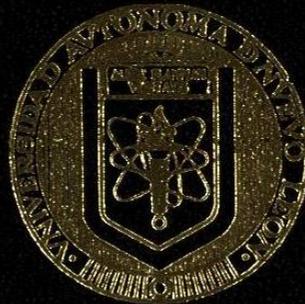


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION ESTUDIOS DE POST-GRADO



APLICACION DE OBSERVADORES DE ESTADO PARA
VERIFICAR LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA
DE UN PROCESO DE EXTRUSION

POR
ALEJANDRO HERNANDEZ GARZA

TESIS
EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA ELECTRICA
CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1998

1998

TM

Z5853

.M2

FIME

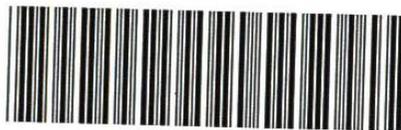
1998

H47

APLICACION DE OBSERVADORS PARA
VERIFICAR LAS MEDICIONES DE
TEMPERATURA

DE UN PROCESO DE EXTRUSION

A.H.G.



1020125423

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



APLICACION DE OBSERVADORES DE ESTADO PARA VERIFICAR LAS
MEDICIONES DE TEMPERATURA DE UN PROCESO DE EXTRUSION

POR

ALEJANDRO HERNANDEZ GARZA

TESIS

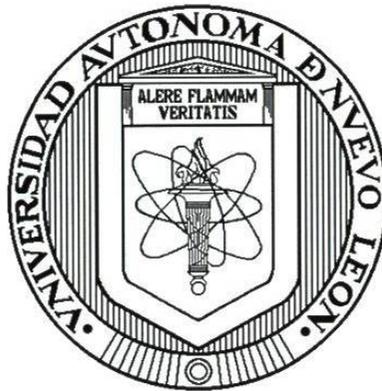
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

MONTERREY, N.L., DICIEMBRE DE 1998

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



APLICACION DE OBSERVADORES DE ESTADO PARA VERIFICAR LAS
MEDICIONES DE TEMPERATURA DE UN PROCESO DE EXTRUSION

POR

ALEJANDRO HERNANDEZ GARZA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

MONTERREY, N.L., DICIEMBRE DE 1998

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA.
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “Aplicación de observadores de estado para verificar las mediciones de temperatura de un proceso de extrusión”, realizada por el alumno Alejandro Hernández Garza, matrícula 628472 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control.

El Comité de Tesis



Asesor

Dr. Ernesto Vázquez Martínez



Coasesor

Dr. Carlos A. Guerrero Salazar



Coasesor

M.C. César Elizondo González



Vo.Bo.

M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Post-Grado

San Nicolás de los Garza, N.L., Diciembre de 1998

DEDICATORIAS

A Dios, por darme la inteligencia para llegar hasta donde he llegado.

A mis Padres, que hicieron de mi un hombre de bien.

A Tere y Neto, que siempre me han dado su apoyo incondicional.

A mis amigos de Poza Rica.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, Dr. Ernesto Vázquez Martínez, por todo ese tiempo que dedicó con sus asesorías y consejos a la elaboración de ésta.

Al Dr. Carlos A. Guerrero Salazar por sus valiosos consejos y facilidades para obtener información de su tesis doctoral.

Al Dr. Juan Manuel Ramírez por su apoyo en la elaboración de esta tesis.

Al Ing. Jorge H. Escamilla G., por sus aportaciones técnicas.

A la Srita. Lulú y a Félix por su calidad en el servicio.

PROLOGO

La presente tesis ha sido realizada conjuntamente por el Ing. Jorge Homero Escamilla Guerrero y el Ing. Alejandro Hernández Garza, con la finalidad de desarrollar una aplicación que sirva como herramienta potencial para verificar las mediciones de temperatura de un proceso industrial de extrusión.

Se pretende que esta herramienta sea de valiosa ayuda en la verificación de calibración en línea de los instrumentos de medición de temperatura, en especial en aquellos procesos que requieren un paro de producción para verificar la calibración de éstos, ocasionando pérdidas económicas originadas por el desperdicio de producto. Estas actividades son inherentes en cualquier compañía porque deben asegurar que los equipos operen correctamente, con mayor razón si desean obtener, o ya obtuvieron un certificado de calidad, ya que las compañías certificadoras realizan auditorias periódicamente para verificar que los instrumentos sean calibrados rigurosamente bajo un programa establecido.

En la presente tesis se desarrolló una aplicación de observadores de estado para verificar las mediciones de temperatura de un proceso de extrusión de plásticos, cuyo equipo utiliza sensores de temperatura del tipo RTD para controlar el proceso a lo largo del extrusor; el proceso analizado en esta tesis consta de cinco zonas, cada una con su correspondiente sensor de temperatura. A partir del modelo matemático del comportamiento dinámico del proceso de extrusión, se diseñó un observador de estado para estimar las temperaturas en las cinco zonas del proceso. Así la comparación entre las temperaturas registradas por los instrumentos de medición y las estimadas por el observador de estado permitirá determinar si los equipos de medición están operando correctamente. Se pretende que este trabajo sirva de base para aplicarlo en otros procesos

con diferentes variables e instrumentos de medición y lograr desarrollar también un modelo para la aplicación de observadores de estado para verificar las mediciones de otras variables de proceso.

INDICE

	Página
DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
PROLOGO.....	iii
INDICE.....	v
SINTESIS.....	1
CAPITULO 1. INTRODUCCION	
1.1 Objetivo de la tesis.....	3
1.2 Motivación.....	4
1.3 Limitaciones.....	5
1.4 Estructura.....	6
CAPITULO 2. INSTRUMENTO DE MEDICION	
2.1 Introducción.....	7
2.2 Características de un RTD.....	8
2.3 Configuración de las puntas de conexión.....	11
2.4 Medición de resistencia.....	14
2.5 Conversión de resistencia a temperatura.....	16
2.6 Conclusiones del capítulo.....	18

CAPITULO 3. MODELO DEL PROCESO DE EXTRUSION DE PLASTICOS

3.1	Introducción.....	20
3.2	Descripción básica de un extrusor.....	21
3.3	Descripción del proceso de extrusión de plásticos.....	23
3.4	Modelo matemático.....	28
3.5	Conclusiones del capítulo.....	33

CAPITULO 4. OBSERVADORES DE ESTADO

4.1	Introducción.....	34
4.2	Controlabilidad y observabilidad.....	37
4.2.1	Controlabilidad.....	37
4.2.1.1	Controlabilidad completa del estado para un sistema de control en tiempo discreto lineal e invariante en el tiempo.....	37
4.2.1.2	Controlabilidad de un sistema de control en tiempo continuo lineal e invariante en el tiempo.....	40
4.2.2	Observabilidad.....	42
4.2.2.1	Observabilidad completa de los sistemas de control en tiempo discreto.....	43
4.2.2.2	Observabilidad completa de los sistemas de control en tiempo continuo lineales e invariantes en el tiempo.....	44
4.3	Observadores de estado.....	45
4.3.1	Observador de estado de orden completo.....	51
4.4	Diseño del observador de estado para el modelo de extrusión de plásticos.....	56
4.5	Conclusiones del capítulo.....	61

CAPITULO 5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1	Introducción.....	63
5.2	Metodología de evaluación.....	64
5.3	Análisis de resultados.....	65
5.3.1	Modelo del extrusor.....	65

5.3.2 Observador de estado.....	68
5.4 Aplicación del observador de estado en tiempo real.....	72
5.5 Conclusiones del capítulo.....	73
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 Introducción.....	75
6.2 Conclusiones.....	76
6.3 Aportaciones.....	78
6.4 Recomendaciones.....	78
BIBLIOGRAFIA.....	80
LISTADO DE FIGURAS.....	82
APENDICE 1. TABLA DE RESISTENCIA CONTRA TEMPERATURA.....	84
APENDICE 2. CALCULO DE PARAMETROS DEL MODELO DE EXTRUSION DE PLASTICO.....	85
APENDICE 3. NOMENCLATURA UTILIZADA.....	89
APENDICE 4. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EXTRUSOR.....	91
GLOSARIO.....	93
RESUMEN AUTOBIOGRAFICO.....	99

SINTESIS

En el capítulo 1 de esta tesis se describe el objetivo primordial que se persigue en el desarrollo de la misma, es decir en dónde y cómo se puede aprovechar la realización de este tema en especial; también se presenta la motivación por la cual se decidió desarrollar este tema y cuales son sus principales limitaciones.

El capítulo 2 se refiere principalmente a las características de los sensores de temperatura así como también a los distintos tipos y comportamiento de los mismos. Se describen también los antecedentes sobre las mediciones de temperatura y los primeros sensores que surgieron; también se describen algunos conceptos de exactitud y errores de medición de los sensores de temperatura y conversiones de resistencia a temperatura.

En el capítulo 3 se describe el funcionamiento de un extrusor de plásticos, las características básicas y las partes principales que lo componen; también se analiza el proceso de extrusión de plásticos, en el cual se mencionan los puntos más importantes de este concepto. Posteriormente se analiza un modelo matemático basado en un balance macroscópico de energía en una de las zonas del barril en el cual se relacionan las variables de los coeficientes de temperatura involucradas así como también conductividades térmicas del barril y del tornillo del extrusor. Finalmente se plantea el modelo del sistema completo, compuesto por un sistema de cinco ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento dinámico de las temperaturas en cada zona del proceso.

En el capítulo 4 se analizan dos conceptos fundamentales de los sistemas de control: la controlabilidad y la observabilidad, los cuales son básicos para el diseño de un observador de estado. Se describe el procedimiento para el diseño de un observador de estado de orden completo, a partir de observaciones de las señales de salida y las

entradas de control, considerando un sistema dinámico. Finalmente se desarrolla el observador de estado en base a un modelo simplificado del proceso de extrusión descrito en el capítulo 3.

En el capítulo 5 se analizan los resultados de las simulaciones, donde se verifica la adaptación del extrusor para esta aplicación, así como el comportamiento del observador de estado propuesto en esta tesis como un método indirecto para la verificación de los registros de temperatura de los equipos de medición asociados. Los resultados demuestran la validez del modelo del extrusor, ya que se aprecian cambios de $1/40^{\circ}\text{C}$ por segundo, lo que coincide con la respuesta de un extrusor de plásticos real; asimismo, las simulaciones indican que la salida del observador converge a los valores de temperatura del modelo en un tiempo de respuesta del observador menor a los 10 segundos, lo cual es bastante aceptable considerando que el proceso de extrusión de plásticos tiene asociadas constantes de tiempo muy grandes por tratarse de un fenómeno de transferencia de calor. Estos resultados demuestran la factibilidad de utilizar el observador de estado como un método indirecto para la verificación de los registros de temperatura de los equipos de medición.

En el capítulo 6 se describen las principales conclusiones derivadas del desarrollo de esta tesis, así como las aportaciones al conocimiento derivadas y las recomendaciones para trabajos de investigación futuros en este tema.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 OBJETIVO DE LA TESIS

Definir un método alternativo que permita establecer en forma precisa, si los instrumentos de medición de temperatura utilizados en un proceso de extrusión de plástico proporcionan lecturas correctas, sin recurrir al método tradicional de calibración a través de la comparación directa con un patrón.

El trabajo APLICACION DE OBSERVADORES DE ESTADO PARA VERIFICAR LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA EN UN PROCESO DE EXTRUSION, propone la aplicación de un observador de estado, que estime las temperaturas en cada una de las zonas del proceso. De esta forma, la comparación directa entre las temperaturas medidas y las estimadas, indicará si las lecturas de temperatura de los sensores son correctas o no, en cuyo caso se deberán recalibrar.