son para 460 voltios.

5.4.4 TRANSDUCTOR DE SONIDO SONAR-BERO 3RG60.

El sensor ultrasónico Sonar-Bero está disponible en varios diseños mecánicos y eléctricos. Ellos también difieren de uno a otro en terminos del tamaño del sensor y su rango, así como también las facilidades de Control y de aplicación.

El Sonar-Bero, tipo compacto, consiste de un Sonar y un evaluador de señal. Modos auxiliares son disponibles según la aplicación que se tenga.

El Sonar Sensor contiene el transductor, el transmisor y receptor-amplificador y los dispositivos de control.

El evaluador de señal provee el voltaje de operación para el sensor, y a la vez evaluará las señales del mismo.

La figura 6 muestra los tres tipos de sonar y la figura 7 muestra las forma física del evaluador de señal 3RX0. El evaluador de señal es 'equipado para los diferentes tipos de sonar.

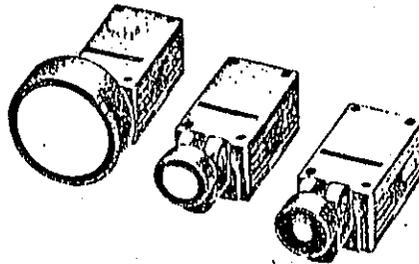


Figura 6. Tipos de sonar 3RG60 44-3mm00, 3RG^43-3MM00, 3RG6042-3MM00. (Ref. 6, Pag. 3-1)

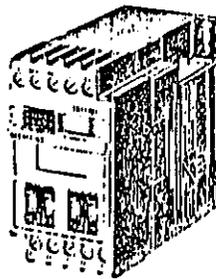


Figura 15. Evaluador de señal 3RX1 701. (Ref. 6, Pag. 3-1)

En la tabla número 3, están indicados: el rango de operación de los diferentes sonares y evaluadores de señal,

así como sus respectivos voltajes de alimentación y de salida.

SENSOR SONAR	3RG6042-3MM00	3RG6043-3MM00	3RG6044-3MM00
RANGO DE SENSEO.	6-30 cm.	20-99 cm.	80-600 cm.
Superficie std. (Area mínima para máxima operación).	1 cm * 1 cm.	2 cm * 2 cm.	10 cm * 10 cm.
Precisión del sensor en dirección axial al objeto en movimiento.	± 0.45 mm.	± 1.50 mm.	± 9 mm.
Temperatura ambiente.	-25°C a 70°C, -13°F a 158°F		
- Operación.	-40°C a 85°C, -40°F a 185°F		
- Almacenaje.			

TABLA No. 3.

Características de Sonares y Evaluadores de Señal. (Ref. 6, Pag. 3-4)

El Sonar indica la presencia de un objeto en el rango que a él le está permitido. El límite inferior y superior de este rango puede ser ajustado separadamente en el evaluador de señal. (ver la figura 8)

En la figura 10, se muestran los rangos permisibles de operación del Evaluador de señal. Asimismo en la figura 11, se muestran las características técnicas del evaluador de señal y el sensor.

TYPE	AJUSTES DE SELECTORES EN RANGO DE OPERACION				RANGO DE OPERACION AJUSTABLE. (LIMITE SUPERIOR MENOS INFERIOR).		HISTERESIS	UNIDAD
	LIMITE INFERIOR		LIMITE SUPERIOR		MIN.	MAX.		
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.				
3RG6042-3MM00	06	28	8	30	2	24	1	cm.
3RG6043-3MM00	20	96	23	99	0	79	1	cm.
3RG6044-3MM00	8	58	10	60	2	52	1	cm.

Figura 8. Definición de rangos con el sonar. (Ref. 6, Pag. 3-2)

Evaluador de señal	3R x 1701	3R x 1702	3R x 1703
Voltaje de operación.	AC 230	DC 24 V	AC 115
SALIDAS.		RELACION DE ESTADO SOLIDO AISLADO DEL VOLTAJE DE OPERACION	
MAXIMA CAPACIDAD DE CARGA.			
Tu = 0°C a 45°C 32°F a 113°F		NO 300 mA. NC 150 mA.	
Tu = 45°C a 55°C 113°F a 131°F		NO 200 mA. NC 100 mA.	
- VOLTAJE.		UC 20 A 250 V	
- CALIDAD DEL VOLTAJE.		MAXIMO 5 V	
- TEMPERATURA AMBIENTE.		0°C a 55°C, +32°F a 131°F	
- OPERACION.			
- ALMACENAJE.		-25°C a 70°C, -13°F a 158°F	

Figura 9. Definición de rangos para el evaluador de señal 3RX1. (Ref. 6, Pag. 3-2)

5.4.5 MULTIPLEXOR 3RX179.

Este multiplexor permite conectar hasta 6 sonares, el cual da una salida que puede ser analizada por el evaluador de señal. Cada sensor es muestreado ciclicamente. La figura 11 muestra la forma del multiplexor y sus características. El número de sensores conectados (máximo de 7) puede ser ajustado a través de switches. La tabla 4 muestra las características técnicas del multiplexor.

5.4.6 MODULO SALIDA-DIGITAL 3RX1715.

El módulo de salida digital habilita el sonar para operar en conjunto con un control numérico. El indicador digital muestra la distancia, la cual es seguida por el evaluador de señal en representación, en sus salidas D0-D7 de su puerto de salida.

La figura 12 muestra la correlación entre la distancia medida por el sensor y la codificación que realiza el módulo.

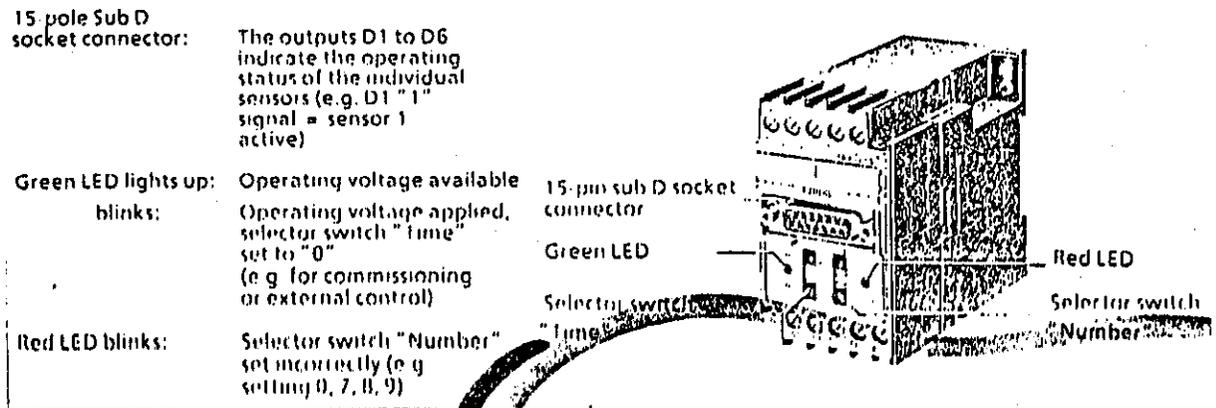


Figura 11. Multiplexor 3RX1. (Ref. 6, Pág. 3-7)

Signal status at terminals of subminiature D socket connector			Sensor position number
Bin4	Bin2	Bin1	
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
1	1	0	6

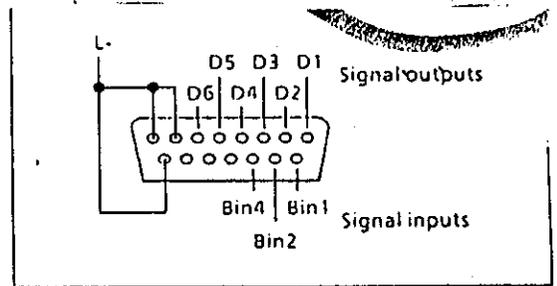


TABLA 4

Combinación de señales permisibles a la entrada del multiplexor y asignación de terminales en el socket del multiplexor. (Ref.6, Pag.3-7)

SONAR SENSOR			Representación de código binario dec.(BCD)				Representación de código binario (binario)											
3RG60 44	3RG60 42	3RG60 43	Peso				Unidad				Unidad							
			2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
30dm	30cm		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
45dm		45cm	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1
60dm		60cm	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
		99cm	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
Valor de distancia real		Asignación de terminal de conectores	D ₇ D ₆ D ₅ D ₄				D ₃ D ₂ D ₁ D ₀				D ₇ D ₀							

Figura 12. Correlación entre la distancia actual su respectiva codificación. (Ref.6, Pag.3-10)

5.5 SOFTWARE DEL SISTEMA

Como en toda implementación de Software, éste debe iniciar con una descripción de las variables que se estarán analizando dentro del problema, y luego debe hacerse un diagrama de flujo, en el cual se indique la forma en la que se interrelacionan cada una de las variables del problema, y finalmente debe configurarse el programa.

5.5.1 DESIGNACIÓN DE VARIABLES

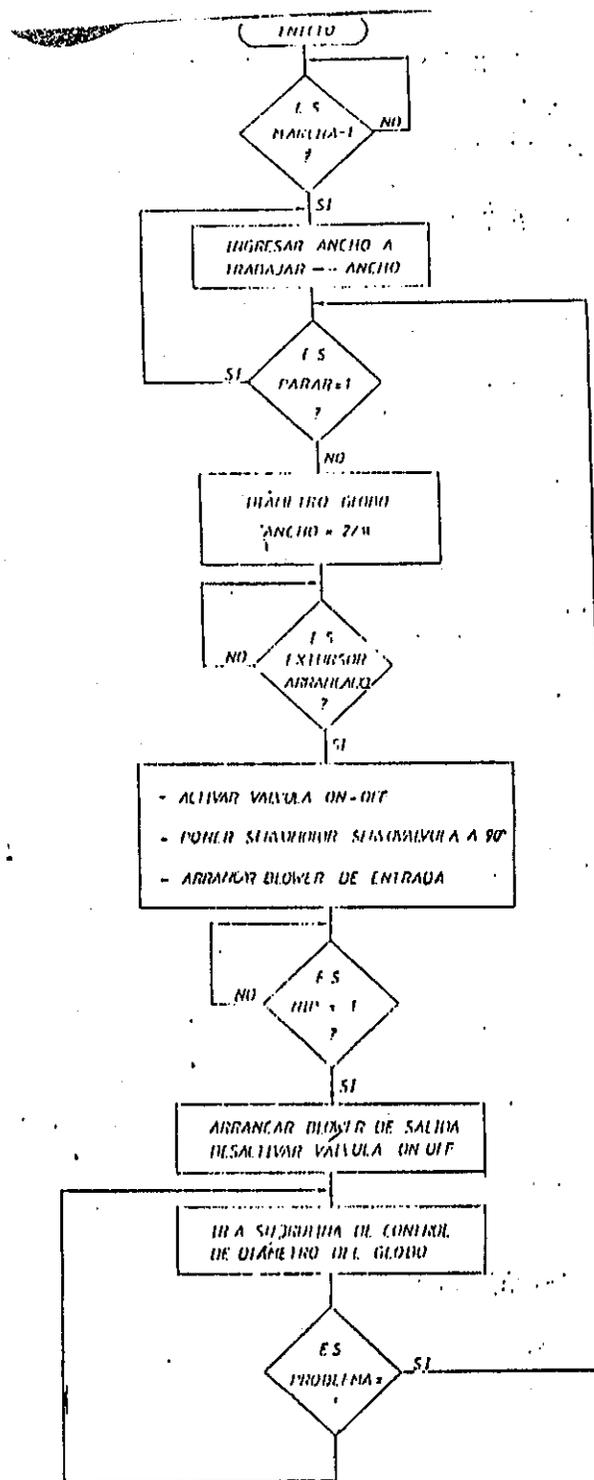
El programa está formado por las siguientes partes:

- 1) Programa principal.
- 2) Programa de monitoreo de sensores de ultrasonido y dámper.

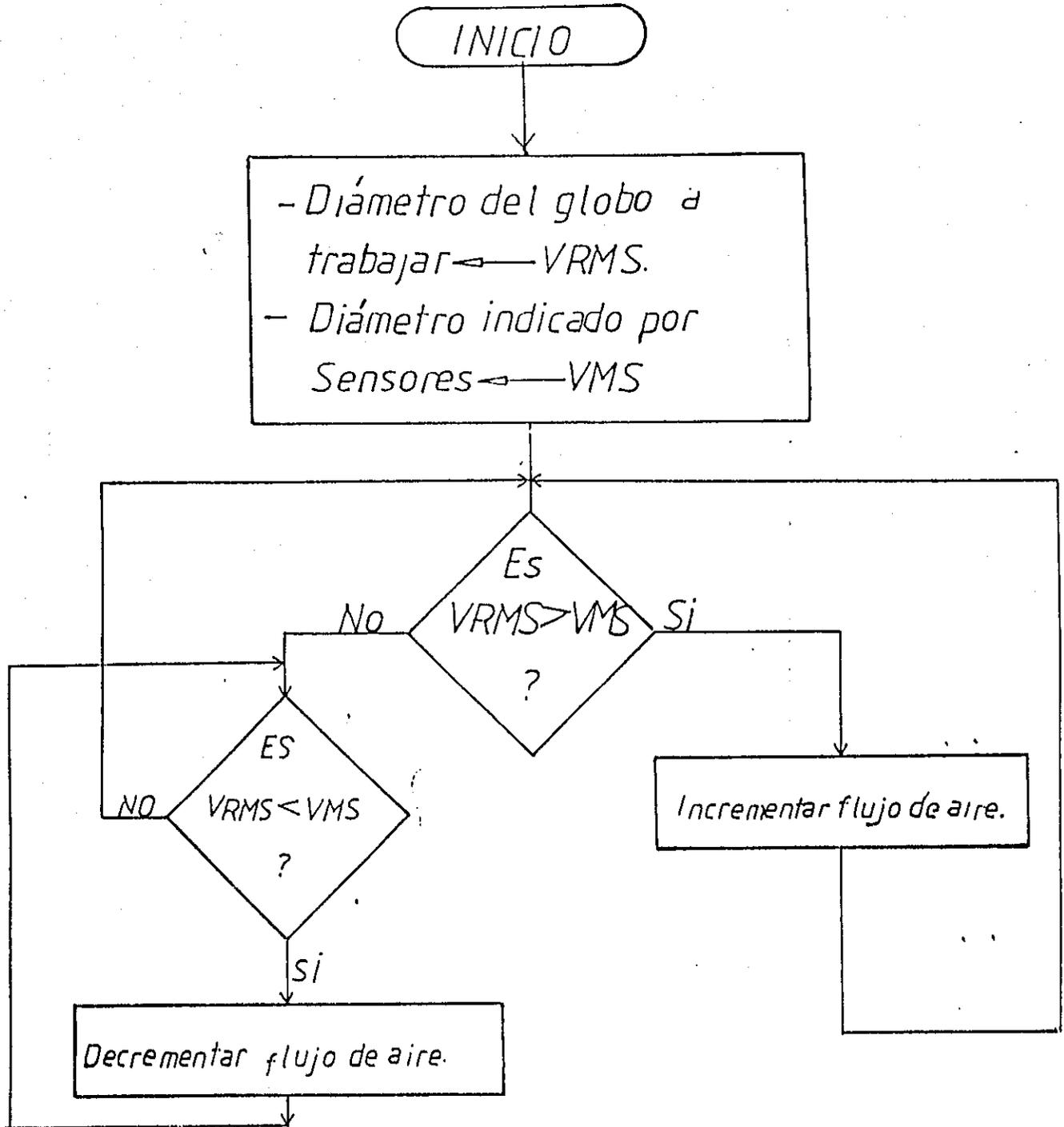
DESIGNACIÓN DE VARIABLES

No.	DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	ABREVIATURA
1)	Porcentaje en que debe estar el voltaje de regulación de velocidad en el variador de frecuencia blower de entrada. Nota: este voltaje debe variar en el rango de 0-10 Volts. Para una mejor operación del equipo, el operario debe indicar a que porcentaje de la velocidad nominal del blower debe trabajar el motor; es decir, que si se quiere trabajar el blower a máximas revoluciones deberá indicar en este valor 100%, lo que equivale a 60 HZ o 10 voltios de entrada.	PBI
2)	Porcentaje en que debe estar el voltaje de regulación de velocidad en variador en el de frecuencia blower de salida. Ver nota en Designación de Variable No.1.	PBO
3)	Ancho del plástico que se va a trabajar.	ANCHO
4)	Señal que indica al Microprocesador que puede iniciar el proceso.	MARCHA
5)	Señal que indica para el Microprocesador al que se desea cancelar el trabajo.	PARAR
6)	Señal de salida del Microprocesador hacia el variador de frecuencia de entrada. Esta señal debe estar en el rango de 0 a 10 VDC.	VBI
7)	Señal de salida del Microprocesador hacia el variador de frecuencia de salida. Esta señal debe estar en el rango de 0 a 10 VDC.	VBO
8)	Voltaje de entrada al Microprocesador procedente del convertidor analógico digital, que evalúa el estado de los sensores de ultrasonido.	VMS
9)	Voltaje proveniente del variador de frecuencia en el blower de entrada. Este voltaje le sirve al Microprocesador para determinar el estado del variador y ver si ha habido un cambio en la frecuencia del variador; si hubiera, procede a hacer el respectivo ajuste.	FVB
10)	Voltaje proveniente del variador de frecuencia en el blower de salida. Este voltaje le sirve al Microprocesador para determinar el estado del variador y ver si ha habido un cambio en la frecuencia del mismo; si lo hubiera, procede a hacer el respectivo ajuste.	FVB
11)	Señal de entrada al Microprocesador que indica que el proceso fue interrumpido por entes externos al Microprocesador, tales como rotura de globo, falla del extrusor, etc.	PROBLEMA
12)	El Voltaje de referencia del dâmp. Este voltaje sirve de retroalimentación al Microprocesador para indicarle qué posición tiene el dâmp y cómo está regulando el flujo de entrada al globo. Voltaje en el rango de 0-10 Volts D.C.	VRDAMP
13)	Voltaje de salida del Microprocesador hacia el dâmp; el cual sirve para regular la posición del dâmp que controla el flujo de entrada al globo. Voltaje en el rango de 0-10 Volts D.C.	VSDAMP
14)	Señal para indicarle al microprocesador que se quiere iniciar el proceso para ingresar nuevos datos.	INGRESO
15)	Diámetro del globo que se va a trabajar. Esta conversión la hace el programa de acuerdo con el diámetro Globo = (Ancho * 2) / TT	GLOBO
16)	Porcentaje de enfriamiento del A.C. Fr.	% COOLING

5.5.2 PROGRAMA PRINCIPAL



5.5.3 SUBROUTINA DE CONTROL DE SENSORES DE ULTRASONIDO Y MONITOREO DE DAMPER



5.6 CONSIDERACIONES FINANCIERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En la tabla 5, se han tabulado datos de producción en esta línea, durante el periodo de abril de 1992 a abril de 1994.

Se puede observar en la gráfica, en la columna que indica Lbs/Peso, que durante este periodo hubo un desperdicio de 263,341 Lbs. ocasionado por variaciones de ancho en el producto. Tomando en consideración esta cantidad, se puede concluir que en promedio se tuvo un desperdicio de 10,533 Lbs/Mes.

Hay que tomar en consideración que el producto rechazado no se pierde del todo, ya que éste es reciclado para luego ser extruido de nuevo, pero esto significa que cuando el material es reciclado se le debe agregar al producto el costo que significa volver a reprocesar y es de menor calidad.

En la misma tabla #5, se puede observar que el desperdicio promedio en este año fue de 4.47%, el cual es bastante ya que normalmente en procesos de extrusión de plástico el porcentaje aceptado es de 0.4% a 0.5%. El porcentaje 4.47% es 800% mayor. Para poder entrar a considerar la justificación del proyecto, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Desperdicio generado con el sistema antiguo y el costo del mismo.
- b) Costo de la implementación del proyecto.
- c) Recuperación de la inversión.

Se analizará a continuación cada uno de los aspectos indicados anteriormente.

5.6.1 DESPERDICIO GENERADO EN EL SISTEMA ACTUAL Y COSTO DEL MISMO

El sistema que actualmente tiene la extrusora y sobre la cual se quiere implementar el sistema de control de burbuja, por medio de sensores de ultrasonido; es electrónico analógico y totalmente obsoleto. Este sistema tiene la característica que tarda una hora en estabilizarse; en este tiempo llega a tener una variación de 1/2" a 1/4"; dicha variación es tolerable y se puede decir que este producto es todavía aceptado por el Departamento de Control de Calidad.

Se debe tomar en consideración que una extrusora con un tornillo de 4 1/2" tiene una capacidad de extrusión en el orden de 650 Lbs/Hora. El proceso de estabilización se da cada vez que ocurre lo siguiente:

- a) Cada vez que hay un cambio de filtro o malla, este proceso se da 3 veces por semana.
- b) Cada vez que hay un arranque del extrusor por paro total de producción, éste se da 2 veces por mes.

Considerando esto, se puede concluir lo siguiente:

1) Desperdicio debido a cambio de filtros	15,600 Lbs/Mes
2) Desperdicio debido a arranques por paro de producción	2,600 Lbs/Mes

	18,200 Lbs/Mes

Posteriormente se utilizará este valor para calcular el retorno de la inversión, tomando en consideración el desperdicio.

5.6.2 COSTO DE IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

A continuación, se enumera cada uno de los equipos necesarios en este proyecto y su respectivo costo:

No.	DESCRIPCION DEL EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANT.	COSTO TOTAL

1)	Microprocesador Z-80 display incorporado de puertos paralela - serie incorporada.	\$1,200.00	1	\$ 1,200.00
2)	Variador de frecuencia 7.5 H.P	\$2,900.00	1	\$ 2,900.00
3)	Variador de frecuencia 10 H.P.	\$3,000.00	1	\$ 3,000.00
4)	Blower de presión de 7.5 H.P. 25 pulgadas de agua de presión	\$1,100.00	1	\$ 1,100.00
5)	Blower de presión de 10 H.P., 25 pulgadas de agua de presión	\$1,500.00	1	\$ 1,500.00
6)	Sensor de ultra sonido para un rango de 6-30 cms.	\$ 350.00	4	\$ 1,400.00
7)	Evaluador de señal para acoplar 6 sensores de ultrasonido.	\$ 500.00	1	\$ 500.00

8) Multiplexor de sensores de ultrasonido.	\$ 500.00	1	\$ 500.00
9) Convertidor analógico digital para señal multiplexada.	\$ 480.00	1	\$ 480.00
10) Servoválvula de 0 8" Alimentación de 4-20 MA.	\$ 400.00	1	\$ 400.00

	Sub-Total Proyecto:		\$12,980.00
	Costo Instalación 10%		\$ 1,600.00
	Imprevistos:		\$ 1,000.00

	COSTO TOTAL DEL PROYECTO:		\$15,580.00
			=====

5.6.3 ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

En el análisis de recuperación de la inversión, se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) Inversión de equipo.
- b) Reducción del desperdicio por la instalación de este equipo.
- c) Costo de venta de este desperdicio.
- d) Venta del producto desperdiciado.
- e) Periodo de recuperación de la inversión.

Se analizará cada uno de los aspectos anteriormente indicados:

- a) Inversión de equipo:

La inversión de equipo incluye:

1) Costo de equipo	\$ 15,580.00
2) Fletes, impuestos e instalación.	\$ 1,200.00

TOTAL:	\$ 16,780.00
	=====

- b) Reducción del desperdicio por instalación del sistema IBC:

En el inciso 5.6.1, se indicó que con el sistema que se encuentra instalado actualmente hay un desperdicio de 18,200 Lbs/mes, por la inestabilidad que tiene el sistema para operar. Tomando en cuenta que la línea tiene una capacidad de 360,000 Lbs/Mes, el porcentaje de desperdicio

generado por el mal funcionamiento del sistema es de 5%.

Se estima que, con el nuevo sistema, se reduzca el desperdicio de 5% al 0.625%, es decir:

- 1) Desperdicio con el sistema antiguo : 18,200 Lbs/Mes.
- 2) Desperdicio estimado con el nuevo sistema:
2,250 Lbs/Mes, reduciendo el desperdicio 18,200 menos
2,250 = 15,950 Lbs/Mes.

c) Costo por producto desperdiciado:

El costo de venta del producto desperdiciado es de \$0.90/Lb. Se concluye que la empresa está dejando de vender:

$$15,950 \text{ Lbs/Mes} * \$.90 = \$14,355/\text{Mes}$$

Lbs.

Lo que es igual a: \$172,260.00/Año

d) Valor de venta no efectuado por producto desperdiciado:

El producto desperdiciado podría ser vendido a un precio de \$1.15/Lb; es decir, que la venta total del producto sería:

$$15,950 \text{ Lbs/Mes} * \$1.15 = \$18,342.00/\text{Mes}$$

Lb.

Lo que es igual a: \$220,000.00/Año

e) El período de recuperación de la inversión:

El período de recuperación de la inversión puede ser calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Recuperación de la Inversión.} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ventas} - \text{Costo de Ventas}}$$

Inversión: \$ 16,780.00
Ventas: \$172,260.00/Año
Costo de ventas: \$220,000.00/Año

De acuerdo con esto, tenemos:

$$\begin{array}{r} \text{Recuperación de la inversión.} \\ \hline \$ 16,780.00 \\ \hline 220,000. / \text{Año} - 172,260. / \text{Año} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{Recuperación de la inversión.} \\ \hline \$ 16,780.00 \\ \hline \end{array}$$

\$ 47,740./Año

Igual a: 0.35 Año o 4.21 mes

El tiempo de recuperación de 4.2 meses es razonablemente bueno, ya que esto garantiza que el producto va a ser de mejor calidad y se evitará generar el porcentaje de desperdicio que se tenía con el sistema anterior.

No se debe olvidar que adicionalmente se va a incrementar la producción del extrusor porque se estará instalando enfriamiento interno; también se podrá trabajar la línea durante más tiempo en el año. Todo esto acorta el tiempo de recuperación de la inversión.

Al análisis de recuperación de la inversión que se acaba de hacer, se deben agregar otras ventajas económicas que daría este proyecto, las cuales no se aprecian fácilmente, pero que mejoran la rentabilidad del proyecto y acortan el período de recuperación de la inversión. Estas ventajas son:

- 1) El hecho de tener un mejor control sobre el ancho de la película que se va a trabajar, y nos garantiza que la calidad de los rollos sea mejor; esto es debido a que se va a tener un mejor control sobre el ancho y como consecuencia se tendrán rollos más simétricos y de mejor presentación.
- 2) Si se tiene un mal control sobre el ancho de la película, esto implica que se tendrán variaciones de longitud por rollo, lo cual se debe a que normalmente cada rollo se vende por longitud y el cliente exige esto. Si se comparan 2 rollos de la misma longitud pero con variaciones de ancho, se notará que uno pesará menos que el otro. Aunque un cliente lo que está buscando es rendimiento (mayor longitud), también exige el peso.
- 3) El sistema de control que está actualmente instalado en la máquina, tiene la desventaja que debido a las variaciones que experimenta en el ancho, no pueden trabajarse espesores menores de 1.25 milésimas de pulgada, lo cual limita la producción de todos aquellos productos que más se venden durante el invierno, es decir, la carga se limita de 6 a 7 meses.

Como se indicó anteriormente, una extrusora como la que se está analizando, 4 1/2 de diámetro; tiene una capacidad de 625 Lbs/Hora o sea una producción de 364,000 Lbs/Mes. Si se analiza el caso en que vamos a tener un rendimiento del 90% o sea un 10% de paro, ya sea por falta de producción o mantenimiento. La máquina tendría una producción de 4.374,000 libras por año.

Si se toma en cuenta que se va a tener una ganancia neta de \$0.15/Lb, la ganancia neta/año sería de \$656,100./Año.

En el caso del sistema actualmente instalado, la máquina tiene una producción estimada del 60%, en estas condiciones, nos da una producción por año de 2.624,400 Lbs/Año, y una ganancia neta de \$ 393,660./Año.

La diferencia entre la ganancia neta/año =
\$ 262,440./Año

Lo anteriormente descrito refleja que el periodo de recuperación puede ser más corto si se toma en consideración este aspecto.

- 4) Por último, el hecho de tener control interno de burbuja permite la facilidad de enfriar internamente el globo. Esto se logra poniendo en la salida de blower de entrada un intercambiador de calor agua-aire y esto remueve el calor interno dentro de la burbuja de una manera fácil. Implementando este sistema, se puede esperar un 25% más de producción o sea 780 Lbs/Hora; esto también acortaría el periodo de recuperación de la inversión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1) El Costo de la implementación de un sistema de control de enfriamiento interno de burbuja para una extrusora de polietileno resulta ser bajo, tomando en consideración todas las ventajas que se obtendrán en la producción y calidad de las mismas. Esto se debe a que los sensores del diámetro de burbuja no tienen contacto directo con el globo, sino que lo hacen a través de la emisión-recepción de una señal de ultrasonido.
- 2) El aumento de producción de máquina está alrededor del 25% comparativamente con un equipo que no lo tenga. Esto se debe a que el aire confinado dentro de la burbuja está siendo renovado continuamente por los ventiladores de extracción e inyección. Se podría lograr hasta un 30% - 35% de incremento en la producción, al instalar aire refrigerado de entrada a la burbuja.
- 3) Se ha logrado una variación en el ancho de lámina plana de 0.100" en comparación de 1/2" con el sistema antiguo, por efecto de un mejor control del diámetro de la burbuja. Esto implica ahorro de material por ancho plano constante. Esta, a su vez, mejora la geometría y calidad del rollo.
- 4) Un sistema de control de enfriamiento interno de burbuja con sensores de ultrasonido reduce el desperdicio durante cambios del producto, lo cual implica cambios de ancho de lámina o tubo, porque se hace la operación en forma automática y con mucha mayor velocidad.
- 5) En el caso de que exista una pinchadura del globo, la respuesta de acción del sistema reinfla la burbuja con rapidez al nivel necesario, para la operación del producto en cuestión; esto, por supuesto, reduce el nivel de desperdicio.
- 6) El enfriamiento interno de burbuja es muy eficiente para remover el calor de la burbuja, porque el aire de entrada sólo obtiene el calor del film y de la parte alta del dado, o de los agujeros en el dado por donde el aire fluye. Esto representa una ventaja desde el punto de vista productivo, ya que el sistema asegura un enfriamiento completo de la película; algunas pruebas han indicado que usando aire refrigerado solamente 5 toneladas y un sistema IBC, resulta en un 20% de incremento en la producción.

- 7) El aire dentro de la burbuja ayuda a mantener la línea de enfriamiento en el nivel adecuado, para que la bolsa no se pegue o se bloquee, porque tiene contacto con la burbuja, pero no se mezclará con el aire caliente dentro de ésta. Este efecto es mucho mejor instalando un tubo de extracción de altura moderada, de tal forma que el aire no sea desperdiciado.
- 8) La eficiencia de un sistema IBC depende de cuánto aire tenga contacto con la burbuja (especialmente debajo de la línea de enfriamiento), así como de su temperatura; más aire incrementará el enfriamiento y menos aire lo reducirá. Demasiado aire resulta en inestabilidad de la burbuja y como consecuencia variaciones del ancho de la película; es por esto que se han instalado variadores de frecuencia para poder controlar mejor el intercambio de aire dentro de la burbuja.
- 9) La cantidad de aire de entrada deberá ser aquello que sea capaz de remover el aire dentro de la burbuja. Asimismo, la correcta presión de aire es aquella que vencerá la resistencia al flujo de aire provocada por: tuberías, acoples, codos y tubería interna dentro del dado.
- 10) El análisis financiero y la recuperación de la inversión se ha realizado considerando y tomando en cuenta: inversión del equipo, reducción del desperdicio por la instalación de este equipo, costo de venta y ventas del producto, lo que da un periodo de recuperación de la inversión bastante aceptable, aunque otras ventajas intangibles se obtienen con la instalación de este equipo, tales como:
- Mejor aprovechamiento de la capacidad de la máquina en el transcurso del año.
 - Facilidad para producir film en una gama amplia de espesores.

RECOMENDACIONES

- 1) Que cuando el sistema está operando normalmente, el operador no bloquee el haz de ultrasonido, ya sea con las manos o con cualquier otro objeto, que de alguna forma puede hacer que el sistema opere inapropiadamente y que finalmente influya en la producción de película defectuosa.
- 2) Aunque los equipos de ultrasonido pueden operar en ambientes muy sucios, sin dejar de emitir una buena lectura, se recomienda que el operador de la línea limpie frecuentemente el área cercana a los sensores. Generalmente, en el proceso de plástico, se genera mucho polvo, que podría acumularse alrededor del sensor de ultrasonido y hacer que opere en forma no deseada.
- 3) Que la Facultad de Ingeniería implemente una investigación más a fondo, acerca de los elementos que deben tomarse en cuenta para el diseño y cálculo de los blowers de entrada y de salida apropiados para cualquier tamaño de dado. Para el caso que se ha analizado, se ha hecho el cálculo para un dado de diámetro de 16 pulgadas, pero sería aconsejable se elaborara un estudio que implemente los pasos que deben seguirse, para dimensionar los blowers en función de lo siguiente:
 - a) Diámetro de las tuberías.
 - b) Codos.
 - c) Restricciones.
 - d) Tuberías internas del dado.
 - e) Dampers.
 - f) Temperatura del aire.
- 4) La eficiencia del proceso podría ser incrementada, si hay programa o software que controla los dampers, y si todo el proceso es mejorado para que haga ajustes finos sobre el ancho de la película, e incremente o decremente la frecuencia de los motores en cada uno de los blowers, y aumente o disminuya el ancho de la película que se está trabajando. Este análisis es interesante porque deben finalizarse aspectos tales como la respuesta eléctrica y mecánica de los motores; el análisis de este fenómeno puede ser proyectado para que un estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica lo desarrolle como un punto de tesis.
- 5) Que se revise periódicamente el estado de limpieza de los filtros de ingreso de aire al sistema. Mucha suciedad en los filtros podría provocar que el ingreso de aire frío dentro del globo sea restringido, y hacer que

la extrusora no trabaje a la velocidad adecuada, de tal manera que se pueda aprovechar su capacidad.

REFERENCIAS

- ALLORCA A., John. Transducer, theory & applications".
3a. Edición. U.S.A.: Edit. Reston, 1984, 485
p.p.
- ANGULO, María José. Microprocesadores, curso sobre
aplicaciones en sistemas industriales. 2da.
Edición. Madrid (España): Edit. Paraninfo, 1985,
495 p.p.
- GALVEZ, Henry. Dibujos realizados por el autor de esta
tesis. 1a. Edición. Guatemala: s.p.i., 1995.
- GRIFF, Allan. Manual de operación de extrusión. 1a.
Edición. U.S.A.: Edit. E.T.S., 1987, 120 p.p.
- SIEMENS, A.G. Sona bero 3R60 publicaciones promocionales de
siemens. 1ra. Edición. Germany: s.p.i., 1990,
100 p.p.
- MALLONEY J., Timothy. Industrial solid-state electronics:
devices & systems. 1a. Edición. U.S.A.: Edit.
Prentice - Hall Int, 1985. 620 p.p.
- OVALLE S., Flavio Francisco. Aplicaciones de energía solar y
control de panel fotovoltaico. Tesis de
graduación. Guatemala: Edit. U.S.A.C., 1990. 110
p.p.

BIBLIOGRAFIA

- FAIRCHILD, John. TTL data book. 3a. Edición. U.S.A.:
Edit. Fairchild, 1978, 1200 p.p.
- GOUGHLIN, Robert F., et. al. Circuitos integrados lineales y
amplificadores operacionales. 2da. Edición.
México: Edit. Prentice - Hall Hispanoamericana,
S.A., 1987, 625 p.p.
- HEBERT, Taub. Circuitos digitales y microprocesadores. 3a.
Edición. México: Edit. McGraw - Hill
Interamericana de México S.A. de C.V., 1988, 200
p.p.
- MALVINO, Thimoty. Dispositivos electrónicos. 4a. Edición.
México: Edit. McGraw - Hill, 1988, 720 p.p.
- MANDADO, Edwards. Aplicaciones de microprocesadores a la
industria. 1a. Edición. Madrid (España): Edit.
Marcombo, 1983, 820 p.p.
- RANWENDAAL, Chirs. Polymer extrusion. 2da. Edición. Munich
(Germany): Edit. Hanser Publishers. 1990, 562
p.p.
- URBINA B., Gabriel. Evaluación de proyectos: análisis y
evaluación del riesgo. 4a. Edición. México:
Edit. McGraw - Hill, 1989, 185 p.p.
- WILLIAM B., Arthur. Microprocesadores, dispositivos
periféricos, optoelectrónicos y de interfaz. 5a.
Edición. México: Edit. McGraw - Hill, 1989, 125
p.p.
- ZACKS, Rodney. The Z-80. 3a. Edición. California (U.S.A.):
Edit. Z. Gex, 1978, 325 p.p.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE COMPOSTELA
Biblioteca CERI