

**AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UNA EXTRUSORA PARA LA
PRODUCCIÓN DE TUBERÍAS DE PVC (Polyvinyl Chloride)**



**RODOLFO JOSÉ MEJÍA MEZA
LUIS GUILLERMO RICARDO RICARDO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.**

2016

**AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UNA EXTRUSORA PARA LA
PRODUCCIÓN DE TUBERÍAS DE PVC (Polyvinyl Chloride)**

**RODOLFO JOSÉ MEJÍA MEZA
LUIS GUILLERMO RICARDO RICARDO**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Automatización y Control de Procesos Industriales**

Directores del proyecto:

**Jorge Eliécer Duque Pardo, Ph. D
Ingeniero Electricista**

**José Villa Ramírez, Ph. D
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.**

2016

Nota de Aceptación

Firma del Director del Programa

Firma del Evaluador

Firma del Evaluador

Cartagena de Indias, 8 de Julio de 2016

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. MARCO TEÓRICO.....	14
3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	14
3.1.1. Proceso de extrusión.....	14
3.1.2. Requerimientos instrumentación.....	19
3.1.3. Controlador Lógico Programable.....	33
3.1.4. Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA).....	34
3.1.5. Elementos del bus de campo.....	42
3.1.6. Red de comunicación.....	42
3.2. ESTADO DEL ARTE.....	44
4. METODOLOGÍA.....	47
4.1. TIPO DE PROYECTO.....	47
4.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	47
4.2.1. Fuentes de información primaria.....	47
4.2.2. Fuentes de información secundaria.....	48
5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	49

5.1. ESTUDIO TÉCNICO.....	49
5.1.1 Selección de la instrumentación.....	49
5.1.2. Selección del PLC.....	51
5.1.3. Selección del software de adquisición, elaboración de la HMI y selección de las comunicaciones.....	53
5.2. ESTUDIO DE MERCADO.....	56
5.3. ESTUDIO FINANCIERO.....	57
6. CONCLUSIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Formulación típica de aditivos y proporciones usados en la fabricación de tuberías de alcantarillado	14
Tabla 2. Comparación entre diferentes transductores de presión.....	23
Tabla 3. Comparación entre varios tipos de sensores de temperatura.....	27
Tabla 4. Especificaciones de extrusora actual.....	49
Tabla 5. Requerimientos para el controlador.....	51
Tabla 6. Especificaciones técnicas del PLC.....	52
Tabla 7. Entradas y salidas del autómeta.....	53
Tabla 8. Cálculo del presupuesto del proyecto.....	57

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mezcladores de aditivos del PVC.....	16
Figura 2. Tipos de mezcladores alternativos, con deflector cambiable y puerta de descarga giratoria.....	17
Figura 3. Procedimiento de mezclado de acuerdo a transformadores de compuestos de PVC.....	19
Figura 4. Presión, flujo, y dimensiones como funciones del tiempo.....	21
Figura 5. Presión, flujo, y dimensiones como funciones del tiempo.....	24
Figura 6. Transductor de tipo capilar (izquierda) y vástago de empuje (derecha).....	24
Figura 7. Termistores.....	26
Figura 8. Esquema de un termopar.....	26
Figura 9. Varias configuraciones de termocuplas.....	27
Figura 10. Forma general del husillo o tornillo sinfín de una extrusora.....	29
Figura 11. Extrusora de un husillo para PVC, CK-S120, CK-S50.....	49
Figura 12. Termocupla tipo J.....	50
Figura 13. Transductor de presión óptico tipo melt.....	51
Figura 14. Vista del controlador con CPU 315-2 PN/DP.....	53
Figura 15. Plantilla de inicio para el HMI elaborado.....	54
Figura 16. Registro de alarmas y eventos para el HMI elaborado.....	55
Figura 17. Visualización de tendencias en el HMI para el proceso de extrusión.....	55
Figura 18. Registro de ficheros en el HMI para el proceso de extrusión.....	56

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo diseñar el sistema de automatización y control del proceso de extrusión de tuberías de PVC, mediante el planteamiento de metodologías que permitan la aplicación de tecnologías adecuadas para este sistema, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento y seguridad del equipo. Primeramente, se seleccionaron los instrumentos de medición y control que se ajustaban a los requerimientos del proceso y del equipo, determinándose como los más ajustables termocuplas tipo J para la medición de temperatura y transductores de presión ópticos tipo melt para la medición de presión. Se establecieron como estrategias de control más convenientes para para la operación y funcionamiento del sistema automatizado el control PID en la extrusora. Seguido, se realizó la estructuración de la plataforma de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA, por sus siglas en inglés) y se permitió la comunicación entre el HMI y el controlador; la interfaz fue elaborada con Win CC Flexible y las redes industriales se comunicarán mediante el protocolo Modbus. A continuación, se seleccionó el controlador lógico programable l sistema de control usando el software de automatización de Siemens, Simatic S7-300. Finalmente, se realizó el estudio de factibilidad de la implementación del nuevo sistema de control y automatización; los resultados mostrarán que hay un mejoramiento en la producción de tuberías de PVC y una disminución del consumo energético asimismo del material desperdiciado.

Palabras claves: Control, automatización, extrusión, PVC, selección, instrumentación, estrategias, supervisión, adquisición datos, comunicación, SCADA, HMI, controlador software, PLC, factibilidad.

ABSTRACT

The main goal of this project is to design automation system and process control extrusion PVC pipe, using the approach of methodologies for the application of appropriate technologies for this system in order to ensure proper operation and safety of the equipment. First, measuring instruments and control conform to the requirements of process and equipment, determined as the most adjustable J thermocouples for measuring temperature and pressure transducers melt optical type for pressure measurement. They were established as strategies most appropriate control for the operation and functioning of the automated system PID control in the extruder. Next, the structure of the platform supervisory control and data acquisition (SCADA, for its acronym in English) was performed and the communication between the HMI and the controller is enabled; the interface was developed with WinCC flexible and industrial networks communicate using the Modbus protocol. Then the power and control plans were developed, and from these the operation of the control system using automation software Siemens Simatic S7-300 scheduled. Finally, the feasibility study of the implementation of the new control system and automation was performed; he results showed that no improvement in the production of PVC and a decrease in energy consumption also wasted material.

Keywords: *Control, Automation, extrusion, PVC, selection, implementation strategies, monitoring, data acquisition, communication, SCADA, HMI, controller software, PLC, feasibility.*

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se evaluará y comparará el sistema de automatización propuesto para el control del proceso de extrusión de tuberías de PVC, tomando en cuenta que para funcionar de forma correcta y garantizar las condiciones de seguridad necesarias se aplicarán las tecnologías apropiadas. Se seleccionarán los instrumentos y equipos de medición y control, cuyas especificaciones estarán basadas en criterios tales como: características y condiciones del ambiente físico; requerimientos de operación. Para establecer las estrategias de control indicadas se desarrollará una estrategia preliminar de automatización, que concuerde con el grado de automatización requerido y considerando un conjunto de opciones de las que se seleccione la más razonable. Por otra parte, los elementos del sistema de automatización (HMI, PLC, sensores/transductores) se comunicarán entre sí a través de los protocolos de comunicación correspondientes; en adición, la plataforma de HMI y el PLC necesitarán la elaboración de una plataforma SCADA. En la siguiente etapa se hará un estudio de factibilidad de la implementación del sistema de automatización, apoyándose en herramientas como análisis de costo/beneficio, retorno de la inversión, viabilidad continuada del proyecto, entre otras. Por último, se desarrollará y probará la programación o configuración de control del sistema automatizado de acuerdo con los documentos de diseño para reunir los requerimientos de funcionamiento.

En este trabajo no se realizarán las etapas de implementación, operación y mantenimiento del proyecto; sí se describirán las técnicas con que se podrían llevar a cabo.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La extrusora empleada hoy día en esta empresa es un equipo que fue desechado, y no cuenta con un sistema de control que garantice la buena operación de la misma. En consecuencia, se presentan los siguientes problemas:

- ✓ Excesiva generación de scraps (o residuos)
- ✓ Consumo energético por encima del establecido
- ✓ Inestabilidad en el proceso (presión, temperatura y output)
- ✓ Degradación del producto por secciones quemadas

Perspectiva: Desarrollo del proceso

Se observó que los sensores de temperatura no miden directamente esta variable en el material fundido, sino que están ubicados en las resistencias que calientan el cilindro de extrusión con el fin de reducir tiempos muertos de lectura de temperatura en el sistema. Este es un error grave ya que el mayor gradiente de temperatura en una extrusora se da en el eje radial ($50^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ aprox), y se omite la lectura del calor de cizalla, en consecuencia se puede afirmar que ésta es la principal causa por la que se sobrecaliente el polímero.

Además, se determinó que había una disminución en la presión de fundición del material ocasionando un producto no uniforme e inapropiada dosificación del material. En la zona de dosificación de una extrusora es donde el plástico fundido alcanza la consistencia y presión requeridas para extrusión, es decir, se homogeneiza. Mediante el monitoreo de la presión de fundición se puede observar qué tan estable o inestable es un proceso típico de extrusión; se encuentra en la literatura que un cambio del 1% en dicha presión genera una variación aproximada del 3% en las características del producto, siendo aproximado al que se presenta en este estudio.

Perspectiva: Automatización

El proceso no cuenta con un sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que permitiera el monitoreo y registro en tiempo histórico.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Dentro de los procesos industriales, actualmente se encuentran máquinas para diferentes aplicaciones con controles manuales, semiautomáticos y automáticos. La tendencia en la industria es hacer más eficientes sus procesos de producción mediante la automatización.

En el presente trabajo se lleva a cabo la solución a la problemática existente en el proceso de extrusión, que se automatizará por medio de un PLC (Programmable Logic Controller, por sus siglas en inglés), logrando con esto una máquina de bajo costo con tecnología que esté al alcance de la pequeña y mediana industria. Lo anterior se realizará con el fin de garantizar el óptimo funcionamiento de la extrusora y la calidad de su proceso.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer el sistema de automatización y control del proceso de extrusión de tuberías de PVC, mediante el planteamiento de metodologías que permitan la aplicación de tecnologías adecuadas para este sistema, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento y seguridad del equipo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Seleccionar los instrumentos de medición y control que se ajusten a los requerimientos del proceso y del equipo.
- ✓ Establecer las estrategias de control convenientes para la operación y funcionamiento del sistema automatizado.
- ✓ Seleccionar el controlador lógico programable que permita la automatización del proceso.
- ✓ Permitir la comunicación entre el HMI y el controlador, a través de la estructuración de la plataforma de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).
- ✓ Realizar el estudio de factibilidad de la implementación del sistema de automatización.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Proceso de extrusión

El proceso de producción de tuberías de PVC se puede dividir en las siguientes etapas:

- 1) Recepción y Almacenamiento de las materias primas
- 2) Mezclado de los aditivos
- 3) Extrusión
- 4) Calibración y enfriamiento de la tubería
- 5) Corte de la tubería y control de calidad del producto terminado
- 6) Almacenamiento y despacho de las tuberías

Recepción Y Almacenamiento De Las Materias Primas: En esta etapa se reciben los aditivos o materias primas necesarias para realizar las diferentes tuberías (Tubería a Presión, Tubería Sanitaria y Ventilación, Corrugadas, Conduit, entre otras). Los aditivos indispensables para la producción de tuberías son: Resina de PVC, Estabilizantes, Lubricantes, Relleno (CaCO_3). La Tabla 1 muestra una formulación típica de los aditivos y proporciones utilizados en la fabricación de tuberías para alcantarillado, sobre la cual se trabajó en este proyecto.

PRODUCTO: TUBERIA PARA ALCANTARILLADO		
FUENTE: R&H	Doble tornillo	
COMPONENTE	phr	Estado
PVC440	100	Polvo
Advastab TM-694	0,4	Liquido
Estearato de Calcio	0,8	Polvo
Cera Parafínica 165oF	1,2	Cera
Polietileno Oxidado	0,1	Cera
Paraloid K120ND	0,75	Polvo
TiO₂	1	Polvo
CaCO₃	5-30	Polvo

Tabla 1. Formulación típica de aditivos y proporciones usados en la fabricación de tuberías de alcantarillado

De esta información se puede observar que las materias primas con mayor volumen son la resina de PVC y el Carbonato de Calcio. Por su mayor volumen y facilidades de proceso, la resina de PVC y Carbonato de Calcio se almacenan en silos de gran tamaño y de aquí son transportadas por un sistema neumático a los mezcladores.

Mezclado de los Aditivos: Con la excepción de algunas cantidades de aditivos líquidos o sólidos con bajo punto de fusión, el mezclado del PVC rígido consiste en dispersar tan uniformemente como sea posible los aditivos en polvo. El roce de las partículas sólidas frágiles o aglomeraciones de partículas (ej.: Carbonato de Calcio y Sulfato de Plomo Tribásico) juegan un rol importante en la uniformidad de la mezcla. Las superficies libres creadas de partículas de PVC (las cuales se rozan en menor grado que las partículas más frágiles) y las capas de lubricantes son reclamadas para mejorar la unión de los rellenos de carbonato de calcio al polímero. Esto explica por qué se utilizan mezcladores con velocidades altas e intermedias en las formulaciones de PVC rígido.

Los procedimientos para el *dry-blending* de PVC rígido son variados. En el proceso de mezclado de los aditivos de las formulaciones se utilizan los mezcladores tipo turbo. Estos mezcladores son muy versátiles y trabajan a relativamente altas velocidades, 700 a 2000 rpm. Algunos equipos tienen rangos variables de velocidad.

El principio de estos mezcladores es usar una rápida rotación logrando con esto que la mezcla se vea como un espiral alrededor del eje del recipiente sumándole a esto la fuerza gravitacional creando así un movimiento tipo vórtice en el lecho de la mezcla, como se puede observar en la gráfica siguiente. De esta forma, las partículas chocan entre sí, con las paredes del recipiente y con las aspás del agitador. Esto provoca un calentamiento en la mezcla sin necesidad de calor extra. Sin embargo, existen algunos diseños que se pueden conseguir comercialmente con camisa para calentamiento y de esta forma disminuir el ciclo de mezclado.

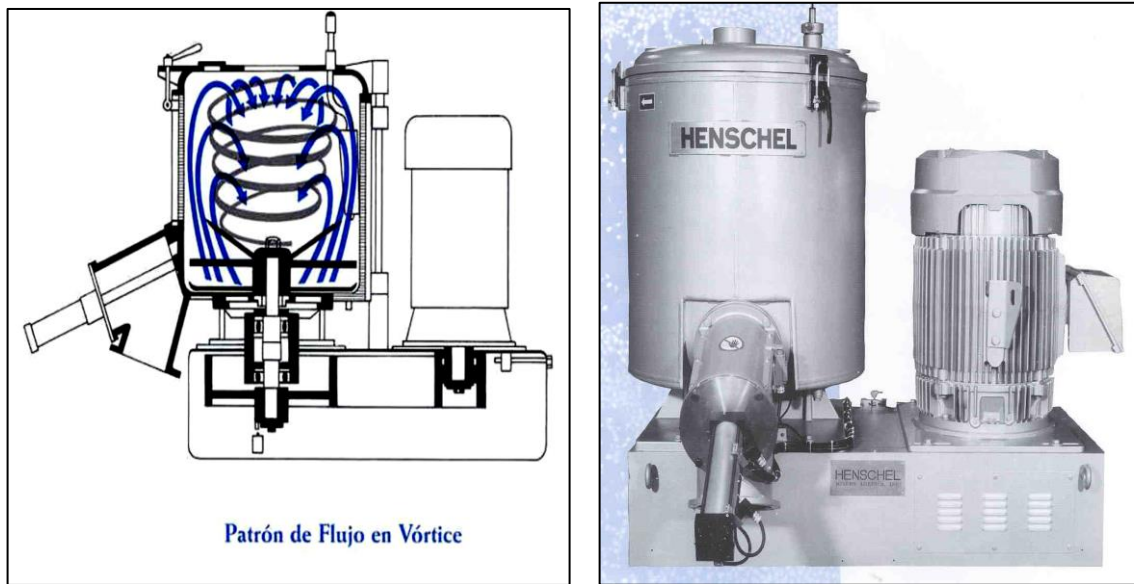


Figura 1. Mezcladores de aditivos del PVC

La alta velocidad del mezclado cumple con dos aspectos importantes. Primero, habilidad para desaglomerar (en el caso de los aditivos que lo requieran), distribuir e integrar todos los aditivos. Segundo, elevar dramáticamente la temperatura de la carga. Esto es una herramienta de proceso que puede ser controlada por velocidad de las aspas y por el sistema de calentamiento del cual consta el mezclador (camisa), cuando se justifique económica y operacionalmente.

La limpieza es importante en este proceso, por lo cual el interior de los mezcladores tiene un pulido tipo espejo evitando de esta forma acumulación de material en las paredes del mezclador. En algunos casos, para facilitar la limpieza, estos mezcladores están equipados con puertas de descargas giratorias y deflectores removibles

Las características de un mezclador de alta velocidad son:

- ✓ Capacidad útil de mezclado. Depende del tipo de compuesto
- ✓ Interior de acero inoxidable altamente pulido. Previene la acumulación en las paredes del mezclador ayudando de esta forma a un limpiado fácil. Ver gráfico.
- ✓ Patrón de flujo en vórtice. Garantiza una distribución e integración uniforme de los aditivos en la mezcla.
- ✓ Chaqueta para calentamiento de la carga, cuando sea económicamente justificable.

- ✓ Deflectores. Su posición evita giro centrífugo y genera vórtice hacia el centro durante el ciclo de mezcla.
- ✓ Puerta de descarga al contorno de baja ubicación. Con este diseño se garantiza una descarga completa.
- ✓ Controlador de temperatura de la carga.
- ✓ Monitor del amperaje.

Existen otras características en estos tipos de mezcladores las cuales son opcionales:

- ✓ Puerta de descarga giratoria.
- ✓ Deflector cambiable.
- ✓ Diseños especiales para vacío o extracción de gases (Evitar condensación).
- ✓ Motor de velocidad variable.

En este proceso es muy conveniente eliminar los aglomerados ya que estos pueden sobrevivir las etapas de mezclado y las acciones de corte durante el procesamiento y manifestarse en el producto final como imperfecciones. Esta es una de las causas que explica el porqué de los mezcladores de alta velocidad son los más utilizados en procesos de mezclado.

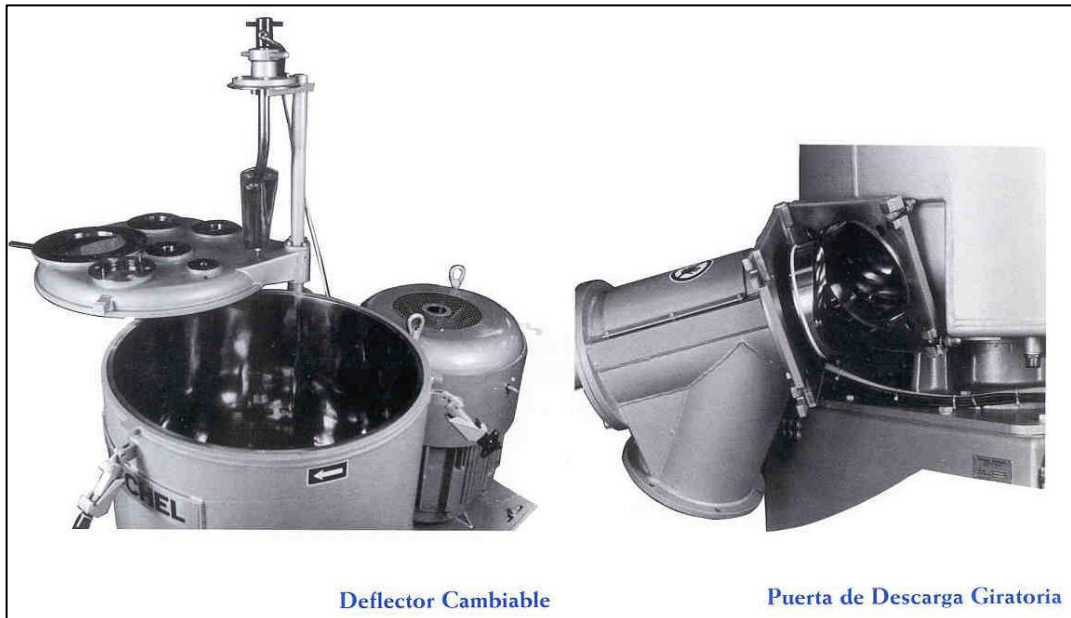


Figura 2. Tipos de mezcladores alternativos, con deflector cambiable y puerta de descarga giratoria

Como se mencionó anteriormente, este proceso de mezclado involucra alta velocidad, p.e. 1800 rpm, de mezclado a relativamente altas temperaturas, p.e. 110oC, logrando con ello lo siguiente:

- ✓ Eliminar cualquier posible humedad presente en la carga.
- ✓ Sobre todo, uniforme distribución e integración de los aditivos de la formulación con la partícula de PVC. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado ya que a estas relativas altas temperaturas la mezcla seca tiene tendencia a aglomerarse. Por lo tanto, es necesario enfriar la mezcla antes de enviarla a almacenamiento. Con esto se previene la compactación (debido a que algunos de los ingredientes de la formulación, como el PVC y las ceras, se comienzan a fundir) y se evita la degradación térmica. Para tal enfriamiento existen mezcladores-enfriadores que garantizan un total enfriamiento de la carga proveniente del mezclador de alta velocidad.

Los mezcladores-enfriadores son básicamente equipos de baja velocidad, 50-400 rpm, construidos en acero inoxidable y constituido de una chaqueta para enfriamiento a través de toda el área seccional del recipiente como también de su fondo.

La simplicidad del diseño de estos equipos, disminuyen el peligro de contaminación de la carga debido a la acumulación de cargas anteriores.

Normalmente los fabricantes de los mezcladores ofrecen los mezcladores de alta velocidad y los mezcladores-enfriadores como un solo paquete.

Algunas de las características principales de este tipo de equipos se enumeran a continuación:

- ✓ Capacidad útil de enfriamiento. Generalmente 2-3 veces la carga del calentador.
- ✓ Interior de acero inoxidable altamente pulido. Previene la acumulación en las paredes del mezclador ayudando de esta forma a un limpiado fácil.
- ✓ Chaqueta para enfriamiento de la carga. Mucho enfriamiento sin carga produce condensación y humedad en el compuesto, el suministro de agua solo debe darse mientras el enfriador esté lleno

- ✓ Control de temperatura de la carga.
- ✓ Motor de velocidad variable, cuando sea económicamente viable.

PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO VALIDADO POR LA EXPERIENCIA DE TRANSFORMADORES DE COMPUESTOS DE PVC.		
TEMPERATURA DE ADICION, °C.	INGREDIENTE A ADICIONAR.	MEZCLE HASTA, °C.
1. Temperatura ambiente.	Resina de PVC.	60 °C . Velocidad del mezclador: 900-1800 rpm.
2. 60 °C.	Estabilizador térmico.	85 °C.
3. 85 °C.	Ayuda de proceso y lubricantes (estearatos y ceras).	100 °C.
4. 100 °C.	Polvos no lubricantes (modificador de impacto, cargas y pigmentos).	110 °C.
5. 110 °C.	Descargue en el mezclador-enfriador.	Enfríe hasta 50 °C. Velocidad del mezclador: 45-60 rpm. Temperatura del agua de enfriamiento: 11-12 °C.

Figura 3. Procedimiento de mezclado de acuerdo a transformadores de compuestos de PVC

3.1.2. Requerimientos de instrumentación

Desde el punto de vista de hardware, la instrumentación en el proceso de extrusión es uno de los componentes más críticos de la máquina. La razón de esto es que los trabajos internos de una extrusora son ocultados por el barril. En muchos casos, la única observación visual que se puede realizar es la del extruido saliendo del dado. Cuando un problema es percatado en el extruido, es difícil detectar la procedencia y localización del problema. La instrumentación hace posible determinar que está sucediendo dentro de la extrusora.

Una buena instrumentación permite el monitoreo continuo de los “signos vitales” de la extrusora. Los signos vitales son presión, temperatura, potencia, y velocidad. Estos parámetros de proceso importantes necesitan ser medidos para el control del proceso,

además son de gran importancia para la solución de problemas. Un mínimo set de instrumentos debe incluir:

1. Presión en el cabezal del dado antes y después de la malla.
2. Velocidad rotacional del tornillo
3. Temperatura del polímero fundido en el dado
4. Temperaturas a lo largo del barril y el dado
5. Rata de enfriamiento en cada zona de calor
6. Consumo de potencia de cada zona de calor
7. Consumo de potencia del motor
8. Temperatura de enfriamiento del agua en la tolva de alimentación
9. Rata de flujo del agua de enfriamiento en la tolva de alimentación

Este es un requerimiento mínimo. En muchos casos medidas adicionales son requeridas. En algunos casos el vacío en la zona de venteo debe ser monitoreada continuamente. De igual forma, la temperatura del fundido requiere ser medida en varias ubicaciones, dentro y fuera del dado para determinar la distribución de la temperatura del fundido.

Estos parámetros están relacionados solo con la extrusora. Sin embargo, hay muchos más parámetros para la línea de extrusión. Parámetros importantes en una línea de extrusión son:

1. Velocidad del halador
2. Dimensiones del producto
3. Rata de enfriamiento y/o temperatura del agua de enfriamiento
4. Tensión en la línea

Muchos otros factores pueden influenciar el proceso de extrusión como la temperatura ambiente, humedad relativa, corrientes de aire alrededor de la extrusora, variación de voltaje de la planta, entre otras.

Un sistema de instrumentación incompleto puede obstaculizar severamente la resolución de problemas en una línea de extrusión. Cuando resulta un problema de producto fuera de calidad o inactividad, es muy importante encontrar la causa del problema rápidamente

debido a que estos problemas pueden ser muy costosos. En algunos casos la inactividad de un día en una maquina puede ser más costosa que una extrusora nueva. Tratar de ahorrar dinero en extrusión puede ser una decisión no sabia y penosa.

Parámetros más importantes en el proceso

Los parámetros de proceso más importantes son la presión y temperatura de fundido. Estos son la mejor indicación de que tan bien o mal la extrusora cumple su función. Se hace la similitud con la presión sanguínea y la temperatura corporal.

Medición de Presión

La medición de la presión del fundido es importante por dos razones

1. Control y monitoreo del proceso
2. Seguridad

La presión en el dado de la extrusora determina el output (kg/h) de la extrusora. Esta es la presión necesaria para superar la resistencia del dado. Cuando la presión en el dado varia el output cambia y también las dimensiones del producto extruido. Por tanto con un monitoreo de la variación de la presión en el tiempo se puede observar que tan estable o inestable es el proceso.

Por lo tanto para representar gráficamente la presión o mejor monitorear la variación de la presión con un sistema de adquisición de datos por computador.

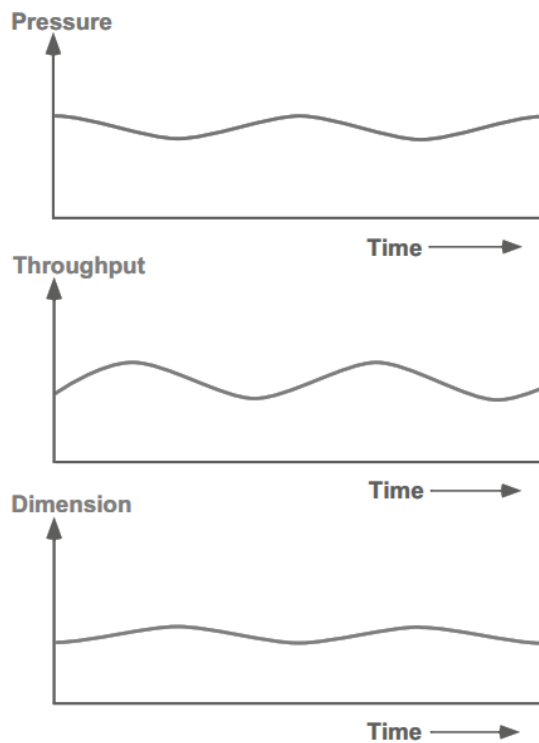


Figura 4. Presión, flujo, y dimensiones como funciones del tiempo.

Fuente: Referencia. Chapter 4: Instrumentation and Control, Extruder

De igual forma es críticamente importante para la seguridad medir la presión para prevenir accidentes que puedan suceder cuando se generen aumentos excesivos de presión, ocasionando una explosión, rompimiento del barril o desprendimiento del dado. Todas las extrusoras deben tener contar con un dispositivo de seguridad de sobrepresión, como un disco de ruptura o un pasador de seguridad en la abrazadera que sostiene el dado. Inclusive con un dispositivo de seguridad de sobrepresión, las extrusoras deberían contar con un medidor de presión de fundido con el fin de detectar el mal funcionamiento del equipo o deshabilitar los dispositivos de sobrepresión.

Cuando se monitorea la presión, es buena idea usar un apagado automático cuando la presión alcanza un valor crítico. En mediciones de presión es importante determinar el nivel absoluto de presión y los cambios de presión en el tiempo.

Diferentes tipos de transductores de presión

Las mediciones de presión en las primeras extrusoras fueron hechas con manómetros de Bourdon rellenos de grasa. La confiabilidad de estas medidas no era muy buena. A altas temperaturas, la grasa tiende a filtrarse; esto causa lecturas incorrectas y contaminación del producto. El polímero puede quedar atrapado en la cavidad de la grasa; formando una masa con el tiempo y nuevamente causando errores de lectura. La dependencia de la temperatura de los manómetros de Bourdon es alta. Como resultado, estos instrumentos son poco usados actualmente.

Tipo de transductor	Robustez	Sensibilidad a temperatura	Respuesta dinámica	Error total
Neumático	Buena	Pobre	Pobre	Alrededor 1.5%
Medidor de tensión capilar	Aceptable	Aceptable	Aceptable	0.5 a 3%
Medidor de tensión por vástago	Aceptable	Pobre	Aceptable	Alrededor 3%
Piezoeléctrico	Buena	Buena	Buena	0.5 a 1.5%
Piezo-resistivo	Buena	Buena	Buena	0.2 a 0.5%
Óptico	Buena	Buena	Buena	Alrededor 0.5%

Tabla 2. Comparación entre diferentes transductores de presión

Los transductores más comunes usados actualmente en extrusión son el transductor de medida de tensión y el transductor piezo-resistivo. En el primero la medida de tensión está ligada a un diafragma. La presión del fundido deforma el diafragma y el calibrador de tensión mide la deformación del diafragma. Este instrumento da buena respuesta y resolución. Teniendo en cuenta el calibrador de tensión no debe ser expuesto a altas temperaturas, este se ubica fuera del barril. Por tanto se debe usar un acoplamiento mecánico o hidráulico para transmitir la deflexión al calibrador de tensión.

El transductor calibrador de tensión puede ser capilar o de varilla de empuje. En estos transductores hay dos diafragmas, uno en contacto con el plástico fundido y el otro separado una distancia de del plástico fundido caliente. La conexión entre el primer y segundo diafragma es hidráulico en los tipos capilar y de varilla de empuje en los tipos varilla de empuje.

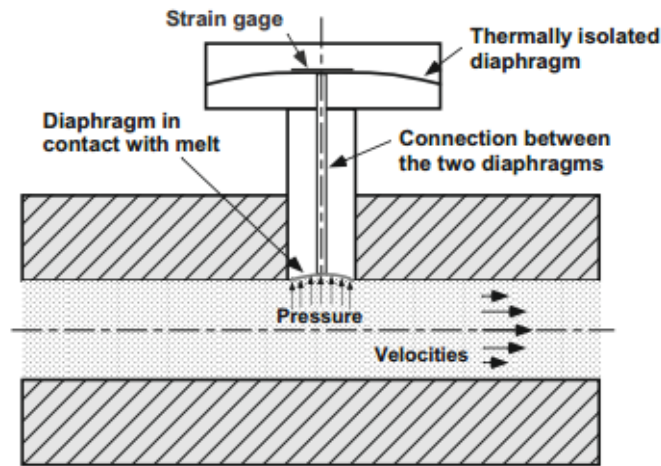


Figura 5. Principio del transductor de medición de esfuerzo

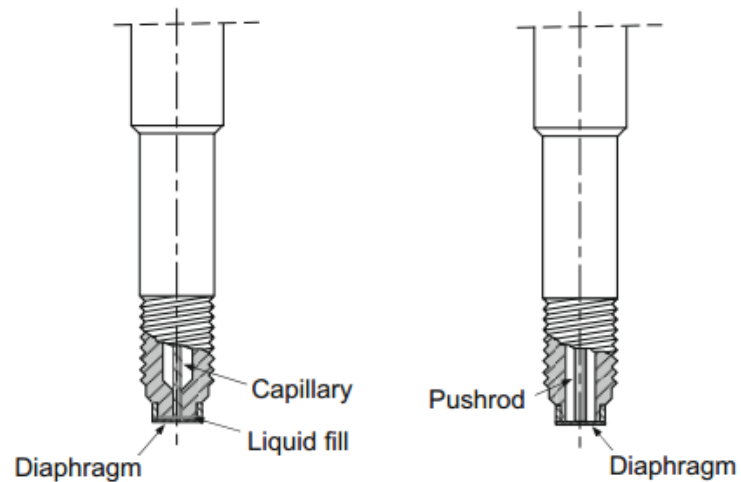


Figura 6. Transductor de tipo capilar (izquierda) y vástago de empuje (derecha)

Es importante asegurar que no se usen transductores con mercurio como material de relleno, especialmente en extrusión de productos médicos y productos para empaque de alimentos. Una alternativa es el NaK (Potasio-Sodio).

Otro tipo de transductor es el transductor neumático de presión. Este tiene buena robustez, pero peor sensibilidad, mal respuesta dinámica, y error de medida promedio. El transductor capilar tiene robustez ajustada, sensibilidad a la temperatura ajustada, y respuesta dinámica ajustada. La medida total de error varía de 0.5 a 3% dependiendo de la calidad del transductor. El transductor de varilla de empuje es similar al capilar, excepto que este tiende a tener pobre sensibilidad a la temperatura y pobre error total. El transductor piezo resistivo tiene buena robustez debido a que es un diafragma relativamente grueso, buena sensibilidad a la temperatura, buena respuesta dinámica, y bajo error de medida.

Medición de Temperatura

Medición de la temperatura se produce en varios lugares de la extrusora: a lo largo del barril de la extrusora, en la masa fundida de polímero, y en el material extruido, una vez que ha salido de la matriz. La elección del tipo de medida de la temperatura dependerá de lo que se mide y dónde. En primer lugar, se revisarán los métodos de medición de la temperatura.

La temperatura puede medirse con sensores de temperatura de resistencia, sensores de temperatura de termopar, y pirómetros de radiación. Hay dos tipos de sensores de temperatura resistivos: el tipo de conductor y el tipo semiconductor. Ambos operan sobre el principio de que la resistencia del material sensor cambia con la temperatura. El sensor de temperatura de tipo conductor (RTD) usa un elemento de metal para medir la temperatura. La resistencia de la mayoría de los metales aumenta con la temperatura; Por lo tanto, mediante la medición de la resistencia, se puede determinar la temperatura. El platino se usa cuando se requieren mediciones muy precisas y donde están involucradas altas temperaturas. Platinum está disponible en condición altamente purificada; es mecánica y eléctricamente estable y resistente a la corrosión. La mayoría de los sensores RTD tienen una configuración de alambre de la herida; aunque para algunas aplicaciones, se utilizan elementos de película metálica. El sensor de tipo semiconductor utiliza el hecho de que la resistencia de un semiconductor disminuye con la temperatura. El tipo más común de sensor de temperatura semiconductor es el termistor se muestra en la siguiente.

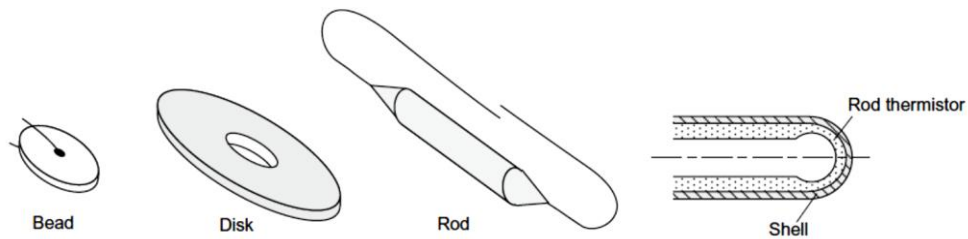


Figura 7. Termistores

Debido a su pequeño tamaño, los termistores se pueden usar donde no se pueden utilizar otros sensores de temperatura. A (RT) curva de temperatura de resistencia típica es generalmente no lineal; este es uno de los inconvenientes de los termistores. Sin embargo, las técnicas para hacer frente a la no linealidad termistor están bien establecidas [14]; Por lo tanto, la no linealidad no es un problema importante. Otras desventajas son las corrientes de funcionamiento bajos ($<100 \mu$) y la tendencia a la deriva con el tiempo. Una ventaja es su tiempo de respuesta rápido.

Termopar (TC) sensores de temperatura son conocidos también como transductores termoeléctricos; un circuito básico TC se muestra en la figura siguiente.

Un par de alambres de metales diferentes se unen entre sí en un extremo (unión caliente o de detección de cruce) y termina en el otro extremo por terminales (la unión de referencia) mantenida a temperatura constante (temperatura de referencia). Cuando hay una diferencia de temperatura entre de detección y de referencia uniones, se produce una tensión. Este fenómeno se conoce como el efecto termoeléctrico. La cantidad de tensión producida depende de la diferencia de temperatura y los metales utilizados.

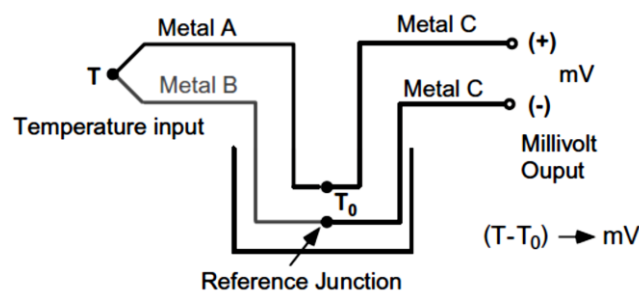


Figura 8. Esquema de un termopar

Uno de los CT más común es el TC de hierro-constantan. Termopares vienen en varias configuraciones, con junta expuesta, la unión a tierra, empalme sin conexión a tierra, parche de la superficie, entre otros, como se puede observar en la siguiente figura.

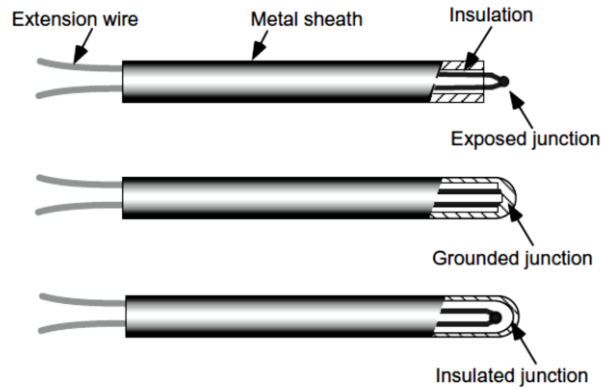


Figura 9. Varias configuraciones de termocuplas

Para las mediciones de temperatura en el producto extruido emergente, las mediciones de tipo contacto no son adecuados debido a los daños a la superficie de material extruido. Para mediciones de temperatura sin contacto, (IR) detectores de infrarrojos se pueden utilizar. La intensidad de la radiación depende de la longitud de onda y la temperatura de un cuerpo. Termómetros de IR sin contacto se pueden utilizar para determinar la temperatura del plástico después de que salga de la boquilla. Sensores de infrarrojos también se pueden utilizar para medir la temperatura de fusión dentro de la extrusora.

	Termocupla	RTD	Termistor
Reproducibilidad	1-8°C	0.03-0.05°C	0.1-1°C
Estabilidad	1-2°C en 1 año	<0.1% en 5 años	0.1-3°C en 1 año
Sensibilidad	0.01-0.05 mV/°C	0.2-10 Ohm/°C	100-1000 Ohm/°C
Intercambiabilidad	Buena	Excelente	Pobre
Rango de temperatura	-250 a 2300°C	-250 a 1000°C	-100 a 280°C
Señal de salida	0-60 mV	1-6 V	1-3 V
Tamaño mínimo	25 µm diámetro	3 mm diámetro	0.4 mm diámetro

Linealidad	Excelente	Excelente	Pobre
Tiempo de respuesta	Bueno	Aceptable	Bueno
Detección en punto	Excelente	Aceptable	Excelente
Detección en área	Pobre	Excelente	Pobre
Costo	Bajo	Alto	Bajo
Características únicas	Mayor economía, amplio rango, comunes en extrusión	Mayor precisión, muy estable, menos común en extrusión	Mayor sensibilidad, raramente usado en extrusión

Tabla 3. Comparación entre varios tipos de sensores de temperatura

La medición de temperatura por infrarrojos puede dar buenas lecturas de la temperatura del material extruido siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

1. La radiación del extruido debe ser enteramente generado por el propio material extruido como resultado de su temperatura. En concreto, no debe contener significativa los niveles de radiación transmitida desde objetos calientes detrás de ella y la radiación reflejada de objetos calientes en frente de ella.
2. La corriente de la radiación del material extruido al termómetro IR debe ser transmitida sin absorción por la atmósfera que interviene. Esto significa que el termómetro de infrarrojos no debe trabajar en las regiones espectrales de absorción atmosférica alzacuello.
3. El valor correcto para la emitancia del extruido debe ser conocida y correctamente introducido en la calibración del termómetro IR. Termómetros de IR sin contacto se utilizan en un gran número de operaciones de extrusión: película soplada, película fundida, película orientada biaxialmente, hoja, recubrimiento por extrusión, etc. En algunos Los termómetros de infrarrojos, una superficie completa pueden ser escaneados y isothermas se pueden determinar.

Con instrumentación adicional, la información cuantitativa de la temperatura la distribución se puede obtener. Termómetros infrarrojos portátiles se pueden utilizar para terreno el

proceso, mantener el equipo y hacer el mantenimiento general de la planta; también son herramientas muy útiles en la resolución de problemas.

Los termómetros sin contacto ofrecen una serie de beneficios. El producto nunca se toca o contaminado. Rápido movimiento de los productos extruidos se puede medir con precisión y con rapidez. Las mediciones de temperatura se pueden hacer de un área grande o una pequeña mancha. Muchos sensores IR tienen tanto salida analógica y digital; esto permite que los datos de temperatura.

Medición de Temperatura en el Barril

La temperatura del cilindro necesita ser medido para proporcionar información sobre el perfil de temperatura del cilindro axial y para proporcionar una señal para los controladores de los calentadores de cañón y dispositivos de enfriamiento. La temperatura debe ser medida lo más cerca posible a la superficie de cuerpo interno, ya que la temperatura del polímero es la principal preocupación. El peor ubicación posible del sensor de temperatura sería en el propio calentador de barril. Sin embargo, hay algunos extrusores comerciales donde el sensor de temperatura se coloca en el calentador barril para reducir la inercia térmica del sistema. El principal inconveniente de este enfoque es que se controla la temperatura del calentador y no la temperatura del polímero en el barril de la extrusora. Algunas extrusoras están equipadas con una combinación de sensores de pozo profundo y de temperatura de poca profundidad así para mejorar el control de temperatura de la extrusora. En la medición de la temperatura del cilindro, un sensor de temperatura se presiona en un pozo en el barril de la extrusora; el sensor es generalmente por resorte. La mayoría de los sensores de temperatura se construyen con una funda metálica para obtener una resistencia mecánica suficiente. Como resultado, pueden ocurrir errores significativos de conducción térmica.

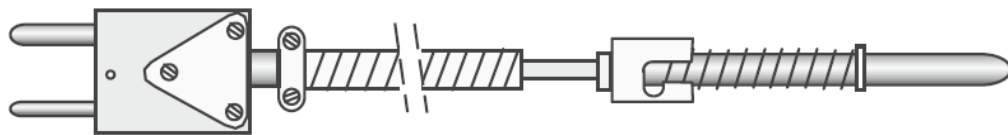


Figura 10. Forma general del husillo o tornillo sin fin de una extrusora

La siguiente figura muestra cómo la precisión de la medición de la temperatura depende de la profundidad del pozo y el tipo de sensor de temperatura.

Esta figura ilustra con toda claridad que la profundidad del pozo debe ser de al menos 30 mm para minimizar los errores de medición. Las características de la sonda de temperatura en sí tienen un fuerte efecto sobre la exactitud de la medición. Si se han tomado precauciones especiales para minimizar las pérdidas de calor a lo largo del vástago del sensor de temperatura, el error de medición puede ser reducido en gran medida en comparación con los sensores de temperatura estándar. Es importante darse cuenta de que la medición de temperatura del cilindro con un pozo poco profundo puede ser, y lo más probable será, inexacto. Con una profundidad del pozo de 10 mm, la temperatura medida será probablemente alrededor de 10 ° C inferior a la temperatura real. Cuando se producen corrientes de aire alrededor de la máquina de extrusión, la temperatura medida puede ser tanto como 25 ° C por debajo de la temperatura real. Esto se muestra en la figura.

Medición de la temperatura del polímero

La medición de la temperatura de la masa fundida de polímero es de gran importancia. Por desgracia, hay varios factores que complican la medición de temperatura de la masa sustancialmente. Es muy importante ser consciente de estas complicaciones con el fin de apreciar adecuadamente el valor medido. Medición de las temperaturas de valores a lo largo del tambor de la extrusora es difícil debido a la rotación del tornillo. Para medir las temperaturas de valores, el sensor de temperatura tiene que sobresalir en el polímero. Los sensores de temperatura no pueden ser colocados en el cilindro debido a que el sensor que sobresale sería dañado por el tramo de husillo. Una alternativa es colocar los sensores de temperatura en el canal del tornillo. Sin embargo, esta es una operación bastante compleja; requiere montajes de termopares especiales y contactos deslizantes. Otra alternativa es colocar los sensores de temperatura en el barril y a las ranuras de la máquina en el vuelo de tornillo en la ubicación del sensor que sobresale [13]. La desventaja de este método es la modificación sustancial de los patrones de flujo en la extrusora, como resultado de las ranuras en el tramo de husillo. Esto, a su vez, cambiará la distribución de la temperatura real en la masa fundida de polímero. Al considerar las temperaturas de valores a lo largo de

la longitud de la extrusora, debe tenerse en cuenta que la temperatura, en la mayoría de los casos, varía mucho más fuertemente en la dirección radial que en la dirección axial. Gradientes de temperatura radiales serán particularmente alta en la región de plastificación de la extrusora. En esta región, una película de masa fundida delgada, con un espesor de película de masa fundida en el orden de 1 mm, separa el lecho sólido del barril. La diferencia de temperatura a través de esta película es a menudo en el intervalo de 30 a 80 ° C. Por lo tanto, el gradiente de temperatura radial será del orden de 50 000 ° C por metro. Esto es alrededor de tres órdenes de magnitud más alta que el gradiente de temperatura axial típico de la extrusora.

Por lo tanto, si uno quiere tratar de medir la temperatura de la masa con un sensor de temperatura que sobresale, uno podría experimentar una sensibilidad extrema a la posición radial del sensor. El movimiento del lecho sólido es otra consideración. Cualquier sensor de temperatura debe evitar el contacto con el lecho sólido, ya que esto podría resultar en daños del sensor. El transporte de sólidos y la zona de plastificación en general se extienden alrededor de dos tercios de la longitud de la extrusora. Esto significa que las mediciones de temperatura de stock de sondas de inmersión son realmente sólo es posible en el último tercio de la extrusora. La temperatura del polímero en el transporte de sólidos y la zona de fusión generalmente es máxima en o cerca de la pared del cilindro. Esto significa que la medición de la temperatura del cilindro es una buena indicación de la temperatura de la máxima. Por lo tanto, la medición de temperatura del cilindro puede ser más significativo, y ciertamente mucho más fácil, que la medición de temperatura de valores con un sensor de temperatura que sobresale. Por estas razones, las temperaturas de valores a lo largo de la extrusora en general no se midieron en extrusoras de producción. Sólo unos pocos, altamente instrumentado, extrusoras de desarrollo están equipadas con capacidad de medición de temperatura del material a lo largo del cañón. La situación es mucho más simple en el extremo del cañón, porque allí el vuelo tornillo ya no está presente. El sensor de temperatura puede sobresalir libremente en la corriente de masa fundida sin peligro de ser dañado por el tornillo. Sin embargo, incluso en esta situación, hay varios factores que complican implicados en la medición de la temperatura. Numerosos estudios detallados se

han dedicado a la medición de los perfiles de temperatura en masas poliméricas fundidas que fluye a través de canales. Cuando un polímero fundido fluye a través de un canal, un cierto perfil de temperatura se establecerá en la masa fundida de polímero. El perfil de temperatura en un proceso de estado estacionario después de algún tiempo se convertirá en constante con respecto al tiempo; este es el perfil de temperatura llamada completamente desarrollado. La temperatura en cualquier punto se puede predecir a partir de las ecuaciones de la masa, cantidad de movimiento y energía. Cuando un sensor de temperatura, tal como un termopar, se introduce en la corriente de masa fundida de polímero para medir la temperatura de la masa fundida, el flujo de estado estacionario se altera, y un nuevo estado de equilibrio se desarrollará después de un corto tiempo. Por lo tanto, la temperatura medida será diferente de la verdadera temperatura de fusión, sin molestias. Por lo tanto, con el fin de determinar la verdadera temperatura de fusión, algunas correcciones tienen que ser hechas a la medida (perturbado) temperatura de fusión. Los factores que han de tenerse en cuenta son:

- La conducción de calor a lo largo de la sonda
- Calor por convección desde la sonda
- Disipación de energía en la sonda debido al calentamiento por cizallamiento

El diseño del sensor de temperatura debe ser tal que los errores antes mencionados se reducen al mínimo. Varios diseños de sensores de temperatura para medir la temperatura de valores.

El sensor de temperatura empotrado no perturba el flujo en el canal.

Sin embargo, el sensor no sobresale en la corriente de masa fundida. La temperatura medida, por lo tanto, será más representativa de la temperatura de la pared del metal de la temperatura de fusión del polímero. Debe recordarse, sin embargo, que la temperatura de la masa fundida de polímero en la pared será igual a la temperatura del metal en la pared. La sonda de empotrar, por lo tanto, dará una razonablemente buena indicación de la

temperatura de la masa fundida de polímero en la interfase. El problema con este diseño es que la temperatura máxima de la masa fundida de polímero generalmente no se produce en la pared! A diferencia de la situación en los sólidos de transporte y zona de fusión, la temperatura máxima de la masa fundida de polímero en la zona de transporte de masa fundida de la extrusora (incluyendo el adaptador y mueren) generalmente se produce a cierta distancia de la pared. Por esta razón, un sensor que sobresale producirá información que es más significativa.

El sensor de inmersión recta es simple y robusto. Se da una indicación razonable de la temperatura del material en el canal de flujo. Este diseño, sin embargo, da lugar a errores significativos en la temperatura medida a causa de calentamiento por cizallamiento y la conducción de calor a lo largo de la sonda. Esto es debido a la ubicación perpendicular de la sonda con respecto a la dirección del flujo. El sensor está orientado paralelo al flujo, causando solamente una mínima perturbación al flujo en el punto donde se mide la temperatura. La sonda aguas arriba es capaz de medir temperaturas locales. La parte paralela de la sonda debe ser larga y delgada para reducir los errores de conducción de calor y para ser capaz de medir los cambios rápidos de temperatura. Por otra parte, la resistencia mecánica de la sonda debe ser suficiente para soportar las fuerzas que una sonda de masa fundida se normalmente expuesto. El daño puede ocurrir fácilmente durante la puesta en marcha o la parada. Para evitar este problema, las sondas se han hecho con profundidad regulable de modo que la sonda se inserta en el polímero cuando se han alcanzado las condiciones estables. En altas ratas de flujo y viscosidad en estado fundido de alto polímero, las fuerzas que ejerce la masa fundida de polímero en la sonda de inmersión puede ser sustancial. Por estas razones, la parte de paralelo a flujo de la sonda se hace a menudo en una forma cónica o de un tubo de diámetro corto, pequeño. La capacidad de ajuste de la profundidad tiene otro uso además de evitar daños. Se permite la medición del perfil de temperatura a través de la profundidad del canal de flujo usando una sola sonda. Sondos de temperatura aguas arriba ajustables están actualmente disponibles comercialmente, e. g., por Goettfert. Sin embargo, su aplicación en extrusoras comerciales es todavía bastante limitada.

3.1.3. Controlador Lógico Programable (PLC)

Los controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller), empezaron como sistemas de dedicación exclusiva al control de instalaciones, máquinas o procesos. Con el tiempo han ido evolucionando, incorporando cada vez más prestaciones en forma de módulos de ampliación, entre ellos los procesadores de comunicaciones, que han hecho desvanecerse la línea divisoria entre RTU y PLC, quedando incluidas todas las prestaciones en el PLC. A su vez, los PLC pueden tener elementos distribuidos con los cuales se comunican a través de sistemas de comunicación llamados buses de campo.

A diferencia de los computadores de propósito general, un PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

3.1.4. Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA)

Un SCADA (Supervision, Control And Data Acquisition, por sus siglas en inglés) es un software que posibilita el acceso a datos remotos de un proceso y, además permite hacer el control del mismo mediante las herramientas necesarias para ese sistema específico.

A través del SCADA no se realiza la misma tarea de control, este sólo permite la supervisión y actúa como enlace entre los niveles de control (PLC) y los de gestión, a un nivel superior. Con el fin de aprovechar la funcionalidad de un SCADA, los objetivos para su instalación deben ser:

- ✓ Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar, y con interfaces amigables con el usuario.
- ✓ Fácilmente configurable y escalable, debe ser capaz de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- ✓ Funcionalidad completa de manejo y visualización en sistema operativo Windows sobre cualquier PC estándar.
- ✓ Permitir la integración con las herramientas ofimáticas y de producción.

- ✓ Ser independiente del sector y la tecnología.
- ✓ Funciones de mando y supervisión integradas.

Objetivos

Los sistemas SCADA se conciben en mayor medida como una herramienta de supervisión y mando. Sus principales objetivos pueden ser:

- ✓ **Economía:** es más fácil ver qué ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea. Ciertas revisiones se convertirán en innecesarias.
- ✓ **Mantenimiento:** la adquisición de datos materializa la posibilidad de obtener datos de un proceso, almacenarlos y presentarlos de manera inteligible para un usuario no especializado. La misma aplicación se puede programar de manera que nos avise cuando se aproximen las fechas de revisión o cuando una máquina tenga fallos de los considerados normales.
- ✓ **Conectividad:** se buscan sistemas abiertos, es decir, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores y evita la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o en la seguridad.
- ✓ **Accesibilidad:** un parque eólico al completo (velocidad de cada rotor, producción de electricidad), lo tenemos en un clic de ratón encima de la mesa de trabajo. Será posible modificar los parámetros de funcionamiento de cada aerogenerador, poniendo fuera de servicio los que den indicios de anomalías; consultar el estado de las estaciones transformadoras del parque, detener los molinos que no sean necesarios, etc.
- ✓ **Ergonomía:** es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible. Los ordenadores modernos, con sus prestaciones gráficas, intentan sustituir a los grandes paneles, repletos de cables, pilotos y demás aparellaje informativo. Pero hay un problema que aún persiste: cómo presentar toda esa información sin aburrir ni fatigar al usuario.
- ✓ **Gestión:** todos los datos recopilados pueden ser valorados de múltiples maneras

mediante herramientas estadísticas, gráficas, valores tabulados, entre otros, que permitan explorar el sistema con el mejor rendimiento posible.

Todos los sistemas, de mayor o menor complejidad, orientados a lo anteriormente dicho, aparecen bajo uno de los nombres más habituales para definir esta relación:

- MMI: Man Machine Interface, Interfase Hombre-Máquina
- HMI: Human Machine Interface, Interfase Humano-Máquina

El sistema a controlar aparece ante el usuario bajo un número más o menos elevado de pantallas con mayor o menor información. Podemos encontrar planos, fotografías, esquemas eléctricos, gráficos de tendencias, entre otros.

Prestaciones

El conjunto de la SCADA, en su vertiente de herramienta de interfase hombre-máquina, comprende toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador.

Entre las prestaciones de una herramienta de este tipo destacan:

✓ La monitorización

Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Se leen los datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores...). Una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, un parque eólico, pueden ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia. Para el caso de este proyecto, la línea de extrusión de PVC está al alcance de un clic del *mouse*.

✓ La supervisión

Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones (mantenimiento predictivo, por ejemplo). Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas. Evita una continua supervisión humana.

✓ El mando

Posibilidad de que los operadores puedan cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador (marcha, paro, modificación de parámetros...). Se escriben datos sobre los elementos de control.

✓ Garantizar la seguridad de los datos

Tanto el envío como la recepción de datos deben de estar suficientemente protegidos de influencias no deseadas, intencionadas o no (fallos en la programación, intrusos, situaciones inesperadas, entre otras).

✓ La adquisición de datos de los procesos en observación

Un sistema de captación solar se puede observar mediante herramientas registradoras y obtener así un valor medio de la irradiación en la zona, guardando los valores obtenidos y evaluándolos a posterioridad (los parámetros de velocidad y temperatura de cada máquina de la línea se almacenan para su posterior proceso).

✓ La visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos)

Reconocimiento de eventos excepcionales acaecidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctoras pertinentes. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias.

La rotura de una cinta transportadora en una de las máquinas de la línea de extrusión aparece en forma de aviso en nuestra pantalla, con indicación gráfica de la situación del fallo y con un mensaje sonoro si es necesario.

✓ Grabaciones de acciones o recetas

En algunos procesos se utilizan combinaciones de variables que son siempre las mismas. Un sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción operando un solo comando.

La línea de vulcanizado en continuo (donde fabrican los perfiles de goma de las ventanas, por ejemplo) se compone de varias máquinas encadenadas con múltiples parámetros

(velocidad y temperatura principalmente) que dependen del tipo de perfil a elaborar (la goma más ancha, más estrecha, con forma más o menos compleja). Con una sola pulsación se pueden poner en marcha todas las máquinas y programar las diferentes zonas de temperatura o velocidad de toda la línea de extrusión.

- ✓ Garantizar la seguridad en los accesos

Restringiendo zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.

- ✓ Posibilidad de programación numérica

Permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador (lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic, generalmente).

Ventajas

Al momento de hablar de un software SCADA no se puede dejar de lado que hay algo más profundo que las pantallas que nos informan de cómo van las cosas en nuestra instalación. Tras éstas se hallan multitud de elementos de regulación y control, sistemas de comunicaciones y múltiples utilidades de software que buscan que el sistema opere eficientemente y de forma segura. Las ventajas más notorias de un SCADA son:

- ✓ Cualquier tipo de sensores y actuadores puede integrarse en un programa de PLC mediante las múltiples tarjetas de adquisición disponibles (tensión, corriente, sondas de temperatura).
- ✓ Un sistema PLC está concebido para trabajar en condiciones adversas, proporcionando robustez y fiabilidad al sistema que controla.
- ✓ El actual nivel de desarrollo de los paquetes de visualización permite la creación de aplicaciones funcionales sin necesidad de ser un experto en la materia.
- ✓ Un sistema de control remoto (RTU) puede definirse de manera que pueda funcionar de forma autónoma, aún son comunicaciones con la estación maestra.

- ✓ Un conjunto de manuales de usuario y documentación técnica adecuados permitirán el manejo satisfactorio por terceras personas.
- ✓ Gracias a las herramientas de diagnóstico se consigue una localización más rápida de errores. Esto permite minimizar los períodos de paro en las instalaciones y repercute en la reducción de costes de mantenimiento.
- ✓ El concepto de telemantenimiento permite realizar modificaciones de software en las estaciones remotas (RTU) desde el centro de control.
- ✓ Los programas de control pueden documentarse convenientemente de manera que puedan ser fácilmente interpretados por los técnicos de mantenimiento.
- ✓ Los sistemas de diagnóstico implementados en los elementos de control informan continuamente de cualquier incidencia en los equipos.
- ✓ Generación y distribución automática de documentación. El sistema de visualización puede recoger los datos del autómatas y presentarlos en formatos fácilmente exportables a otras aplicaciones de uso común, como hojas de cálculo.
- ✓ La integración de sistemas es rápida gracias a los sistemas de comunicación estandarizados.
- ✓ Los programas de visualización pueden presentar todo tipo de ayuda al usuario, desde la aparición de una alarma hasta la localización de la causa o la parte de esquema eléctrico implicada en la misma. Esto permite reducir los tiempos de localización de averías al proporcionarse información sobre el origen y las causas de los fallos.
- ✓ La tecnología web permite el acceso desde cualquier punto geográfico a nuestro sistema de control.
- ✓ Haciendo uso de las tecnologías celulares (GSM, GPRS, UMTS), los sistemas de control pueden mantener informados sobre cualquier incidencia a los operadores responsables de los mismos mediante mensajes de correo electrónico o de voz.
- ✓ Los protocolos de seguridad permiten una gestión segura y eficiente de los datos, limitando el acceso a personas no autorizadas.

- ✓ La distribución de recursos y control sobre la red permite una mejor coordinación entre las estaciones remotas en caso de fallos en una de ellas.
- ✓ Aumento de calidad del producto mediante las herramientas de diagnóstico. El operador es notificado en el momento en que se detecta una incidencia.
- ✓ Posibilidad de mantenimiento por parte de suministradores locales de servicios.
- ✓ Mediante las redes de comunicación, el sistema SCADA se integra en la red corporativa, permite la integración entre los niveles de Campo y Gestión y completa así la estructura CIM (Computer Integrated Manufacturing, por sus siglas en inglés).
- ✓ La reducción de personal permite menor número de equipos de mantenimiento, más reducidos y mejor coordinados gracias a la información proveniente de las estaciones remotas, evaluada en el centro de control.
- ✓ El nivel de descentralización va en aumento, apostando por la modularidad. Esto permite una mayor disponibilidad, pues las funciones de control se pueden repartir y/o duplicar.

Hardware de un scada

Interfase Hombre-Máquina (HMI, MMI)

Comprende los sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica. La función de un panel sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control (un sistema de aprovisionamiento de agua, una red de distribución eléctrica, una factoría).

En un principio los paneles sinópticos eran de tipo estático, colocados en grandes paneles plagados de indicadores y luces. Con el tiempo han ido evolucionando, junto al software, en forma de representaciones gráficas en pantallas de visualización (PVD, Pantallas de Visualización de Datos). En los sistemas complejos suelen aparecer los terminales múltiples, que permiten la visualización, de forma simultánea, de varios sectores del sistema.

Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit)

Centraliza el mando del sistema. Se hace uso extensivo de protocolos abiertos, lo cual permite la interoperabilidad de multiplataformas y multisistemas. Un sistema de este tipo debe de estar basado en estándares asequibles a bajo precio para cualquier parte interesada. De esta manera es posible intercambiar información en tiempo real entre centros de control y subestaciones en cualquier lugar.

En el centro de control se realiza, principalmente, la tarea de recopilación y archivado de datos. Toda esta información que se genera en el proceso productivo se pone a disposición de los diversos usuarios que puedan requerirla. Se encarga de: gestionar las comunicaciones; recopilar los datos de todas las estaciones remotas (RTU); envío de información; comunicación con los operadores; análisis; impresión; visualización de datos; mando; seguridad.

Estas tareas están encomendadas a equipos informáticos con funciones específicas y exclusivas, tales como:

- ✓ Almacenar datos (*Database Server*): se ocupa del archivado de datos para el proceso posterior de los mismos mediante herramientas de representación gráfica o de análisis estadístico.
- ✓ Almacenar archivos (*File server*): almacena los resultados de los análisis de los datos recogidos, guarda los datos concernientes a los eventos del sistema, datos de configuraciones, alarmas, etc.
- ✓ Administración: permite la gestión y el mantenimiento del sistema SCADA, controlar los sistemas de seguridad, modificar la configuración de las tareas de *backup*, entre otras.
- ✓ Comunicaciones: permite el intercambio de datos en tiempo real con estaciones remotas. Éste es un punto de entrada y salida de datos, por tanto, debe prestarse especial atención a la seguridad y protegerlo de accesos no autorizados.

Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit)

Por Unidad o Estación Remota, podemos entender aquel conjunto de elementos dedicados a labores de control y/o supervisión de un sistema, alejados del centro de control y comunicados con este mediante algún canal de comunicación. Dentro de esta clasificación podemos encontrar varios elementos más o menos diferenciados:

- ✓ RTU (Remote Terminal Unit): especializados en comunicación.
- ✓ PLC (Programmable Logic Controller): tareas generales de control.
- ✓ IED (Intelligent Electronic Device): tareas específicas de control.

RTU

Las Unidades Remotas se encargaban en un principio de recopilar los datos de los elementos de campo (Autómatas reguladores) y transmitirlos hacia la Unidad Central, a la vez que enviar los comandos de control a éstos. Serían los denominados Procesadores de Comunicaciones.

Suelen estar basadas en ordenadores especiales que controlan directamente el proceso mediante tarjetas convertidoras adecuadas o que se comunican con los elementos de control (PLC, Reguladores) mediante los protocolos de comunicación adecuados. Su construcción es más robusta, son operativos dentro de un rango de temperaturas mayor que los ordenadores normales, y su robustez eléctrica también es mayor (transitorios de red, variaciones de alimentación, interferencias electromagnéticas).

Con la introducción de sistemas inteligentes aparecen también las funciones de recogida y proceso de datos, así como de seguridad ante accesos sin autorización y provocar daños en sus componentes.

El software de estos elementos suele estar elaborado en lenguajes de alto nivel (C, VisualBasic, Delphi) que permiten interpretar los comandos provenientes de la estación Maestra (Master Terminal Unit).

IED

Son los denominados periféricos inteligentes (Intelligent Electronic Devices). Se trata de elementos con propiedades de decisión propias (programas) que se ocupan de tareas de control, regulación y comunicación. Dentro de esta clasificación se pueden encontrar elementos tales como PLC, reguladores, variadores de frecuencia, registradores, procesadores de comunicaciones, generadores de tiempo y frecuencia, controladores de energía reactiva, transductores, entre otros.

3.1.5. Elementos del bus de campo

Para que el sistema de control y automatización opere de forma correcta se debe establecer la comunicación entre los instrumentos y dispositivos hacen parte del bus de campo.

3.1.6. Red de comunicación

Desde la perspectiva empresarial, las comunicaciones internas en una industria no se llevan a cabo únicamente en el área de producción, los demás campos de acción de la empresa intervienen en una red de comunicaciones para controlar de forma global el sistema.

De acuerdo a la implementación de la pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing, por sus siglas en inglés), en este proyecto se tomarán en cuenta las comunicaciones desde el tercer nivel, es decir, el nivel de supervisión y no se tomarán en cuenta el nivel de empresa y el nivel de fábrica. Los otros dos niveles en que se trabajará son el de control y el de sensado y actuación.

En el nivel de supervisión, las funciones realizadas son:

- ✓ Adquisición de datos y alarmas
- ✓ Mantenimiento correctivo/predictivo
- ✓ Control de calidad

Los elementos que hacen parte de la red de comunicación en el nivel de control son:

- ✓ Dispositivos lógicos de control
- ✓ PLCs y computadores industriales
- ✓ Elementos de mando y control de maquinaria

Por último, en el nivel de sensado y actuación, tenemos:

- ✓ Maquinaria en general
- ✓ Sensores y actuadores
- ✓ Operaciones elementales de producción

La estrategia de control para el sistema de automatización de esta extrusora está conformada por los diferentes controles que se aplicarán (de seguimiento y de seguridad), la topología de red y la operación de las paradas de emergencia.

3.2. ESTADO DEL ARTE

Necesidad de productos plásticos

En la actualidad, los plásticos están presentes en todos los ámbitos de la sociedad. Es un factor clave en el desarrollo social y material del ser humano. Es fundamental en sectores como la agricultura, la industria, la alimentación, la medicina, las telecomunicaciones o el transporte.

Son versátiles, duraderos, con una buena relación coste/eficacia, seguros y ligeros, y todas esas cualidades los han convertido en la mejor opción por fabricantes de los diferentes sectores mencionados.

La industria del plástico contribuye de manera significativa a la economía mundial. Aporta innovación, mejora la calidad de vida y facilita la eficiencia de los recursos y la protección del clima. También son sostenibles desde el punto de vista social, y realizan una importante contribución a la seguridad y en el cuidado diario de la salud de la vida moderna.

Los productos de plástico ya están ayudando a mejorar las vidas de las personas día a día,

mientras se conservan los recursos naturales y se ayuda a proteger el medio ambiente para el día de mañana. Cuando los plásticos han superado su ciclo de vida útil, pueden reciclarse. Si esto no resultara eficiente desde el punto de vista económico o medioambiental, el plástico puede incinerarse para aportar una valiosa fuente de energía.

Usos del PVC

Los sectores principales donde se emplea el PVC se distribuyen en bienes de consumo, alimentos, industria eléctrica, construcción y otros.

En el sector de alimentos y el sector médico se encuentra en botellas para agua y jugos, frascos y potes (alimentos, fármacos, cosmética, limpieza, etc.). Láminas o films (golosinas, alimentos). Blisters (fármacos, artículos varios).

En el sector de la electricidad y la electrónica, el PVC es utilizado en el aislamiento y recubrimiento de cables de diferentes tipos, y actualmente representa un tercio de los materiales usados en esta actividad.

EL PVC es muy importante en el sector de la construcción. Este material se encuentra en ventanas, perfiles para ventanas, persianas y revestimientos, recubrimiento de cables, baldosas de pisos, papeles pintados de vinilo, tuberías, cajas de distribución, enchufes, láminas para impermeabilización (techos, suelos), etc.

Impacto del proceso de extrusión en la industria

Es el proceso más importante de obtención de formas plásticas, en volumen de producción. Es un proceso continuo, en el que la resina es fundida por la acción de temperatura y fricción, es forzada a pasar por un dado que le proporciona una forma definida, y enfriada finalmente para evitar deformaciones permanentes.

En el sector de alimentación, la extrusión es una técnica versátil ya que partiendo de un elemento básico se pueden obtener sabores y colores particulares y además se consiguen alimentos de fantasía muy apreciados por sus características organolépticas, como

caramelos, golosinas, galletas de mil y una formas o cereales. Resulta también un método muy rentable; con un solo equipo pueden realizarse varias operaciones.

En el sector de transporte, el uso de los perfiles extruidos de aluminio está creciendo con rapidez. Las excelentes propiedades del aluminio se ponen de manifiesto al crear construcciones fuertes y ligeras con vidas útiles prolongadas y alta resistencia a la corrosión. La reducción de cada kilogramo de peso aumenta la capacidad de carga y reduce el consumo de combustible.

Control y automatización en la producción de tuberías de PVC

Las variables principales a controlar durante el proceso de extrusión son la temperatura, presión y velocidad, las cuales son revisadas continuamente para obtener un producto uniforme. De forma más general, los parámetros más importantes son la presión y temperatura de fundido. Estos son la mejor indicación de que tan bien o mal la extrusora cumple su función.

4. METODOLOGÍA

4.1. TIPO DE PROYECTO

El proyecto fue de ingeniería de tipo productivo, donde se diseñó el sistema de automatización y control de un proceso de extrusión de tuberías de PVC, se plantearon y aplicaron las tecnologías adecuadas para este el desarrollo del mismo. Con lo anterior se busca garantizar el correcto funcionamiento y seguridad del equipo, asimismo, generar una mayor rentabilidad económica en el proceso.

Las pruebas de simulación con los software Simatic S7-300 y Win CC, fueron llevadas a cabo en el Laboratorio 204 del Bloque A1 de la Universidad Tecnológica de Bolívar, Campus Tecnológico, ubicado en el Parque Industrial y Tecnológico Carlos Vélez Pombo, Km 1 Vía Turbaco, bajo la supervisión del Programa de Especialización en Automatización y Control de Procesos Industriales

4.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.2.3. Fuentes de información primaria

Las fuentes primarias de este proyecto fueron los datos obtenidos de las especificaciones técnicas de los equipos e instrumentos, tanto los usados antes del diseño del nuevo sistema como los que fueron seleccionados en este trabajo. De igual manera, los valores de las variables de entrada y salida (análogas y digitales) que se obtuvieron en los software de simulación de automatización, control y supervisión. Además se contó con la asesoría de los directores del programa de posgrado, Jorge Duque y José villa, Ph. D.

En adición, se procesaron en la hoja de cálculo, Microsoft Excel, los precios y costos de todo el proyecto y se determinó la factibilidad del mismo.

4.2.4. Fuentes de información secundaria

Las fuentes de información secundarias de este proyecto fueron los libros, artículos de revistas, tesis de grado y monografías indexadas tomadas de la base de datos de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Entre los principales sitios web consultados en esta base de datos destacan: Science Direct, Engineering Village, Scopus, entre otros, de donde se tomó el desarrollo del marco teórico y la información para la selección de instrumentos.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. ESTUDIO TÉCNICO

5.1.1. Selección de la instrumentación

Extrusora a emplear



Figura 11. Extrusora de un husillo para PVC, CK-S120, CK-S50

Características	
Número de tornillos	De un husillo
Caudal	Mín.: 8 kg/h (17.64 lb/h) Máx.: 350 kg/h (771.62 lb/h)
Material tratado	PVC
Diámetros del tornillo	Mín.: 30 mm Máx.: 120 mm
Aplicaciones	De compuesto

Tabla 4. Especificaciones de extrusora actual

Conveniente para materiales suaves y rígidos compuestos de PVC que componen y reciclados.

Descripción adicional de la extrusora

Opción del sistema del aceite o por agua de la refrigeración del aire, en barril. El tornillo y el barril son manufacturados del acero de aleación especial, ofreciendo eficacia máxima y vida de servicio larga.

El uso resistente PID de la caja de control del polvo incluido o regulador del microordenador de la PC proporciona la operación de uso fácil.

La impulsión proporciona funcionamiento de conducción estable, la consumición de poco ruido, de la energía baja y la salida de mayor energía.

Sensores de Temperatura

El perfil de temperatura de la extrusora se encuentra en un rango de 150 a 200°C, y se debe a que en estas condiciones es donde se alcanzan las temperaturas óptimas de fundición para el PVC sin que el material sea afectado durante la operación.

Se seleccionan termocuplas tipo J de hierro.

- ✓ Rango: -270/+1200 °C.
- ✓ Usar en atmósferas inertes, reductoras o vacío.
- ✓ Puede usarse de forma con- tinuada a 800 °C sin problemas.



Figura 12. Termocupla tipo J

Sensores de Presión

Se selecciona un transductor de presión óptico de tipo melt.

- ✓ Rango: 0 a 3000 psi.
- ✓ Soporta temperaturas de +1000 °C.
- ✓ Espesor de 1 ½ ” y diámetro de 9”.



Figura 13. Transductor de presión óptico tipo melt

5.1.2. Selección del PLC

La serie S7-300 es una línea de PLC que pueden controlar una variedad de aplicaciones para automatización. Son máquinas con alta rentabilidad, flexibilidad y productividad. □

De acuerdo a las necesidades del proceso y del sistema, se requiere que el controlador presente lo siguiente:

Concepto	
Entradas	digitales @ 110 VAC
Salidas	digitales @ 110 VAC
Salidas	digitales @ 24 VDC
Entradas	análogas
Entradas	de termocupla
Salidas	análogas
Comunicación	Modbus

Tabla 5. Requerimientos para el controlador

Por tanto, el controlador seleccionado tendrá las siguientes especificaciones

Características	CPU 315 – 2PN/DP
Referencia base: 6ES7	315-2EH13-0AB0
Firmware	V2.6
Memoria de trabajo (interna)	256 KB
Memoria de carga (interna)	8 Mb
Instrucciones (memoria)	85 K
Velocidad de transmisión	12 Mb/s
Operación de bits	0.05 µs
Operación de palabras	0.09 µs
Operaciones aritméticas de punto fijo	0.12 µs
Operaciones aritméticas de punto flotante	0.45 µs
Marcas	2049 Byte
Temporizadores / contadores S7	256 / 256
Periferia E/S (bytes)	2048
Canales digitales (centralizados)	1024
Canales analógicos (centralizados)	256
DP Interface	¼
Interfaz	PROFINET
Alimentación	24 VDC
Perfil de soporte	6ES7390-1AJ30-0AA0, 830 mm
Micro Memory Card	6ES7953-8LL-0AA0, S7-300/ET 200S IM 151 CPU, 3.3. V 2 MB
Racks	4 máx.
Módulos por rack	8 máx.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del PLC



Figura 14. Vista del controlador con CPU 315-2 PN/DP

Entradas y salidas del PLC

Entradas	Salidas
Set point de Temperatura, zona 1	Temperatura, zona 1
Set point de Temperatura, zona 2	Temperatura, zona 2
Set point de Temperatura, zona 3	Temperatura, zona 3
Set point de Temperatura, zona 4	Temperatura, zona 4
Velocidad de operación	Contactador resistencia calefactora, zona 1
Pulsador de arranque	Contactador resistencia calefactora, zona 2
Pulsador de reset	Contactador resistencia calefactora, zona 3
Pulsador de parada	Contactador resistencia calefactora, zona 4
Parada de emergencia	Set point de velocidad del husillo
Sensor de Temperatura, zona 1	
Sensor de Temperatura, zona 2	
Sensor de Temperatura, zona 3	
Sensor de Temperatura, zona 4	
Sensor de Presión	

Tabla 7. Entradas y salidas del autómata

5.1.3. Selección del software de adquisición, elaboración de la HMI y selección de las comunicaciones

Se elaboró la interfaz hombre-máquina, HMI, en el software de programación visual WinCC Flexible de Siemens. La implementación de esta

HMI permitirá al proceso:

- ✓ Llevar un registro de alarmas y eventos
- ✓ Interactuar al operador con el sistema de control
- ✓ Monitorear las tendencias
- ✓ Llevar un registro de ficheros

El protocolo de comunicaciones que se manejó fue Modbus. Para aquellos elementos del bus de campo que no tenían este mismo bus, se les asignarán tarjetas de red.

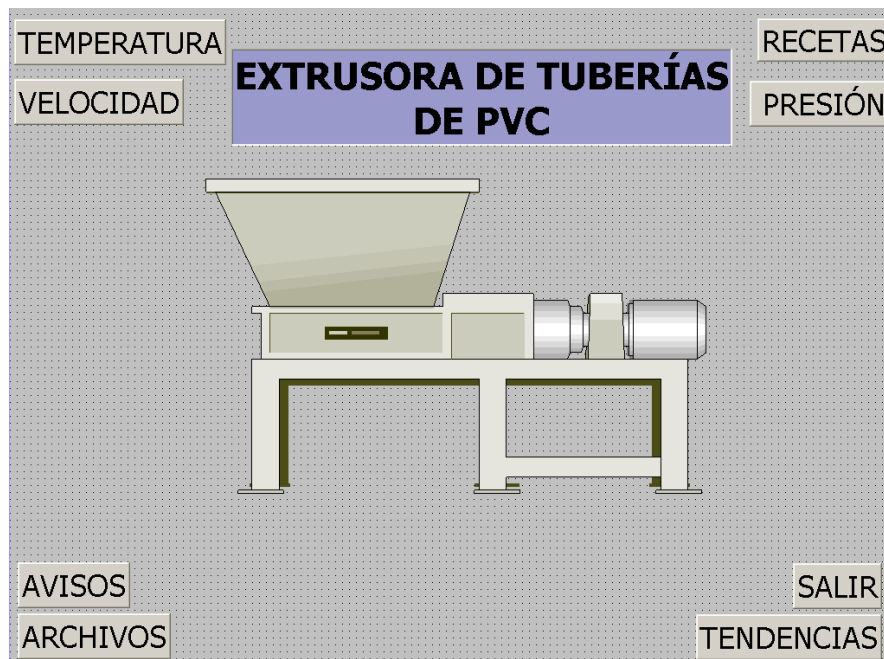


Figura 15. Plantilla de inicio para el HMI elaborado



Figura 16. Registro de alarmas y eventos para el HMI elaborado



Figura 17. Visualización de tendencias en el HMI para el proceso de extrusión



Figura 18. Registro de ficheros en el HMI para el proceso de extrusión

5.2. ESTUDIO DE MERCADO

De acuerdo a las necesidades de los interesados se realizó un estudio de las necesidades del mercado, y se observó que era una prioridad disminuir los costes. Los beneficios que se esperan a través de la implementación de este proyecto son:

- ✓ Reducción de la variabilidad del producto
- ✓ Disminución de los tiempos muertos y gastos energéticos
- ✓ Aumento de la eficiencia del proceso
- ✓ Garantía de seguridad para la planta y personal

5.3. ESTUDIO FINANCIERO

En el estudio realizado para este proyecto de automatización se requirió el uso tecnología moderna. El presupuesto del proyecto basado en una cotización de precios de Siemens de 2016, es:

criterio	Cantidad	Costo por unidad (COP \$)	Costo total (COP \$)
PLC Simatic 300, CPU 315-2 PN/DP, CPU estándar modular	1	12.553.000	12.553.000
Perfil de soporte de 830 mm 6ES7390-1AJ30-0AA0, riel para instalación S7-300,	1	282.000	282.000
Micro Memory Card 6ES7953- 8LL20-0AA0, S7-300/C7/ET 200S IM151 CPU, 3.3 V 2 MB	1	1.500.000	1.500.000
Fuente de alimentación PS307 5A formato tipo S7-300 6ES7307- 1EA00-0AA0, entrada AC 120/230 V, salida DC 24V	1	900.000	900.000
Módulo de 8 entradas análogas SM331, para res 4 in A. 9/12/14 Bits	1	3.805.000	3.805.000
Módulo de 8 salidas análogas SM332, res. 12 Bits	1	5.180.000	5.180.000
Conector frontal para módulo S I/O y CPU de 20 polos	1	140.000	140.000
Conector frontal para módulo S I/O y CPU de 40 polos	1	217.000	217.000
Termocupla tipo J	4	20.000	80.000
Paro de emergencia	1	16.200	16.200
Resistencias calefactoras de abrazadera 450 W, 4 cm de diámetro, 6 cm de ancho	3	56.800	170.400
Pantalla HMI	1	2.000.000	2.000.000
Total			27.746.900,00

Tabla 8. Cálculo del presupuesto del proyecto

6. CONCLUSIONES

A partir de la adecuada selección de la instrumentación, del controlador lógico programable, PLC, y de la elaboración de un Sistema de supervisión, monitoreo y adquisición de datos se podrá implementar un proyecto que permita la optimización de los recursos y productos empleados en el proceso de extrusión de tuberías de PVC. La lectura errónea de la temperatura omitía un factor importante en el control de la misma variable, razón por la que parte del producto era obtenido en malas condiciones.

Un sistema de supervisión y adquisición de datos permitirá el registro del comportamiento del sistema en el tiempo, y gracias a la implementación de los nuevos instrumentos de medición, el control del proceso será más efectivo.

REFERENCIAS

A propósito del plástico (En línea). British Plastics Federation, 2016 [Consultado 11 de julio de 2016]. Disponible en Internet: http://www.bpf.co.uk/Sustainability/Plastics_and-_Sustainability.aspx.

Aragón F., Espitia J. Automatización de una extrusora monohusillo para trabajar materiales plásticos y compuestos. 2014. Universidad Autónoma de Occidente.

Cursos de Procesos de Manufactura, Plásticos Protocolo (En línea). Escuela Colombiana de Ingeniería, Laboratorio de Producción, 2007 [Consultado 11 de julio de 2016]. Disponible en Internet: http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734_plimeros.pdf.

El PVC en la construcción (En línea). EcoHabitar, 2011 [Consultado 11 de julio de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.ecohabitar.org/el-pvc-en-la-construccion/>.

Extrusión de alimentos, dar nuevas formas y texturas (En línea). Eroski Consumer, Natalia Gimferrer Morató, 2009 [Consultado 11 de julio de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.consmer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-ecnologia/2009/03/09/183869.php>.

Extrusión, Manual para el Diseño de Perfiles de Extrusión de Aluminio (En línea). Hydro Aluminium, 2014 [Consultado 11 de julio de 2016]. Disponible en Internet: http://www.hydro.com/upload/Subsites/Argentina/Catalogs/Perfiles%20Industriales/Manual_extrusion.pdf.

Industrial Extrude. Chapter 4: Instrumentation and Control. 2010.

Los plásticos, factor clave en el desarrollo social y material del ser humano (En línea). Confederación Española de Empresarios de Plástico, 2013 [Consultado 11 de julio de 2016]. Disponible en Internet: <http://dis.um.es/~barzana/Divulgacion/Plasticos/Plasti01.html>.

Webinar. Parámetros de Control de Procesos de Extrusión. AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico. Abril, 2014.

System Manual S7-1200 (En línea). Siemens, 2012 [Consultado 25 de junio de 2016]. Disponible en Internet: https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch-/36932465/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf.

Simatic S7-300 (En línea). Siemens, 2010 [Consultado 10 de junio de 2016]. Disponible en https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/soluciones/Documentos/314%20SCE%20-%20CF%20-%20S7300.pdf

Sistemas Escada 2Ed- Aquilino Rodríguez Penin: RODRIGUEZ PENIN Aquilino, Sistemas SCADA, Segunda Edición, Alfaomega, Marcombo, ediciones técnicas 2007.

Usos y aplicaciones del PVC (En línea). Textos Científicos, 2005 [Consultado 11 de julio de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc/ usos>.