



300617  
UNIVERSIDAD LA SALLE 46  
24j

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

# MODERNIZACION Y AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TERMOPLASTICOS PARA LA FABRICACION DE CONDUCTORES ELECTRICOS

TESIS CON  
FOLIO DE ORIGEN

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA ELECTRONICA  
P R E S E N T A  
CARLOS ENRIQUE MARTINEZ AGUADO  
DIRECTOR: ING. GUILLERMO ARANDA  
MEXICO, D. F. 1992



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

	Página
INTRODUCCION.....	1
<b>I. SITUACION ACTUAL DE LAS LINEAS DE EXTRUSION DE TERMOPLASTICOS</b>	
I.1 Componentes de una línea de extrusión de termo- plásticos para aplicación en la fabricación de cables.....	14
I.2 Prestaciones, productividad y problemática de las líneas de extrusión en nuestro país. Compa- ración con competidores de clase mundial del ex- tranjero.....	41
<b>II. EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA MODERNIZAR LINEAS DE EXTRUSION DE TERMOPLASTICOS</b>	
II.1 Concepto y alcance de la modernización.....	50
II.2 Definición de los elementos de la línea de ex- trusión a modernizar.....	54
II.3 Modernización del control de la lógica y secuen- cia de operación de la línea, controles de tempe- ratura y motores.....	61
II.4 Modernización de los equipos e instrumentos que aseguran la calidad del producto durante la fa- bricación.....	73

II.5 Balanceo de la línea de producción. Resultados esperados. Costo de la modernización.....	87
III. AUTOMATIZACION DEL PROCESO. ARQUITECTURAS.	
III.1 Conceptos para la automatización de líneas de extrusión.....	92
III.2 Condiciones particulares y requisitos de la fábrica donde se automatizará la línea de extrusión.....	98
III.3 Presentación y análisis de las arquitecturas definidas y evaluadas como posibles alternativas para la automatización del proceso.....	98
III.4 Arquitectura y alternativa de ejecución seleccionadas.....	109
IV. DEFINICION DE UNA ESTRATEGIA DE AUTOMATIZACION E INTEGRACION A SISTEMAS COMPUTARIZADOS DE GESTION DE PRODUCCION Y DE CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO.	
IV.1 Conceptos de un Plan Global de modernización desarrollado para una fábrica de cables.....	121
IV.2 Estrategia de automatización e integración a un SIM y a CEP.....	127
CONCLUSIONES.....	140
BIBLIOGRAFIA.....	143

## INTRODUCCION

## 1. El proceso de fabricación de conductores eléctricos.

La fabricación de conductores eléctricos comprende una serie de procesos que varían dependiendo del tipo de cable a producir. La tesis se centrará en el proceso de fabricación de conductores eléctricos para baja tensión con conductor de cobre, aislamiento de PVC, y en ocasiones con una cubierta exterior de Nylon, conocidos como cables para la industria de la construcción. Este tipo de cable se utiliza para la instalación general de casas habitación, oficinas, etc... Los procesos para fabricar este tipo de cables son los siguientes :

- a) Estirado
- b) Cableado
- c) Extrusión
- d) Corte y Empaque

A continuación se describirá brevemente cada uno de éstos :

- a) Estirado.

La materia prima básica para la fabricación de este tipo de cables es el cobre, que cumple con la función de conducir la corriente eléctrica. El cobre de grado eléctrico ( por su alta pureza ) es utilizado por los fabricantes reconocidos en México y es producido a través del proceso denominado "de colada continua", y es entregado a los fabricantes de cable en grandes rollos de aproximadamente 1 metro de radio por 0.5 m de espesor que contienen alambre de 8 mm de diámetro y que pesan alrededor de 3 toneladas. Para la fabricación de los cables se requieren diversos diámetros en el o los hilos de cobre que constituirán el conductor. Para reducir el diámetro del alambre de cobre, se requiere el proceso conocido como estirado.

En la máquina estiradora se hace pasar el alambre a través de una serie de "hileras" con reducciones progresivas del diámetro hasta obtener el diámetro final deseado. Las "hileras" son cápsulas metálicas con un núcleo central de diamante natural o sintético que tiene un orificio en el centro. Al tirar del alambre a través del orificio del núcleo de diamante de la "hilera", se produce la deformación necesaria para reducir su diámetro. Dependiendo del diámetro final que se pretenda obtener en el alambre, se puede pasar por uno y hasta 3 procesos sucesivos de estirado. Las máquinas estiradoras se clasifican en tres tipos dependiendo del diámetro final que se pretende obtener. Estas son:

1. Estiradoras gruesas : Generalmente son de 13 pasos ( 13

"hileras" con reducciones de diámetro sucesivas ) y se obtienen diámetros que van del 8 al 16 AWG. Estas estiradoras pueden ser monofilares, por trabajar con un alambre de cobre a la vez, o las mas modernas, que son bifilares porque trabajan con dos alambres de cobre en paralelo.

2. Estiradoras intermedias : Generalmente son de 17 pasos y se obtienen diámetros que van del 16 al 30 AWG. Pueden ser monofilares o multifilares ( hasta 6 alambres de cobre en paralelo ).

3. Estiradoras finas : Generalmente son de 17 pasos y se obtienen diámetros que van del 26 al 34 AWG. Pueden ser monofilares o multifilares ( hasta 20 alambres de cobre en paralelo )

Las características mencionadas arriba son genéricas y pueden variar dependiendo del fabricante y del tipo específico de maquinaria de que se trate.

Por ejemplo, para fabricar un alambre 34 AWG, se requiere pasar éste a través de una estiradora gruesa, posteriormente por una intermedia, y así, hasta llegar al diámetro final en la estiradora fina.

b) Cableado

Los cables utilizados en la industria de la construcción en nuestro país están normalizados a través de la DGN ( Dirección General de Normas). Los fabricantes reconocidos en nuestro país, fabrican sus productos en base a estas normativas; sin embargo existen muchos fabricantes al margen de las normas que producen cables que no cumplen ninguna especificación. Los cables de construcción mas comunes son aquellos que van del calibre 10 al 14 AWG. Son los cables con los que se realiza toda la instalación interior de casas habitación y que alimentan los tomacorrientes, interruptores, lámparas, etc... Estos cables pueden estar constituidos de dos maneras :

- Un alambre sólido de cobre con una cubierta aislante de plástico PVC. ( Este PVC deberá tener determinadas propiedades dieléctricas, mecánicas, de temperatura de operación, envejecimiento, etc...). Este tipo de cable de construcción es el más económico.
- Con mucha frecuencia, se requiere que el cable tenga cierta flexibilidad para facilitar su instalación en los ductos utilizados para tal fin. Para ésto, en vez de utilizar un solo conductor sólido, se fabrica una cuerda de 7 alambres concéntricos, que en conjunto tienen la misma área transversal que el conductor sólido, aunque con una mayor flexibilidad, proporcionando una gran mejora en la facilidad de instalación. Para formar esta cuerda, se

utilizan las máquinas cableadoras. Estas son de tipos muy diversos dependiendo de su tecnología, del tipo de cable a producir, etc...

En cables destinados a la exportación a los Estados Unidos se utiliza una construcción de 19 hilos concéntricos ( su norma es distinta a la mexicana ) para los mismos calibres donde la norma mexicana establece 7 hilos.

Tamaños de cable mas grandes requieren mas hilos para conservar su flexibilidad, teniendo ya 19 hilos los cables del 1/0 al 4/0 AWG, y hasta 54 hilos los 500 MCM.

Para formar cuerdas concéntricas delgadas ( 8 al 14 AWG ) se dispone de 2 tipos de máquinas normalmente :

1. Las mas antiguas: cableadoras denominadas "tubulares".
2. Las mas modernas: cableadoras o "bunchers" denominados de "doble torsión".

Para cuerdas concéntricas intermedias ( 6 al 1 AWG ) se utilizan los mismos tipos de máquinas mencionados arriba, solo que su tamaño y potencia son mayores.

Para los cables mas grandes ( 1/0 AWG al 500 MCM ), la única tecnología disponible actualmente es la de las cableadoras llamadas "rígidas". Si bien varios fabricantes comienzan a producir los calibres 1/0 al 4/0 en cableadoras de "doble torsión" por su mayor productividad.

### c) Extrusión.

El proceso mas importante, delicado, complejo y costoso de la fabricación de cables es la aplicación del aislamiento plástico sobre el conductor ( sea éste un alambre sólido o una cuerda ). La aplicación del aislamiento se realiza con máquinas de extrusión, las cuales son de uso muy difundido dentro de la industria del plástico, si bien, las utilizadas para cables tienen algunas diferencias con las de otras aplicaciones, aunque su concepto general es el mismo.

El proceso de extrusión en la fabricación de conductores eléctricos, requiere de dispositivos adicionales a la entrada y a la salida de la extrusora, para poder realizarse. Al conjunto formado por la extrusora y los dispositivos periféricos necesarios se le denomina "Línea de Extrusión".

La extrusora, consiste básicamente en un tornillo sin fin, encerrado en una ajustada recámara. Un motor eléctrico activa el movimiento del tornillo, mientras que la recámara es calentada por medio de resistencias para fundir el material que es transportado por el tornillo. El dispositivo que se encuentra al final de la extrusora y que permite la salida a presión del material fundido será el adecuado dependiendo la aplicación que se tenga para la máquina. Este dispositivo puede ser para la fabricación de película o film, tuberías, recubrimiento de conductores eléctricos, etc...

Los elementos de los que se compone una Línea de Extrusión dependerán de los siguientes factores :

- Tipo de cable a fabricar
- Presupuesto disponible
- Grado de integración del proceso
- Necesidades de productividad / competitividad

Estos elementos serán descritos en el Capítulo I.

#### d) Corte y Empaque.

Una vez que ha sido aplicado el aislamiento termoplástico sobre el conductor, el cable está terminado, y se encuentra en grandes carretes que contienen varias decenas de kilómetros de cable en su interior. El cliente habitual del cable generalmente requiere el material en rollos de 100 m de longitud, que pueden disponerse dentro de cajas de cartón, pequeños carretes de plástico o metal, o envueltos en papel o plástico termocontráctil.

Para este fin se colocan los carretes en desenrolladores con dispositivos cuentametros y los mecanismos adecuados para el corte del cable en la longitud deseada y el empaque requerido.

2. El mercado de los Cables para Construcción en México y la problemática ante la apertura de fronteras.

Durante muchos años el entorno de un mercado protegido, permitió a los fabricantes de cable para la construcción su existencia dentro de un paraíso de abundantes utilidades, y quizá, excesiva tolerancia ante el incumplimiento a normas.

En el resto del mundo, uno de los segmentos de mercado mas competido y castigado en precio es el del Cable para Construcción. Los fabricantes equipan con la maquinaria mas nueva, productiva y confiable a sus fábricas de este tipo de producto. El personal de las fábricas se reduce al mínimo indispensable; se automatizan y/o se integran en "tandem" todos los procesos en que la tecnología existente lo permite; solo sobreviven los grandes productores que a través de fuertes inversiones en maquinaria y altísimos volúmenes de producción, consiguen hacer rentable su operación.

De hecho, mucho del desarrollo que se ha dado en la maquinaria para fabricación de cables en los últimos 10 años, ha salido de aquella desarrollada inicialmente para la fabricación de cable para construcción y se ha hecho extensiva a la fabricación de otros tipos de cables.

Mientras tanto, el entorno proteccionista y tolerante en nuestro país, permitió que las fábricas de cable para construcción se equiparan con las máquinas sobrantes de

fábricas de otros tipos de cables, o con máquinas obsoletas adquiridas en el país o el extranjero, y que pese a su baja productividad y problemas de mantenimiento, era posible obtener cuantiosas ganancias.

Esta situación está cambiando muy rápidamente. En este momento ya se puede adquirir en el país cable para construcción importado a un precio razonable, y la apertura de fronteras permitirá dentro de poco tiempo, la entrada libre de estos productos a precios internacionales.

En este entorno, es previsible la desaparición de los fabricantes pequeños, y aún los 4 o 5 mas importantes fabricantes de cable en el país, deberán reestructurar sus fábricas de cable para construcción y competir con las reglas del mercado internacional. Para ésto el camino parece ser solo uno :

- Reducir costos de materia prima y desarrollar proveedores que proporcionen productos de calidad buena y consistente.
- Sustitución de maquinaria obsoleta por equipos de alta productividad.
- Incorporación de instrumentos que permitan un control total del proceso de fabricación.
- Incorporar técnicas de Control Estadístico del Proceso ( CEP ), con los procedimientos e instrumentos adecuados, y asimismo introducir las

técnicas de CIM ( Computer Integrated Manufacturing) integrando la maquinaria a los sistemas computarizados de programación y control de producción.

- Reducción de inventarios de materias primas y producto terminado, así como disminución del tiempo de fabricación y tiempos de espera entre procesos.

Lo anterior implica inversiones cuantiosas tanto en recursos monetarios, tiempo y capacitación al personal, pero en este momento son la única alternativa para subsistir en un mercado globalizado. Además, realizando las inversiones adecuadas, será posible mantener una importante ventaja competitiva frente a los fabricantes extranjeros: El costo de mano de obra, que si bien cada día será mayor, por algunos años permitirá un buen nivel competitivo, pero solo si se acompaña de una modernización en la planta productiva.

### 3. Planteamiento de la Tesis

Una modernización generalizada de maquinaria en una fábrica requiere análisis cuidadosos para la selección y compra de equipos. Los presupuestos son limitados y no perdonan decisiones inadecuadas. Las líneas de extrusión de alta velocidad completas con todos sus equipos periféricos son las máquinas mas costosas y complejas dentro de una fábrica de

cables para construcción. En este trabajo se presentará un panorama de la situación actual de la mayor parte de las Líneas de Extrusión instaladas actualmente en las fábricas de cable para construcción en nuestro país. Posteriormente se presentará una estrategia de modernización de equipos e incorporación de instrumentos que permitan una mejora productiva y de consistencia de calidad de los productos que en esas líneas se fabrican. Lo anterior debe realizarse como un paso previo a la automatización del proceso. Finalmente, será presentada una propuesta de automatización global del proceso, haciendo una comparación entre las arquitecturas posibles y mostrando que los beneficios compensan en muy corto tiempo las inversiones necesarias.

Además, las propuestas que se realizarán en este trabajo pueden hacerse extensivas a líneas de extrusión de termoplásticos para aplicaciones distintas a la fabricación de cables, y asimismo como modelo de modernización para máquinas de otros procesos dentro de la fabricación de cables.

El contenido de la Tesis pretende ser lo más ajustado a la realidad posible. Sin embargo se omitirán algunos datos o se proporcionarán éstos en forma aproximada para no afectar secretos tecnológicos que son propiedad de fabricantes de cable nacionales y extranjeros así como de fabricantes de equipos e instrumentos para esta aplicación.

## CAPITULO I

### SITUACION ACTUAL DE LAS LINEAS DE EXTRUSION DE TERMOPLASTICOS

## I.1 Componentes de una línea de extrusión de termoplásticos para aplicación en la fabricación de cables.

Las grandes diferencias en presupuestos, tecnología y enfoque de mercado entre los fabricantes de cable de construcción en nuestro país, hacen prácticamente imposible definir una línea de extrusión que pueda considerarse como típica para todos. De esta manera, y con la intención de este trabajo, que es proporcionar un criterio que permita adecuar la maquinaria a un entorno de competitividad internacional, para lo cual, se requiere partir de que la maquinaria, tecnología, calidad y servicio actuales del fabricante del cable lo hacen competitivo dentro del mercado nacional por lo menos, se utilizará como muestra o ejemplo de línea de extrusión aquella que es típica para los 5 o 6 fabricantes nacionales mas importantes. Asimismo, se tomará como base una línea de extrusión diseñada para fabricar los cables de calibres 8 al 14 AWG, que son los cables de construcción mas comunes.

Las líneas de extrusión destinadas a tamaños de cable mayores que los mencionados requieren componentes distintos a los que utilizan las máquinas como la que se usará de referencia. Además, las líneas de extrusión destinadas a fabricar cable de construcción calibres 8 al 14 AWG tienen condiciones mas criticas de productividad por las altas prestaciones que deben entregar para considerarlas como eficientes.

La figura 1.1 muestra un diagrama esquemático de una línea de

extrusión de termoplásticos con sus componentes, destinada a la fabricación de conductores eléctricos del 8 al 14 AWG.

La función de cada uno de éstos se describe a continuación :

a) Desenrollador

El conductor eléctrico, sea éste en forma de cable o de alambre sólido, generalmente llega a la línea de extrusión en carretes o bobinas metálicas ( que pueden ser de 22 pulgadas , 30 pulgadas, 36 pulgadas, 630 mm u 800 mm de diámetro de brida ) para la aplicación de referencia. Estos carretes son montados en el desenrollador para entregar el conductor a la línea de extrusión. El desenrollador puede ser de tipo estático ( defilé ) o dinámico ( deroulé ). El desenrollador de tipo estático mantiene al carrete inmóvil y el conductor es jalado por el "capstan" o polea motriz de la línea de extrusión desenrollándose así del carrete. A este procedimiento se le conoce como "flipeo".

La figura 1.2 muestra un desenrollador estático por "flipeo".

En el desenrollado dinámico el carrete gira montado en una flecha. El movimiento es proporcionado por el tiro del "capstan" o polea motriz de la línea de extrusión, el cual al jalar el conductor provoca el movimiento del carrete o bobina. En este caso la tensión es mantenida mecánicamente con un freno de banda ajustable y cuando se requiere detener la línea de extrusión se frena el movimiento de la bobina con

Figura 1.1 Diagrama esquemático de los elementos de una línea de extrusión para conductores eléctricos aislados con termoplásticos

- |     |                       |     |                             |
|-----|-----------------------|-----|-----------------------------|
| (a) | desenrollador         | (l) | marcador a tinta            |
| (b) | precalentador         | (j) | canal de enfriamiento       |
| (c) | extrusor auxiliar     | (k) | capatan de tiro             |
| (d) | extrusor principal    | (i) | soplador de aire            |
| (e) | extrusor tandem       | (m) | medidor de diámetro         |
| (f) | tablero de control    | (n) | probador de arco de voltaje |
| (g) | canal de pre-enfriado | (o) | dancer                      |
| (h) | soplador de aire      | (p) | enrollador doble            |

16

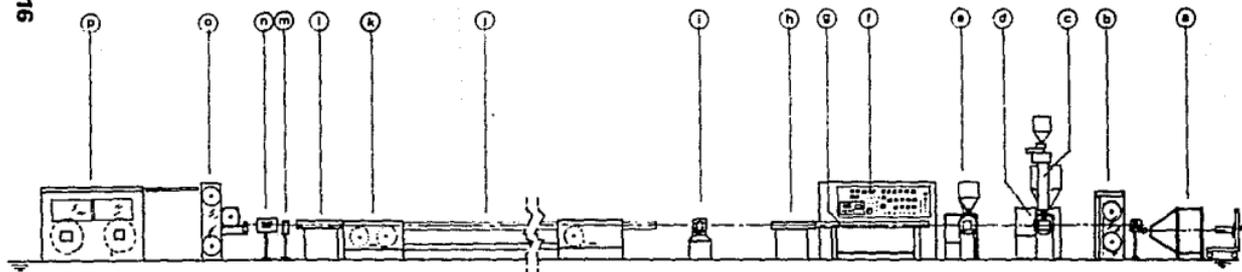
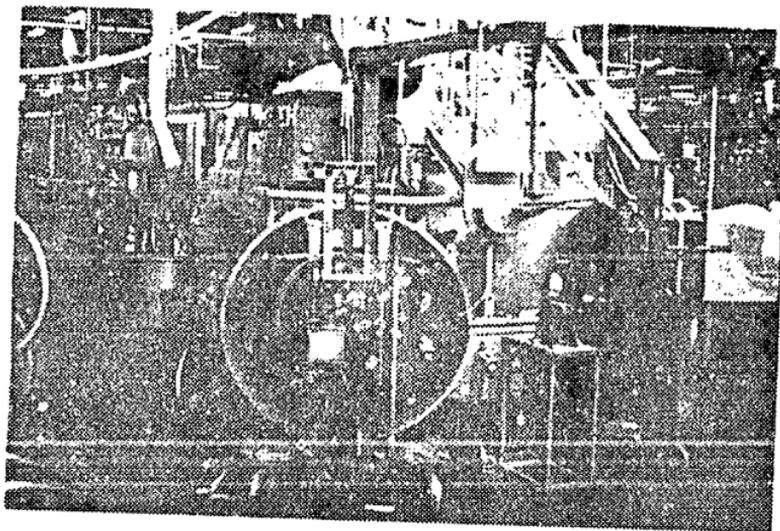


Figura 1.2  
Desenrollador doble de tipo estático por "flikeo"



un freno de tambor.

#### b) Precalentador

El precalentador es un dispositivo que a través de un voltaje aplicado entre sus dos poleas calienta al conductor a una temperatura determinada para prepararlo a su entrada a la cabeza de la extrusora y permitir que el PVC se adhiera a su superficie. Este dispositivo solo se requiere en el caso de alambres sólidos. Los conductores construidos en forma de cuerda no requieren el calentamiento previo pues con la irregularidad de su superficie permiten una buena adherencia del PVC. Otras funciones del precalentador son eliminar algún vestigio de lubricante en el conductor procedente de la estiradora y evitar problemas de choque térmico en el PVC al entrar en contacto el conductor frío con el PVC caliente.

La figura 1.3 muestra un precalentador.

#### c) Extrusora principal

La mayor parte de las líneas de extrusión instaladas en el país y destinadas a la fabricación de cable para construcción están equipadas con una sola extrusora. Esta máquina se encarga de fundir los "pellets" (granulado) de PVC y entregar el fluido en forma uniforme y homogénea a la cabeza de extrusión a través de la cual pasa el conductor y es recubierto con el material fundido. La figura 1.4 muestra un diagrama de una extrusora con sus principales componentes. La figura 1.5 muestra algunos tipos de tornillos de extrusión.

Figura 1.3  
Precalentador eléctrico para alambres sólidos

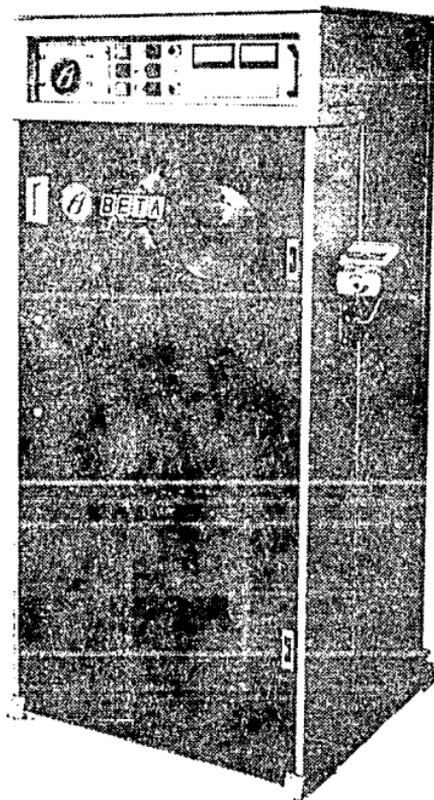
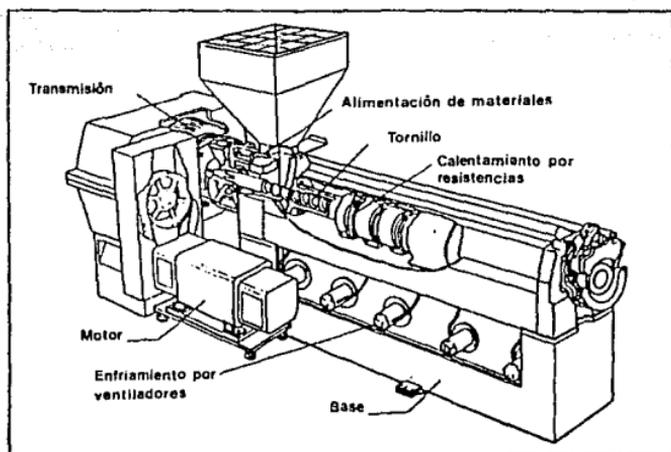
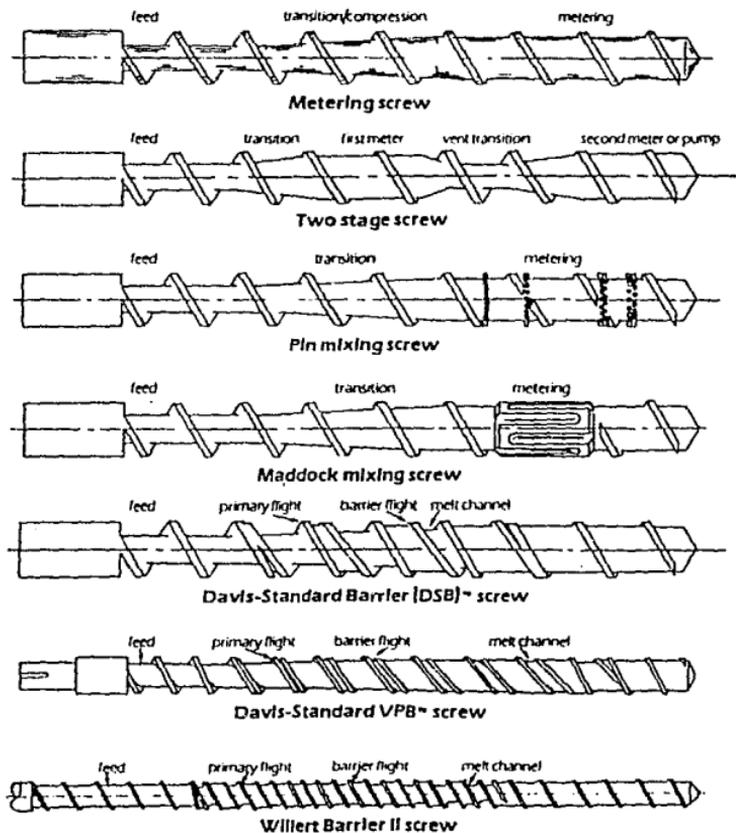


Figura 1.4  
Diagrama de un extrusor típico con sus componentes principales.



Diferentes tipos de tornillos para extrusión de termoplásticos.

Figura 1.5



El motor eléctrico que acciona la extrusora puede ser de corriente alterna o directa. Cuando es de alterna la velocidad de la extrusora es modificada por medio de un "drive" o gobernador mecánico, en base a juegos de poleas y bandas, o por medio de un embrague electromagnético en el caso de motores de tipo "eddy current". En el caso de equipos modernos de c.a. la velocidad es modificada y controlada por variadores de frecuencia. En el caso de extrusoras accionadas por motores de c.d. la velocidad es controlada por "drives" o gobernadores analógicos y en equipos muy modernos por "drives" digitales. La extrusora típica para la aplicación de cables de construcción 10 al 14 AWG, es de 4.5 pulgadas ( en estándar americano . 120 mm std. europeo ) de diámetro de tornillo, y con una relación  $l/d$  (  $l$ =longitud de tornillo,  $d$ = diámetro del tornillo ) de 24:1 . Extrusoras mas pequeñas como puede ser una 3.5 pulgadas entregarán un gasto menor de PVC y por tanto la velocidad máxima de la línea estará limitada por ello. Extrusoras mas grandes, como las de 6 pulgadas tienen la capacidad de entregar una cantidad de PVC que no puede ser aprovechada, pues la velocidad de una línea de extrusión para esta aplicación esta limitada por una serie de factores externos a la entrega de la extrusora en sí. La relación  $l/d$  puede ser de 20 a 30 para esta aplicación, si bien la ideal es la de 24:1. El motor de c.d. generalmente utilizado en esta aplicación es del tipo "regenerativo".

La temperatura a lo largo de la recámara es gobernada a través de controladores de temperatura, mejor conocidos como

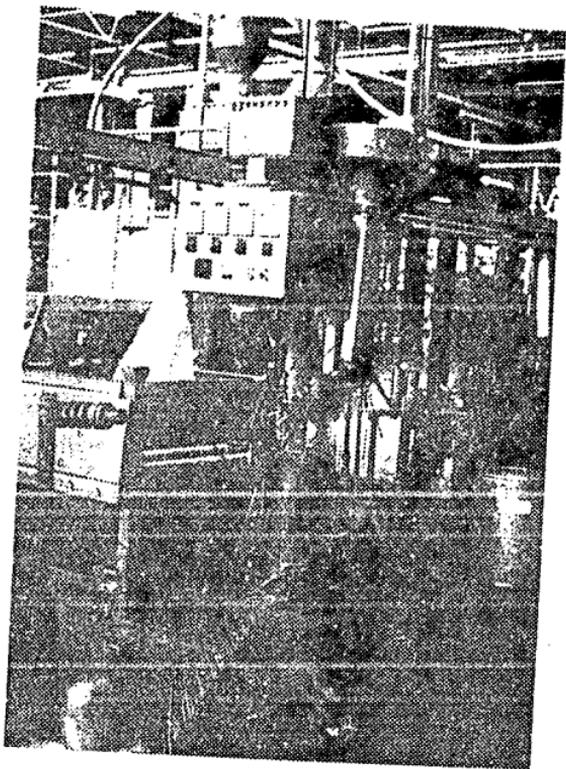
pirómetros. Una extrusora de 4.5 pulgadas suele llevar 4 o 5 zonas de temperatura a lo largo de la recámara mas otras dos zonas, una para el cuello ( la unión de la extrusora con la cabeza de extrusión ) y una en la cabeza misma. El calentamiento se realiza a través de resistencias y el decremento de temperatura por medio de ventiladores. En otras aplicaciones el calentamiento/enfriamiento se realiza a través de sistemas de control que utilizan agua a presión o aceite. Los pirómetros, en la mayor parte de las extrusoras para esta aplicación en nuestro país son del tipo on/off ( encendido/apagado) y solo en las máquinas relativamente nuevas se encuentran del tipo PID ( Control proporcional integral-derivativo ).

Se requieren varias zonas de temperatura a lo largo de la recámara porque es necesario un cierto perfil de temperaturas a lo largo de ella y no una temperatura constante.

#### d) Extrusora auxiliar

Los cables de construcción comunes en México están constituidos de un conductor de cobre y una cubierta de PVC que cumple la función de aislamiento eléctrico y protección del conductor. Este aislamiento puede ser de diversos colores. Otra opción es colorear solo la parte exterior del aislamiento aplicando simultáneamente una capa de PVC natural y en la parte externa PVC coloreado. La función de la extrusora auxiliar es aplicar este aislamiento coloreado y converge en la misma cabeza de extrusión de la extrusora principal. Esta extrusora puede ser instalada en posición

Figura 1.6  
Extrusora auxiliar vertical 30 mm de tipo móvil



horizontal o vertical si es pequeña. La figura 1.6 muestra una extrusora auxiliar.

e) Tolvas de PVC

Para alimentar el PVC en la extrusora se requiere un sistema de tolvas en la parte superior de la entrada de ésta. Estas tolvas deben contar con deshumidificadores para evitar que se apelmasen los "pellets" de PVC y en caso de mucha humedad en el ambiente, evitan en lo posible que al extruir se arruine el material por presencia de humedad. La alimentación de PVC a las tolvas se puede realizar por medio de un sistema de vacío o en forma manual vaciando los sacos de PVC directamente en las tolvas.

f) Dosificadores de pigmento

En ocasiones el PVC se alimenta precoloreado a la extrusora y en otros casos solo se alimenta PVC natural y el color se aplica por medio de dosificadores de color que envían la cantidad necesaria de "pellets" de color en una proporción determinada respecto a la cantidad de PVC natural que se suministra a la extrusora. La mezcla entre el PVC natural y el color se realiza durante el transporte / calentamiento del material a través del tornillo y sale con un color homogéneo en la cabeza.

g) Medidor / Controlador de diámetro

Una vez que el conductor pasa por la cabeza de extrusión ya puede ser denominado como "cable". Este cable debe cumplir

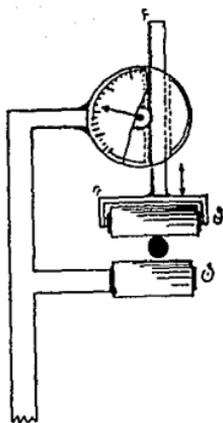
con las especificaciones y normas establecidas . Entre estas normas se encuentran las dimensionales, que marcan mínimos de diámetro exterior y espesor del aislamiento. Se puede garantizar el cumplimiento a la norma dando un gran diámetro y/o espesor al aislamiento pero éste repercute en el costo de fabricación, pues el cliente no paga los sobrecontenidos de material, que deben ser absorbidos por el fabricante, ya sea en el precio de venta o ya sea en sus utilidades, pues estos cables se venden por metro, no por peso. De hecho, muchos clientes no pueden aceptar los excesos de material por la aplicación a la que destinan los cables. Por tanto se requiere de medios para verificar durante la fabricación las dimensiones del producto.

En muchas fábricas de México, el control del diámetro lo realiza manualmente el operador de la máquina por medio de un micrómetro. Como la medición debe ser realizada con la línea en funcionamiento, la precisión de la medida es poco confiable y solo ocasional pues el operador no puede estar midiendo en forma permanente. Otra forma de verificar el diámetro del cable es por medio de medidores instalados en la línea. Antiguamente éstos eran mecánicos .

En la figura 1.7 se muestra este tipo de medidor.

Actualmente los medidores son del tipo de no-contacto y la medición se realiza a través de dispositivos optoelectrónicos. Estos dispositivos están constituidos por una fuente emisora de luz, y una fotocelda que recibe la luz

Figura 1.7  
Medidor de diámetro de cable en línea de tipo mecánico



restante al pasar el cable entre la fuente emisora y la fotocelda. El voltaje resultante es mostrado en un "display" digital o en un indicador analógico calibrados adecuadamente para mostrar la medida en mm o pulgadas. La mayoría de estos equipos tienen la capacidad no solo de medir el diámetro, sino de controlar la línea de extrusión para mantener el diámetro constante. El control de la línea es realizado por medio de circuitos electrónicos que forman parte del equipo medidor y retroalimentan al gobernador de la velocidad del "capstan" o al del motor de la extrusora principal.

Por una serie de desafortunadas y en ocasiones injustificadas razones, en nuestro país en general, se limita la aplicación de estos equipos a la medición solamente. Esto será comentado con mas amplitud en el punto I.2 de este trabajo.

La figura 1.8 muestra un esquema del funcionamiento del dispositivo.

La figura 1.9 muestra un equipo optoelectrónico sencillo para la medición de diámetros.

Este equipo es una gran herramienta para el control dimensional del cable, y se ha desarrollado notablemente en los últimos años, pero ésto será comentado en detalle en el Capítulo II.

#### h) Tablero de Control

El tablero de control agrupa la mayor parte de los

Figura 1.8  
Esquema de funcionamiento de un medidor de diámetro de cable en línea óptico sencillo.

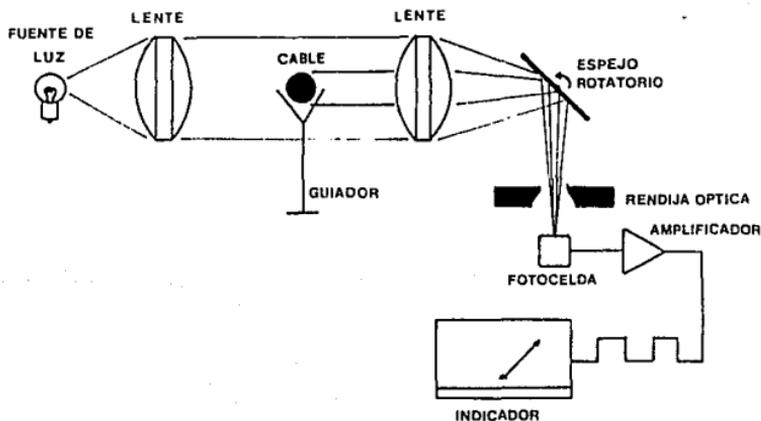
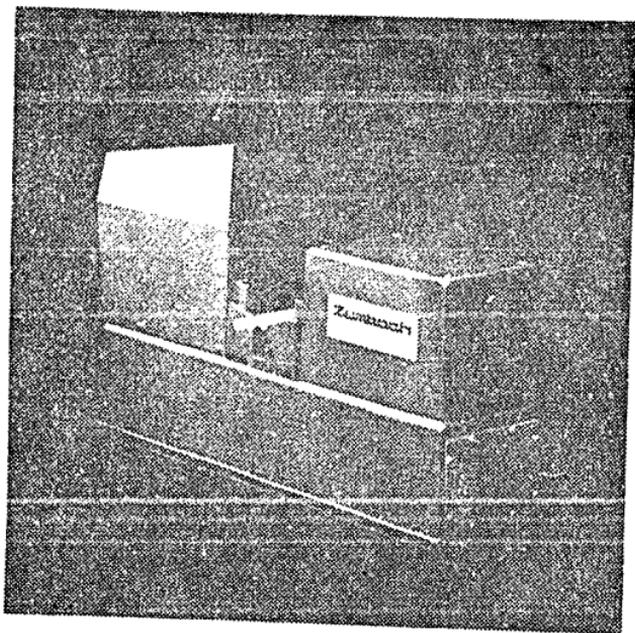


Figura 1.9  
Medidor de diámetro óptico sencillo



indicadores, botonería y controles de la línea. El operador controla en el tablero el encendido de todos los componentes, el arranque de la línea, el incremento de velocidad hasta la velocidad de crucero para el producto, desaceleración y paro de la línea. Asimismo en este panel se encuentran los controles de temperatura, de bombas de vacío y dehumidificadores de las tolvas, indicadores y controles de velocidad del "capstan" y extrusoras, etc...

Las figuras 1.10 y 1.11 muestran arreglos típicos de tableros de control.

Normalmente la línea de extrusión puede ser operada en "individual" o "coordinado". La operación en "individual" permite el accionamiento independiente de todos los dispositivos que componen la línea. Generalmente se opera así durante la preparación y arranque de la línea. La operación en "coordinado" permite que accionando un solo potenciómetro, se incremente o decremente la velocidad del "capstan", extrusoras y enrollador en forma proporcional. (Esto se requiere pues sin operar en "coordinado" para incrementar velocidad por ejemplo, es necesario accionar el potenciómetro que regula la velocidad del "capstan", el del enrollador y asimismo los potenciómetros de las extrusoras para seguir obteniendo una entrega adecuada de PVC respecto a la nueva velocidad de la línea. De no hacerse así, aumentando la velocidad del "capstan" sin incrementar las rpm de la extrusora o extrusoras, el PVC no será el suficiente para

Figura 1.10  
Arreglo típico de un tablero de control de una línea de extrusión convencional.

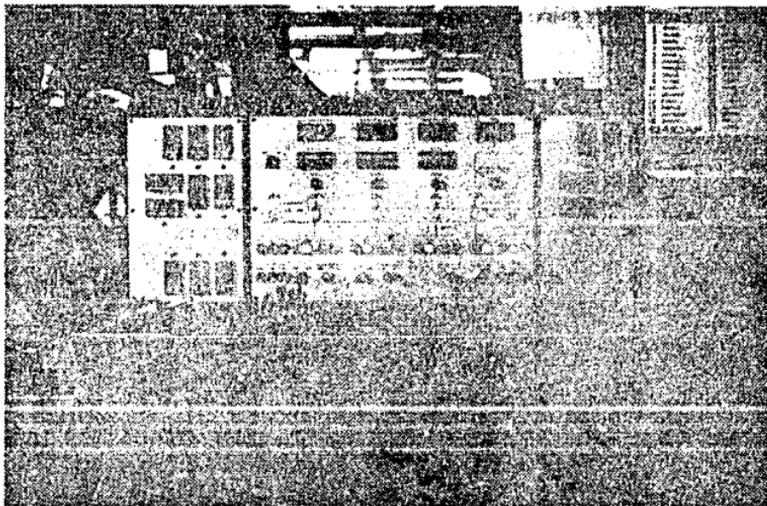
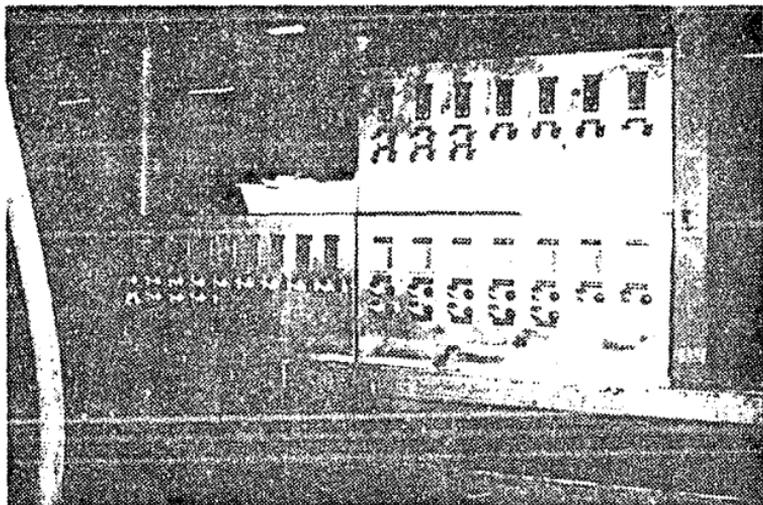


Figura 1.11  
Otro arreglo típico de un tablero de control de una línea de extrusión convencional.



mantener el espesor y diámetros de aislamiento requeridos.

i) Gabinete de equipos eléctricos. En este gabinete se encuentran normalmente alojados, el interruptor principal, el centro de carga para los diferentes equipos de la línea, los gobernadores ( "drives" ) de los motores y el control de la secuencia de operación de la línea con sus relevadores.

j) Sistema de marcado del cable

El cable de construcción de acuerdo a la norma debe contar con una leyenda visible a distancias determinadas a todo lo largo de su longitud indicando el nombre del fabricante, el voltaje de aplicación, registro NOM (Norma Oficial Mexicana) y el tipo de cable del que se trata. Esta leyenda puede aplicarse en dos formas : La primera y mas común es el realizado en alto relieve. Este se realiza inmediatamente después del paso del conductor por la cabeza de extrusión, cuando el PVC todavía tiene propiedades plásticas por la alta temperatura. Un disco metálico que en el canto lleva marcada la leyenda correspondiente, a una presión suficiente para marcar los caracteres en la superficie del cable, se encarga de esta labor. El dispositivo puede ser de giro libre ( el movimiento del disco es provocado por su contacto con el cable ) o motorizado, con la retroalimentación necesaria para sincronizar perfectamente la velocidad del "capstan" o polea motriz de la línea con la velocidad del giro del disco grabador. El otro tipo de marcado del cable se realiza por medio de tinta. Es efectuado como en el primer caso, por

medio de discos, y puede ser de giro libre o motorizado. Para esta operación se requiere que el cable pase antes por un enfriamiento en agua que disminuya ligeramente la temperatura del cable recién extruido y le dé estabilidad plástica para evitar que al hacer presión el disco de marcado sobre el cable, este último se deforme. Al pequeño canal que hace esta operación se le conoce como canal de pre-enfriamiento.

Un método adicional para marcar los cables con tinta que se mencionará en el Capítulo II es el de chorro de tinta ( ink-jet ).

#### k) Extrusora Tandem

Los fabricantes nacionales que producen cables de construcción para exportación a los Estados Unidos o Canadá, o para algunas aplicaciones especiales en México ( Pemex, por ejemplo ) requieren fabricar cables de conductor sólido o cuerda de 19 hilos concéntricos, aislamiento de PVC y cubierta exterior de Nylon. Para aplicar esta cubierta adicional se requiere una extrusora instalada en "tandem" a una distancia determinada de la extrusora principal de PVC. Esta extrusora "tandem" no requiere ser tan grande como la principal, pues el volumen de Nylon necesario es proporcionalmente menor que el de PVC en un cable.

#### l) Canal de enfriamiento

Una vez que el cable ha sido marcado con la leyenda o si se le ha aplicado la cubierta exterior de Nylon entra a un circuito que aplica agua por aspersión o chorro directo y

después es inmerso totalmente en el agua para enfriarlo. Como el espacio disponible para instalar la maquinaria en una fábrica no es ilimitado, se disminuye el espacio requerido para el canal de enfriamiento haciendo un circuito que por medio de poleas hace pasar al cable por el mismo canal varias veces hasta completar la distancia necesaria para que el cable llegue frío al "capstan" o polea motriz y posteriormente al enrollador.

m) "Capstan" de tiro, o polea motriz.

La función del "capstan" o polea motriz es tirar del conductor para aplicarle los procesos mencionados en esta serie de incisos, y la estabilidad de su tiro es indispensable para obtener un producto de calidad consistente. Las máquinas más antiguas utilizan un "capstan" o polea motriz activada por un motor de c.a. y la velocidad se modifica con cajas de velocidades. En líneas de extrusión más modernas el estándar es un motor de c.d. del tipo regenerativo y la velocidad se regula con un "drive" o gobernador de estado sólido.

n) Probador de arco de voltaje

Una prueba que se recomienda hacer a los cables durante su paso por la línea de extrusión es la denominada de "arco de voltaje". Esta prueba verifica la calidad del aislamiento aplicado al cable con la extrusora. La norma establece la aplicación de un voltaje de varios Kilovolts ( la cantidad exacta de KV depende de la norma y la aplicación del cable )

para cables que operarán en instalaciones domésticas de baja tensión. Si el aislamiento está defectuoso, la aplicación del voltaje de prueba hará "franca" la falla al producirse un arco voltaico en la superficie del cable. Este equipo requiere ser instalado a la salida del "capstan" o polea motriz y antes del enrollador. El cable debe estar completamente seco a su paso por el equipo de prueba, para evitar arcos provocados, no por fallas del aislamiento y si por la presencia de agua en la superficie del cable.

La figura 1.12 muestra un equipo típico para esta prueba.

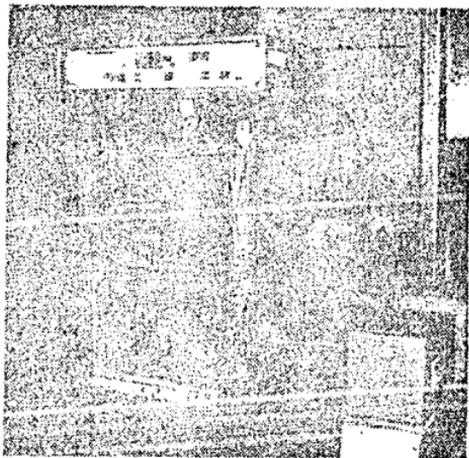
o) Sopladores de aire

Diversas operaciones realizadas en la línea de extrusión, como la medición del diámetro del cable con los equipos ópticos, el marcado a tinta de la leyenda y la prueba de voltaje requieren que el cable esté completamente seco para realizar esas operaciones en forma adecuada por lo que a la salida del canal de preenfriamiento y a la salida del "capstan" de tiro se requiere hacer pasar al cable por un sistema que suministra aire a presión para eliminar las gotas de agua en la superficie del cable.

p) Dancer

Los enrolladores de alta velocidad para la fabricación de cables de construcción requieren la instalación de un "dancer" o pulmón entre el "capstan" y el enrollador mismo. Este equipo ecualiza las pequeñas diferencias de velocidad

Figura 1.12  
Probador de arco de voltaje convencional instalado en una  
línea de extrusión.



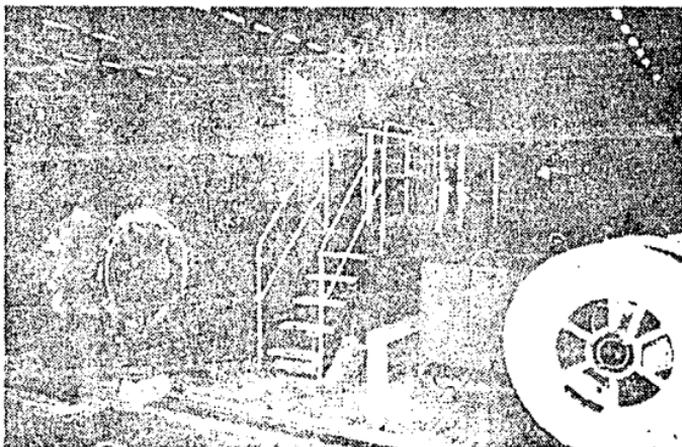
entre el "capstan" y el enrollador. Las líneas de extrusión sin enrolladores de alta velocidad no utilizan este dispositivo.

#### q) Enrollador

La función del enrollador es recoger el cable en un carrete o bobina, o sin bobina en grandes rollos. La bobina es usualmente mas grande que la utilizada para el desenrollado del cable en la alimentación de la línea. Los enrolladores pueden ser sencillos ( de una sola bobina ) o dobles, con dos bobinas, una llenándose y otra vacía en espera, para hacer operación ininterrumpida. Los enrolladores dobles pueden ser con cambio de bobina manual o automático, al llenarse la bobina con una longitud predeterminada de cable. Las bobinas mas comunes en esta aplicación son de 36 pulgadas, 48 pulgadas, 800 mm, 1000 mm, 1250 mm y hasta 1600 mm de diámetro de brida. Los enrolladores de tecnología antigua suelen manejar bobinas pequeñas ( 30 pulgadas de diámetro de brida y menores ) y su velocidad máxima es muy limitada. Generalmente están accionados por motores de c.a. y no cuentan con cambio automático de bobina, o inclusive solo pueden manejar una bobina a la vez, requiriendo detener la línea cada vez que se cambia bobina. Los enrolladores dobles de alta velocidad utilizan motores y gobernadores de c.d. y se "coordinan" electrónicamente con el "capstan" de tiro para que sus velocidades siempre sean iguales.

La figura 1.13 muestra un enrollador doble de alta velocidad

Figura 1.13  
Enrollador doble de alta velocidad con cambio automático de bobina de recibo.



I.2 Prestaciones, productividad y problemática de las líneas de extrusión en nuestro país. Comparación con competidores de clase mundial del extranjero.

Una vez enumerados los componentes de la línea de extrusión, se puede comenzar el análisis de las prestaciones o rendimiento que puede tener la línea. El proceso de extrusión de termoplásticos, al menos en el caso de los cables, es muy complejo. Las variables que afectan el resultado del proceso son muchas, sean éstas desde el punto de vista de maquinaria, instrumentación, materias primas o condiciones de operación.

Las formulaciones de PVC utilizadas en la fabricación de cables están constituidas de una serie de ingredientes como la propia resina de PVC, plastificantes, cargas, y una serie de ingredientes que le darán determinadas propiedades, sean para el cumplimiento de las normas, o para darle las características particulares que el fabricante quiera proporcionar a su cable, como puede ser mayor flexibilidad, resistencia a los rayos solares, baja emisión de humos tóxicos, no propagación de la flama, mayor temperatura de operación, apariencia externa especial, etc...

Esto hace que la diversidad de formulaciones de PVC sea muy grande. La facilidad de proceso de estas formulaciones variará en función de los ingredientes así como de la calidad de los mismos. El adicionar un ingrediente que proporcione determinada característica al aislamiento, afectará también las condiciones de proceso de la formulación en la extrusora.

sea para bien o para mal. La velocidad de la línea se verá notablemente afectada por la formulación utilizada. Algunos fabricantes desarrollan sus propias formulaciones y ellos mismos las fabrican. Otros las desarrollan y las maquilan, y otros compran aquellas disponibles comercialmente.

Para el análisis de las limitaciones en cuanto a productividad, se dejará a un lado el problema de las formulaciones de PVC, que además de ser un tema muy amplio, es netamente campo de la ingeniería química. De esta manera el análisis partirá de suponer que las formulaciones de PVC utilizadas son fácilmente procesables y que no limitan la velocidad de la línea.

Cada tipo y calibre de cable, tiene sus propias condiciones de proceso y velocidades de producción. Para el análisis de las prestaciones ( rendimiento ) de la línea se tomará como referencia el cable o alambre THW calibre 14 AWG que es el mas representativo para un análisis de productividad.

Una velocidad típica para una línea de extrusión representativa promedio de una fábrica de cables de construcción de nuestro país para el cable THW 14 AWG estará en torno a los 500 m/min.

Una línea de extrusión en el "estado del arte" en cuanto a tecnología produce un cable equivalente a una velocidad de 1500 a 2000 m/min.

Simplemente con este indicador se puede tener una idea de la gran brecha, que en cuanto a tecnología, existe entre los

fabricantes nacionales y sus competidores en el extranjero. Otro indicador de la productividad de una fábrica es el denominado "desperdicio operativo" ( que es todo el material que se estropea y se tira a la basura ). Un fabricante nacional competitivo tiene entre el 5 y el 15 % de desperdicio operativo. Un fabricante eficiente del extranjero tiene desperdicios operativos del 1 al 3 %. Esta diferencia de valores da una idea de la magnitud del trabajo requerido en nuestro país para llegar a ser competidores de clase mundial.

Para poder llegar a un nivel adecuado de productividad en este entorno, no es necesario desechar todos los equipos existentes y comenzar de cero. La transformación se puede realizar en los distintos componentes de la línea de extrusión en forma gradual conservando muchos de ellos, y realizándola paralelamente a otras actividades no relacionadas con la maquinaria ( que serán comentadas en este mismo capítulo ) que también resultan indispensables para abatir costos de producción, y ofrecer un producto de calidad buena y consistente.

Así, el grado de inversiones necesario para la reconversión no tiene que darse de un golpe, para no provocar problemas de liquidez en la empresa.

Otra necesidad se hace apremiante en este momento, y es la integración del proceso de extrusión a la filosofía del Control Estadístico del Proceso ( CEP ). Con los equipos de

monitoreo y control que equipan a las actuales líneas de extrusión se antoja difícil un auténtico CEP. La premisa de maximizar la economía en los materiales que requiere el cable, y por otra parte de conservar una calidad inobjetable del producto, marcan la pauta para hacer de esta herramienta un elemento clave para alcanzar el objetivo de competitividad internacional. De esta forma la modernización de la línea de extrusión habrá de considerar también la integración de los equipos de monitoreo, control y periféricos necesarios para un adecuado CEP, desechando el concepto tradicional del control de calidad, el cual da a conocer los problemas cuando es demasiado tarde.

Paralelamente al desarrollo del sistema de control estadístico del proceso, debe considerarse el de las materias primas. Los competidores extranjeros tienen costos de materias primas mucho mas bajos que los que tienen los fabricantes nacionales. En un producto como el cable de construcción donde mas del 80 % del costo del producto está en las materias primas, se hace indispensable encontrar alternativas de costo y calidad para ellas. Esto se puede realizar desarrollando proveedores nacionales, que es lo mas deseable, y si no es posible, adquiriendo las materias primas con los mismos proveedores a los que les compran los competidores extranjeros aprovechando las ventajas de la apertura comercial que se está dando en el país, con la reducción de aranceles a la importación de materiales. Aún así seguiremos en desventaja, por los costos de transporte de

esas materias primas, que en muchos casos se fabrican en lugares muy lejanos a México.

El concepto del Sistema Integrado de Manufactura ( Computer Integrated Manufacturing ) donde un sistema computarizado basado en un gran ordenador central, y con una red de terminales, se realiza toda la gestión de la empresa, desde el manejo de los pedidos, el control de los inventarios y requerimientos de materias primas, la programación de la producción en la fábrica, el control de producción, los diseños de los productos, etc... Este sistema es parte fundamental de una empresa competitiva, y es una gran herramienta para el control total de la fábrica, agilización de las operaciones y optimización del número de personas necesario. En nuestro país muchos de los grandes fabricantes, no solo de cables, están en distintas etapas de implantación de Sistemas de Manufactura. Sin embargo, la integración de la maquinaria al Sistema, que pueda dar la indicación en tiempo real del estado de las operaciones, con la posibilidad de retroalimentación inmediata para acciones correctivas, es todavía difícil de ver en nuestro entorno.

La implantación de un sistema de manufactura, implica mucho mas que comprar equipos y paquetes de "software" ( Programas o algoritmos de computación ). Es un cambio total en la forma de operar en una empresa. Los períodos de implantación suelen ser largos y dolorosos, y la integración de las líneas de producción al sistema es la última parte de la

implantación. Si una empresa no cuenta con un sistema de manufactura, o está en las etapas iniciales de su implantación, deberá considerar en todos los cambios de equipos, gobernadores de motores, instrumentos y controles, su conexión futura al sistema ( es decir, deberán estar diseñados para comunicarse con el exterior ) y evitar así, cuantiosos gastos adicionales por falta de previsión.

Otro problema que enfrentan los fabricantes nacionales en las líneas de extrusión es el del sobrecontenido de PVC en el cable. Como se mencionó con anterioridad en la Introducción, la norma establece un cierto espesor y diámetro mínimo para el aislamiento del cable. El contenido adicional va por cuenta del fabricante y debe absorberlo sea en el precio final o disminuyendo sus utilidades. El estado actual de las líneas de extrusión, provoca por la condición de componentes como el tornillo, recámara, gobernadores de motores, linealidad de los controles, utilización de motores y controles antiguos de c.a. y estado general de los equipos de monitoreo de diámetros, que el operador de la línea se vea obligado a sobredimensionar el producto al momento de extruirlo, para absorber las variaciones de velocidad de los componentes de la línea que a su vez ocasionan variaciones en las dimensiones del aislamiento. De no hacerlo así, corre el riesgo de obtener un cable que en ciertos puntos no cubriría las especificaciones. Indicadores comunes de sobrecontenido de PVC en estas circunstancias se dan del orden del 5 al 15 %. Un fabricante competitivo con maquinaria adecuada obtiene

sobreconsumos máximos del orden de de 1 a 2 %.

El costo de una línea de extrusión de alta velocidad, con todos los elementos necesarios para un SIM y CEP, puede oscilar entre 1 y 2.5 millones de dólares. En este sentido la variación es mucha y depende de los fabricantes de maquinaria que toman en cuenta muchos factores, válidos o no, para establecer el precio de sus equipos. La selección del fabricante de los equipos es una decisión muy particular de cada empresa, y este medio no es el adecuado para recomendar o deacreditar a ningún proveedor. La mayor parte de proveedores de equipo y maquinaria para fabricación de cables están localizados en Europa y una pequeña parte en los Estados Unidos.

La modernización de una línea de extrusión en condiciones actuales satisfactorias bajo los parámetros establecidos en el punto I.1 cuesta de 200 a 500 mil USD, incluyendo la integración del CEP y comunicación a un SIM. Por tanto la modernización se vuelve una importante alternativa a la adquisición de líneas nuevas completas. Una velocidad de operación de al menos 1000 m/minuto para un calibre 14 AWG, es accesible una vez realizada la modernización, con los beneficios adicionales de CEP e integración al SIM.

Los pasos necesarios para la modernización de la línea serán detallados en el capítulo II.

## CAPITULO II

### EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA MODERNIZAR LINEAS DE EXTRUSION DE TERMOPLASTICOS

## INDICE TEMATICO

II.1 Concepto y alcance de la modernización

II.2 Definición de los elementos de la línea de extrusión a modernizar.

II.3 Modernización del control de la lógica y secuencia de operación de la línea, controles de temperatura y motores

II.4 Modernización de los equipos e instrumentos que aseguran la calidad del producto durante la fabricación

II.5 Balanceo de la línea de producción. Resultados esperados. Costo de la modernización.

## II.1 Concepto y alcance de la modernización.

La modernización de la línea de extrusión que se propondrá con un caso práctico tiene como lineamiento general el hacer de ésta una línea de producción de alta productividad y dejarla preparada para una posterior automatización del proceso. Un error en el que se ha incurrido frecuentemente no solo en fábricas de cables, sino en cualquier tipo de empresa, es pretender automatizar líneas de fabricación cuyos componentes se encuentran en malas condiciones o cuyo proceso no está todavía dominado. Los resultados siempre han sido desastrosos. La automatización no es la medicina que arregla todos los problemas por el solo hecho de realizarla. Si un proceso falla constantemente, sea por problemas del equipo, de las materias primas o de las condiciones de operación que se le han proporcionado, al automatizarlo se conseguirá solamente agravar los males. De allí la importancia que se pretende dar en esta Tesis al concepto de modernización como un paso indispensable previo a la automatización.

Se definirá modernizar, como la serie de acciones a realizar para que un proceso sea eficaz, eficiente y proporcione una calidad consistente durante la fabricación.

Las acciones que implica la modernización incluyen :

1. Reparaciones mayores de los elementos que permanecerán en

la línea una vez realizada la modernización.

2. Sustitución de los elementos que resulte indispensable porque limitan la velocidad, ya sea por desgaste, o por obsolescencia tecnológica.
3. Incorporación de elementos adicionales, proporcionados por la tecnología actual que coadyuven a los objetivos de la modernización y de la posterior automatización.
4. Hacer un estudio del balanceo de la línea de producción con los nuevos elementos que se le incorporarán, a fin de evitar el riesgo de mantener o crear nuevos "cuellos de botella" en la misma, que impidieran alcanzar el objetivo de productividad establecido.
5. Elaborar una especificación de los componentes que son de uso generalizado en las líneas de fabricación, o máquinas individuales, para minimizar stocks de refacciones, garantizar flexibilidad ante imprevistos, y también para evitar que el personal operativo y de mantenimiento tenga una variedad grande de equipos que conocer y dominar. Esta especificación, que deberá decidirse y confirmarse desde la primera compra de equipos como motores, gobernadores de motores, relevadores, componentes electrónicos como PLC's ( Controladores Lógicos Programables ), etc... es muy importante.

En muchas empresas ha sucedido que se modernizan las máquinas con diferentes equipos de fabricantes diversos para los mismos fines. O incluso, se llegan a comprar líneas o máquinas nuevas que no respetan una estandarización determinada en cuanto a sus componentes. Existen gran número de casos de empresas que en una sola fábrica llegan a tener 5 o 6 tipos de motores para el mismo fin, pero de fabricante y tecnología diversa. O empresas que tienen 3 o 4 tipos de controladores programables, que utilizan una unidad de programación y lenguaje distinto entre cada uno de ellos, etc... Finalmente se citará el ejemplo de la empresa que tiene todos sus motores a 440 V/60 Hz en alimentación principal y 117 V/60 Hz para señales de control, compra una máquina en Europa y se olvida especificar lo anterior. El resultado es que recibe una máquina que trabaja a 380 V/50 Hz y 220 V/50 Hz, para la cual tiene que terminar adquiriendo una instalación eléctrica independiente del resto de la fábrica. En fin, la pretensión de lo expuesto es resaltar la importancia de las especificaciones.

Para llegar a una especificación, es necesario conocer las propuestas del mayor número de fabricantes, analizar sus ventajas, desventajas, actualidad y vigencia tecnológica, costo, disponibilidad y facilidad de servicio, disponibilidad de refacciones, posibilidades de capacitación para el personal que estará en contacto con los equipos, infraestructura y permanencia del proveedor en el país,

reputación y calidad, entre los puntos mas importantes.

La modernización de una línea de producción no debe realizarse viendo a la línea como un elemento aislado. Un plan de modernización debe tomar en cuenta los planes futuros de la empresa, todos los procesos, la vigencia tecnológica del producto que se fabrica, la presente o futura introducción de sistemas computarizados a la producción ( SIM, CEP, etc..), de tal manera que todo lo que se realice tenga vigencia por el mayor tiempo posible y maximizar así el rendimiento de las inversiones.

Para el caso concreto que se analizará, la modernización de la línea de extrusión considera los siguientes lineamientos generales :

Los cables de construcción THW ( Norma mexicana ) y THHN ( Norma estadounidense ) son productos que no se prevé sean sustituidos por algo totalmente distinto en los próximos años.

La empresa donde se encuentra la línea de extrusión está actualmente iniciando la instalación y puesta en marcha de su nuevo sistema computarizado de gestión de producción, del cual ya se encuentran funcionando sus módulos de programación maestra de la producción, requerimientos de materias primas y se inicia el control de producción en piso con tarjetas de identificación de subensambles y producto terminado con

código de barras. Asimismo, la empresa tiene como prioridad la introducción del CEP y de mejorar la productividad y consistencia de calidad a fin de competir plenamente con los mejores fabricantes internacionales.

Asimismo, ya tiene estructurado un plan global de modernización para todas sus líneas de fabricación y cuenta ya con una especificación para motores, gobernadores de motores y PLC's. Además se ha definido el tipo de red y protocolo de comunicaciones entre la computadora maestra y las máquinas.

Con estos antecedentes se definirán a continuación los elementos que considerará la modernización de la línea.

II.2 Definición de los elementos de la línea de extrusión a modernizar.

En base a los 5 puntos expuestos en el inciso II.1 como acciones para llevar a cabo la modernización, se definirán los elementos clasificándolos así:

II.2.1 Reparaciones mayores de los elementos que permanecerán en la línea una vez realizada la modernización.

Se conservarán los siguientes elementos de la línea

sometiéndolos a un reacondicionamiento mayor:

- a) Extrusor Principal. ( A excepción del motor, gobernador, pirómetros, tornillo y cabeza )
  
- b) Extrusor auxiliar vertical excepto pirómetros.
  
- c) Extrusor "tandem" para aplicar Nylon ( A excepción de su motor, gobernador y pirómetros )
  
- d) Canales de preenfriamiento y enfriamiento ( éstos son adecuados para alta velocidad y no será necesario sustituirlos ). ( En el caso de otras empresas nacionales si podría ser necesario sustituir sus canales sencillos de inundación, por canales cerrados con sistema de chorro por aspersión y poleas de retorno a la entrada y salida para dar varias pasadas al cable antes de enviarlo al enrollador y garantizar que ya esté frío ).
  
- e) Enrollador doble de alta velocidad con cambio automático de bobina de recibo. ( Este equipo es adecuado para trabajar a mas de 1000 m/min, si bién ahora trabaja solo a 500 m/min. ) ( Prácticamente todos los fabricantes importantes en el país ya cuentan con este tipo de equipo si sus velocidades normales de producción están en torno a los 500 m/min. Un enrollador mas antiguo no podría alcanzar siquiera esta velocidad ).

f) "Capstan" de tiro ( A excepción de su motor y su gobernador ).

II.2.2 Sustitución de los elementos que ya sea por desgaste, obsolescencia tecnológica, o por ser "cuello de botella" para incrementar la velocidad, resulte indispensable.

a) Desenrolladores dinámicos sencillos. Se deberán sustituir por desenrolladores estáticos dobles con campana de "flipeo", que permitan hacer cambio rápido de bobina de alimentación sin que sea necesario detener el proceso de extrusión. Estos equipos están disponibles comercialmente a través de los fabricantes de líneas de extrusión, o se pueden hacer en "casa" copiándolos. Los factores críticos para su diseño son el diámetro, ángulo y longitud del cono de la campana, así como la perfecta redondez y pulido del aro de flipeo. Este último podrá ser motorizado o no.

b) Precalentador. Se deberá sustituir el precalentador por uno que tenga posibilidad de comunicación ( tipo RS232, 422, etc...)

c) Tornillo de extrusor principal. Se sustituirá por uno tipo doble hélice, específicamente diseñado para trabajar a

altas rpm's sin dañar al compuesto que se esté procesando. El tornillo actual, de tipo "barrier-madock" da buenos resultados a bajas rpm's, pero cuando se incrementa la velocidad le da un trabajo mecánico excesivo al material y lo quema. En cambio, el doble filete sin sección final madock consigue homogeneizar adecuadamente los materiales sin detrimento de sus propiedades, siempre y cuando se trabajen a altas rpm's. Si no se trabaja así, el tornillo tipo doble filete no dará buenos resultados.

- d) Cabeza de extrusión . La cabeza actual es del tipo de centrado manual. Lo anterior significa que al iniciar la fabricación de un cable, se requiere centrar al conductor de cobre respecto a la cubierta plástica que se le está aplicando, para garantizar la homogeneidad en el espesor del aislamiento aplicado. El centrado se realiza por medio de 4 tornillos equidistantes en la periferia de la cabeza los cuales permiten el movimiento del "dado" respecto a la "guía" del conductor.

Esta operación dependiendo de la habilidad del operador, requiere de 5 a 20 minutos, y el desperdicio generado puede llegar a varios kilómetros de cable.

En prácticamente todas las fábricas competitivas a nivel mundial, la cabeza de centrado manual ha sido eliminada para el proceso de fabricación del cable para construcción y ha sido sustituida por la llamada "de centrado fijo". Este tipo de cabeza elimina la operación de centrado, y si bien el costo inicial es elevado, así como el de sus

accesorios ( "guías", "dados" y "distribuidores"), se pagan en muy corto tiempo de utilizarlos. El cuidado y precisión de los accesorios de este tipo de cabeza es fundamental para su buena operación. Una "guía" o "dado" que accidentalmente caiga al piso, se puede dar por inservible.

e) Sopladores de aire.

Los sopladores de aire con que cuenta la línea actualmente, son adecuados para eliminar el agua presente en la superficie del cable hasta los 400 m/min. Para alcanzar velocidades mayores se requiere otro tipo de sopladores, específicamente diseñados para altas velocidades. Si bien, éstos pueden parecer un detalle sin importancia al momento de modernizar la línea, a final de cuentas resultan fundamentales. El resto de la línea de extrusión podría trabajar a 1000 o 2000 m/min, pero si los sopladores no son adecuados, no habrá forma de alcanzar esas velocidades. Los sopladores para alta velocidad se encuentran disponibles, con tecnologías diversas, unas mejores que otras, a través de los fabricantes de maquinaria y equipos para producción de cables.

f) Marcadores de alto relieve y tinta.

La máquina cuenta con un marcador sencillo para colocar la leyenda en alto relieve en los cables. El disco que aplica

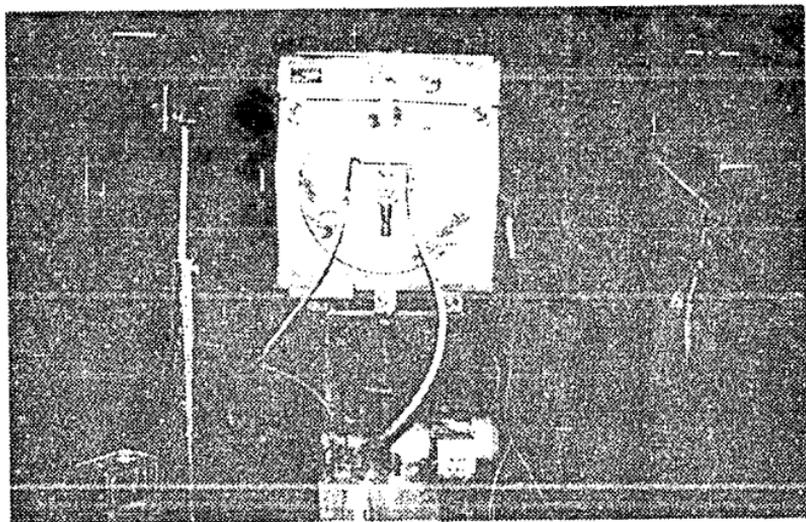
la leyenda gira por su contacto con el cable en movimiento. Esta tecnología es adecuada para trabajar a menos de 500 m/min. Superando esta velocidad comienza a aparecer un deslizamiento entre el cable y el disco, por lo que la leyenda aplicada se hace ilegible. Como la pretensión del proyecto es superar los 1000 m/min, se decidió adquirir un marcador motorizado con sistema "revólver" para realizar cambios de disco sin detener la línea. El motor del marcador se sincroniza a través de un lazo de control con el del "capstan" de tiro, para que sus velocidades angulares sean siempre iguales.

El actual marcador de leyenda impresa con tinta instalado en la máquina, es probablemente el mejor de su tipo en el mercado, y es factible trabajar con este equipo hasta los 900 m/min. No existiendo alternativas superiores a la fecha, se decidió conservarlo por el momento.

La figura 2.1 muestra un marcador de tinta moderno.

Como alternativa a este equipo se analizó la opción de los marcadores por chorro de tinta "ink-jet", que tienen ya una pequeña presencia dentro del ámbito de las fábricas de cables en el mundo. Este tipo de marcador tiene muchas ventajas respecto a los marcadores tradicionales de tinta, como son la limpieza y confiabilidad de su operación, su facilidad para integrarlos a un sistema computarizado, y que no requieren de discos para imprimir. Hasta ahora, se

Figura 2.1  
Marcador de cables a tinta motorizado con sistema revólver  
para cambio rápido de disco marcador.



utilizan en líneas de extrusión para cables gruesos, que se fabrican a velocidades de hasta 100 m/min. Los diversos proveedores de estos equipos los garantizan para trabajar correctamente hasta los 200 m/min. Actualmente ninguno puede superar esa velocidad, pues el 95% del mercado de estos equipos son las empresas que enlatan sus productos y que aplican algún tipo de leyenda a sus envases, y que están muy lejos de trabajar a más de 200 m/min en sus líneas. Prácticamente todos los equipos de chorro de tinta están basados en microprocesadores de 16 bits. Para superar los 200 m/min requerirían un microprocesador de 32 bits. Ningún fabricante actualmente está interesado en desarrollar un equipo con estas características, porque el costo del desarrollo no es justificado por el limitado mercado potencial. Así, esta alternativa queda para el futuro.

### II.3 Modernización del control de la lógica y secuencia de operación de la línea, controles de temperatura y motores

Casi universalmente, los problemas de mantenimiento en las líneas de extrusión se concentran en los elementos eléctricos y/o electrónicos, ya sean motores, gobernadores, interruptores, potenciómetros, falsos contactos, cortocircuitos, y sobre todo relevadores.

Por otra parte, si las líneas son relativamente viejas o descuidadas, sea el gabinete eléctrico principal, o un pequeño circuito que controle algún dispositivo, están normalmente en completo desorden, repletas de cables que no van a ninguna parte, "puentes", circuitos impresos colgados de sus propios cables de conexión, etc... Si se tiene la suerte de contar con los diagramas eléctricos originales, se puede considerar como un caso afortunado, que sin embargo no lo es tanto, puesto que después de muchos años y muchas manos, la realidad no coincide con lo que muestran estos diagramas. En muchos casos, ni siquiera se cuenta con los diagramas originales. Así, cada vez que se presenta una falla, el área de mantenimiento pasa mil penurias para localizarla y repararla. Aunado a lo anterior, se presenta el problema frecuente de que la línea no tiene interruptores separados para cada uno de sus dispositivos, y sólo cuenta con un interruptor principal. De esta manera, cuando se presenta una falla, se "bota" el interruptor, pero no es localizable a la primera, sólo si empieza a salir humo del dispositivo que falla. El no instalar las líneas con su respectivo centro de carga, es práctica común, acarreada por las prisas o ahorros mal entendidos.

La línea de extrusión que se modernizará, adolece en mayor o menor cantidad, de los problemas expuestos, y se considera "típica" dentro del contexto nacional.

Al plantearse la modernización, uno de los objetivos primordiales fue el solucionar definitivamente estos

problemas, y dotar a la línea además, de ventajas adicionales proporcionadas por la tecnología disponible actualmente. Además, previendo que una vez modernizada la línea, ésta se automatizaría, se determinó que los actuales controles no serían fácilmente adaptables para comunicarse con otros dispositivos. Después de analizar las tendencias mundiales para este tipo de procesos, se determinó que los Controladores Lógicos Programables ( PLC's ) son la mejor solución.

### II.3.1 Controladores Lógicos Programables

A finales de la década de los años sesentas, se desarrollaron los primeros PLC's para maquinaria de la industria automotriz, como una mejora respecto a los relevadores y la lógica de relevadores. Desde entonces, su aceptación ha ido en creciente aumento, para muchas aplicaciones de control de procesos, por su flexibilidad, facilidad de detección de fallas y reparación, y su capacidad de manejo de variables. Los PLC's han sufrido un desarrollo vertiginoso a través de los últimos 20 años, siendo cada día más pequeños, poderosos y económicos.

De acuerdo al estándar NEMA ( National Electrical Manufacturers Association ) , el PLC es un dispositivo electrónico digital que utiliza una memoria programable para guardar instrucciones con las que se pueden desarrollar

funciones como lógica, secuencia, temporización, conteo y aritmética para controlar máquinas y procesos.

A diferencia de las unidades de control numérico, que se enfocan a controlar posición, los PLC's están diseñados para controlar secuencia, y a diferencia de las computadoras, el PLC está diseñado para resistir el ambiente industrial. Además, al no tener partes móviles, los problemas de mantenimiento se reducen, y gracias a la fuerte competencia que existe entre los proveedores de estos equipos, los precios son ya, incluso en México, muy atractivos. Finalmente, dada su posibilidad de ser reprogramados, si la máquina controlada por el PLC es eliminada o modificada, el PLC puede ser reutilizado en esa u otra aplicación.

El lenguaje principalmente utilizado para programar los PLC's está completamente basado en la lógica de relevadores, por lo que quien la maneja, puede programar un PLC. Algunos fabricantes de PLC's tienen la opción de lenguajes mas poderosos, pero, para usar éstos se requiere una capacitación específica.

Principio de operación de los PLC's :

Todo PLC cuenta con una CPU ( Unidad Central de Procesos ), una memoria, una fuente de poder, módulos de entrada y salida de señales, analógicas o digitales, y un dispositivo para cargar o modificar el programa, así como auxiliar en la

localización de fallas.

La figura 2.2 muestra un diagrama general del equipo.

Partiendo de las instrucciones del programa y de la retroalimentación de la condición o "status" de los dispositivos de entrada/salida, la CPU genera comandos que van a los módulos de salida para controlar dispositivos como relevadores, válvulas solenoide, luces indicadoras o arrancadores de motores, etc...

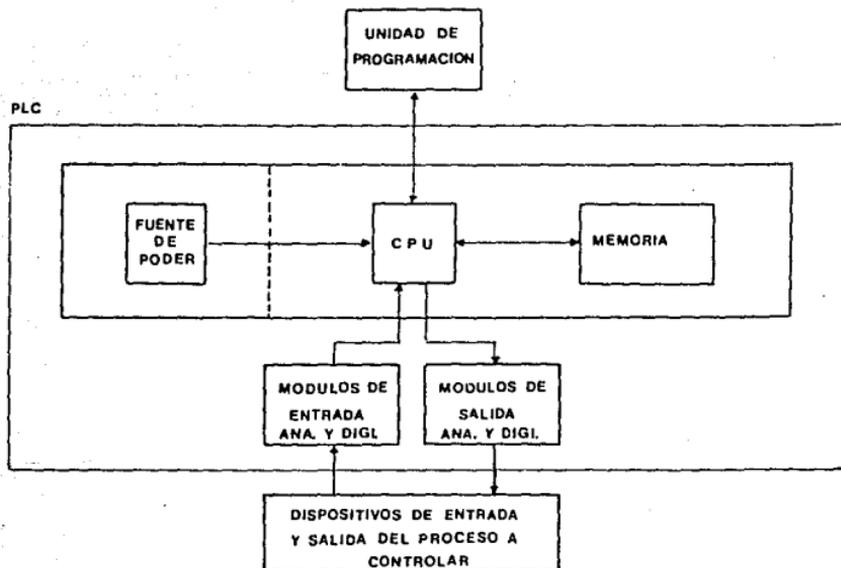
Componentes y Configuración :

Procesador. Contiene la CPU, memoria, interfaces a periféricos, y casi siempre la fuente de poder. Para proteger estos componentes de interferencias electromagnéticas, el procesador se encuentra contenido dentro de un gabinete metálico.

La CPU es responsable de la solución de la lógica ( de escalera ) de relevadores, así como de temporizaciones y conteos, de la aritmética, lazos de control PID (Proporcional integral-derivativo ), y dependiendo del modelo y fabricante algunas otras funciones.

Los PLC's de tecnología reciente normalmente utilizan un microcomputador basado en microprocesadores como CPU. Para incrementar su rendimiento, frecuentemente se diseñan con 2 microprocesadores, uno que por ejemplo, resuelva la lógica de relevadores y funciones de programa especiales, y otro que se

Figura 2.2  
Esquema general del funcionamiento de un Controlador Lógico Programable.



encarga de la comunicación con entradas y salidas.

Memoria. La memoria conserva el programa ejecutivo del PLC, así como el programa introducido por el usuario. Se manejan dos tipos de memoria:

- 1) Memoria RAM ( Random Access Memory ) con batería de respaldo de alimentación eléctrica.
- 2) Memoria PROM ( Programmable Read Only Memory ) que es una memoria no volátil.

La capacidad de memoria de un PLC puede ser de hasta 128 KBytes, dependiendo del tamaño y aplicación del mismo. Casi siempre es posible expandir la capacidad de memoria original con módulos adicionales de memoria. Asimismo, se puede equipar al PLC con un interruptor de llave, para proteger el programa de posibles manipulaciones no deseadas.

Interfase con el operador. Actualmente, lo más común es una Computadora estándar PC portátil con el software adecuado para programar con lenguaje de escalera, bloques, step 5, etc... Asimismo ésta es utilizada para la detección y corrección de problemas. Otro tipo de interfase mas económico y fácil de transportar, está representado por pequeñas unidades de mano, con las que se tiene capacidad limitada de programación así como de localización y detección de fallas. Para comunicación con el usuario del equipo o proceso equipado con PLC existen muchas alternativas : Teclados y luces, pantallas numéricas, de matriz de puntos, monitores monocromáticos, en color, sensibles al tacto, etc...

### Comparación entre PLC's y relevadores :

En el actual entorno de la industria, el PLC se compara favorablemente con las computadoras y otros tipos de controladores, sobre todo en la aplicación para la que fue diseñado : Como sustituto de relevadores y lógica de relevadores.

Cuando se trabaja con relevadores para el control de la lógica y secuencia de operación de un proceso se requiere hacer diagramas, ensamblar el tablero, alambrear y probar. Si se requieren modificaciones, es necesario repetir el diagrama, re-ensamblar, re-alambrear y volver a probar, y la localización de fallas no es sencilla.

### Comparación entre PLC's y Computadoras :

Una primera diferencia importante entre una computadora y un PLC, es que este último está diseñado para comunicarse en forma directa con el proceso y dispositivos que está controlando, a través de sus módulos de entradas y salidas. El PLC reconoce estas entradas/salidas como una dirección fija de su sistema. Las entradas pueden darse a través de interruptores, botones de presión, "thumbwheels", pulsos, señales analógicas, o digitales en código ASCII. Las salidas son niveles de voltaje o corriente que manejan dispositivos como solenoides, arrancadores de motores, relevadores, luces, etc...Otras salidas pueden dirigirse a dispositivos analógicos, pantallas digitales BCD, dispositivos compatibles

ASCII y computadoras.

Una segunda diferencia entre una computadora y un PLC es la facilidad de programación de este último. Un PLC utiliza técnicas sencillas de programación accesibles a un electricista o técnico. Las técnicas de programación de computadoras requieren el conocimiento de lenguajes de alto nivel, para aprovechar al máximo las posibilidades del equipo.

La tercera diferencia estriba en el hecho de que el PLC está diseñado para el ambiente industrial, que significa niveles altos de ruido, vibración, temperatura y humedad.

### II.3.2 Selección del PLC y periféricos para modernizar la línea de extrusión.

Para seleccionar el PLC, primeramente se procedió a analizar los distintos proveedores posibles. Esto con el fin, de elaborar una especificación que se respetara en toda la fábrica y evitar así, que en compras de maquinaria nueva o sucesivas modernizaciones se adquiriesen equipos de fabricantes y tecnologías diferentes. La fábrica adquiere la mayor parte de su maquinaria nueva en Europa ( Estiradoras y Cableadoras y algunas líneas de extrusión ), sin embargo otras líneas de extrusión se adquieren en los Estados Unidos. Esta situación hacía problemática la estandarización a un

solo fabricante de PLC's, puesto que en Europa se trabaja con PLC's de origen europeo y en Estados Unidos prefieren los de origen americano. Es posible comprar una máquina europea con PLC americano y viceversa, pero el precio y el tiempo de entrega se incrementan considerablemente. Así, se decidió que la fábrica tendría dos estándares, uno para máquinas europeas y otro para máquinas americanas. La línea de extrusión a modernizar es de origen americano, por lo que se utilizarían los equipos del proveedor americano de PLC's seleccionado.

Posteriormente, se determinó el tamaño y características de la CPU del PLC de acuerdo a la cantidad y tipo de señales que manejaría ésta. Asimismo, se determinó la cantidad y tipo de módulos de entrada/salida necesarios, así como las interfaces para ciertos equipos que no pueden comunicarse en forma directa al PLC. En la mayoría de los casos las interfaces eran relativamente sencillas y se diseñaron y fabricaron internamente en la empresa. En otros casos, los equipos seleccionados contaban con la opción de comunicarse vía interfaces RS-232 o 422, que son compatibles con el PLC seleccionado. Es de destacar que fue muy importante en la selección de la capacidad de manejo de señales de la CPU, la futura automatización de la línea. De no haberse tomado en cuenta lo anterior, la CPU seleccionada hubiese quedado pequeña para las señales adicionales requeridas por la automatización, siendo necesario el sustituirla por una de mayor capacidad.

Paralelamente a la actividad de modernizar la línea de extrusión, se diseñó la arquitectura para automatizar el proceso ( Esto se discute en los capítulos III y IV ). Un punto fundamental en la validación de la selección del fabricante y modelo del PLC, fue la garantía en la comunicabilidad entre el PLC y, ya sea, una computadora PC compatible, o la computadora maestra de la fábrica. Este punto no fue nada fácil de solventar, pues los fabricantes del PLC y de las computadoras no llegaban a un acuerdo en cuanto al protocolo de comunicación. El problema llegó a tal extremo que se requirieron consultas y reuniones directamente entre las casas matrices de los dos fabricantes en los Estados Unidos. Finalmente se llegó a un arreglo, y para garantizar lo anterior se hizo firmar a los dos proveedores una carta compromiso donde se co-responsabilizaron de garantizar la comunicación entre los equipos. Se insiste en el comentario pues se han dado experiencias desagradables en este sentido en muchas fábricas. Los proveedores prometen muchas cosas para vender y cuando se requieren y no es posible realizarlas, se limitan a culpar al otro proveedor y viceversa, quedando afectado únicamente el cliente.

### II.3.3 Controladores de temperatura

Para modernizar los viejos pirómetros analógicos de tipo "on/off" se tienen dos alternativas :

a) Pirómetros digitales PID

b) Adicionar un módulo PID al PLC desarrollando un algoritmo superior para controlar temperaturas.

Se seleccionó la segunda alternativa tomando en cuenta que los resultados esperados (  $\pm 2$  grados centígrados de precisión ) serían similares, con un mejor precio para la segunda alternativa. Se debe considerar que se debían sustituir 6 pirómetros de la extrusora principal, 3 de la extrusora auxiliar y 5 de la extrusora "tandem". El costo de 14 pirómetros PID digitales con autointonía es muy superior a un módulo PID para PLC y el "software" o programa necesario. Además, con la segunda alternativa se tiene la ventaja de integrar los "set-points" y valores reales de temperatura dentro del monitor donde se colocarán todas las variables a controlar a través del PLC, por lo que el panel de control será en apariencia menos complejo y mas compacto.

#### II.3.4 Motores y gobernadores

En sustitución de los viejos motores de c.a. de la extrusora principal, de la extrusora "tandem" y del "capstan" se instalarán los siguientes motores :

a) Extrusor principal : Motor c.d. 125 HP no-regenerativo.

b) Extrusor "tandem" : Motor c.d. 40 HP no-regenerativo.

c) "Capstan" : Motor c.d. 7.5 HP regenerativo

En cuanto a los gobernadores de los motores, se analizaron las opciones de gobernadores analógicos convencionales y de los relativamente nuevos gobernadores digitales. Los gobernadores digitales presentan mayor facilidad de instalación, mayor rapidez para la detección y reparación de fallas, modularidad, y "afinidad" con los PLC's, que permite una sencilla conexión a los mismos. Estos equipos tenían un costo prohibitivo en nuestro país comparándolos con gobernadores analógicos para la misma aplicación, y en un principio fueron desechados como alternativa. Sin embargo, a finales de 1990, las ofertas de los proveedores de estos equipos comenzaron a ser muy atractivas al punto de que actualmente el costo de un gobernador digital puede llegar a ser un poco mayor que el de uno analógico. De hecho, en el caso de la fábrica donde se realizó esta modernización, el precio al que se adquirieron finalmente los gobernadores digitales, fue exactamente el mismo que el de sus contrapartes analógicos. ( Esta situación variará de empresa a empresa, pues dependiendo de su relación con los proveedores, volúmenes de compra y capacidad de negociación, se podrán obtener condiciones similares a las obtenidas a la fábrica donde se realizó este trabajo ).

II.4 Modernización de los equipos e instrumentos que

aseguran la calidad del producto durante la fabricación

Una vez que los motores, gobernadores, desenrollador, capstan y enrollador han sido objeto de una modernización tal que garanticen una mínima regulación en la velocidad de la línea y entrega de material de las extrusoras, es necesario introducir los medidores y controladores necesarios para garantizar que el cable que se fabrique se mantenga uniformemente dentro de tolerancias en lo que a las dimensiones del aislamiento se refiere, con el fin de garantizar que el sobrecontenido máximo de material no pase del 1 %. Asimismo, la prueba de arco de voltaje que se aplica al cable antes de entrar al enrollador, requiere ser absolutamente confiable, y en caso de que el probador marque una falla, se esté seguro de que esta falla realmente existe y que sea posible conservar un registro de la longitud del cable a la cual se presentó la falla y el número de fallas por cada bobina de cable producida.

A continuación se detalla el proceso de selección de estos equipos :

#### II.4.1 Medidor/Controlador de diámetro-espesor

La línea de extrusión cuenta actualmente con un medidor/controlador de diámetro opto-electrónico. La "cabeza" de medición tiene como fuente de luz un foco incandescente y

la señal que envía al "display" o pantalla así como al controlador es analógica. La "cabeza" está instalada a la salida de la extrusora de PVC, por lo que la medición es únicamente del diámetro externo del cable aislado con PVC. El controlador actúa sobre el gobernador del "capstan" de tiro, regulando en aproximadamente  $\pm 1.5\%$  la velocidad de la línea con el fin de garantizar que el diámetro del cable aislado se mantenga dentro de los mínimos/máximos introducidos como límites inferior/superior en el controlador de diámetro.

La figura 2.3 muestra un diagrama de la instalación del equipo de medición/control de diámetro.

La figura 2.4 muestra el equipo.

Si la combinación gobernador/motor del "capstan" no proporcionan una precisión absoluta en la regulación de velocidad de la línea, el controlador de diámetro no puede ejercer realmente su objetivo. La combinación de gobernador/motor-embague de c.a. que tenía la línea antes de cambiarlos por equipos de c.d., daba regulaciones de más del 2% y por consecuencia, el equipo de diámetros no podía activarse como controlador y se limitaba a un simple monitoreo del diámetro.

Otro problema ocasionado por la tecnología propia del equipo de monitoreo/control era que éste sólo podía activarse como controlador una vez que la línea ha llegado a su velocidad de crucero, además de que su tiempo de respuesta en la

Figura 2.3  
Esquema de la instalación de un medidor/controlador de diámetro sencillo en una línea de extrusión.

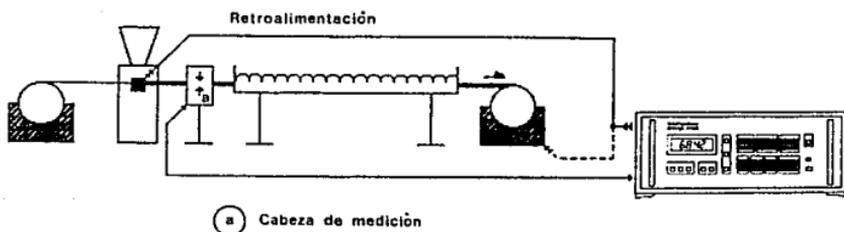


Figura 2.4  
Medidor/controlador de diámetro sencillo. Unidad de control y  
cabeza de medición.



LI800-1C  
Combined Indicator & Controller



retroalimentación al gobernador del "capstan" llegaba a ser de varios segundos y finalmente, este equipo no estaba preparado para comunicarse con ningún medio externo como PLC's o computadoras.

El equipo de medición/control de diámetro que fue seleccionado para modernizar la línea muestra sustanciales avances tecnológicos respecto al equipo que se venía utilizando.

Este nuevo equipo cuenta con 3 "cabezas" de medición, en vez de una. La señal medida por éstas es analógica, aunque cada "cabeza" cuenta con un convertidor Analógico/Digital para transmitirla.

El equipo fue diseñado con 3 "cabezas" de medición para controlar el proceso por espesores en vez de por diámetro. El control por espesores es mas preciso, pues la primera "cabeza" mide el diámetro real del conductor desnudo que entra al extrusor de PVC, la segunda "cabeza" mide el diámetro del cable a la salida del extrusor, haciendo una resta respecto a la medición de la primera "cabeza" para obtener el espesor del aislamiento. Si el cable a fabricar incluye la cubierta adicional de nylon, la tercera "cabeza" mide el diámetro a la salida del extrusor "tandem", haciendo una resta respecto a la medición de la segunda "cabeza" obteniendo el espesor de la cubierta.

Para controlar los espesores, la retroalimentación no se ejerce sobre el "capstan" de tiro de la línea pues por compensar un espesor, por ejemplo el del aislamiento de PVC,

descompensaría el espesor de la cubierta de nylon. Así, la acción de retroalimentación se ejerce sobre los gobernadores de los motores del extrusor principal de PVC y del extrusor "tandem" de nylon.

La unidad de monitoreo y control, es mas que un panel de control y un "display" o pantalla digital. En este equipo se ha sustituido la pantalla de LED's por un monitor a color. El equipo cuenta con un sistema inteligente de adquisición de datos con un microprocesador MC 68000 16/32 bits, que permite además del monitoreo y control en tiempo real, manejar la información para Control Estadístico del Proceso. La información puede ser transmitida a medios externos como una computadora o un PLC, y también puede recibirla, como por ejemplo, para ajustar automáticamente los "set-points" para los diámetros/espesores de cada producto que se fabrica.

La figura 2.5 muestra un diagrama de la instalación del equipo.

La figura 2.6 muestra un esquema general del equipo.

La figura 2.7 muestra una de las "cabezas" de medición.

La figura 2.8 muestra la unidad de monitoreo y control.

#### II.4.2 Probador de arco de voltaje

El equipo con que contaba la línea, era muy viejo, fácilmente descalibrable y era muy difícil habilitar su comunicación a

Figura 2.5

Esquema de la instalación de un medidor/controlador de diámetros/espesores de tres cabezas en una línea de extrusión.

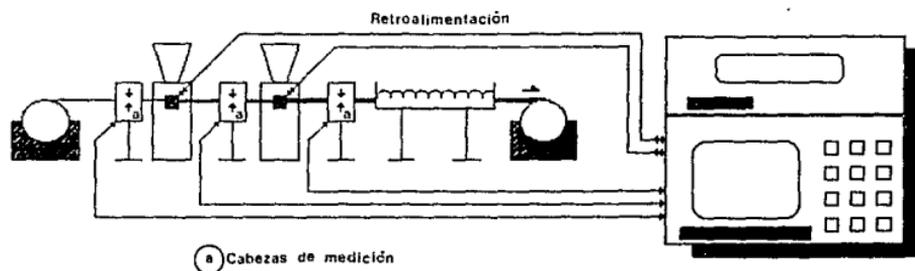
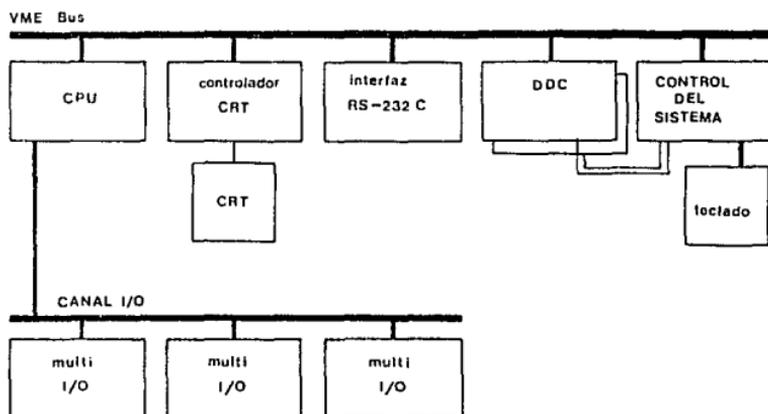


Figura 2.6  
Esquema general de los componentes de un medidor/controlador de diámetros/espesores de 3 cabezas.



FUENTE  
PODER

batería

Figura 2.7

Arriba. Cabeza de medición con sensor CCD ( Charge coupled device ).

Abajo. Cabeza de medición con fuente de emisión laser.

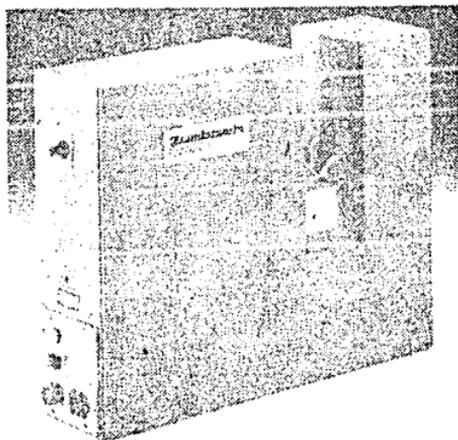
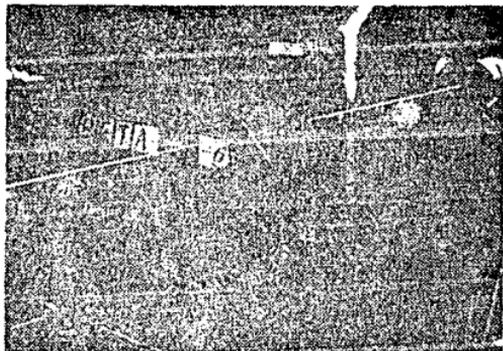
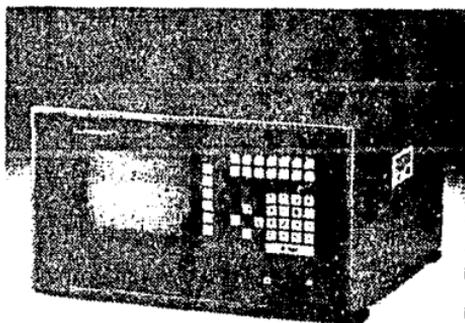


Figura 2.8  
Unidad de monitoreo y control del equipo de medición/control  
de diámetros/espesores de 3 cabezas.



medios externos. Fue sustituido por un equipo moderno con capacidad de comunicación.

La figura 2.9 muestra el equipo

#### II.4.3 Detector de irregularidades

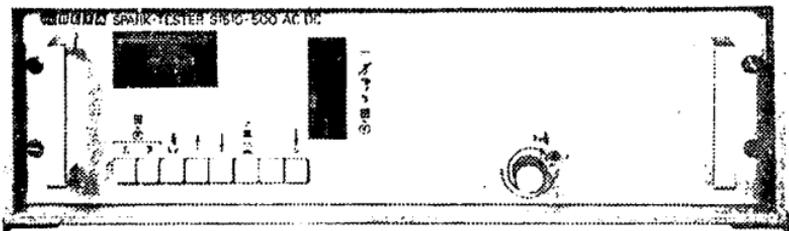
Existen otro tipo de fallas que no pueden ser detectadas y corregidas por los equipos de control de diámetro o detectadas por los probadores de arco de voltaje. Estas son los incrementos súbitos y puntuales de diámetro de aislamiento, y las reducciones súbitas y puntuales del mismo. Para detectar este tipo de falla se han desarrollado los detectores de irregularidades o "Lump & Neckdown detectors" como se les conoce en inglés. Estos equipos son un auxiliar mas, para garantizar la consistencia de calidad de los cables producidos.

La experiencia con estos equipos ha mostrado que para su aplicación en el proceso de fabricación de cables para construcción se requieren dos sensores colocados a 90 grados para garantizar una total cobertura del cable que es verificado a través de ellos.

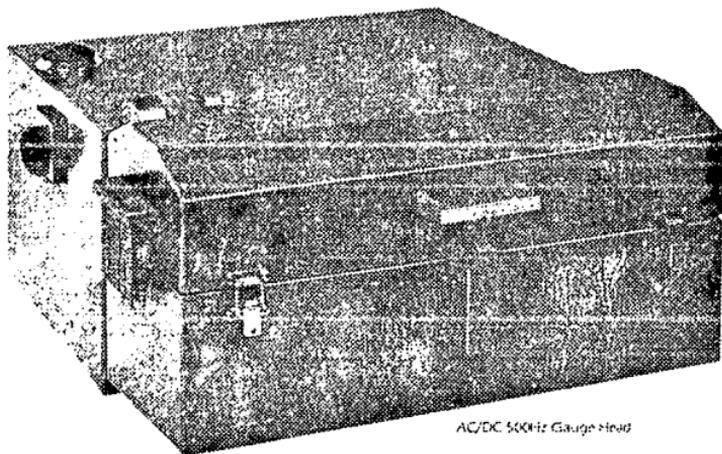
Este equipo se instala al final de la línea de extrusión, inmediatamente después del probador de arco de voltaje y antes de que entre el cable al enrollador.

La figura 2.10 muestra el equipo.

Figura 2.9  
Probador de arco de voltaje moderno con comunicación al exterior.

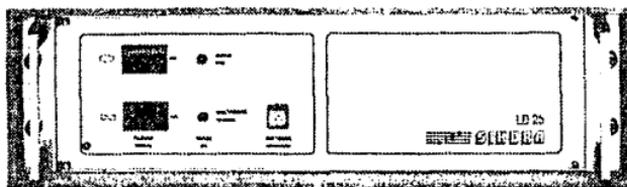
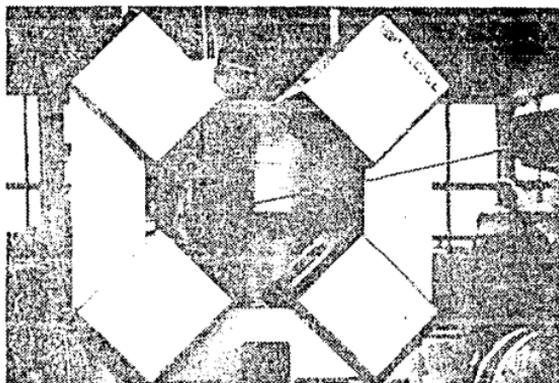


AC/DC 500Hz indicator unit



AC/DC 500Hz Gauge Head

Figura 2.10  
Detector de irregularidades con 2 cabezas de medición



## II.5 Balanceo de la línea de producción. Resultados esperados. Costo de la modernización.

Junto con la selección de los equipos nuevos y reparación de los que se conservan se realizó un estudio para verificar el balanceo de la línea y determinar cuales son ahora sus limitaciones de velocidad para cuantificar las nuevas prestaciones esperadas de la línea.

A continuación se presenta una tabla con los componentes de la línea que afectan la velocidad de la misma. Para comparar se incluyen también los componentes anteriores a la modernización con sus respectivas velocidades máximas. Cabe mencionar que el componente con la velocidad máxima mas baja condicionará a esa velocidad la del resto de la línea.

COMPONENTE	VELOCIDAD	VELOCIDAD
	ANTES	DESPUES
	MODERNIZAR	MODERNIZAR
DESEENROLLADORES	700 m/min	1,500 m/min
PRECALENTADOR	800 m/min	1,500 m/min
EXTRUSOR PVC	700 m/min	1,200 m/min
EXTRUSOR "TANDEM"	500 m/min	1,200 m/min
"CAPSTAN" DE TIRO	500 m/min	1,500 m/min
ENROLLADOR	850 m/min	1,200 m/min
MARCADOR DE TINTA	500 m/min	900 m/min
MARCADOR ALTO RELIEVE	500 m/min	1,500 m/min
SECADORES	500 m/min	1,500 m/min

Como se puede apreciar en la tabla, la velocidad máxima antes de la modernización era de 500 m/min. Después de realizada ésta, la velocidad máxima queda en 900 m/min para cables marcados con tinta y en 1,200 m/min para cables marcados en alto relieve.

La inversión requerida total en equipos nuevos fue del orden de los 300,000 USD consiguiendo duplicar la capacidad instalada de la línea, que comparados con el precio de una línea nueva resultan ser una inversión muy atractiva.

Actualmente, la línea modernizada se encuentra trabajando cotidianamente, y se alcanzaron ya la mayor parte de los objetivos planteados en cuanto al incremento de productividad.

Una vez que la línea se encuentra en condiciones de funcionamiento y productividad adecuadas se puede plantear ya, su automatización, la cual se discutirá en los capítulos III y IV.

## **CAPITULO III**

### **AUTOMATIZACION DEL PROCESO. ARQUITECTURAS**

## INDICE TEMATICO

- III.1 Conceptos para la automatización de líneas de extrusión.
- III.2 Condiciones particulares y requisitos de la fábrica donde se automatizará la línea de extrusión.
- III.3 Presentación y análisis de las arquitecturas definidas y evaluadas como posibles alternativas para la automatización del proceso.
- III.4 Arquitectura y alternativa de ejecución seleccionadas.

### III.1 Conceptos para la automatización de líneas de extrusión.

Como se mencionó en el capítulo I, el proceso de extrusión de cables, es muy complejo si se toman en cuenta todas sus variables. Existen diversos aspectos de la fabricación que todavía deben ser controlados totalmente por el operador de la máquina, pues no existen equipos actualmente que puedan medir o controlar esas variables, al menos en forma costeable y práctica. Sin embargo una buena parte de las variables del proceso pueden manejarse en forma automática una vez que las materias primas tienen propiedades y calidad consistentes dentro de un rango razonablemente cerrado y que la maquinaria y equipos de control se encuentran también en condiciones óptimas de funcionamiento.

A partir de las experiencias exitosas de diversas fábricas de cables así como de las de diversos proveedores de maquinaria y equipos, se diseñó el esquema de la automatización de la línea de extrusión y que será igual en términos generales para el resto de las líneas de extrusión de la fábrica.

Como primer paso se definió el objetivo que se tendría con cada una de las variables del proceso, en cuanto a su participación dentro de la automatización. Se determinaron cuatro grupos como muestra la tabla 3.1 de la siguiente manera:

**Medición:** La variable será medida por un instrumento y no necesariamente será presentada en una pantalla o monitor, ni necesariamente es controlada por algún equipo.

**Monitoreo:** La medición de la variable será mostrada en una pantalla o monitor para que el operador la conozca. Esta variable no necesariamente es controlada por algún equipo o instrumento.

**Control:** La variable será controlada por algún equipo o instrumento. No necesariamente la variable será monitoreada.

**Registro:** Los valores medidos de la variable serán registrados a lo largo de un periodo de tiempo determinado para evidenciar su comportamiento.

Ver figura 3.1. Participación de las variables dentro del esquema de automatización del proceso.

Estas, entre las mas importantes, son las variables que se considerarán para automatizar la línea.

Existen variables como el marcado del cable, sea en tinta o altoprelieve, la apariencia externa del aislamiento o cubierta y la uniformidad del color, para las que no existen actualmente instrumentos que las puedan medir y mucho menos,

Tabla 3.1 Participación de las variables mas significativas del proceso dentro del esquema de la automatización

VARIABLE	MEDICION	MONITOREO	CONTROL	REGISTRO
-Diám. del conductor.	*	*		*
-Temperaturas de los extrusores.	*	*	*	
-Diám. y espesor del aislamiento.	*	*	*	*
-RPM's y corrientes de motores de extrusores y capstan de tiro.	*	*	*	
-Velocidad de la línea.	*	*	*	
-Presión cabezas de extrusión.	*	*		
-Corriente motor enrollador	*	*	*	
-Diám. y espesor cubierta Nylon.	*	*	*	*
-Fallas de arco de voltaje.	*	*		*
-Detección de irregularidades aislamiento o cubierta.	*	*		*
-Enc/apag. y temperatura del precalentador.	*		*	
-Enc/apag. y temperatura de secadores de tolvas PVC y Nylon.	*		*	
-Enc/apag. marcador a tinta.	*		*	
-Enc/apag. bombas de vacío tolvas.			*	
-Enc/apag. sopladores aire de canales enfriamiento.			*	
-Enc/apag. general de los equipos de la línea.			*	

controlar. Por lo tanto estas variables, si bien son muy importantes, seguirán siendo manejadas a criterio del operador de la línea.

A través del mundo, existen ya muchas líneas de extrusión para fabricar cable de construcción que están automatizadas en mayor o menor grado. En algunas fábricas inclusive el movimiento de las bobinas a través de los diferentes procesos de fabricación se realiza por medio de robots, o la carga del PVC a las tolvas de las extrusoras se realiza a través de un sistema neumático que automáticamente envía PVC a las tolvas desde silos centralizados cuando éstas llegan al nivel mínimo de material.

La integración hacia arriba, es decir, la conexión de las líneas de extrusión, o cualquier otra máquina, a los sistemas administrativos, es mucho menos frecuente e inclusive, muy pocas son las fábricas de cables donde se ha llegado a este grado de integración.

El grado de automatización del proceso adecuado para cada fábrica depende de muchos factores, iniciando por el presupuestal, y una serie de circunstancias específicas que deben ser analizadas para definir la filosofía o estrategia de automatización adecuada y justificable desde el punto de vista de las inversiones requeridas.

### III.2 Condiciones particulares y requisitos de la fábrica donde se automatizará la línea de extrusión.

Se definieron 3 objetivos básicos que debía cubrir la automatización de la línea:

1. Eliminar todas las operaciones que actualmente están sujetas al criterio del operador de la máquina y cuyos "set-points"( Ver Nota ), monitoreos, registros y control puedan ser designados y/o modificados por dispositivos que garanticen una consistencia en la productividad y en la calidad, independientemente de la habilidad o disposición que tenga el operador de la línea.

( Nota: Se define el anglicismo "set-point" como la magnitud dimensional de una variable, que debe establecerse y mantenerse para que un proceso se realice en forma adecuada. Por ejemplo, el "set-point" de la temperatura a la que se debe mantener el agua para que hierva al nivel del mar y a presión atmosférica es de 100 grados centígrados ).

2. Iniciar el control estadístico del proceso en el área de extrusión, con los instrumentos de medición y registro adecuados.

3. Integrar la maquinaria al SIM de la fábrica, de tal manera que el operador pueda verificar mediante una terminal instalada en su máquina el programa de producción, y así

mismo poder contar con un control de producción en tiempo real a partir de la información de los distintos dispositivos de la máquina.

Por otra parte se definió que la automatización debía cubrir al menos a corto plazo, únicamente la línea de extrusión en sí, y que el movimiento de materiales, sean robots para mover bobinas de cable o la dosificación de los compuestos a las tolvas de las extrusoras, seguirían siendo manuales. Esto se determinó después de diversos ejercicios tratando de justificar estos automatismos, pero debido al bajo costo de mano de obra en nuestro país y al alto costo de éstos, se llegó a la conclusión de que falta mucho tiempo para que la mano de obra local llegue a ser tan cara como la de Japón o Europa occidental, y que por tanto, se puedan justificar este tipo de inversiones desde el punto de vista económico, si bien, son muy interesantes desde la perspectiva de su tecnología. Aún así, ya por el momento se considera como suficientemente retador la integración de la maquinaria a los sistemas administrativos, donde sin duda, la fábrica estará entre las pioneras en el ámbito de la fabricación de cables, a nivel mundial.

Durante los tres últimos años las alternativas para automatizar líneas de extrusión se han multiplicado, existiendo actualmente un espectro de selección muy amplio y variado en cuanto a complejidad, precio, posibilidades de interconexión y ampliación. Se definió que se seleccionaría

la combinación de arquitectura y proveedores que con el menor costo razonable posible, proporcionaran el mayor grado de confiabilidad, vigencia tecnológica, seguridad en la comunicación con otros equipos, posibilidad de expansión, flexibilidad, facilidad de mantenimiento y obtención de refacciones, asistencia técnica hoy y durante los próximos 10 años, soporte para capacitación de personal, accesibilidad para realizar modificaciones y mejoras.

A partir de toda la serie de requisitos presentados en este punto se inició la tarea de seleccionar la arquitectura y la alternativa de ejecución mas adecuadas para alcanzar los objetivos planteados. La arquitectura debía ser válida para todos los procesos, no solo para la línea de extrusión.

III.3 Presentación y análisis de las arquitecturas definidas y evaluadas como posibles alternativas para la automatización del proceso.

III.3.1 Presentación de las alternativas para la arquitectura del sistema.

Se plantearon después de diversos análisis 4 posibles arquitecturas para el sistema, técnicamente factibles:

1. Computadora PC industrial conectada en red a cada uno de los PLC's de varias líneas o máquinas ( Limitado el número de

máquinas hasta donde la capacidad de memoria y razonable tiempo de respuesta de la computadora lo permitan ). La computadora estaría enlazada a su vez en la red del Ordenador Central de la fábrica. La computadora sería la sede de la base de datos necesaria para cargar las "recetas" de los diversos productos que se fabrican en cada línea. También, sería el enlace para que el sistema de programación de producción envíe su información al monitor instalado en cada línea de producción, y para que la línea de producción a través del PLC, retroalimente al sistema de control de producción, con el enlace proporcionado por la PC. Finalmente, la PC sería la sede del "software" o programa para llevar a cabo el control estadístico de proceso.

( Nota: PC es la abreviatura coloquial del anglicismo "Personal Computer" que significa computadora personal. "Software" es un anglicismo de uso coloquial que se refiere a los Programas y/o algoritmos de computación )

La figura 3.2 muestra un esquema de la arquitectura.

2. Computadora PC industrial conectada al PLC de una línea o máquina, de tal manera de formar una red de computadoras que a su vez esté enlazada a la red del ordenador central de la fábrica. Cada computadora PC individual, tendría las mismas funciones de la PC "Colectiva" de la alternativa 1.

La figura 3.3 muestra un esquema de la arquitectura.

Figura 3.2  
Arquitectura para automatización de líneas de extrusión  
Alternativa 1

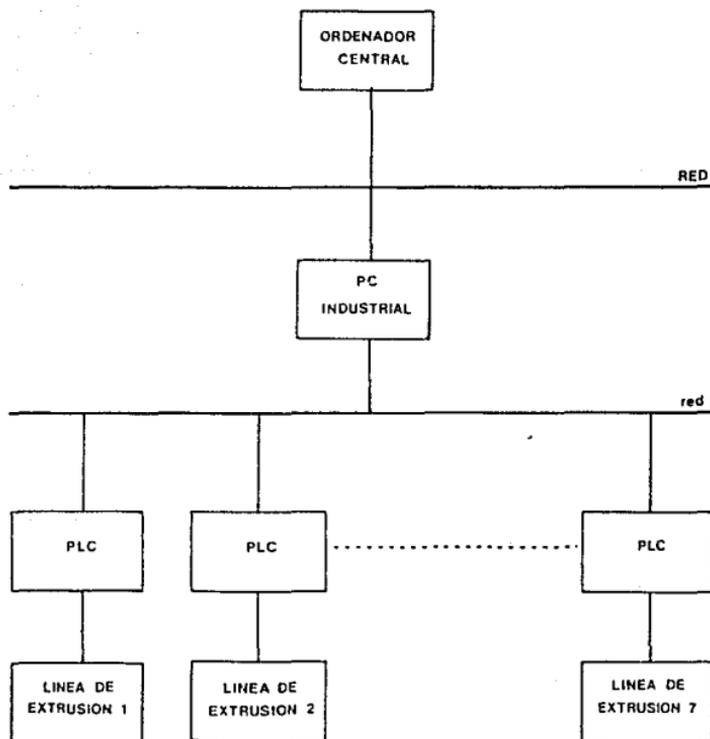


Figura 3.3  
Arquitectura para la automatización de líneas de extrusión  
Alternativa 2

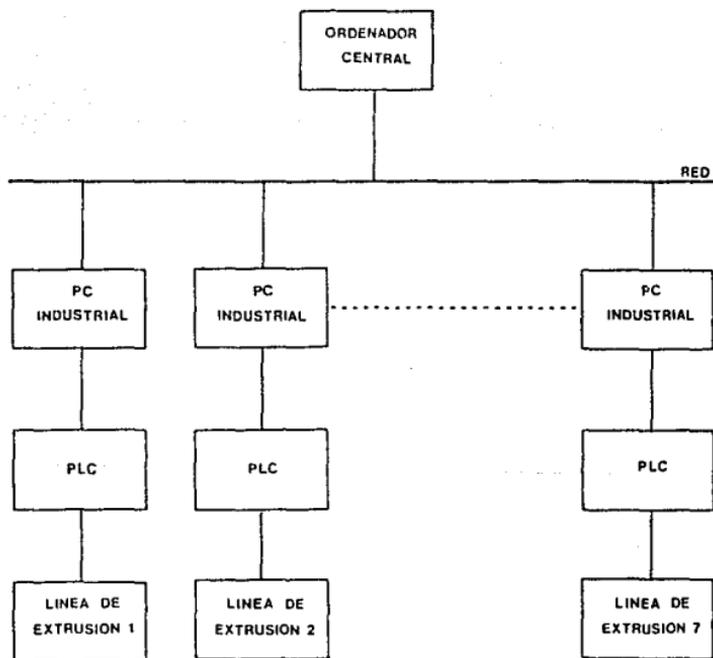
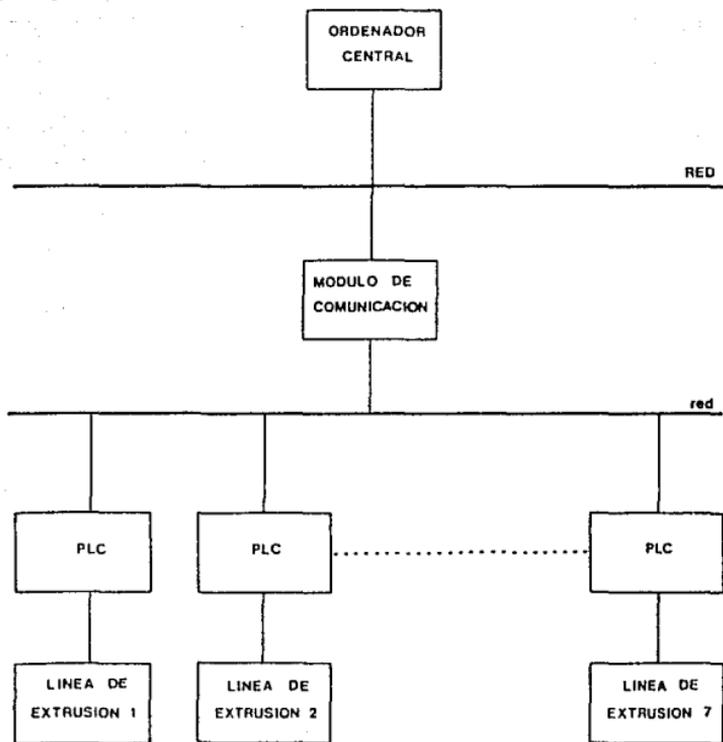


Figura 3.4  
Arquitectura para la automatización de líneas de extrusión  
Alternativa 3



3. Enlazar a los PLC's directamente al ordenador central de la fábrica ( Con la interfaz adecuada ) donde el ordenador central sería la sede de todos los sistemas.

La figura 3.4 muestra un esquema de la arquitectura.

4. Colocar una terminal inteligente del ordenador central por cada determinado grupo de máquinas. Formar una red de PLC's con la terminal inteligente. La terminal sería la residente de una base de datos e información del SIM y CEP, que se actualizaría cada determinado tiempo con la información del ordenador central y actualizaría a este último con la información procedente de los PLC's en tiempo real o casi real.

La figura 3.5 muestra un esquema de la arquitectura.

### III.3.2 Análisis de las alternativas de arquitectura para la automatización.

#### Alternativa 1.

Esta arquitectura es la mas sencilla y económica. De acuerdo a los productos que se procesan en toda el área de extrusión, se calculó la capacidad de memoria necesaria para la computadora, que si bien requiere una ampliación considerable

de capacidad de su disco duro, es técnicamente realizable. La comunicación al ordenador central ( que en realidad son dos ordenadores trabajando en conjunto, uno orientado a aplicaciones puramente administrativas como costos, contabilidad, control de inventarios, etc..., y uno técnico, donde reside el sistema de programación de producción, diseños de productos, rutas de fabricación, etc...) se puede realizar con una tarjeta de interfaz instalada en uno de los puertos de la computadora y que entraría en la red del sistema principal. El "software" de la base de datos que se requiere para las "recetas" de los productos de cada línea de extrusión, así como el "software" para manejar la información que va o que viene del ordenador central, y el "software" de CEP, pueden ser adquiridos como un solo paquete de diversos proveedores extranjeros, o localmente con empresas dedicadas al desarrollo de sistemas, o incluso con recursos internos dentro de la fábrica. Una característica importante de esta arquitectura es que si falla el ordenador central o la red, las líneas de extrusión pueden seguir trabajando sin problemas.

La inversión requerida, considerando que el sistema se adquiriera con uno de los mas reputados proveedores extranjeros, el cual ofreció la opción mas costosa entre las evaluadas para esta alternativa, no rebasa los 100,000 USD para la computadora incluido el "software" completo, la comunicación al ordenador central y a los PLC's.

Este sistema presenta cuatro desventajas principales:

a) El tiempo de respuesta a la terminal/monitor de cada PLC de cada una de las líneas por parte de la computadora sería muy lento porque atendería a 7 líneas de extrusión a la vez.

b) Si la computadora PC tiene algún problema, detendría la producción de toda el área de extrusión.

c) Por la misma saturación de usuarios de la computadora, la actualización de información de/hacia el ordenador central no podría ser muy frecuente debiéndose limitar quizás a un par de veces al día. Lo mismo sucedería para el manejo del paquete de CEP por parte del área de aseguramiento de calidad.

d) Aún con la máxima ampliación de disco duro factible en la mas avanzada computadora PC industrial que se instalaría, la memoria queda muy saturada solo con los elementos actuales previstos para el sistema. Si en el futuro se requiriese alguna función adicional existiría una gran posibilidad de que la capacidad del sistema no fuera suficiente para aceptarla.

#### Alternativa 2.

Esta arquitectura es mas costosa que la de la alternativa 1, pues se requiere una PC industrial por cada línea de extrusión mas el costo de la red. Sin embargo presenta varias

ventajas, como un tiempo de respuesta instantáneo de la computadora al PLC, si es que no se exige mucho de sus limitadas capacidades multitarea, y una actualización mas rápida de/al ordenador central comparada con la alternativa 1. Otra ventaja importante es que cada línea tiene su propio sistema completo el cual puede ser expandido sin problemas cuando se requieran introducir mas aplicaciones. Si una computadora falla las otras 6 líneas de extrusión pueden seguir trabajando y si falla el ordenador central o la red, se puede continuar la producción sin problemas.

Para coordinar el manejo de la información de/al ordenador central se requeriría introducir un programa en el ordenador central técnico, que implica un costo adicional.

El costo sería, en el caso de la opción mas cara entre las analizadas para esta alternativa, de aproximadamente 40,000 USD por cada línea de extrusión (incluyendo un monitor sensible al tacto en el panel de control de cada línea de extrusión que presenta diversos menús acompañados de gráficos para auxiliar al operador), mas alrededor de 10,000 USD de la red, mas aproximadamente 50,000 USD del "software" para el ordenador central.

La mayor desventaja de esta alternativa es su precio comparada con la alternativa 1, así como la dificultad que presentaría el que un proveedor X pretenda introducir un "software" en el ordenador del proveedor Y, cuando este último no está en total disposición de cooperar con el

proveedor X por considerarlo un competidor.

### Alternativa 3.

Esta arquitectura elimina a la PC y comunica directamente a los PLC's con el ordenador central. Existen 2 opciones para la comunicación:

La primera sería un puerto donde coincidirían todos los PLC's, cuyo costo es mínimo, pero que tiene la gran desventaja de que envía y recibe la información en serie, por lo que considerando que tendría 7 usuarios mas toda la información recibida y enviada al ordenador central, el mismo fabricante del puerto reconoció que los tiempos de respuesta serían muy lentos, y no garantizó su utilización para esta aplicación.

La segunda opción es un módulo de comunicaciones desarrollado específicamente para enlazar PLC's con grandes ordenadores, con capacidades multiusuario y que maneja el envío/recibo de información en paralelo con un rápido tiempo de respuesta, además de que tiene capacidad suficiente para manejar los 7 PLC's de las líneas de extrusión. Este módulo tiene un costo de aproximadamente 90,000 USD.

Esta alternativa requiere además, el desarrollo de un "software" residente en el ordenador central técnico para manejar la información de/hacia el módulo de comunicación.

El costo de esta alternativa es de aproximadamente 400,000 USD en total, considerando las 7 líneas.

Las desventajas mas importantes son:

a) Si falla el ordenador central, provocaría la interrupción de la producción en toda el área de extrusión.

b) Su costo es elevado. El tiempo de entrega es incierto porque el fabricante del ordenador central parte prácticamente de cero para el desarrollo del "software".

Alternativa 4.

Esta arquitectura, al interponer una terminal inteligente entre el módulo de comunicaciones y el ordenador central, elimina la primera desventaja de la alternativa 3. Si falla el ordenador central, la terminal inteligente cuenta con todo el sistema residiendo en ella.

La desventaja mas importante es su costo, que es superior al de la alternativa 3 por la inclusión de la terminal inteligente, y como la alternativa anterior, mantiene la desventaja de un tiempo de entrega incierto.

III.4 Arquitectura y alternativa de ejecución seleccionadas.

La alternativa 3 fue la primera eliminada, por su relación costo vs confiabilidad.

La alternativa 1 fue la segunda eliminada, por la serie de desventajas ya mencionadas.

La decisión final se estableció entre las alternativas 2 y 4. La selección requirió un profundo análisis, que incluyó no solo la arquitectura en si; se consideraron los posibles proveedores que realizarían el trabajo, la posibilidad de desarrollarlo internamente en la empresa, el tiempo en el que se esperaría tener resultados concretos, el costo inicial y posterior, entre los factores mas importantes.

La decisión final quedó en la alternativa 2 por las siguientes razones :

a) Las posibilidades de realizar el proyecto con una amplia gama de proveedores.

b) La facilidad para instalarlo máquina por máquina, sin interferir con el resto de las operaciones de la fábrica.

c) El casi único proveedor posible para la alternativa 4 ( que es el fabricante del ordenador central y sus sistemas ) podría poner en una situación difícil a la fábrica si una vez iniciado el proyecto surgieran problemas, como ya habían surgido con algunos de sus sistemas supuestamente listos para usarse.

d) La alternativa 2 tiene la posibilidad de realizarse adquiriendo paquetes completos ( "Hardware" y "software" )

"listos para usarse", de efectividad comprobada y comprobable, de proveedores especializados en maquinaria e instrumentos para fabricación de cables, comprometiéndose por escrito algunos de ellos a garantizar ( contra devolución total del dinero ) la comunicación entre los PLC's, sus sistemas y el ordenador central. El proveedor de la alternativa 4 obviamente podía garantizar la comunicación entre el ordenador central y la terminal inteligente, pero se mostró muy reservado en cuanto a garantizar la comunicación con los dispositivos de las máquinas anteponiendo muchas restricciones por su desconocimiento de las máquinas y los procesos.

e) La experiencia del personal de la fábrica hace mas fácil la ejecución de la alternativa 2 si se opta por un desarrollo interno.

f) Por la situación de competencia internacional de la fábrica, se requiere que el proyecto se realice y funcione lo mas pronto posible. El proveedor de la alternativa 4 no podía garantizar una fecha presionada en tiempo.

Por esta última razón se decidió realizar el proyecto con un proveedor extranjero, en vez de intentarlo con uno local o con los recursos internos de la fábrica. El proveedor demostró sus sistemas ya instalados en fábricas similares del extranjero. Garantizó un tiempo de entrega del sistema de 6 meses ya instalado y funcionando en la línea de extrusión, a

partir de la fecha de colocación del pedido. El 70% de la línea de extrusión había sido fabricada o especificada por este proveedor, por lo que se garantizaba así el dominio sobre el proceso y el conocimiento de los equipos. Su oferta fue mas atractiva tanto en precio como en condiciones de pago que la de otros competidores de sistemas similares dedicados también a la fabricación de cables.

Inclusive permitieron al personal de la fábrica estar tiempo completo en sus instalaciones durante todo el proceso de fabricación, montaje y adaptación del "software" a los requisitos específicos de la aplicación, para garantizar que el equipo no fuera problema en cuanto a detección y corrección de fallas, así como para modificaciones posteriores realizadas internamente en la fábrica.

La alternativa de realizarlo con proveedores locales o personal de la fábrica, si bien reducía el costo a menos de la mitad, aumentaba considerablemente la incertidumbre en el tiempo de entrega ( por el obligado período de aprendizaje que se requeriría antes de obtener resultados confiables ). Así también se puntualizó el objetivo de la fábrica, que es producir cable de construcción de "clase mundial" y no el desarrollo de sistemas. Este argumento fue objeto de polémica aunque finalmente fue aceptado. Este tipo de decisión lo enfrentan ésta y muchas fábricas en México. Si bien es importantísimo el desarrollo de tecnología nacional, hay rubros donde es cuestionable si vale la pena hacerlo. En primer lugar, los sistemas a desarrollar ya existen y solo se estarían re-inventando ( en condiciones penosas incluso por

la falta de recursos ). En segundo lugar, una vez asimilada la tecnología de punta que se está comprando el día de hoy, es más fácil desarrollar nuevas cosas que si podrán ser tecnológicamente contemporáneas de lo que se esté desarrollando en el resto del mundo para entonces. Si optamos por el desarrollo local, es casi un hecho que los resultados positivos se darán; pero cuando se den, la tecnología va a estar un paso adelante.

Finalmente, una razón muy práctica para no intentar el desarrollo local: La competencia internacional ya está aquí, y no está escatimando recursos para penetrar el mercado nacional. Esta fábrica necesita estar en las mismas condiciones que sus competidores ya, para poder resistir, mantenerse y hasta crecer.

Hace 6 años, la fábrica intentó desarrollar internamente un sistema de control supervisorio de los procesos. Hubiera sido probablemente la primera fábrica de cables en el mundo con un sistema semejante. En ese tiempo se veía como un sueño el contar con líneas de extrusión automatizadas ( no solo en México, en el resto del mundo también ), realmente era un proyecto visionario. Los PLC's apenas comenzaban a utilizarse en aplicaciones muy discretas dentro de las líneas de extrusión. Hace tres años se terminó el desarrollo. Cuando se iniciaba su operación el fabricante del PLC principal del sistema anunció que lo discontinuaba del mercado. Ese PLC, que era de los mas poderosos hace un lustro, está hoy guardado en un rincón de la fábrica, sin posible aplicación, sin refacciones y sin posibilidad de

conseguirlas ( el fabricante también cerró su división de PLC's ), y por tanto no puede ser rehabilitado. La unidad de casetes para su memoria provoca sonrisas entre técnicos e ingenieros jóvenes. Su primitivo ( si se puede llamar así ) monitor a colores no tiene capacidades gráficas. La CPU con su conjunto de módulos de entrada y salida se ve gigantesca comparada con un PLC moderno, que tiene mucha mayor capacidad, velocidad, capacidad de comunicación y flexibilidad. La computadora utilizada para la base de datos tiene un estándar ya obsoleto.

Esta experiencia junto con otras similares, motivaron al que escribe este trabajo a promover y decidir por la opción de la compra externa.

La especificación del equipo seleccionado incluye lo siguiente:

Computadora PC industrial montada en un gabinete especial para adaptarse al "lay-out" o distribución de la línea de extrusión. La CPU está basada en un microprocesador 80486-32 bits, 44 MHz. El disco duro tiene una capacidad de 128 Megabytes y una lumbreira para disco flexible de 3.5" de 1.44 Megabytes. La capacidad de RAM es de 4 Megabytes. El monitor es de 14" VGA con pantalla sensible al tacto del tipo onda acústica de superficie ( Es decir, no requiere ser tocada necesariamente para activarla, simplemente con acercar el dedo al punto deseado ). Finalmente incluye una interfaz adecuada para comunicación al PLC y otra para entrar en la

red que es del tipo Ethernet.

El "software" está basado en un paquete comercial para control de procesos, que debió ser seleccionado tomando en cuenta su facilidad de intercambio de información con el ordenador central y con el PLC. La selección se realizó entre cuatro paquetes: Fixx, Monitrol, Control View y Factory Link. Sobre el paquete seleccionado se desarrolló la "personalización" del sistema con las funciones, menús, gráficos, gráficos mimicos y opciones especificadas por la fábrica.

La figura 3.6 muestra una línea de extrusión automatizada similar a la línea objeto de este trabajo.

La figura 3.7 muestra el menú principal de un sistema con los parámetros mas importantes de la línea, similar al menú principal de la línea objeto de este trabajo.

La figura 3.8 muestra un menú detalle de una extrusora, similar al de la línea objeto de este estudio.

Actualmente, la línea de extrusión ya se encuentra modernizada y automatizada trabajando satisfactoriamente, y se ha acelerado el mismo proceso de modernización y automatización en el resto de las líneas, en base a los resultados que se dieron con la primera.

La integración a los sistemas de manufactura no se ha dado

hasta el momento, por retrasos en el arranque de algunas aplicaciones del sistema de control de piso y programación de producción, imputables al proveedor de estos sistemas ( el cual es el fabricante del ordenador central ).

Figura 3.6  
Línea de extrusión automatizada. Vista parcial

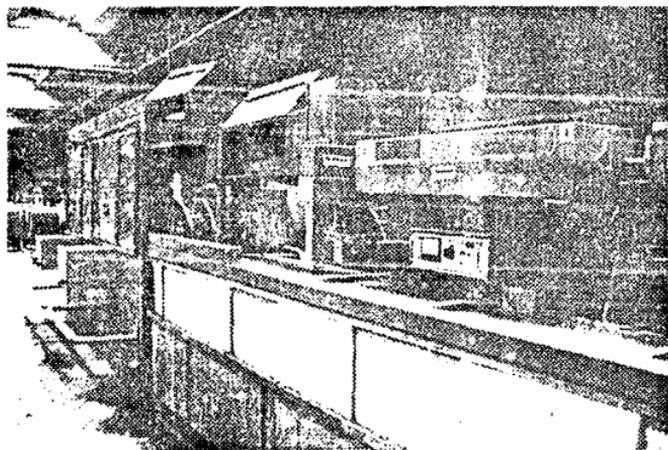
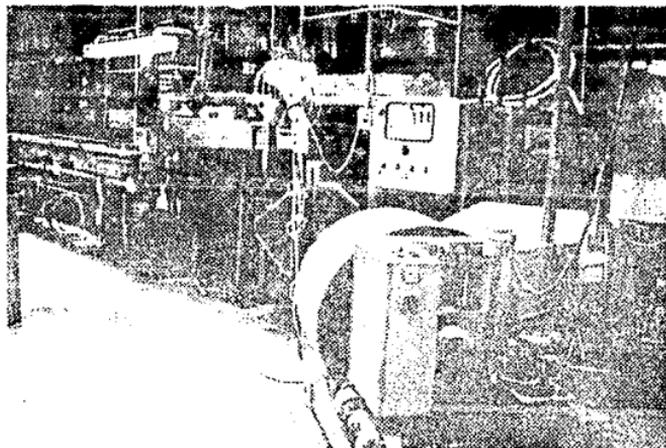


Figura 3.7  
Menú principal de la pantalla instalada en el tablero de control de una línea de extrusión automatizada.

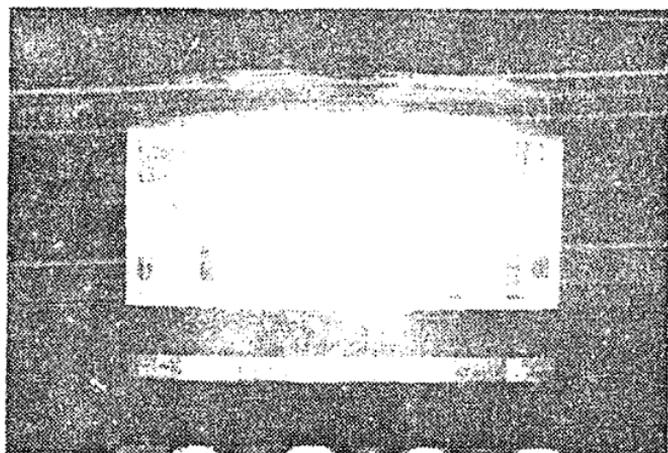
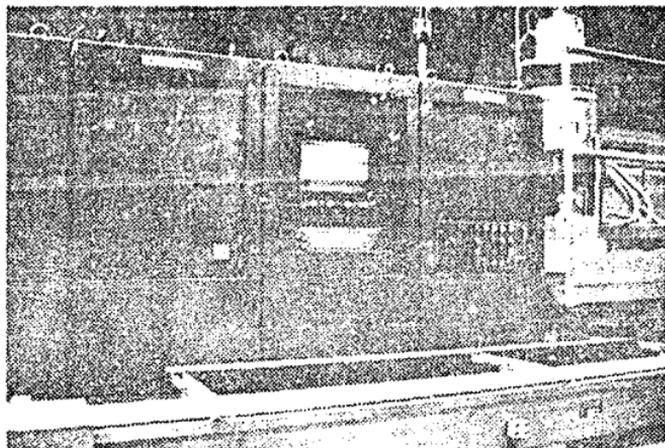
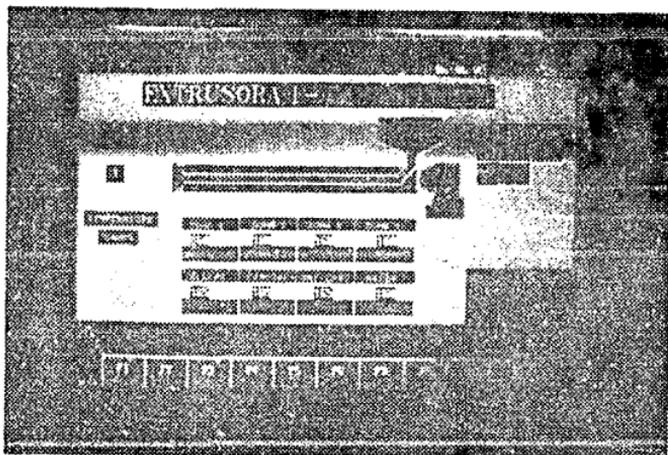


Figura 3.8  
Menú detalle de una de los extrusores de una línea de extrusión automatizada.



## CAPITULO IV

DEFINICION DE UNA ESTRATEGIA DE AUTOMATIZACION E INTEGRACION  
A SISTEMAS COMPUTARIZADOS DE GESTION DE PRODUCCION Y DE  
CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

## INDICE TEMATICO

IV.1 Conceptos de un Plan Global de Modernización desarrollado para una fábrica de cables.

IV.2 Estrategia de automatización e integración a un SIM y a CEP.

IV.2.1 Materias primas y subensambles.

IV.2.2 Maquinaria y procesos de fabricación.

IV.2.3 Identificación y movimiento de materiales.

IV.2.4 Identificación, medición, control y registro de las variables críticas.

IV.2.5 Programación y control de la producción.

IV.2.6 Definición de sistemas y arquitecturas.

#### IV.1 Conceptos de un Plan Global de Modernización desarrollado para una fábrica de cables.

La modernización y automatización de la línea de extrusión expuesta a través de este trabajo es solo una parte del Plan Global de Modernización ( PGM ) que se preparó para todas las áreas productivas de la fábrica. Este PGM se desarrolló partiendo de una serie de criterios generales que se particularizaron para cada uno de los procesos de fabricación ( Como en el caso de la línea de extrusión por ejemplo ).

Se considera importante dedicar este inciso a la serie de acciones que requirió la elaboración de los criterios generales así como a los criterios generales en sí por la mayor aplicación que pueden tener para modernizar fábricas, no solo de cables, sino de prácticamente cualquier proceso de fabricación.

El PGM desarrollado para la fábrica de referencia es uno de los mas exitosos que se han visto dentro del grupo de fábricas al cual pertenece ésta. ( Se está hablando de mas de una decena de fábricas ). Para desarrollar el plan se tomaron en cuenta las experiencias positivas y negativas de las fábricas del grupo, así como de las de 6 fábricas en Europa occidental y una en norteamérica dedicadas a la producción de cables ( Algunas de estas fábricas están entre las más productivas y tecnológicamente avanzadas en el mundo de los cables ). Por otra parte se realizó un intensivo trabajo de investigación con los proveedores de maquinaria y equipo, de

tal manera de contar con una amplísima base de información para la preparación del PGM.

A continuación se presentan los criterios para el desarrollo del PGM:

1) Contar con la mayor cantidad de información de lo que existe y lo que se está desarrollando a través del mundo para cada uno de los procesos de fabricación.

2) Ubicar el estado tecnológico y productivo de cada uno de los procesos de fabricación actuales, comparándolos con sus competidores nacionales e internacionales.

3) No analizar procesos aislados. Se debe verificar la interacción de cada proceso con el que lo antecede y el que le sigue. Tomar en cuenta no solo al proceso en sí, sino incluir también en el análisis el movimiento de los materiales a la entrada/salida del proceso, y los aspectos cualitativos y cuantitativos de las materias primas y los subensambles, por ejemplo.

4) Después de analizar todas las alternativas posibles, elaborar una especificación para elementos de uso común en varias máquinas o procesos ( Como motores, gobernadores, PLC's, protocolos de comunicación entre equipos, etc... ) y no invertir en nada si no se cuenta con esta especificación y el apego a la misma.

5) Hacer una "prueba de escritorio" del PGM en general y del plan concreto para modernizar cada proceso particular con los usuarios actuales, para verificar que se están tomando en cuenta todas las variables, implicaciones y "pequeños detalles" que de no tomarse en cuenta, podrían ser causa de fracasos. Hacer participar a los usuarios desde el desarrollo mismo del PGM para que se comprometan con él y estén motivados para que cuando se implante sean co-responsables de su éxito o fracaso. Varias de las mejores ideas para mejorar procesos han surgido de los mismos operadores de las máquinas.

6) No robotizar el movimiento de los materiales. Al menos en la fabricación de cables en nuestro país, no se justifica actualmente desde el punto de vista económico, y los dispositivos existentes para esos fines no han consolidado sus resultados hasta la fecha, lo suficiente como para considerarlos una inversión sin riesgo.

Sin embargo, todas las modificaciones al "lay-out", e inversiones en equipos que estén relacionados con el movimiento de los materiales en proceso, deberán apegarse al PGM que tendrá en cuenta la robotización de varios procesos, la cual se realizará en cuanto el costo de mano de obra lo justifique.

7) Antes de automatizar un proceso, se deberá modernizarlo para garantizar que éste es estable, consistente, muy

productivo y con materias primas o subensambles de propiedades consistentes también. Si no se da esta serie de condiciones, la automatización se postergará hasta que éstas se cumplan.

8) Iniciar la modernización y la subsecuente automatización, empezando por los procesos mas criticos por su costo, productividad, y sobre todo por la consistencia de la calidad de lo que producen. Esto es con el fin de proteger el flujo de fondos destinados a las inversiones.

9) Verificar que cada equipo o instrumento nuevo que se compre esté preparado para enviar/recibir información, sea para integrarlo posteriormente a un PLC, al SIM, o al CEP, aunque actualmente no se tenga un plan concreto para llevarlos a cabo. ( Prácticamente toda empresa que pretenda competir en el nuevo entorno de apertura, tendrá que llegar a estos tres rubros, por lo que las inversiones que ahora se realicen, si bien pueden parecer mas caras, en el futuro cercano saldrán mas baratas, porque " no deberán ser sustituidas al modernizarse, automatizarse o integrarse verticalmente a los sistemas administrativos ).

Por otra parte, como parte del PGM se deberán identificar todas las variables críticas de los procesos y confirmar la factibilidad de su medición con los instrumentos de que la tecnología actual dispone, para hacer el programa particular de implantación del CEP, estructurándolo por áreas e

identificando también las necesidades de capacitación para el personal. El área de ingeniería seleccionará, instalará y arrancará los instrumentos, se encargará también de su interconexión al PLC y al ordenador central, pero la utilización de las herramientas de CEP será responsabilidad de las áreas de producción y calidad.

10) Toda línea de fabricación o equipo nuevo que se pretenda comprar deberá ser analizado a través de estos criterios antes de realizarse la operación de compra.

Así también, antes de formalizar la compra deberá realizarse un estudio del balanceo de la línea de fabricación completa para garantizar que no surgirán "cuellos de botella" imprevistos en la misma.

11) Comprar equipos, máquinas o instrumentos que el proveedor pueda mostrar funcionando en otras fábricas. No comprar prototipos, pues la experiencia con éstos ha sido generalmente difícil. Para comprar maquinaria o equipos cuyo costo sea mayor a 50,000 USD deberá prepararse adicionalmente al pedido, un contrato de compra-venta particular y detallado en extremo en cuanto a las especificaciones técnicas, prestaciones garantizadas, condiciones de embarque, fecha de entrega, multas y penalizaciones, que deberá ser firmado por los representantes legales de ambas partes.

Para comprar maquinaria o equipos cuyo costo exceda los 100,000 USD la operación deberá realizarse pagando 20% de anticipo, 70% contra entrega de la mercancía a través de una

carta de crédito abierta en un banco del país de proveniencia del equipo y 10% al contado un mes después de que el equipo trabaje satisfactoriamente. Proveedor que no acepte estas condiciones no será considerado.

12) Involucrar a los proveedores de subensambles y/o materias primas en el desarrollo del PGM, para que preparen sus respectivos procesos para los nuevos requisitos impuestos por la modernización, la automatización, CEP y SIM.

13) Capacitar al personal de mantenimiento, aseguramiento de calidad, producción, e ingeniería antes de instalar los equipos, para garantizar que desde el inicio de sus operaciones éstos serán utilizados adecuadamente.

14) El objetivo del PGM no es eliminar mano de obra, es optimizar su utilización garantizando que los productos se fabriquen de manera eficaz, eficiente y con una calidad consistente, que los haga competitivos a nivel internacional.

15) Las acciones e inversiones que se realicen deberán tener una vigencia tecnológica esperada de 10 años en cuanto a maquinaria y de 5 años en cuanto a equipos computacionales.

Esta serie de criterios que fueron un gran apoyo para el desarrollo del PGM de la fábrica donde se realizó este trabajo han sido tomados en cuenta también para plantear la estrategia de automatización e integración a un SIM y a CEP

que se propone a continuación, y que pretende ser de un carácter mas general:

#### IV.2 Estrategia de automatización e integración a un SIM y a CEP.

La estrategia se divide en 6 aspectos a desarrollar:

- 1) Materias primas y subensambles.
- 2) Maquinaria y procesos de fabricación.
- 3) Identificación y movimiento de materiales en proceso.
- 4) Identificación, medición, control y registro de variables críticas.
- 5) Programación y control de la producción.
- 6) Definición de sistemas y arquitecturas.

##### IV.2.1 Materias primas y subensambles.

( Nota: Subensamble se define como un componente o elemento de un todo. Por ejemplo, un motor es un subensamble de un automóvil. El conductor de cobre es un subensamble de un cable. El PVC es otro subensamble del cable )

Como primer paso para el desarrollo de un proyecto de automatización se deberán analizar todas las materias primas y subensambles que requieran los procesos seleccionados para automatizarse. La mejor máquina que puede existir para un

proceso es totalmente inservible si sus insumos no son confiables. El estudio de las materias primas deberá incluir aspectos como la consistencia de las propiedades de los materiales a través del tiempo, sean éstas cualitativas o cuantitativas. El rango de tolerancia en la inconsistencia de las propiedades quedará condicionado por las tolerancias propias del proceso donde se utiliza el material, es decir, el límite quedará establecido hasta donde la máquina pueda obtener un producto adecuado pese a las desviaciones en las características de los materiales que utiliza.

Aquellas materias primas que no cumplen los requisitos deben ser sustituidas cuando el proveedor no pueda implementar los medios para garantizar su consistencia. Es muy frecuente que estableciendo un estrecho contacto con el proveedor, haciéndolo participe de los problemas y ayudándolo si es necesario en la implantación de soluciones, se obtienen resultados positivos. Sobre todo en el caso de proveedores nacionales. Así, se benefician ambas partes, y se beneficia el país también.

Los subensambles deben también ser analizados. Por ejemplo, en el caso de la línea de extrusión objeto de este trabajo se detectó que el conductor de cobre ( que es el subensamble que llega al proceso de extrusión sea en forma de alambre sólido o de cuerda ) presentaba desviaciones dimensionales en su diámetro, particularmente las cuerdas de muchos hilos, y eran muy frecuentes las roturas de la cuerda durante el proceso de extrusión porque el conductor se atoraba en la "guía" de la

"cabeza" de la extrusora, sobre todo cuando la línea trabajaba a altas velocidades. Esto provocaba desperdicio y tiempos muertos significativos porque reiniciar el proceso toma hasta una hora. Antes de iniciar la modernización de la línea de extrusión, se analizó este problema, y se detectó que las cableadoras o "bunchers" que fabricaban las cuerdas no podían entregar un material confiable, porque eran máquinas cuyas condiciones las hacían prácticamente inoperantes. Se procedió a sustituir todos los "bunchers" por máquinas nuevas y modernas en su tecnología.

Se instalaron y el problema de las cuerdas se solucionó.

Si se hubiera modernizado y automatizado la línea de extrusión sin solucionar el problema de las cuerdas, no se hubieran dado los resultados esperados.

Este ejemplo, es solo una muestra de la importancia que se debe dar a los procesos previos al que se pretende automatizar, y se reitera que los problemas de las materias primas y subensambles requieren ser solucionados antes de iniciar una automatización.

#### IV.2.2 Maquinaria y procesos de fabricación.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, la automatización no es la medicina que soluciona todos los problemas de un proceso. Si existe alguno la automatización casi siempre lo agrava.

La automatización tampoco es la mejor alternativa para todos los procesos de fabricación por su relación costo/beneficio.

Para decidir la prioridad de los procesos a automatizar se deben considerar aspectos tales como la peligrosidad del proceso, la seguridad de que se contará con materias primas y subensambles de calidad consistente, el ahorro esperado en mano de obra, los posibles beneficios cuantitativos y cualitativos en la producción entregada, la vigencia tecnológica y comercial del proceso y los productos, y finalmente que se considere la modernización o sustitución de la maquinaria y equipos según corresponda, previamente a la realización de la automatización.

Si la presión del tiempo es mucha, es posible realizar la modernización y automatización en forma paralela. Únicamente deberá ponerse especial énfasis en el cumplimiento preciso de los programas de trabajo desarrollados para el efecto. Los calendarios que se asignan para actividades de modernización o automatización no deben hacerse exageradamente optimistas. La gran cantidad de variables que involucran este tipo de actividades hacen difícil un cumplimiento preciso si los tiempos asignados son muy ajustados, por lo que se recomienda establecer calendarios realistas e incluso con algún margen de seguridad razonable. El arranque de una máquina nueva, modernizada o automatizada lleva consigo algún o algunos imprevistos la mayor parte de las veces.

La especificación técnica de los trabajos de modernización o automatización debe ser lo mas detallada e inequívoca posible. Todo el tiempo y trabajo que se dedique a esta actividad se paga con creces al momento de instalar y arrancar los equipos, porque se evitan muchas sorpresas

desagradables por sobre entendidos o malentendidos.

Un plan de modernización no debe darse sin tomar en cuenta un plan de automatización. Un plan de automatización no puede darse sin un plan de integración vertical a los sistemas administrativos. Por ejemplo, si se tiene considerado modernizar una línea de producción en un tiempo X, y automatizarla en un tiempo 2X e integrar la línea automatizada a los sistemas administrativos en un tiempo 3X, desde el tiempo cero, ya se debe haber decidido no solo la modernización, también la arquitectura de la automatización y de la integración a los sistemas administrativos. Si bien esta es una actividad compleja será siempre benéfica, pues los problemas de comunicaciones y compatibilidad de equipos se resolverán antes de invertir, y así la seguridad de la inversión será mucho mayor.

Una fábrica de cables decidió automatizar 2 de sus líneas de extrusión hace aproximadamente 2 años. Hizo el desarrollo internamente, y el resultado fue encomiable. Si bien la automatización se limitaba al control de las temperaturas de las extrusoras, el costo del trabajo fue mínimo. Una vez concluido el proyecto se decidió integrar las líneas al ordenador central y allí comenzaron los problemas pues no se logró comunicar el PLC con la computadora, por incompatibilidad en sus protocolos de comunicación. Se buscaron alternativas como el desarrollo de un modem, pero se concluyó que el esfuerzo necesario sería demasiado costoso en tiempo y dinero como para que valiera la pena. Era mas barato cambiar los PLC's completos que desarrollar un modem. El

proyecto finalmente fue abandonado.

Esta misma fábrica ha adquirido un nuevo ordenador central, y desde el momento de su compra se verificó la factibilidad de la comunicación con la marca de PLC's estandarizada, tanto al ordenador central como a las PC's del nuevo proveedor.

Finalmente, se reitera que la automatización de un proceso no debe tener la expectativa de que la productividad será mayor por el hecho de realizarla. Los mejores resultados productivos que se obtienen trabajando "en manual", serán también el tope productivo del proceso automatizado. La pretensión de la automatización va en el sentido de la consistencia en los resultados del proceso tanto en cantidad como en calidad. Y desde este punto de vista si será posible esperar una mejora respecto a los resultados del proceso antes de la automatización.

#### IV.2.3 Identificación y movimiento de materiales en proceso.

La identificación y el conocimiento de la ubicación de las materias primas y subensambles cuando se encuentran entre algún proceso de la fabricación, han sido generalmente problemáticos y poco precisos en muchas fábricas de todo tipo.

Al considerarse la integración de la maquinaria a los sistemas administrativos de una fábrica, es posible también considerar la integración de la identificación y conocimiento de la ubicación de las materias primas y subensambles dentro

de la fábrica durante las distintas fases del proceso de fabricación. Si el espacio disponible entre las máquinas o fases del proceso es suficiente, es posible redefinir la utilización de las zonas destinadas al almacenaje intermedio de los subensambles y materias primas. Normalmente son zonas marcadas con líneas en el piso, o estanterías. Allí se disponen estos materiales en algún orden específico o simplemente se acomodan al azar. Cuando se requiere conocer el inventario en proceso, se debe recurrir al conteo físico. Esta actividad, dependiendo de la complejidad de la fábrica, es laboriosa y normalmente no se realiza con la frecuencia necesaria para mantener un correcto control de las operaciones. Si vía la integración de la maquinaria a los sistemas administrativos se cuenta ya con terminales sea en las máquinas o cerca de ellas es relativamente sencillo proceder como sigue:

Es posible imaginar las estanterías como una matriz bidimensional o tridimensional según sea el caso. Se puede asignar una ubicación a cada casilla mediante números o combinaciones de números y letras secuenciales ( Por ejemplo A1,A2,A3,B1,B2,B3, etc...). A cada casilla, celda o célula se le coloca un letrero visible con su identificación. Se desarrolla un sencillo sistema en la computadora donde se reproduzca la matriz con sus ubicaciones. Cuando se pretenda colocar un material en una casilla, se deberá recurrir a la computadora para que ésta asigne la ubicación ( La computadora puede asignar la ubicación al azar o en base a reglas que se hayan preconcebido como parte del programa ),

el operador indicará a la computadora el tipo de material y cantidad, conservando la computadora esta información como una base de datos. Cuando se utilice el material almacenado en esa ubicación, el operador deberá indicar a la computadora que borre esa ubicación. Si se requiere conocer el inventario en proceso en cualquier momento, simplemente se consulta la base de datos. El sistema es simple y bastante efectivo. Obviamente su efectividad irá en función de la precisión con que sean introducidos y dados de baja los datos.

Para simplificar mas las operaciones de captura de información en la computadora, se pueden introducir tarjetas de identificación de productos con código de barras. Así, para cargar la información en la computadora y evitar errores y tiempo de captura, se utilizaría una pistola o un lápiz óptico conectado a la computadora.

Para los espacios designados con líneas en el piso, simplemente se requiere cuadrricularlos e identificarlos con su código y ubicación, y proceder de igual manera que la mencionada para el caso de las estanterías.

Con respecto al movimiento de los materiales, se reitera que al menos en el caso de la fabricación de cables, no se justifica económicamente por el momento la utilización de robots en nuestro país, y siguen siendo válidas las soluciones como polipastos, montacargas eléctricos o de combustión interna, etc... Si bien también se reitera que si como parte de la modernización/automatización se compra maquinaria nueva o se hacen modificaciones al "lay-out" de la

fábrica, se debe considerar una futura integración de robots.

#### IV.2.4 Identificación, medición, control y registro de las variables críticas.

Cuando se plantea la posibilidad de conocer un proceso en prácticamente todas sus variables ( Todas aquellas que es posible medir ) en tiempo real y con la posibilidad de controlar muchas de ellas en forma automática, se puede incurrir fácilmente en pretender obtener cientos de reportes y gráficas de control con la buena intención de conocer absolutamente toda la historia de la fabricación de un producto. El resultado puede ser un altero de papeles que nadie tiene tiempo de revisar. Por ello es muy importante analizar cuáles son las variables críticas del proceso, y una vez determinadas proceder a la adquisición de instrumentos que las midan, registren, y si es posible, hasta que las controlen.

Por ejemplo, al analizarse el proceso de extrusión en las reuniones donde se definió el PGM de la fábrica, el departamento de calidad puso una lista impresionante de variables para iniciar el control estadístico del proceso en esa área. Al concluir la reunión, quedaron definidas 4 variables únicamente, en base a lo críticas que resultan en el proceso de extrusión:

a) Diámetros de conductor, aislamientos y cubiertas. Se medirán, monitorearán, controlarán automáticamente, y se

registrarán.

b) Espesores de aislamientos y cubiertas. Se medirán, monitorearán, controlarán automáticamente y se registrarán.

c) Fallas de voltaje. Se medirán, monitorearán y registrarán.  
( No existe manera de controlarlas )

d) Irregularidades súbitas y puntuales en las dimensiones de aislamientos y cubiertas. Se medirán monitorearán y registrarán.

Se determinó que se emitiría un reporte de estas variables con sus gráficas de comportamiento, máximos, mínimos y promedios para cada bobina de cable que produzca la línea.

Se concluyó que el historial del comportamiento de las temperaturas de las distintas zonas de las extrusoras a lo largo del período de tiempo de la fabricación de un producto, si bien podría ser muy interesante, no era algo crítico y que realmente se pudiera analizar para cada fabricación. Lo mismo sucedió con las corrientes de los motores, la temperatura del precalentador, etc...

#### IV.2.5 Programación y control de producción.

Si se cuenta con terminales conectadas al ordenador central en las máquinas o cerca de ellas y/o con instrumentos en las

máquinas o líneas de producción que se comunican al PLC y éste a su vez a una computadora conectada al ordenador central, es sencillo mostrar en la pantalla del operador el programa de fabricación, para que éste antes de concluir una orden o lote pueda saber qué es lo que debe producir después y se prepare para ello. Para control de producción, el operador indica al sistema cuánto y qué producto fabricó o los instrumentos mismos de la máquina pueden retroalimentar directamente al sistema. En función de las características de los programas de la computadora será también relativamente simple retroalimentar al sistema con información de tiempos muertos y sus causas, nombre del operador, hora de inicio, hora de terminación, etc...

#### IV.2.6 Selección de sistemas y arquitecturas

Tanto las grandes ordenadores como las arquitecturas y redes de comunicación son "trajes a la medida" para cada fábrica. Sería difícil definir una arquitectura "universal" para integrar la maquinaria y los sistemas administrativos de cualquier fábrica. Para empezar, dependiendo del fabricante del ordenador central será posible desarrollar X o Y arquitectura. Dependiendo del fabricante de los PLC's también será posible desarrollar diversas arquitecturas, y asimismo la arquitectura estará condicionada por la cantidad de información, número de máquinas, procedimientos internos, preparación del personal que tendrá acceso a los sistemas, presupuesto disponible, posibilidades de expansión futura de

la fábrica, etc...

La recomendación que prevalece en este sentido es que antes de adquirir los sistemas se verifique la compatibilidad entre los mismos y se diseñe la arquitectura que tendrá la red de información, que se definan el o los protocolos de comunicación y el estándar del sistema de código de barras, que se analice la vigencia tecnológica de los sistemas, el soporte técnico de los proveedores, la rapidez de respuesta para problemas, las facilidades para capacitar al personal de la fábrica y la flexibilidad para modificaciones o expansiones futuras, como aspectos mas importantes.

## CONCLUSIONES

La modernización de líneas de extrusión de termoplásticos destinadas a la fabricación de cables para la industria de la construcción resulta ser una alternativa favorable en relación a la adquisición de líneas nuevas completas, con resultados productivos comparables. El costo de la modernización expuesta en este trabajo fue del orden de los 300,000 USD que representan una fracción de lo que cuesta una línea nueva comparable cuyo costo oscila entre 1,000,000 y 2,500,000 USD.

La incorporación de los Controladores Lógicos Programables en las líneas de extrusión incrementa drásticamente la confiabilidad del proceso, permite fabricar con una calidad mas consistente y facilita la operación de la línea. Además la detección y corrección de fallas en los equipos e instrumentos que integran la línea se puede realizar en forma rápida. Si después de modernizar la línea se decide automatizar su operación, el contar con un PLC que la controla facilita grandemente el trabajo de automatizarla.

La incorporación de motores de corriente directa y gobernadores digitales en las extrusoras, "capstan" de tiro y enrolladores tiene beneficios inmediatos en la consistencia de las dimensiones de los cables fabricados, y la integración al PLC de estos dispositivos se simplifica.

La incorporación de medidores/controladores de diámetros/espesores así como de probadores de arco de voltaje

y detectores de irregularidades en las líneas de extrusión tienen efectos directos en la optimización del contenido de PVC y/o nylon en los cables, así como en la confiabilidad de la calidad de los cables producidos en estas líneas.

La automatización del proceso de extrusión basada en la interconexión del PLC a una computadora personal de tecnología actual y enlazar ésta a su vez a la red del ordenador central de la fábrica es la alternativa mas apropiada para el caso analizado, por su relación costo/rendimiento.

La implantación del Control Estadístico del Proceso se simplifica con la incorporación a la línea de los PLC's, medidores/controladores de diámetros/espesores, probadores de arco de voltaje y detectores de irregularidades que vía el PLC se enlazarán a la computadora personal donde reside el programa para el manejo de los registros y reportes necesarios para CEP.

La integración de la maquinaria al ordenador central de la fábrica simplifica y agiliza el manejo de la información, que redunde en una gestión mas eficiente de las operaciones de programación y control de producción así como para el manejo de los inventarios en proceso.

Antes de iniciar la automatización de un proceso es indispensable modernizarlo previamente ( en base a la

definición del concepto de "modernizar" expuesto en el capítulo III), así como garantizar que sus insumos ( materias primas y subensambles ) sean cualitativa y cuantitativamente consistentes. La automatización no reportará ningún beneficio si no se realizan estas actividades como paso previo. El beneficio de la automatización de las línea de extrusión es el incremento de la consistencia de la calidad y de la consistencia de la productividad del proceso.

## BIBLIOGRAFIA

## LIBROS:

WAI. Electrical Wire Handbook. Guilford, Connecticut; USA. The Wire Association International, Inc., 1983. PP. 31-58, 57-71, 125-159, 159-171, 203-211, 247-257.

Considine, Douglas M.. Process Instruments and Controls Handbook. Third Edition. McGraw-Hill Book Company; USA, 1985. PP. 18.5-18.116, 17.7-17.174.

## ARTICULOS PUBLICADOS EN REVISTAS:

Sandt, Axel. "Automation in Cable Manufacturing". The Wire Journal International, October 1990, pp. 22-28.

Biesiada, Joseph E. "Digital adjustable speed drives". Wire Technology International, January 1991, pp. 32-34.

## PUBLICACIONES DE FABRICANTES DE MAQUINARIA Y EQUIPOS:

Davis Standard. "Know your Extruder". Pawcatuck, Connecticut, USA. Davis Standard, Division of Crompton & Knowles Corp.

Zumbach. "Instrumentation for tandem extrusion lines, insulating process of THHN and similar products". ( USA version ). Mount Kisco, New York, USA. Zumbach Electronics Corp.

Asimismo, se utilizaron como referencia folletos, especificaciones técnicas, cotizaciones y manuales de operación de maquinaria, equipos e instrumentos de los siguientes fabricantes: ( No se mencionan los detalles de los documentos consultados para proteger el carácter confidencial de la tecnología manejada por los fabricantes de cable nacionales y extranjeros involucrados ).

Davis Standard, Nokia-Maillefer, Swisscab, Rosendahl, Cerrini, De Angelli, HES Electronic Systems, Asea-Brown Boveri, Zumbach Electronics, Beta Instruments, Sikora Industrieelektronik, Reliance Electric, Siemens, Allen Bradley, Eurotherm Corporation, West Instruments, Telemecanique, Hewlett Packard e IBM.