



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



“Implementación de un sistema SCADA en el proceso de termoformado de la empresa POLIGRUP S.A. para medir la eficiencia productiva y el diseño de un control de temperatura de molde aplicando control difuso”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Presentado por:

Edinson Augusto Chica Veliz

Omar Patricio Matute Ordoñez

Guayaquil – Ecuador

2021

AGRADECIMIENTO

Aprovecho esta oportunidad para darle mi ferviente agradecimiento a Dios sobre todas las cosas y ahora en especial por haberme dado salud, fuerzas y sabiduría para poder haber cumplido con uno de mis objetivos profesionales como es el de adquirir conocimientos y obtener el título de Magister en Automatización y Control Industrial.

Agradezco a los Directivos Ejecutivos de la empresa Poligrup S.A. por haberme dado el apoyo económico y demás recursos necesarios para poder alcanzar el programa académico que exige la maestría.

EDINSON AUGUSTO CHICA VELIZ

Agradezco por sobre todo a mi Dios, que me dio la oportunidad y la visión para continuar con mis estudios y lograr esta meta profesional, de igual manera agradezco a mi familia por el impulso y la constancia que siempre me demostraron, también a mis maestros por sus enseñanzas y a los funcionarios de la empresa Poligrup S.A. por brindarnos toda la apertura dentro de su empresa.

OMAR PATRICIO MATUTE ORDOÑEZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios por estar conmigo en todo momento y por sus bendiciones, a mi madre por ser el apoyo moral y anímico incondicional y a mis hijos Valentina, Sebastián, Harrison y Delia Isabella por ser quienes me motivan a emprender y seguir adelante con éxito.

EDINSON AUGUSTO CHICA VELIZ

Este trabajo está dedicado a mi Dios que con su infinito amor me ha guiado por el camino correcto, a mis padres que son mi fuente de consejos y ejemplo a seguir, a mi esposa y a mi hija que son las que siempre me acompañan y me impulsan a seguir adelante.

OMAR PATRICIO MATUTE ORDOÑEZ

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



SUB-DECANO FIEC

MSc. Ronald Solis Mesa

DIRECTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Wilton Agila", is centered within a light blue rectangular box.

Ph.D. Wilton Agila

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Edinson Chica V.



Omar Matute O.

RESUMEN

La mayoría de las industrias enfrentan problemas para enfocarse en cumplir con la producción de sus productos. La flexibilidad tecnológica de cada empresa la hace ser más eficiente además de requerir abundante producción continua para ser más competitiva. El sistema SCADA (Supervisión Control y Adquisición de Datos) se desarrolló para aumentar el rendimiento de los sistemas de control industrial. Esta tesis presenta la implementación de un sistema SCADA para determinar la Efectividad Total de los equipos OEE puntualizado en el proceso de termoformado.

El OEE se lo obtiene por medio de los KPI de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. Cada uno de estos indicadores serán calculados automáticamente por el medio del sistema SCADA el mismo que está conectado al PLC principal de la maquina y por medio del desarrollo de un programa y algoritmos se puede obtener informes numéricos y gráficos en tiempo real sobre el desempeño de la maquina durante día, turnos u ordenes de producción.

Este tipo de software contribuye un avance significativo en la automatización industrial, ya que ayuda a la Gerencia y sus técnicos a tomar decisiones oportunas para la mejora continua del proceso productivo lo que reflejará una reducción de los costos de producción y por ende la competitividad de sus productos. Así mismo se diseña un controlador difuso para el control de temperatura de los moldes de termoformados utilizados en este proceso productivo, donde se analiza el desempeño del controlador por medio de los cálculos de error y tomando en cuenta las particiones difusas, el ajuste de sus parámetros, y sus ganancias.

Palabras claves: SCADA, OEE, Controlador difuso, Adquisición de datos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
CAPITULO 1	1
1 Antecedentes	1
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Solución propuesta	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Metodología	6
1.5 Alcance	7

CAPÍTULO 2.....	8
2 Estado del arte.....	8
2.1 Sistema de adquisición de datos	8
2.1.1 Tipos de Sensores y sus aplicaciones	9
2.1.2 Acondicionamiento de señales.....	11
2.1.3 Multiplexación de señales	13
2.1.4 Mecanismo para adquisición de datos	14
2.2 Sistema HMI SCADA	14
2.2.1 Tipos de HMI	18
2.2.2 Conexión con PLC	19
2.2.3 Wonderware Indusoft Studio	20
2.3 Servidor OPC.....	21
2.4 Autómata PLC	22
2.4.1 Tipos de autómatas.....	23
2.4.2 Configuraciones básicas	24
2.4.3 Redes de comunicación industrial.....	27
2.4.4 Módulos de adquisición de datos	29
2.5 Controladores difusos	30
2.5.1 Lógica difusa	30
2.5.2 Control difuso	31
2.5.3 Controlador difuso	31
2.5.4 Fusificación	32
Capítulo 3	36
3 Escenario del estudio.....	36
3.1 Descripción del escenario.....	36
3.2 Descripción general del proceso de la empresa	36

3.2.1	Subsistema de arribo y acopio de materia prima	36
3.2.2	Subsistema de termoformado	37
3.2.3	Subsistema de monitoreo y calidad.....	40
3.2.4	Subsistema de producto terminado y despacho	44
Capítulo 4		45
4	Identificación del modelo de la planta e implementación del sistema de adquisición de datos.	45
4.1	Modelado del sistema de enfriamiento del molde.....	45
4.2	Implementación del sistema de adquisición de datos para el sistema SCADA.	59
4.2.1	Selección de sensores	59
4.2.2	Programación del autómatas	60
4.2.3	Configuración de bloques.....	61
4.2.4	Administración de tags	64
4.2.5	Sistemas HMI SCADA.....	64
4.2.6	Instalación y configuración del HMI.....	65
4.2.7	Conexión con driver Wonderware Indusoft	66
4.2.8	Configuración VB	68
4.2.9	Cálculo de variables	69
4.2.10	Pantallas de usuario y reportes.....	71
4.2.11	Servidor de base de datos	77
Capítulo 5		80
5	Diseño del controlador difuso E IMPLEMENTACIÓN y análisis de datos del sistema scada.	80
5.1	Diseño del Controlador difuso.....	80
5.1.1	Definir las variables de entradas y de control.....	80

5.1.2	Fusificación	81
5.1.3	Base de reglas	84
5.1.4	Defusificación.....	85
5.1.5	Simulación de control de temperatura difusa	86
5.2	Implementación del sistema SCADA	92
5.2.1	Pantalla de operador.....	93
5.2.2	Pantalla de producción con resumen de OEE.....	93
5.2.3	Pantalla de control de tendencias.	93
5.2.4	Pantalla de Gerencia.....	94
5.2.5	Configuración de la red y conexión con el Autómata	94
5.2.6	Conexión con la base de datos	95
5.2.7	Validación de la base de Datos y del Sistema Implementado...	96
	CONCLUSIONES	98
	Implementación del sistema SCADA en la Termo formadora #3.....	99
	BIBLIOGRAFIA.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Componentes típicos de un sistema de adaptación de datos (DAQ).	8
Figura 2.2 Tipos de sensores industriales.	11
Figura 2.3 Diagrama de un sistema SCADA básico.	17
Figura 2.4 Diagrama de un sistema OPC Servidor – Cliente	22
Figura 2.5 Tipos de controladores logicos progrmables.	24
Figura 2.6 Red de comunicación de la pirámide CIM (Fabricación integrada por computadora).	28
Figura 2.7 Etapas de un controlador difuso.	32
Figura 2.8 Ejemplo de fusificación.	33
Figura 2.9 Ejemplo de defusificación.	35
Figura 3.1 Esquema del proceso de termoformado.	38
Figura 3.2 Diagrama de proceso e instrumentación del molde de termoformado.	40
Figura 4.1 Diagramas de bloques del proceso con lazo de control de temperatura	46
Figura 4.2 Tendencia de los datos obtenidos para la identificación del modelo de la planta Gp.	48
Figura 4.3 Datos adquiridos cargados en la herramienta de Identificación.	49

Figura 4.4 Ventana de la herramienta para identificar el modelo de la planta.....	50
Figura 4.5 Representación gráfica y valor de ajuste del modelo medido y simulado del orden FOPDT.	51
Figura 4.6 Resultados obtenidos de la identificación del modelo de la planta.....	52
Figura 4.7 Resultado de ajuste para las distintas identificaciones.....	53
Figura 4.8 Función de transferencia de la planta identificada por Matlab	54
Figura 4.9 Diagrama de bloques del sistema de validación con la planta identificada.	56
Figura 4.10 Comparación de la Respuesta del sistema identificado vs el real medido.....	57
Figura 4.11 Respuesta del modelo identificado con cambios en la entrada.	58
Figura 4.12 Situación del nivel de supervisión (SCADA) en la red de automatización del proceso de termoformado de la empresa POLIGRUP S.A.....	59
Figura 4.13 Tabla de Configuración de bloques utilizados en el programa del PLC.....	61
Figura 4.14 Diagrama de bloques FUP del programa en el PLC Siemens LogoV8.....	62
Figura 4.15 Variables y direcciones dentro del driver SIETH de siemens.	67
Figura 4.16 Selección de variables y tags del proyecto.....	68
Figura 4.17 Programación de Script VB.	69
Figura 4.18 Herramienta Math de Wonderware Indusoft.....	70
Figura 4.19 Configuración pantalla de Operador.....	71
Figura 4.21 Configuración pantalla Gerencial.	72
Figura 4.22 Configuración pantalla Producción.....	73

Figura 4.23 Configuración pantalla de Tendencias.	74
Figura 4.24 Configuración pantalla de Start.	75
Figura 4.25 Configuración pantalla Reportes.	76
Figura 4.26 Modelo de reporte generado en formato RTF.	77
Figura 4.27 Vinculación del software con la base de datos SQL Server.	78
Figura 4.28 Administrador de Base de datos SQL Server.	79
Figura 5.1 Función de membresía de la variable de entrada (error)....	84
Figura 5.2 Función de membresía de la variable de salida (Apertura de válvula).	85
Figura 5.3 Superficie de control.....	87
Figura 5.4 Proceso de inferencia para error P (1.5).	87
Figura 5.5 Diagrama Simulink del control difuso de temperatura.	88
Figura 5.6 Salida del Controlador Difuso - Temperatura en el molde..	90
Figura 5.7 Gráfica de la respuesta de la salida del controlador difuso.	90
Figura 5.8 Respuesta del sistema a una variación del setpoint.....	91
Figura 5.9 Simulación del sistema con control de realimentación de temperatura mediante modelado de la planta Gp.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Mapeado de variables (Tags) del proyecto en el PLC Siemens Logo V8.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5.1 Datos para la Fusificación de la variable de entrada.	84
Tabla 5.2 Datos para la defusificación de la variable de salida.	86

CAPITULO 1

1 ANTECEDENTES

La automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano. En los últimos años, se ha estado desarrollado el sistema denominado SCADA que es un acrónimo de Control de supervisión y adquisición de datos. Los sistemas SCADA se utilizan para monitorear y controlar una planta o equipo en industrias tales como tratamiento y control de agua, energía eléctrica, Petroleras, telecomunicaciones, entre otras [1].

Estos sistemas consisten en la transferencia de datos entre periféricos como una computadora host central (Servidor) SCADA y una cantidad de unidades terminales remotas (RTU) y / o controladores lógicos programables (PLC), y el host central y las terminales del operador. Un sistema SCADA recopila información (por ejemplo, dónde se ocasionó una baja de presión), transfiere la información a un sitio central, luego alerta a la estación de origen de que se ha producido una baja de presión, realiza el análisis y el control necesarios, así mismo determina si la baja es crítica presentando la información de manera lógica y organizada todo esto mediante la visualización en una pantalla.

Actualmente existen diversos sistemas que permiten controlar y supervisar, tales como PLC, DCS y ahora SCADA, que fácilmente se los

puede integrar y comunicar entre sí mediante una red ethernet con el fin de que el operador pueda mejorar la interfaz en tiempo real. Esto permite no solo supervisar el proceso sino tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas, presentar en un simple computador, por ejemplo, una plantilla Excel, un documento Word, PDF, todo en ambiente Windows, con lo que todo el sistema resulta más amigable.

El OEE es un indicador que mide la eficacia de la maquinaria industrial, y que se utiliza como una herramienta clave dentro de la cultura de mejora continua. Sus siglas corresponden al término inglés “Overall Equipment Effectiveness” o “Eficacia Global de Equipos Productivos”.

En las empresas a menudo existe la necesidad de poder cuantificar la productividad y eficiencia de los procesos productivos. Además, hay que tener en cuenta que sólo lo que se mide se puede gestionar y mejorar. Ahí es donde entra el OEE. Esta herramienta es capaz de indicar, mediante un porcentaje, la eficacia real de cualquier proceso productivo. Esto es un factor clave, para poder identificar y paliar posibles ineficiencias que se originen durante el proceso de fabricación [2].

Este indicador de eficiencia se calcula a partir del producto porcentual de tres factores:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

En la industria plástica existen distintas formas de moldeo del plástico y entre ellas se encuentra el moldeo de termoformado que consiste en calentar una lámina plástica y generar vacío en su interior para que la lámina se adhiera en las paredes del molde.

La temperatura del molde juega un papel muy importante para la calidad del producto y la eficiencia del proceso y para esto es importante un buen control de esta [3].

Uno de los controles muy utilizados hoy en día para controlar variables físicas como la temperatura son los controladores difusos. El control difuso es una forma de control adaptivo donde el controlador usa lógica difusa para tomar las decisiones en lo relativo a los ajustes del proceso.

1.1 Descripción del problema

Las técnicas de mejoramiento de la productividad basada en tecnología industria 4.0 son muy utilizadas hoy en día por el sector industrial manufacturero ya que facilita el trabajo de manufactura en el interior de las organizaciones [4].

Las nuevas tecnologías han dado lugar a la cuarta revolución industrial, la misma que vinculadas con la comunicación, procesamiento de datos y microelectrónica son elementos que ayudan a mejorar la productividad debido a que apoyan las labores empresariales desde varios puntos como son: el diseño asistido por computadoras, la automatización de las funciones administrativas y operacionales, la optimización de inventarios, el flujo de los procesos entre otros.

La empresa Poligrup S.A. se dedica al procesamiento de productos plásticos y tiene entre sus procesos productivos maquinas termoformadoras, extrusoras, impresoras y etiquetadoras las mismas que para control de los procesos requeridos en su sistema de gestión de calidad registran datos para obtener los KPI de disponibilidad que es la

relación del tiempo productivo para el tiempo disponible, el rendimiento que es la relación de la producción real para la capacidad productiva y la calidad que es la relación de la cantidad total menos la merma sobre cantidad total producida, así como parámetros físicos que influyen en la calidad del producto final.

Todos estos datos son adquiridos de manera manual por los operadores y coordinadores de calidad en hojas con formatos impresos, información que no es bien procesada e incluso redundante, muy poco veraz para ser utilizada en el análisis y solución de los problemas que ayuden a tomar decisiones precisas e inmediatas para aumentar la eficiencia productiva de la planta.

Los moldes para el proceso de termoformado tienen como parte principal las herramientas de corte las cuales para evitar la dilatación necesitan ser enfriadas con agua helada. Actualmente no cuenta con un control que le permita mantener y monitorear la temperatura.

1.2 Solución propuesta

La solución del problema de recopilación de datos de modo manual para medir la eficiencia de los procesos se la obtendrá mediante la implementación de un sistema de supervisión y adquisición de datos el mismo que de manera automática calcula los tres factores importantes para la medición del OEE tomando la información del PLC principal de la máquina.

Toda la información generada será procesada y presentada automáticamente por medio de gráficos e informes en formatos Excel y PDF de tal manera que se reducirá la mano de obra y se podrán ver con claridad las oportunidades de mejora. El problema del control de temperatura de moldes se lo solucionará mediante la implementación de un controlador difuso el mismo que asegurará una temperatura estable con respecto a la referencia deseada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema SCADA en el proceso de termoformado para medir la eficiencia productiva y el diseño de un control de temperatura de molde aplicando control difuso.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar las necesidades del área de Producción y Calidad y determinar las variables que se deben controlar para mejorar la eficiencia productiva del proceso.
2. Determinar los requerimientos de instrumentación y redes de comunicación necesarios para la captura y procesamiento de datos.
3. Generar los algoritmos para el cálculo automático de los KPIs de productividad, como eficiencia, disponibilidad, calidad y OEE.
4. Diseñar las ventanas del SCADA según las normas y la experiencia de cada departamento para mejorar el sistema de adquisición de datos.

5. Diseñar un controlador al sistema de refrigeración del sistema de termoformado para tener presente sus parámetros de sintonización y en un futuro poder ser aplicado.
6. Programar el PLC y el OPC server para la comunicación HMI.
7. Realizar pruebas de funcionamientos para los ajustes y correcciones oportunas.

1.4 Metodología

Se implementará una investigación cuantitativa, se obtendrán valores estándar de la producción antes y después de la implementación para calcular el porcentaje de mejoramiento de los procesos. La adquisición de las variables de control se obtendrán mediante sensores análogos para medir la temperatura del agua y la presión del aire comprimido; sensores inductivos para detectar las posiciones del horno, selección automática y orden de marcha de la máquina así como de un encoder para medir la velocidad de producción del proceso; estos estarán conectados a un PLC [5] el cual va a enviar los datos al Servidor del sistema SCADA, estos datos van a ser procesados y calculados mediante las fórmulas de OEE [6] y enviará un reporte preciso hacia los administradores para su análisis diario del proceso.

Para la interconexión de equipos se dispondrá de una red de comunicación fiable ya sea Ethernet, Profibus o Modbus [7]. Mediante estadística computacional se compara los resultados archivados como histórico de la empresa con los obtenidos automáticamente para encontrar el porcentaje de mejoramiento de la eficiencia del proceso. Mediante técnicas de control se diseñará un control difuso [8] para mejorar el proceso de enfriamiento

de los moldes de termoformado para mantener una temperatura ideal en el sistema.

1.5 Alcance

Al automatizar el sistema de control administrativo de la producción en el proceso de termoformado con la implementación de técnicas de productividad tecnológica de forma automática se pretende obtener información real, eficaz y precisa de lo que está sucediendo en el proceso de termoformado mejorando con esto la productividad.

Mantener una temperatura ideal en la superficie de los moldes de termoformado lo que ayudará a no reducir el tiempo de vida útil de la herramienta de corte.

CAPÍTULO 2

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Sistema de adquisición de datos

El propósito de la adquisición de datos es medir un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido, digitalizando las señales para almacenamiento, análisis y presentación en una PC y comúnmente se lo realiza previo al tratamiento digital de una información.

Los sistemas de adquisición de datos vienen en diferentes formas de tecnología de PC para ofrecer flexibilidad al elegir un sistema. Considere los siguientes cuatro componentes al construir un sistema básico de adquisición de datos como se muestra en la Figura 2.1:

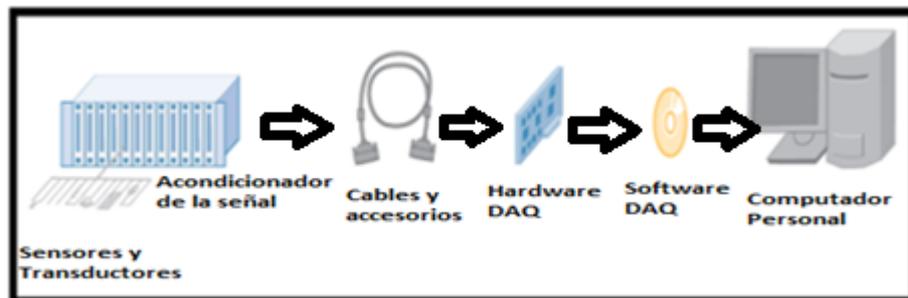


Figura 2.1 Componentes típicos de un sistema de adaptación de datos (DAQ).

2.1.1 Tipos de Sensores y sus aplicaciones

Un sensor es un dispositivo que convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica medible, como voltaje o corriente. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir diferentes fenómenos depende de los transductores para convertir los fenómenos físicos en señales medibles por el hardware de adquisición de datos. Los sensores son llamados también transductores en sistemas de adquisición de datos [9].

Entre los tipos de sensores más utilizados en la industria que pueden detectar las siguientes magnitudes físicas:

Los sensores ultrasonidos son utilizados para detectar la proximidad física de un objeto con el fin de evitar un roce o choque mecánico. Operan enviando una onda de sonido, que posteriormente choca con una superficie y se devuelve. De este modo, el sensor mide el tiempo que tarda en regresar la onda y así calcula la distancia entre objetos.

Son sensores que miden la humedad relativa y la temperatura de un ambiente. Cuentan con circuitos integrados que les permiten emitir una señal acondicionada. Usualmente, cuentan con un punto sensible que capta las señales del ambiente. Este punto es fabricado con polímeros y electrodos de platino. La mayoría son calibrados por láser, tiene un buen rendimiento y un margen de error mínimo.

Un sensor de temperatura es un artefacto que arroja información sobre la temperatura del medio a través de un impulso eléctrico. Este impulso

eléctrico pasa en forma de voltaje, y la proporción de este voltaje es equivalente al valor de la temperatura medida.

Un sensor piroeléctrico o sensor PIR es aquel que se usa para medir la radiación de luz infrarroja emitida por un objeto dentro de su campo. Cada objeto que tiene una temperatura por encima de los cero grados produce energía calórica en la forma de radiación. Esta radiación emite ondas infrarrojas que son invisibles para el ojo humano, pero pueden ser captadas por los sensores PIR.

Los sensores de luz son sensores reflectivos que operan por intercepción de la señal. Operan haciendo uso de una célula receptora del estímulo enviado por una fuente luminosa, que puede ser una lámpara, un LED, un diodo láser, entre otros.

Los sensores de contacto son aquellos que utilizan interruptores que se activan haciendo uso de actuadores físicos. Algunos robots de uso industrial utilizan este tipo de sensores a manera de “bigotes de gato” o alambres finos que permiten detectar la proximidad de los elementos.

Este tipo de sensor tiene la capacidad de captar los sonidos del ambiente por medio de un sistema de sonar o micrófono. Son usualmente utilizados para recibir estímulos como órdenes de forma remota o para medir distancias con base a la percepción de la onda de sonido.

De esta manera, y con el debido acondicionamiento, la señal de salida puede ser tratada por un equipo automático de adquisición de datos. Las señales del mundo real son, en general, analógicas y varían de manera continua en el tiempo, para que un computador sea capaz de procesarla se debe convertir a datos digitales. Cada uno de estos sensores tiene unas características propias y genera una tensión o intensidad determinada, por lo que estas señales tienen que ser adaptadas para ser tratadas en una tarjeta de adquisición de datos. Los tipos de sensores varían en forma y dimensiones como se muestran en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Tipos de sensores industriales.

2.1.2 Acondicionamiento de señales

El acondicionador de señal es un dispositivo electrónico cuyo principal objetivo es genera una señal que sea aceptable por las tarjetas de adquisición de datos, todo esto a partir de la señal entregada por los sensores. Las tarjetas de adquisición de datos son diseñadas para trabajar con niveles de tensión que van entre los siguientes márgenes determinados: -10V a 10V, 0 a 10V, 0 a 5V, etc.

Existen transductores que generan señales demasiado difíciles o peligrosas para medir directamente con un dispositivo de adquisición de datos. Por ejemplo, cuando se trata de altos voltajes, entornos ruidosos y señales extremas altas y bajas, o medición simultánea de señales, el acondicionamiento de señales es esencial para un sistema efectivo de adquisición de datos ya que hace más preciso y seguro el sistema.

Las principales funciones que realiza el acondicionador de señales son:

Función de transformación, donde los sensores pueden proporcionar ya sea una diferencia de potencial, o una variable de intensidad. Normalmente las tarjetas de adquisición de datos admiten diferencias de potencial, por lo que, si el sensor proporciona una variación de intensidad, esta debe ser convertida en una diferencia de potencial proporcional.

En la función de amplificación la señal que entregan los sensores suele ser de un valor muy pequeño, por lo que necesariamente se tiene que amplificada con el fin de que pueda ser detectada correctamente por la tarjeta de adquisición de datos. La amplificación debe ser tal que las variaciones de la señal recorran todo el margen de la tarjeta de adquisición de datos. La amplificación de las señales, en su origen, reduce el ruido que les puede afectar en su transmisión hasta el computador.

La función de aislamiento consiste en la conversión de una señal eléctrica en una señal óptica, de luz. El principal objetivo de esta conversión consiste en aislar los sistemas eléctricos de los sensores de los sistemas eléctricos de la tarjeta de adquisición para que, de esta forma, se evite tener que usar masas comunes, que en algunos casos producen problemas de derivación de corrientes.

Con el filtrado se pretende eliminar ruidos de alta frecuencia que pueden hacer perder exactitud al sistema de adquisición de datos. Lo ideal es transportar la señal del sensor lo más limpia posible de interferencias y ruidos a la tarjeta de adquisición.

2.1.3 Multiplexación de señales

Este es el último paso del proceso de adquisición de datos y nos es otra cosa que la discretización de la señal utilizando el código binario, esto es generalmente realizada por la tarjeta de adquisición de datos, las mismas que se encargan de Convertir las señales analógicas a digital ADC y realizar la comunicación con la PC.

Cuanto mayor sea la velocidad de muestreo mejor representación obtendremos de la señal analógica, en cualquier caso, la velocidad de muestreo debe ser siempre mayor que el doble de la frecuencia de la señal que queremos muestrear (Según el Teorema de Nyquist).

La resolución viene dada por el número de bits del ADC que se utilizan para representar cada muestra, a mayor número de bits del ADC la tarjeta será capaz de detectar variaciones menores en la señal. El

número de distintos niveles en que se divide la señal a convertir viene dado por 2^n , siendo n la longitud de palabra del conversor.

2.1.4 Mecanismo para adquisición de datos

El hardware de adquisición de datos actúa como la interfaz entre la computadora y el mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza las señales analógicas entrantes para que la computadora pueda interpretarlas. Otra funcionalidad de adquisición de datos incluye lo siguiente:

1. Entradas y salidas análogas
2. Entradas y salidas digitales
3. Contadores/Temporizadores

La multifunción hace una combinación de análogas y digitales y operaciones de conteo en un solo dispositivo.

El software transforma la PC y el hardware de adquisición de datos en una herramienta completa de adquisición, análisis y presentación de datos. Sin software para controlar o manejar el hardware, el dispositivo de adquisición de datos no funciona correctamente.

2.2 Sistema HMI SCADA

SCADA es una tecnología que permite al usuario recopilar datos de una o más instalaciones distantes y / o enviar instrucciones de control a esas instalaciones. Con SCADA, no es necesario que un usuario asista o visite ubicaciones remotas en el funcionamiento normal del sistema. Un sistema

SCADA (hardware y software) debe implementar una o más de las siguientes funciones [10]:

1. Función de alarma: la capacidad de un sistema de supervisión para realizar una acción predefinida en respuesta a una condición de alarma.
2. Función analógica: la capacidad de un sistema de supervisión para aceptar, mostrar y registrar cantidades analógicas detectadas por transductores o dispositivos externos.
3. Función de control: la capacidad de un sistema de supervisión para realizar selectivamente la operación manual o automática (singularmente o en grupos seleccionados) de dispositivos externos. El control puede ser analógico o digital.
4. Función de indicación (estado): la capacidad de un sistema de supervisión para aceptar, registrar o mostrar el estado de un dispositivo.
5. Función de acumulador: la capacidad de un sistema de supervisión de aceptar pulsos digitales totales y ponerlos a disposición para su visualización o grabación.
6. Función de secuencia de eventos: la capacidad de un sistema de supervisión para reconocer cada evento predefinido, asociar un momento de ocurrencia con cada evento y presentar los datos del evento en el orden de ocurrencia de los eventos.
7. Nuevas funciones: como servicio Telnet, transmisión de video, servicio VOIP y videoconferencia.

Los sistemas SCADA consisten en:

1. Uno o más dispositivos de interfaz de datos de campo, generalmente RTU o PLC, que se conectan a dispositivos de detección de campo y cajas de interruptores de control local y actuadores de válvula.
2. Un sistema de comunicaciones utilizado para transferir datos entre dispositivos de interfaz de datos de campo y unidades de control y las computadoras en el host central SCADA. El sistema puede ser radio, teléfono, cable, satélite, etc., o cualquier combinación de estos.
3. Un servidor o servidores de computadora host central (a veces llamado Centro SCADA, estación maestra o Unidad Terminal Maestra (MTU)).
4. Una colección de sistemas de software estándar y / o personalizados (a veces denominados software de Interfaz hombre-máquina (HMI) o software Hombre-interfaz de máquina (MMI)) utilizados para proporcionar la aplicación SCADA central de host y terminal de operador, soportar el sistema de comunicaciones y monitorear y controlar dispositivos de interfaz de datos de campo ubicados remotamente. La Figura 2.3 muestra un sistema SCADA típico.

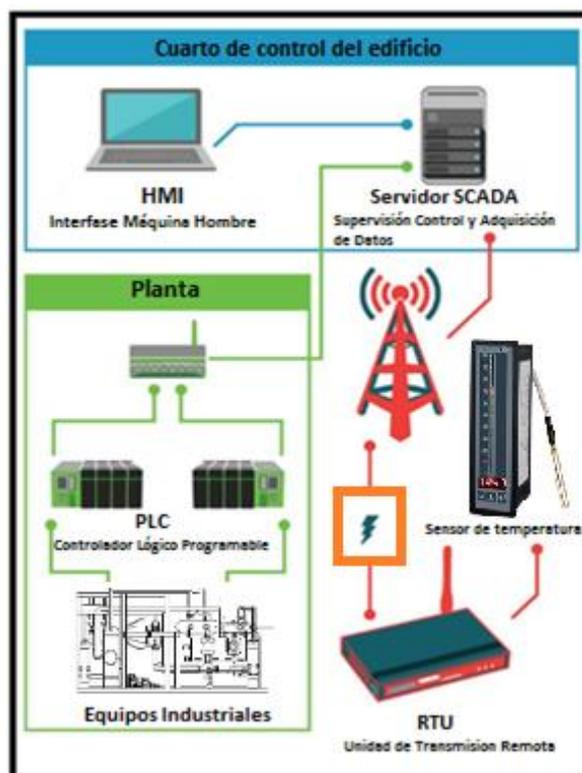


Figura 2.3 Diagrama de un sistema SCADA básico.

A lo largo de las muchas evoluciones de los sistemas SCADA como en muchas tecnologías de operación, ha existido un desafío bastante constante en el nivel de seguridad.

Especialmente cuando el control de supervisión y los sistemas de adquisición de datos ingresaron en la segunda generación (distribuido, con redes de área local), tercera (en red, con redes de control de procesos a menudo distribuidas geográficamente, aprovechando más de una red de área local) y ahora cuarta generación (nube, IoT e interfaz con el modelado de datos y lo que podríamos llamar gemelos digitales), ese aspecto de seguridad se volvió aún más importante, especialmente el aspecto de ciberseguridad.

Se espera que el mercado global de SCADA crezca a una tasa compuesta anual de 5.01% para llegar a US \$ 15.373 mil millones en 2022, de US \$ 13.041 mil millones en 2020.

2.2.1 Tipos de HMI

Se pueden encontrar básicamente dos tipos de HMI:

Se encuentra implementado a nivel de dispositivos utilizados para ingresar, procesar y entregar datos, por ejemplo, el mouse y una pantalla para visualizar. Este interfaz ayuda a entregar información relacionado a los procesos y herramientas de control a través de la observación del operador. Un sistema HMI permite al operador de la estación de trabajo monitorear las condiciones de un sistema de control y de ser necesario hacer cambios en su operación, estos cambios son leves y controlados.

Los sistemas HMI pueden ser conectados a PLC's y demás dispositivos por medio de varios puertos de comunicación, en aplicaciones creadas por un desarrollador estas deben contener información acerca de: configuraciones, información en pantalla, información de tareas, instrucciones, etc., que faciliten el manejo del sistema a los usuarios.

Los sistemas HMI son una representación visual de objetos colocados en la interfaz presentados en una o más pantallas que permiten el manejo del sistema al usuario.

2.2.2 Conexión con PLC

Las tecnologías que más se utilizan para automatizar procesos continuos que requieren control con PLC, así como de la manipulación y del monitoreo de variables con posible animación en tiempo real a través de HMI, permiten apoyar a los operadores en la interpretación de los procesos y en la detección de fallas y la pronta solución de problemas en el sistema, mediante alarmas programadas; sin embargo, también traen como consecuencia la necesidad y los requerimientos de personal altamente calificado en estas tecnologías para su aplicación, pero sobre todo, para desarrollar los algoritmos tanto de control y protección como los de aquellos eventos a realizarse en las GUI (Interfaz Gráfico Usuario), las cuales también deben desarrollarse principalmente en similitud con la realidad de los sistemas y procesos a controlar [11].

Se han utilizado un autómata programable (PLC) de marca Unitronics con interfaz humano-máquina HMI, bajo soporte de un control alterno que permitió las simulaciones de procesos reales bajo el escenario de que una inminente falla en el controlador principal sea auxiliada mediante el controlador alterno, adicionando un graficador digital para la visualización de tal proceso [12].

Físicamente la conexión entre PLC y HMI se la suele hacer por medio de redes de comunicación típicamente Profibus o Profinet y sus parámetros son configurados mediante un editor de hardware. Se pueden realizar conexiones entre un HMI y varios PLC para monitorear los subprocesos de una línea de producción.

Existe una tendencia en la integración HMI – PLC la misma que permite una automatización esbelta, aumenta la eficiencia y reduce desperdicios, tanto en disponibilidad de equipo y el tiempo. En un entorno empresarial altamente competitivo, ofrece las mejores soluciones en su clase, que también son inteligentes, predictivas, y amigables lo que significa una ventaja comercial: control de rendimiento de sistemas que son más rápidos en el diseño, comisión, y mantenimiento [13].

2.2.3 Wonderware Indusoft Studio

Hoy en día, existen varios grupos de opciones en el mercado de software para el diseño gráfico de interfaces de usuario en el campo de la automatización, por ejemplo, el editor de visualización integrado TwinCAT, Kaseya VSA, Indusoft Web Studio, etc. Cada pieza de software tiene sus propias ventajas y desventajas y en esta tesis se utilizará el Indusoft Web Studio 8 [14].

Wonderware Indusoft Web Studio, en breve Indusoft Web Studio, es un producto de software de diseño orientado a objetos de Schneider Electric para construir HMI (interfaz hombre-máquina), SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) y soluciones de instrumentación integradas. El software contiene una vasta colección de herramientas de automatización y tecnologías web integradas de Indusoft. Estas tecnologías web integradas aprovechan la conectividad a internet/intranet para proporcionar a los diseñadores la facilidad de verificar sus proyectos en cualquier momento y en cualquier lugar a través de un navegador web estándar que admite XML (Lenguaje de marcado extensible).

Además, Indusoft Web Studio es compatible con UNICODE, que es un estándar internacional para la codificación, funciona en entornos Windows NT / 2000 / XP / CE / CE .NET y se adapta a los estándares de la industria como Microsoft .NET, OPC, DDE, ODBC, XML y ActiveX. Por lo tanto, se habilita la capacidad de resolución rápida de problemas ya que las alarmas y los errores se pueden interpretar sin esfuerzo. Indusoft Web Studio tiene 14 características principales para una interfaz.

2.3 Servidor OPC

OPC es un estándar de interfaz de software que permite que los programas de Windows se comuniquen con dispositivos de hardware industrial. OPC viene del acrónimo OLE (Object Linking and Embedding) para control de proceso.

OPC se implementa en pares servidor / cliente. El servidor OPC es un programa de software que convierte el protocolo de comunicación de hardware utilizado por un PLC en el protocolo OPC. El software de cliente OPC es cualquier programa que necesite conectarse al hardware, como una HMI. El cliente OPC utiliza el servidor OPC para obtener datos o enviar comandos al hardware.

Lo interesante del OPC es que es un estándar abierto, lo que significa menores costos para los fabricantes y más opciones para los usuarios. Los fabricantes de hardware solo necesitan proporcionar un único servidor OPC para que sus dispositivos se comuniquen con cualquier cliente OPC. Los proveedores de software simplemente incluyen capacidades de cliente OPC en sus productos y se vuelven instantáneamente compatibles

con miles de dispositivos de hardware. Los usuarios pueden elegir cualquier software de cliente OPC que necesiten, con la seguridad de que se comunicará a la perfección con su hardware habilitado para OPC, y viceversa. Existen cuatro tipos de servidores OPC definidos por la OPC Foundation.

En la Figura 2.4 se muestra el diagrama básico de un sistema OPC Servidor – Cliente.

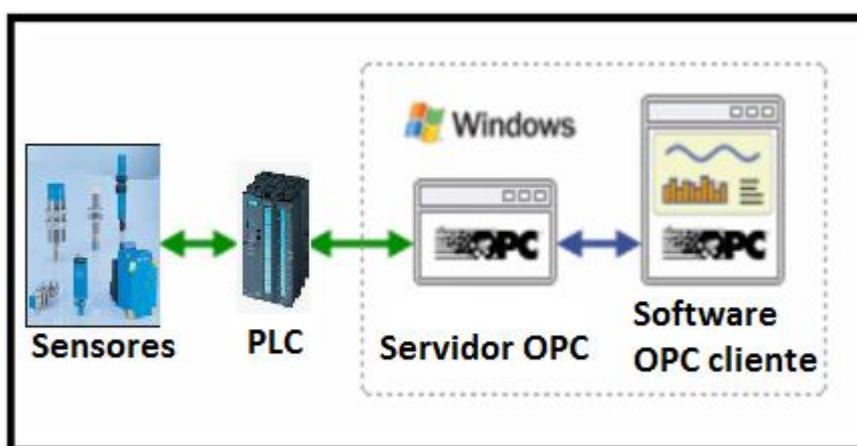


Figura 2.4 Diagrama de un sistema OPC Servidor – Cliente

2.4 Autómata PLC

Según la IEC 61131 un autómata programable es un dispositivo electrónico programable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar unas soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia, temporización, recuento y funciones aritméticos, con el fin de controlar

mediante entradas y salidas (digitales y/o analógicas – sistema híbrido) diversos Tipos d máquinas y/o procesos.

PLC = Programmable Logic Controller

A medida que avanza el tiempo, se creó un software especialmente dedicado del PLC para que los PLC hagan que el trabajo sea más eficiente y fácil. La lógica de escalera, así como el texto estructurado, los gráficos de funciones secuenciales y el diagrama de bloques de funciones son los lenguajes de programación de PLC más utilizados. El lenguaje de lógica de escalera se muestra como un programa mediante símbolos y líneas que emula la configuración del mundo real. Por ejemplo, en Ladder Logic, los símbolos están conectados por líneas, lo que indica el flujo de corriente a través de cables y bobinas. Con los años, los programas se han desarrollado y se han vuelto más elaborados, aumentando el número de símbolos.

En Ladder Logic, los programas completados se ven y tienen forma de escalera, representando un circuito eléctrico. Por ejemplo, los rieles izquierdo y derecho representan el positivo y el suelo de una fuente de alimentación, respectivamente. Además, los peldaños podrían representar una conexión entre diferentes componentes [15]. Cada fabricante de PLC maneja su propio software, interfase y protocolos de comunicación.

2.4.1 Tipos de autómatas

Existen distintos tipos de autómatas, generalmente se distinguen por el nivel de sus propiedades, tales como, mayor potencia de cálculo,

un lenguaje de programación más potente, una mayor capacidad de conexión con los elementos de campo (Entradas y salidas), etc.

Cuanto mayor sea el nivel de prestaciones mejor será el PLC, o sea, mayor número de funcionalidades ofrecerá y por tanto más caro será. A los PLC's más básicos se les llama en ocasiones "micro PLC's"

En la Figura 2.5 se observa los distintos tipos de controladores entre electromagnéticos (Gama baja) hasta los PLC (Gama alta).

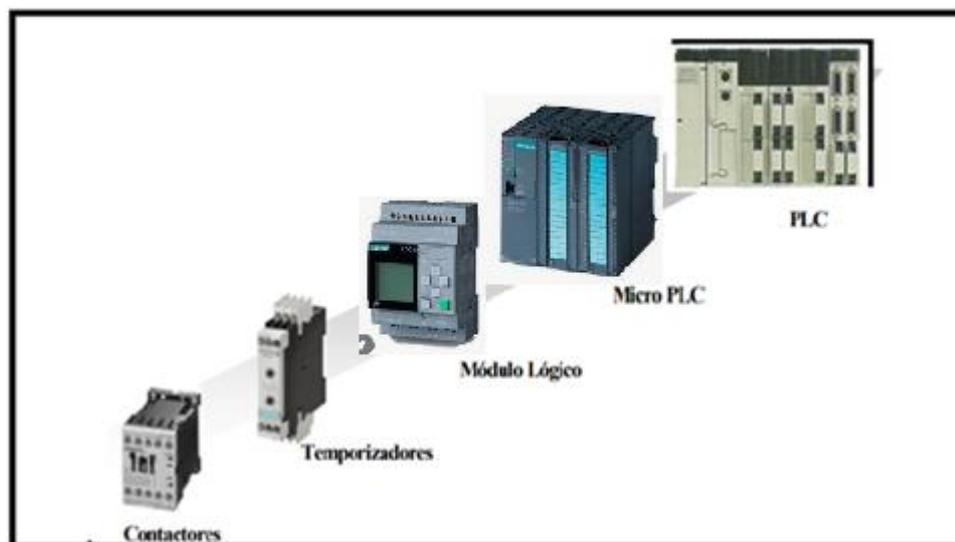


Figura 2.5 Tipos de controladores logicos progmrables.

2.4.2 Configuraciones básicas

La configuración básica de un autómata PLC puede ser dividido en varios bloques:

Es el corazón del PLC y nutre de energía eléctrica al resto de módulos de este y en ocasiones incluso a los sensores del proceso. Por lo general los PLC's funcionan internamente a 5V de corriente continua (DC), pero sin embargo no suele ser corriente alimentarlos directamente con fuentes de 5V DC, sino que se utilizan o bien fuentes que transforman de 220V de corriente alterna (AC) a 5V DC o bien de 24V DC a 5V DC. En el primer caso el PLC puede ser conectado directamente a la red eléctrica de la instalación. En el segundo caso se necesitará una fuente externa capaz de transformar la corriente de 220V AC de la instalación en 24V DC.

La Unidad Central de Proceso (Central Process Unit) es el cerebro del PLC. Este módulo presenta una arquitectura interna similar a la CPU de un PC. Está formada por un microprocesador, una unidad de memoria, una unidad aritmética lógica, y toda la circuitería necesaria para conectar todos estos componentes y permitir a su vez la conexión de la CPU con el resto de los módulos del PLC.

El rack o bastidor es un soporte por lo general metálico sobre el cual se montan todos los módulos que componen el PLC (los enumerados hasta el momento y los siguientes). Puede entenderse como la columna vertebral del PLC. Sobre este soporte va adosado el bus de datos que permite llevar a cabo el intercambio efectivo de información entre todas las partes que forman el PLC, así como alimentarlos con la energía eléctrica necesaria para su correcto funcionamiento. Los distintos módulos se conectarán a las bahías o slots que están fijados sobre el bastidor quedando fuertemente asidos al mismo por medio de algún mecanismo lo cual dota al PLC de gran robustez.

Este tipo de módulos permite al PLC leer valores de sensores digitales del proceso y enviar órdenes hacia los componentes del proceso empleando como adaptadores de señal a los per accionadores y accionadores. Todas estas señales serán de formato todo/nada, es decir, que permitirán intercambiar información que representa dos únicos posibles estados: presente y no presente. Es decir, para el caso de los sensores esta información indicará la existencia de un evento físico o no del proceso respectivamente. Y para el caso de los actuadores codificará la orden de actuar o no actuar respectivamente.

Las señales todo/nada limitan en cierta medida la cantidad de información que el PLC recibe y envía al proceso. Si para una magnitud física del proceso se desea poder conocer desde el PLC todos sus posibles estados o valores entonces es necesario emplear un módulo de entradas analógicas. Este módulo estará formado internamente entre otras cosas por un conversor analógico digital (A/D) que transformará el valor de la magnitud física en cada momento en un número el cual será almacenado en la memoria de entradas analógicas del PLC para su posterior uso desde el programa de control.

Este tipo de módulos contiene internamente un conversor digital analógico (D/A) el cual transformará un valor numérico depositado por el programa de control en una posición de la memoria de salidas analógicas del PLC, en una corriente eléctrica proporcional (comprendida dentro de unos límites determinados) la cual será empleada para llevar a cabo la acción sobre el proceso.

En ocasiones se requiere del PLC que realice operaciones especiales que con los módulos anteriormente descritos no sería posible. En ese caso el PLC puede ser especializado mediante la conexión de módulos específicamente diseñados para llevar a cabo una acción concreta, por ejemplo: interconexión de PLC's, contaje de eventos de alta frecuencia, posicionamiento de ejes, arrancadores de motores, conexiones RS-232, etc. [16].

2.4.3 Redes de comunicación industrial

Las redes de comunicación industrial son la columna vertebral de cualquier arquitectura de sistemas de automatización, ya que proporciona un medio para intercambio, controlabilidad de datos y flexibilidad para conectar varios dispositivos.

La comunicación de datos se refiere a la transformación de información o datos, principalmente en formato digital, de un transmisor a un receptor a través de un enlace (que puede ser de alambre de cobre, cable coaxial, fibra óptica o cualquier otro medio) que conecte estos dos.

Las redes industriales tradicionales se utilizan para permitir la comunicación de datos entre ordenadores, ordenadores y sus periféricos y otros dispositivos. Por otro lado, la red de comunicación industrial es un tipo especial de red hecha para manejar el control en tiempo real y la integridad de los datos en entornos difíciles sobre grandes instalaciones.

2.4.4 Módulos de adquisición de datos

El Módulo de Adquisición de Datos es utilizado para hacer la interfaz de Sistemas Digitales de Adquisición de Datos con cualquier equipo analógico o electromecánico que necesite ser supervisado y/o controlado, aunque estos equipos no posean puerto de comunicación serial.

Los módulos de adquisición de datos permiten la recepción de señales de corriente, voltaje, pulsos y temperatura provenientes de los sensores de algún proceso o laboratorio automatizado, y se manipulan mediante una serie de etapas, compuestas por distintos dispositivos electrónicos, con el objetivo de obtener señales que puedan ser interpretadas por el microcontrolador del proceso.

Se conforma de 4 módulos principales [20]:

a) Módulo de Entradas: Se divide en tres módulos más pequeños, uno para entradas analógicas en el margen de (1 a 5) V o de (4 a 20) mA, un módulo de entradas digitales para señales de (0-24) V, y un módulo de entradas especiales, el cual cuenta con entradas analógicas para termistores, termorresistencias, una entrada bipolar de (-10 a 10) V y una entrada para pulsos.

b) Módulo de conversión analógica/digital: La resolución del convertidor A/D es de 10 bits, y cuenta con 8 canales para la conversión. Las señales pueden provenir del módulo de entradas analógicas o del módulo de entradas especiales.

c) Módulo de salidas: Este módulo también está dividido en tres módulos más pequeños. Un módulo de salidas analógicas que maneja señales de corriente en el margen de (4 a 20) mA, o de voltaje, en el margen de (1 a 5) V, un módulo de salidas digitales, con salidas a relé de 24V y un módulo de salidas especiales para señales tipo PWM y una salida bipolar de (-5 a 5) V.

d) Módulo de comunicaciones: Este módulo funciona de forma bidireccional, trasladando los datos obtenidos desde los sensores del proceso hasta el módulo controlador del sistema, y recibiendo las instrucciones del controlador para llevarlas a cada uno de los actuadores del proceso. Esta información puede ser llevada a una PC el mismo que mediante un software podría emitir un reporte del comportamiento de un dispositivo, equipo o proceso industrial.

2.5 Controladores difusos

2.5.1 Lógica difusa

La llamada lógica difusa permite a los sistemas tratar con información que no es exacta, es decir, dicha información contiene un cierto grado de imprecisión, contraria a la lógica tradicional que trabaja con información definida y precisa. Como por ejemplo la información que maneja la lógica difusa: estatura media, temperatura alta, etc., que en términos difuso son realmente imprecisos, esta teoría parte de la similitud con los conjuntos clásicos en los cuales se tiene una función de pertenencia de 0 o 1.

De ahí el concepto de conjunto difuso el cual se asocia con un determinado valor lingüístico que está definido por una etiqueta, palabra o adjetivo.

2.5.2 Control difuso

La lógica difusa es aplicada principalmente en los sistemas de control difuso, que utilizan las expresiones difusas para formular las reglas que controlaran dicho sistema.

El control lógico difuso por su parte surgió en los 60 [21], como una herramienta para el control de procesos industriales complejos, radicando su importancia en que permite responder a valores intermedios, de variables, pasando de las dos opciones tradicionales de “frío/caliente”, “alto/bajo”, a opciones como “Tibio” y “Medio”, esto enfocándose a que los sistemas se acerquen a la forma de trabajar del cerebro humano

El control difuso es aplicado en innumerables sistemas, tanto sencillo, como brazos articulados y vehículos autónomos, en las cuales los modelos matemáticos son muy complejos, así empleando técnica de razonamiento aproximado es posible controlar sistemas superiores cuando el entorno no se conoce de forma sencilla.

2.5.3 Controlador difuso

Un controlador difuso es formado por cuatro módulos: Una base de reglas difusa, un proceso de inferencia de reglas difusas, un módulo denominado Fusificación y otro defusificación.

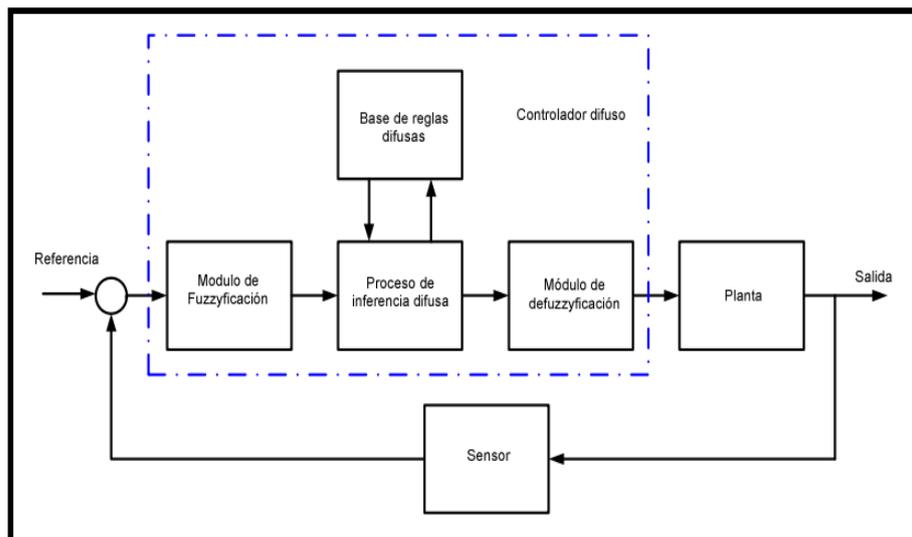


Figura 2.7 Etapas de un controlador difuso.

En el sistema de control difuso mostrado en la Figura 2.7, el valor de entrada dado por los sensores es convertido a un valor difuso mediante un proceso llamado “Fusificación”. A continuación, ese valor es introducido a un proceso también lógico difuso llamado “Mecanismo de Inferencia”, en donde continuamente es evaluado mediante un conjunto de reglas, provenientes generalmente del conocimiento de un experto o elaboradas de manera empírica; este proceso resulta también un valor de salida difuso, el cual es transformado a una salida real, a través de un proceso llamado “defusificación”. El valor de la salida del proceso de “Defusificación” es utilizado como señal de control o como entrada a un actuador que es en realidad, quien se encarga de ajustar la salida del sistema. Los cambios en el sistema son medidos por los sensores y el proceso se repite nuevamente.

2.5.4 Fusificación

En la Fusificación, la diferencia con un esquema convencional es la manera en que la variable de entrada es considerada, en lugar de usar

su valor, se usan funciones de membresía. Por ejemplo, para la temperatura de una habitación, los valores lingüísticos a utilizar podrían ser: frío, fresco, caluroso y caliente, aunque este valor de temperatura real puede pertenecer a varios de estos valores con diferente grado de pertenencias, como puede verse en la Figura 2.8. Aquí se muestra, la línea vertical negra representa una hipotética temperatura real, y tiene un grado de pertenencia a Fresco de 0.5 y a caluroso de 0.35.

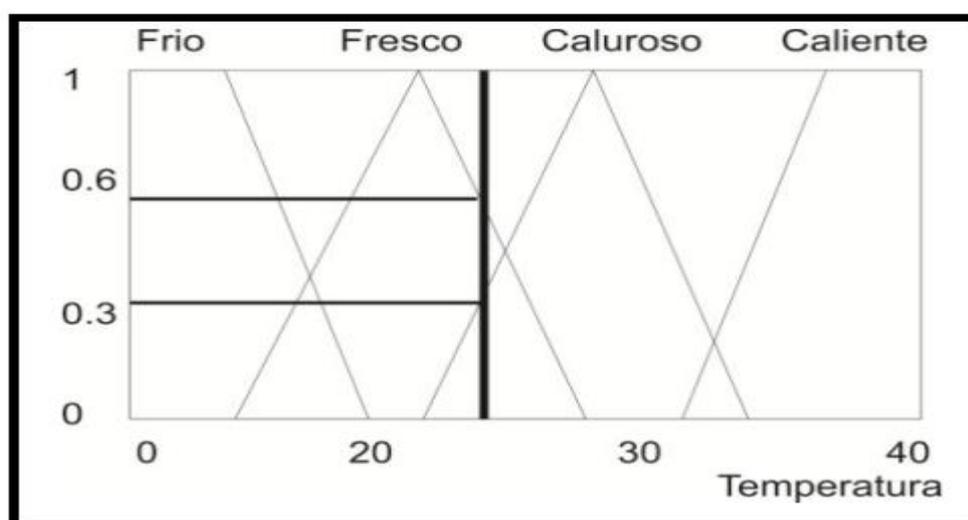


Figura 2.8 Ejemplo de fusificación.

2.5.4.1 Inferencia difusa

También llamada evaluación de reglas, aquí la evaluación los antecedentes de las reglas, obteniendo el grado de verdad o “peso”, para cada una de ellas. Si se tiene una regla como la siguiente:

1. Si la temperatura es Fría, apagar el compresor del aire acondicionado y ajustar la velocidad de los ventiladores a muy baja.
2. Si la temperatura es Fresca, encender el compresor, pero cambiar la velocidad de los ventiladores a baja.
3. Si la temperatura es calurosa, mantener el compresor encendido, pero cambiar la velocidad de los ventiladores a media.
4. Si la temperatura es caliente, mantener encendido el compresor, pero ajustar la velocidad de los ventiladores a velocidad alta.

2.5.4.2 Defusificación

La salida del sistema difuso se calcula mediante el disparo de las reglas correspondientes a un valor que depende del valor de pertenencia de la entrada, por ejemplo, configurar la velocidad de los ventiladores a baja en un grado de verdad de 0.5 y a velocidad media con un grado de verdad de 0.35.

Lo anterior se puede hacer de varias maneras. Por ejemplo, se puede considerar el centro de gravedad de la figura geométrica resultante, es decir, sumar los dos rectángulos pintados de gris que se presentan en la Figura 2.9 y de ese valor inferir la salida.

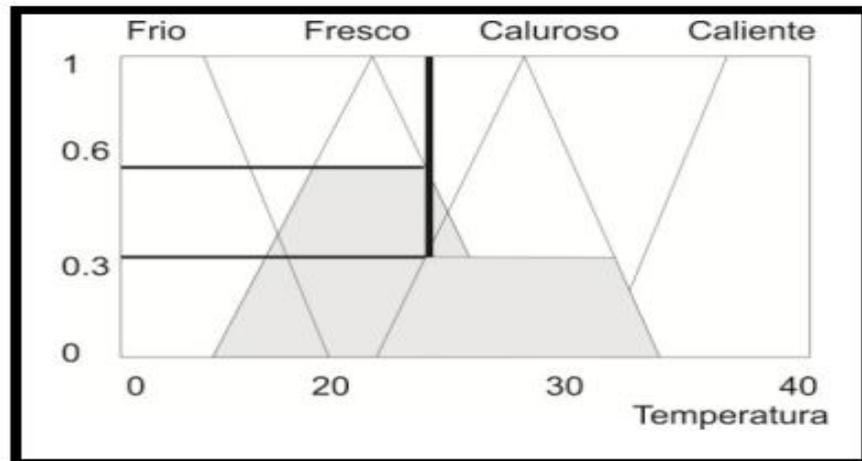


Figura 2.9 Ejemplo de defusificación.

Tipo de controladores difusos

Existen dos clases de controladores difusos:

1. Controlador tipo Mamdani
2. Controlador tipo Takagi-Sugeno

La diferencia entre estos dos tipos de controladores tiene que ver con la consecuencia de las reglas. Para el controlador Mamdani estas consecuencias de reglas es un conjunto difuso y para su diseño se necesita de un conocimiento empírico en tanto para el Takagi-Sugeno es una función lineal de las entradas y para su diseño se necesita de un conocimiento cuantitativo de la planta.

Capítulo 3

3 ESCENARIO DEL ESTUDIO

3.1 Descripción del escenario

La empresa Poligrup S.A. entre sus líneas de producción cuenta con un área de termoformado de envases plásticos donde se aplicará una técnica de automatización en la medición de los indicadores de eficiencia de la planta (OEE) mediante la implementación de un sistema SCADA inicialmente en una de las seis maquinas Termoformadoras a la cual le llaman Termoformadora #3 considerando que es la maquina con más horas de producción planificada mensual tiene.

Así mismo se realiza el modelamiento e identificación del sistema para el diseño de un controlador difuso que ayudará a mejorar el enfriamiento del molde de termoformado, todo esto mediante un sistema de adquisición de datos y simulación con los Tool de Matlab.

3.2 Descripción general del proceso de la empresa

3.2.1 Subsistema de arribo y acopio de materia prima

El primer paso para la producción de envases termoformado es la fabricación láminas plásticas o también llamada folio cuya presentación es en rollos la cual se la realiza por medio de una maquina extrusora

laminadora. Este folio puede ser de dos materiales plástico Poliestireno (PS) o Polipropileno (PP).

Este rollo de folio debidamente pesado es llevado a la maquina termoformadora y montado en un equipo desenrollador para luego pasar al proceso de termoformado. Una vez terminado el rollo y de seguir la orden de producción se debe montar el siguiente para dar continuidad con la producción.

3.2.2 Subsistema de termoformado

El termoformado de plásticos es un proceso que consiste en dar forma a una lámina plástica (Folio) mediante calor y vacío, para esto se emplea un molde o matriz de madera, resina o metal (Aluminio, aceros). Es decir, la lámina plástica adquiere la forma del molde por medio de la acción de la presión de vacío o aire presurizado y temperatura elevada (120°C – 350°C).

Las etapas del proceso de termoformado son: preparación de la lámina, precalentamiento, soplado de la lámina, penetración del molde, definición de la forma con acción del vacío, enfriado, desmoldeo y acabado (Ver Figura 3.1).

La temperatura, en la etapa de calentamiento como en el molde, y presión son los dos factores más importantes, si no están controlados se pueden obtener resultados no deseados como piezas defectuosas o incluso la fundición de la lámina de la cual se forman las piezas o productos.

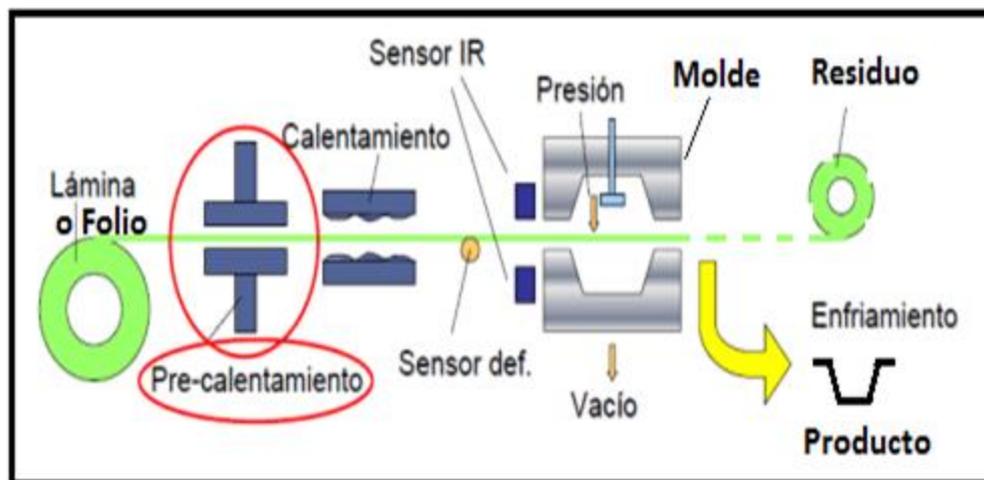


Figura 3.1 Esquema del proceso de termoformado.

3.2.2.1 Temperatura del molde

El molde es una herramienta fundamental para el proceso de termoformado pues de este depende obtener el formato del producto requerido y la calidad de este. La temperatura del molde es un factor muy importante para el buen desempeño del proceso de termoformado, en muchos de los casos cuando las corridas de producción sean muy largas, es conveniente que el molde cuente con un sistema de enfriamiento, generalmente se emplea tubo de cobre o se realizan diseño de perforaciones y mecanizados y estos deberán estar localizado estratégicamente y con capacidad necesaria para transportar un volumen considerable de agua o refrigerante.

Es conveniente establecer una relación entre la temperatura del folio y el molde para que el material no se enfríe en exceso y el

termoformado del producto no esté por debajo del límite inferior de la temperatura del moldeo. Hay distintos métodos para enfriar un molde, por ejemplo, cuando existen zonas críticas de moldeo, se pueden incorporar insertos plásticos de nylon. En algunos casos se puede aplicar un recubrimiento plástico para reducir la conductividad térmica o inclusive, después del termoformado se puede inyectar por los orificios o barrenos de vacío, aire a presión.

El sistema de control con el que cuenta la maquina Termoformadora #3 es del tipo on-off donde un controlador analógico mide la temperatura del molde por medio de sensores PT100, en caso de que la temperatura esta alta con respecto a un setpoint este acciona un relay y pone en marcha una electrobomba a una velocidad alta que hará circular agua por el molde, si la temperatura baja desactiva el relay y la bomba pasa a trabajar a una velocidad baja reduciendo la circulación del caudal.

En la Figura 3.2 se aprecia el diagrama de proceso e instrumentación del molde de termoformado.

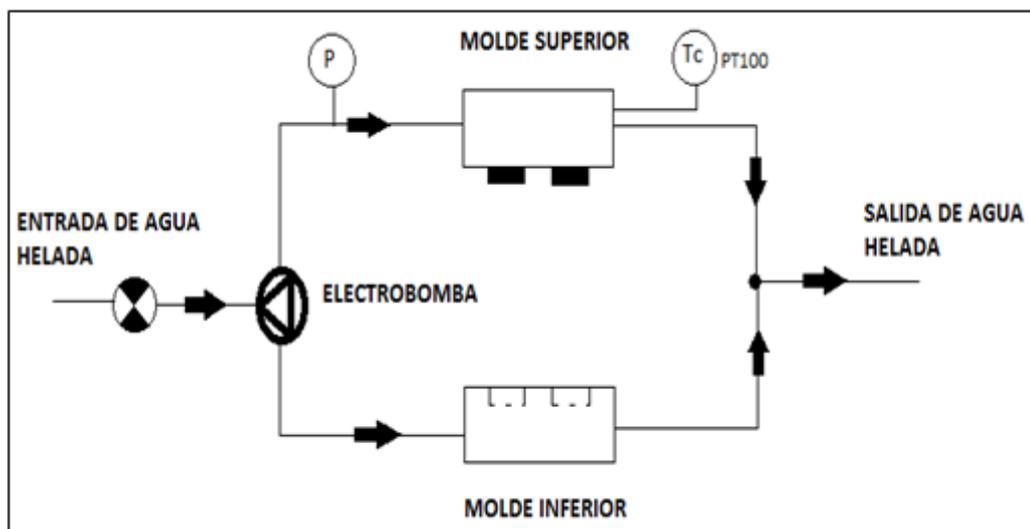


Figura 3.2 Diagrama de proceso e instrumentación del molde de termoformado.

3.2.3 Subsistema de monitoreo y calidad

El monitoreo de la producción parte de la Orden de Producción la misma que especifica como producir los envases, se detalla cantidad de producto, especificación de la materia prima y dimensiones.

Bobina de Folio: Las dimensiones dependen del tipo de material que se va a elaborar, se producen en rollos de medidas acorde al producto a termo formar. Las dimensiones del folio dependen del tipo de producto a fabricar y características de la máquina termo formadora.

Los controles son realizados según la experiencia del operador y a las características que se observan en el producto final termoformado, basado en la Ficha técnica del producto. Uno de los temas claves para

controlar el proceso es la temperatura, esta debe estar en rangos específicos, para las diferentes etapas del proceso, existe manual de procedimiento para cada tipo de producto a termoformar.

La velocidad de la línea y presión de termoformado son variables muy importantes que se deben controlar, se cuenta con una especificación que determina los niveles óptimos de los mismos; el operador en base a su pericia y experiencia y datos de la ficha de fabricación los determina. Se debe realizar inspecciones visuales en el producto, para determinar que la calidad sea la adecuada, el peso lo validan con una balanza digital.

Se labora en 2 jornadas con turnos de 12 horas cada uno; el funcionamiento constante de la maquina depende de la cantidad de bobinas que entregue la extrusora de láminas existente. El arranque de la máquina termoformadora se inicia con el montaje de la bobina y la calibración de la máquina, intervienen 1 operador y en ocasiones 1 ayudante, este arranque puede durar entre 15 y 20 minutos. Una vez que la máquina empieza a operar, el operario se encarga de verificar la calidad del producto termoformado, sea este envase o tapa, el ayudante está pendiente de ir sacando los cartones llenos con producto terminado y los apila en un lugar adecuado.

Los instrumentos de medición empleados son termómetros que miden las temperaturas en todo el proceso, manómetro para medir la presión del aire comprimido, esto es muy importante para que no se presenten problemas en la pieza producida. La herramienta utilizada es el

calibrador para constatar que las características del producto termoformado cumplen con lo establecido y requerido por el cliente.

El monitoreo de la eficiencia productiva del proceso de termoformado se la realiza con datos generados por los operadores en un informe llamado "Reporte de Producción" donde se detalla lo siguiente:

1. Máquina, Turno, Operadores
2. Detalle del artículo a producir, lote
3. Peso de unidades y total producidas
4. Hora de inicio y final
5. Velocidad de maquina (GPM)
6. Merma de envases y esqueleto (Kg)
7. Producción neta (Kg)
8. Tipo de paradas programadas
9. Tipo de paradas no programadas
10. Observaciones

Toda esta información es ingresada a una matriz en formato Excel denominada OEE, aquí mediante formula se calculan los KPI's o indicadores necesarios para obtener el OEE empleando la ecuación (3.1):

$$OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad \quad (3.1)$$

La disponibilidad es la relación del tiempo neto entre el tiempo total menos el tiempo de paradas programadas, como se observa en la ecuación (3.2).

$$Disponibilidad = \frac{t_{productivo}}{t_{disponible}} \quad (3.2)$$

$$t_{productivo} = t_{disponible} - t_{paradas\ no\ programadas} \quad (3.3)$$

$$t_{disponible} = t_{producción\ planificada} - t_{paradas\ programadas} \quad (3.4)$$

El rendimiento se calcula mediante la ecuación (3.5).

$$Rendimiento = \frac{\text{Producción Realizada}}{\text{Capacidad productiva}} \quad (3.5)$$

$$Capacidad\ productiva = t_{productivo} * Ciclos/min * unidades/ciclo \quad (3.6)$$

El indicador de calidad se la obtiene de la fórmula (3.7).

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción Realizada}}{\text{Productos no conforme}} \quad (3.7)$$

Las paradas no programadas y programadas al ser ingresada por el operador se crea inconformidad en los resultados lo que convierte a la medición de la eficiencia en un proceso nada confiable por lo que no se puede tomar decisiones de mejoras que ayude a aumentar la rentabilidad del proceso.

3.2.4 Subsistema de producto terminado y despacho

Una vez termoformado el artículo este es apilado y embalado en fundas y caja de cartón debidamente identificada, al siguiente día de la producción es entregada a bodega para su almacenamiento y/o despacho.

Capítulo 4

4 IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DE LA PLANTA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

4.1 Modelado del sistema de enfriamiento del molde

Para modelar el proceso de enfriamiento del molde, tomando en consideración que no se conoce la dinámica del sistema se lo realiza por medio de datos experimentales (Modelo de caja negra).

Tomamos como base el diagrama de proceso e instrumentación del sistema de enfriamiento, mostrado en la Figura 3.2 y dibujamos el diagrama de bloques del proceso. En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de bloques idealizado con el sistema de control para la toma de datos.

Del diagrama de bloques podemos observar los elementos asociados al control de lazo abierto, así como el bloque G_c que representa al controlador de temperatura GTR221 el cual se lo configura para trabajar de modo manual de tal manera que nos permita trabajar la electrobomba al 100% de su velocidad y poder realizar la apertura la válvula a un porcentaje deseado, se aprecia el bloque H que representa la sonda de temperatura de termocupla J y el transmisor de temperatura. La planta es representada

por G_P y podemos definir que la perturbación “d” con una ganancia G_D , que depende la parte en que ingrese la perturbación al proceso.

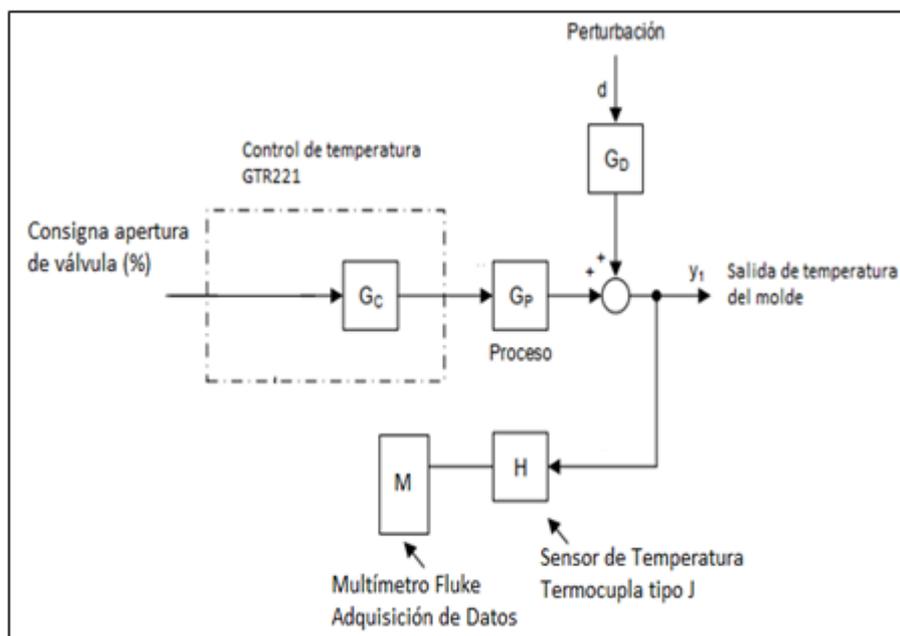


Figura 4.1 Diagramas de bloques del proceso con lazo de control de temperatura

En vista de que en el sistema ingresa continuamente agua a temperatura relativamente baja, aproximadamente 10°C y el diseño del molde no permite que la herramienta de corte inferior esté en contacto con el agua hace que la transferencia de frío sea lenta y esto ocasione condensaciones en la superficie del molde ocasionando defectos en el producto y por ende esto se convierte en desperdicio. Sumado a esto es necesario mantener un nivel de temperatura en las herramientas de corte de tal manera que estas no sufran dilatación lo que produce la pérdida del corte reflejándose en defectos del producto.

Para evitar esto el operador suele reducir el caudal del agua manipulando la apertura de la válvula manual a un porcentaje estimado, esto depende

mucho del material a termoformar. Así para obtener el modelo del proceso, nos hemos apoyado a un procedimiento de identificación de sistemas en lazo cerrado, que consiste en tomar muestras de las variables de entrada y salida de la planta G_P .

La adquisición de datos se la realizó por medio de un multímetro Fluke el mismo que cuenta con sistema de monitoreo que emite la información de la medición al celular vía bluetooth de donde se almacenan los datos y puedes emitir un reporte en formato xls, necesario para realizar la identificación con las herramientas de Matlab.

La medición se la realiza mediante un sensor tipo termocupla J colocada en el molde superior, a continuación, se manipula la variable de entrada en este caso el caudal del agua helada, inicialmente con el actuador o válvula manual totalmente cerrada correspondiente al 0% de apertura, luego a un 50%, 75% y totalmente abierta 100%, cada posición a un tiempo determinado hasta que el sistema se estabilice.

Luego de un tiempo de haber realizado la medición obtenemos los datos adquiridos en un archivo de Excel con las variables consultadas, de donde se obtuvo la siguiente gráfica de tendencia (Ver Figura 4.2):

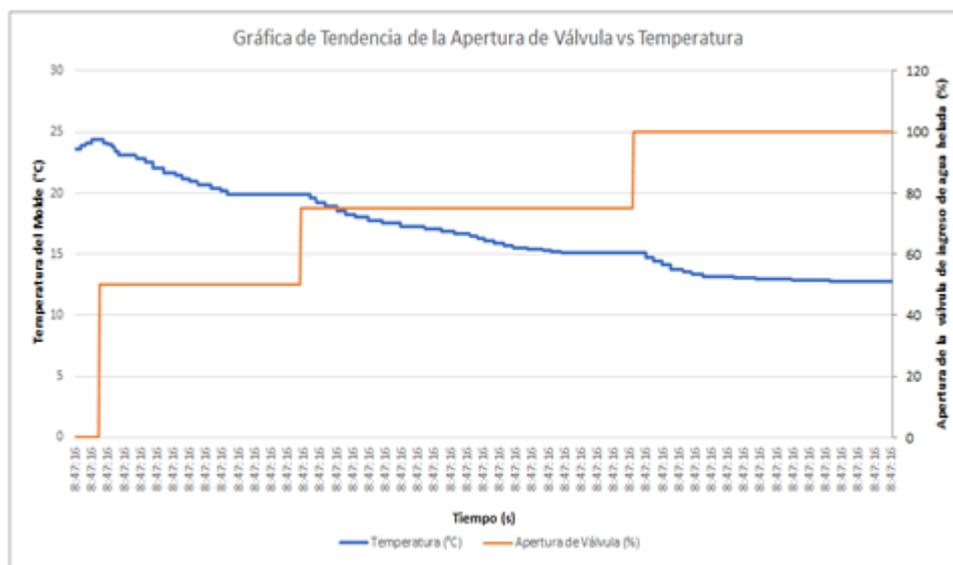


Figura 4.2 Tendencia de los datos obtenidos para la identificación del modelo de la planta Gp.

Los datos adquiridos los exportamos a Matlab donde cargamos las variables en forma de matrices a la herramienta de Identificación por medio del comando “ident”, siendo la entrada la variable manipulada en este caso la apertura de la válvula y la salida la temperatura del molde.

En la Figura 4.3 se muestra un plot en el dominio del tiempo de los datos cargados en la herramienta ident donde u1 es la variable manipulada, es decir, la apertura de la válvula y y1 la variable de salida, ósea, la temperatura del molde.

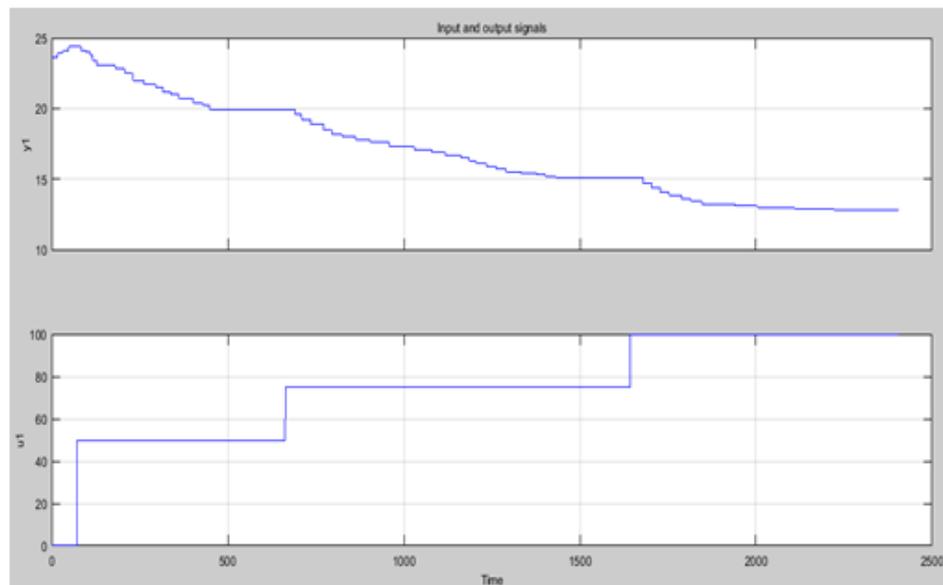


Figura 4.3 Datos adquiridos cargados en la herramienta de Identificación.

Una vez estimado los datos para obtener la función de transferencia de la planta y validada la función de transferencia mediante selección de un grupo de datos continuamos con la estimación del modelo mediante la opción de modelos de procesos.

A sabiendas de que el proceso modelado tiene la similitud de un intercambiador de calor, podemos asumir que corresponde a un modelo de primer orden con retardo en el tiempo FOPDT, de esta manera podemos contar con un modelo preliminar para la identificación del modelo de la planta, el cual sería de la forma de la ecuación (4.1):

$$G(s) = K_p * \frac{1}{1 + T_p s} * e^{-T_d s} \quad (4.1)$$

En función a lo antes expuesto hacemos uso de una opción de la herramienta de identificación puntualmente para la identificación de modelo de procesos. Aquí podemos configurar la estructura de un modelo sea este con polos reales, imaginarios, ceros, delay e integradores y otras funciones necesarias para desarrollar el algoritmo de estimación (Ver Figura 4.4).

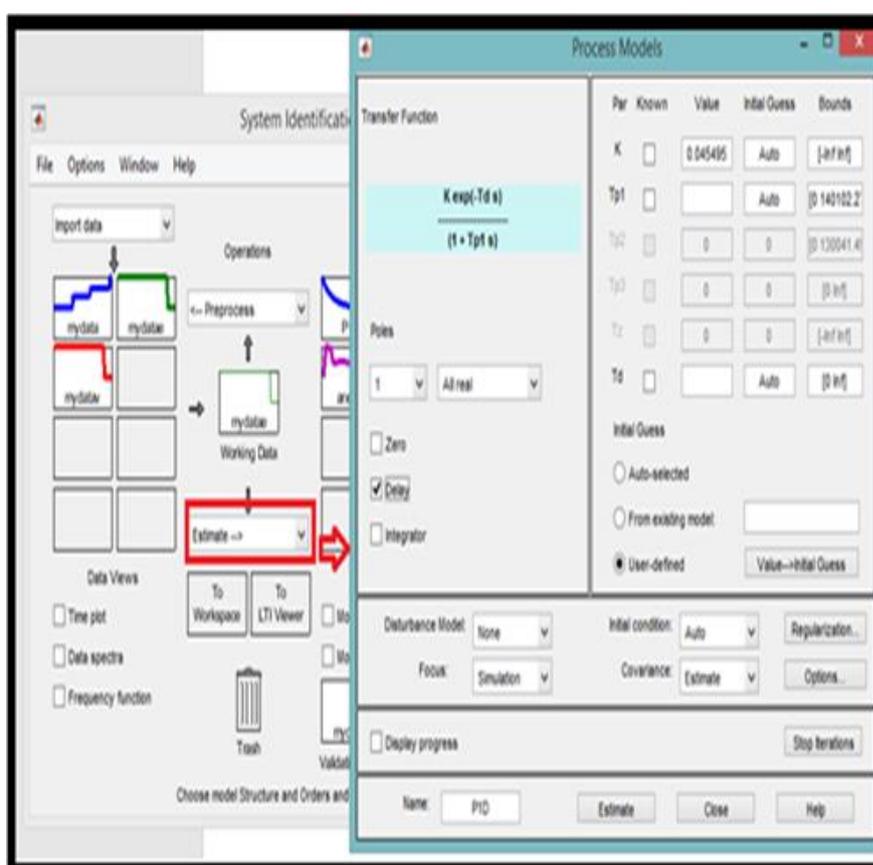


Figura 4.4 Ventana de la herramienta para identificar el modelo de la planta.

Realizada la estimación con los parámetros antes dicho podemos observar en la Figura 4.5 el resultado de la simulación con un valor ajustado al 90.13% lo cual es un buen resultado.

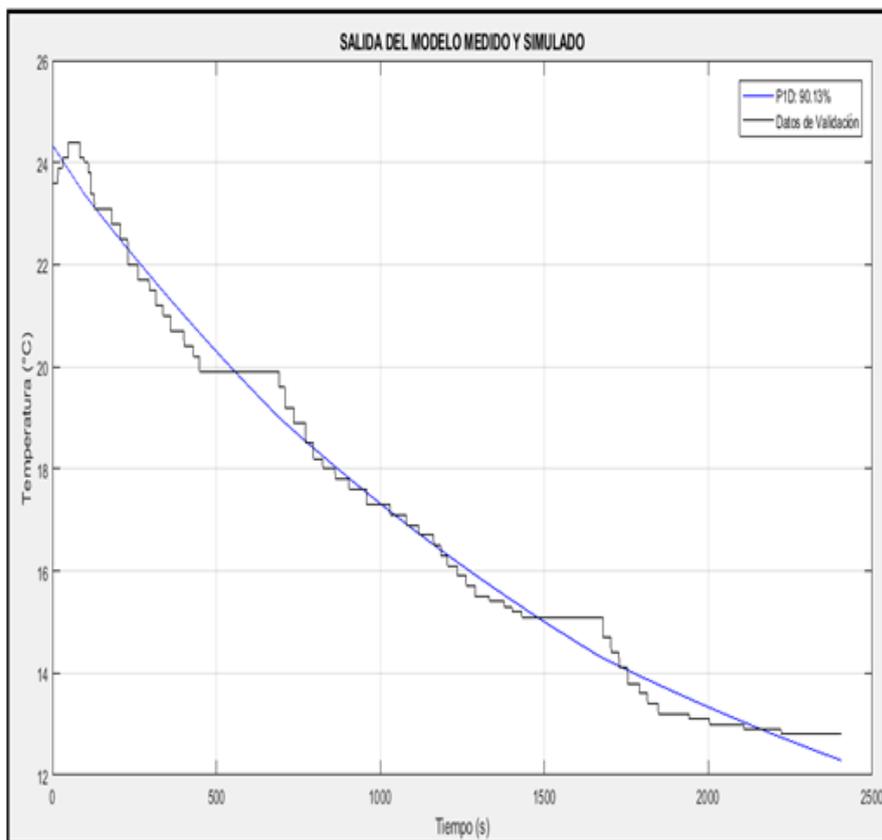


Figura 4.5 Representación gráfica y valor de ajuste del modelo medido y simulado del orden FOPDT.

Para poder ver si existe un mejor resultado vamos a cambiar la estructura del modelo inicial con otros de orden superior, es decir de segundo y tercer orden ambos combinados con retardos en el tiempo (ver Figura 4.6).

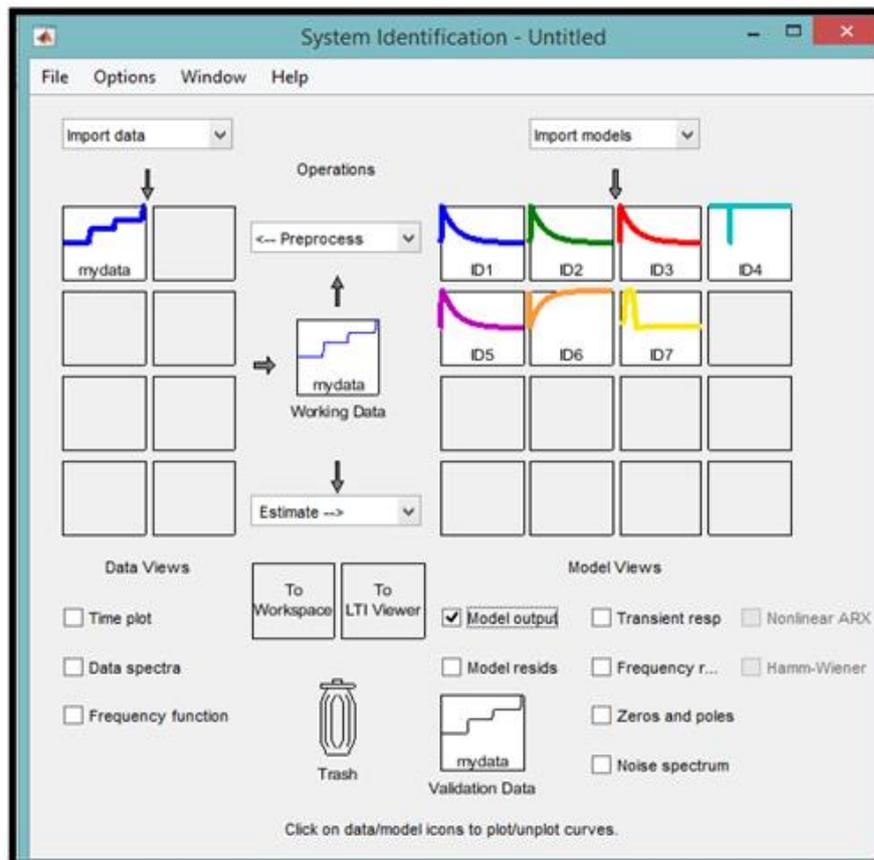


Figura 4.6 Resultados obtenidos de la identificación del modelo de la planta.

En la Figura 4.7 podemos apreciar la salida de simulación de los distintos modelos obtenidos donde los de mayor orden se muestran con un menor ajuste a los datos de validación de la planta.

El modelo obtenido con mayor ajuste sin tener polos imaginarios está vinculado al modelo con nomenclatura ID3 cuyo valor de ajuste es de 90.49% con respecto a los datos de validación y 90.17% a los datos de estimación.

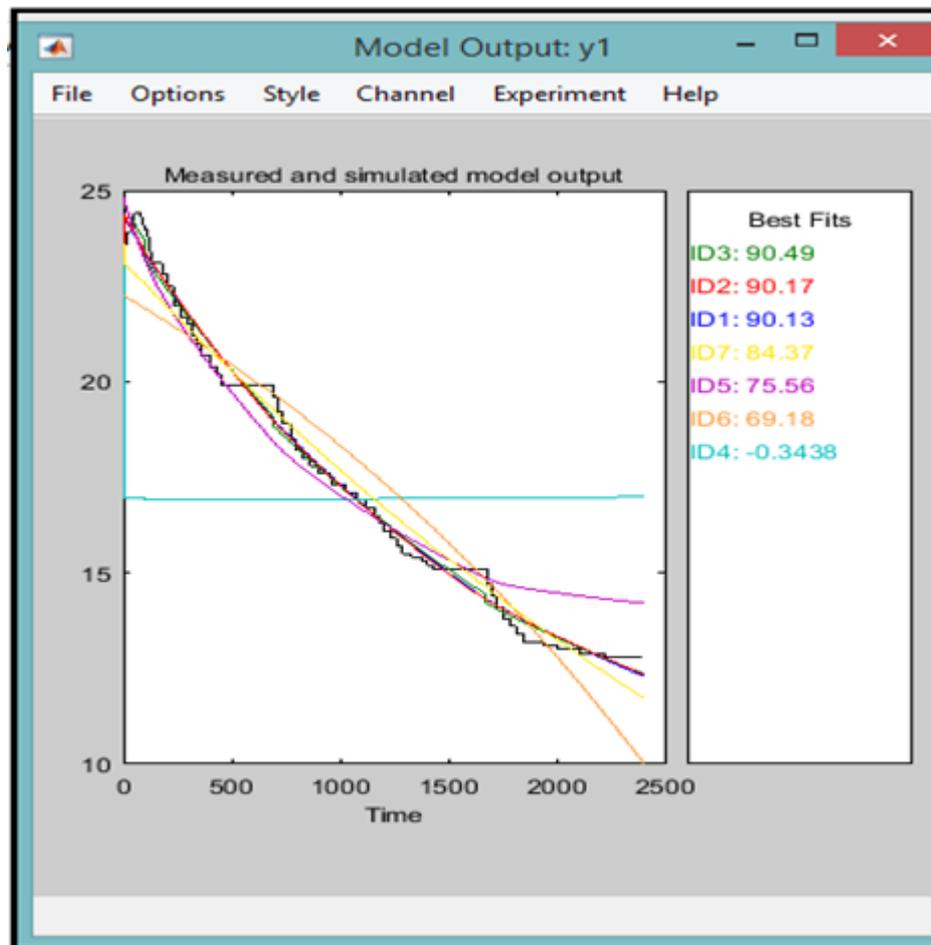


Figura 4.7 Resultado de ajuste para las distintas identificaciones.

El modelo resultante en la identificación, luego de aplicar distintas iteraciones, con mejor ajuste y por lo tanto se aproxima a la respuesta de la planta es de segundo orden con retardo en el tiempo. La función de transferencia del modelo de proceso ID3 está basado en la siguiente relación dada por Matlab (Ver Figura 4.8):

```

ID3 =
Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      (1+Tp1*s)(1+Tp2*s)

      Kp = -0.1271
      Tp1 = 0.3371
      Tp2 = 384.61
      Td = 30

Name: ID3
Parameterization:
  ' ID3 '
  Number of free coefficients: 4
  Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Termination condition: Maximum number of iterations reached.
Number of iterations: 20, Number of function evaluations: 430

Estimated using PROCEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 90.17%
FPE: 0.1143, MSE: 0.1138

```

Figura 4.8 Función de transferencia de la planta identificada por Matlab

Remplazando los valores obtenidos de $G(s)$ obtenemos las ecuaciones (4.2) y (4.3):

$$G_p(s) = \frac{-0.1271}{(1 + 0.3371 * s)(1 + 384.61 * s)} * e^{-30s} \quad (4.2)$$

$$G_p(s) = \frac{-0.1271}{129.2 s^2 + 383.6s + 1} * e^{-30s} \quad (4.3)$$

Presentando la función de transferencia en polos y ceros se muestra la ecuación (4.4):

$$Gp(s) = \frac{-0.1271}{(s + 2.9664)(s + 0.0026)} * e^{-30s} \quad (4.4)$$

Para finalizar la validación se procede a simular el modelo obtenido de la planta con valor de referencia inicial y cambios de acuerdo con la operación normal del sistema según los datos de identificación empleados. Esto lo realizamos con la ayuda de la herramienta Simulink, se diseña y simula el sistema en lazo abierto para ver las señales de las respuestas ante una entrada escalón y considerando una perturbación despreciable.

La Figura 4.9 muestra el diseño del sistema identificado para su validación.

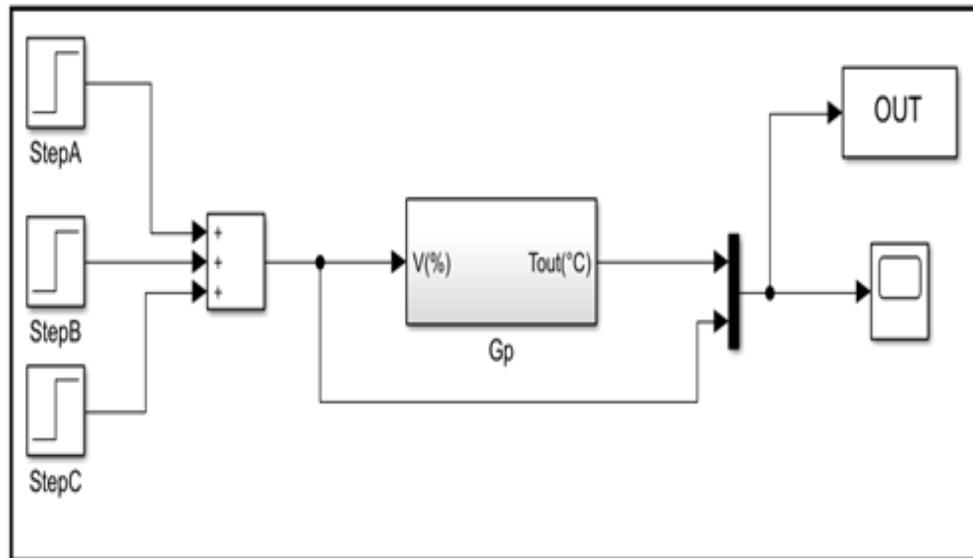


Figura 4.9 Diagrama de bloques del sistema de validación con la planta identificada.

Las señales obtenidas mediante el uso de la herramienta Simulink muestran la respuesta del sistema identificado hasta establecer la temperatura de salida en el punto de operación de la planta. Podemos apreciar la respuesta luego de una variación de la variable manipulada en este caso la apertura de la válvula de agua helada.

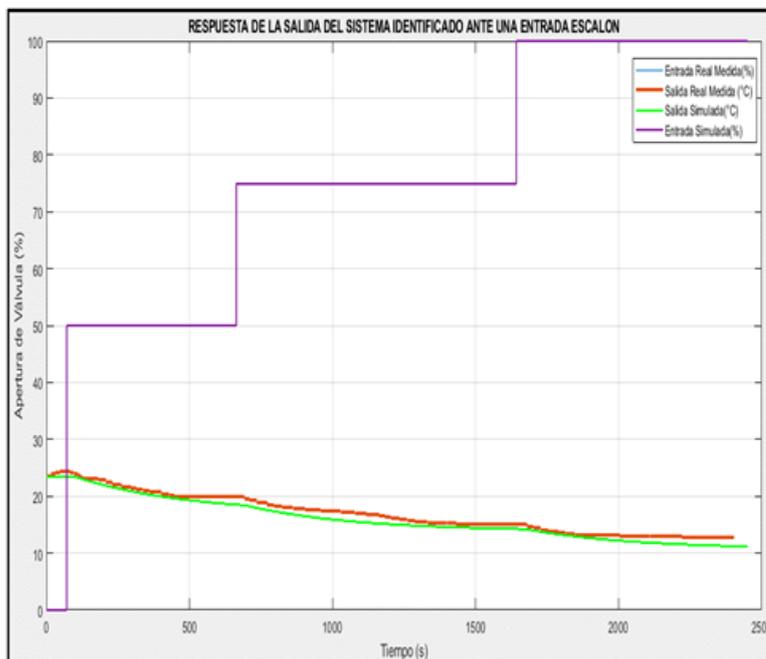


Figura 4.10 Comparación de la Respuesta del sistema identificado vs el real medido

La validación del modelo identificado se muestra en la Figura 4.10 donde se aprecia la respuesta del sistema identificado vs el real medido antes la variación de la variable manipulada, se cumple el ajuste aproximado del 90.17% considerando que la señal identificada esta próximo al nivel de temperatura y la respuesta de la variación es casi similar.

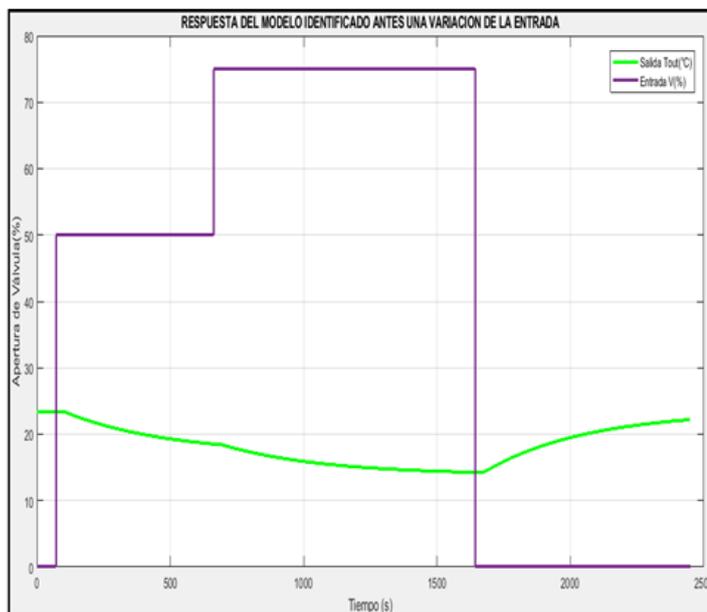


Figura 4.11 Respuesta del modelo identificado con cambios en la entrada.

La Figura 4.11 muestra la respuesta del sistema antes un cambio distinto de la entrada real. Se observa que al cerrar la válvula en el tiempo 1642 segundos la temperatura de salida tiende a subir de forma exponencial y con retardo de tiempo, lo cual tiene relación con la respuesta del sistema original, donde la temperatura del molde tiende a bajar al aumentar la apertura de la válvula, lo cual representa el aumento del caudal del agua helada.

4.2 Implementación del sistema de adquisición de datos para el sistema SCADA.

4.2.1 Selección de sensores

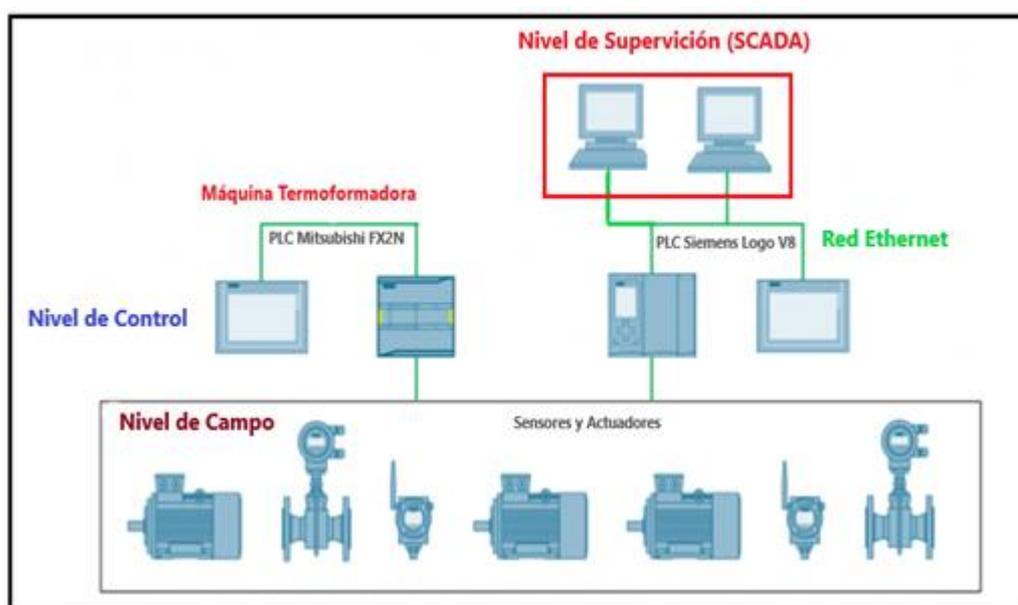


Figura 4.12 Situación del nivel de supervisión (SCADA) en la red de automatización del proceso de termoforado de la empresa POLIGRUP S.A.

Los datos necesarios para la formulación de los indicadores del OEE se basa en la lógica necesaria que indique que la maquina está en operación de manera automática y conocer la velocidad de producción en ciclos/minuto. Para lo primero fue necesario conocer el funcionamiento de la maquina y de sus conexiones eléctricas donde se definió ciertas salidas y entradas digitales del PLC como son:

Sensor inductivo de entrada de horno	Entrada digital
Contacto de relay run del motor principal	Salida digital
Contacto de selector manual/automático	Entrada digital

Para lo segundo se utiliza un encoder rotatorio de pulsos TTL con salidas de 360 pulsos por revolución, el cual fue montado mecánicamente en el eje de la leva principal de la máquina.

4.2.2 Programación del autómeta

La máquina para su funcionamiento automático consta de un PLC marca Mitsubishi modelo FX2N. En vista de que no se contaba con el código fuente del PLC se optó por utilizar otro PLC (Siemens Logo V8) y aprovechar las señales de los sensores y contactos que ya se utilizan en el PLC original, los mismos que han sido mencionado con anterioridad.

Para la programación del PLC se utilizó el software Logo Soft Comfort V8 y el desarrollo por medio del diagrama de lógicas digitales FUP. La funcionalidad principal del programa es de saber en qué momento la maquina está en etapa de producción automática para coger como punto de inicio la medición de los tiempos productivos y a su vez medir variables del proceso tales como: la velocidad de producción, presión del sistema neumático y de enfriamiento.

4.2.3 Configuración de bloques

Los bloques de configuración empleados son específicamente los siguientes:

1. Para el cálculo de la velocidad de producción mediante los pulsos generados por el encoder TTL-360ppr.
2. Para medir las variables de proceso: Temperatura del agua y presión neumática.
3. Para automatizar la señal de marcha en función a las entradas y salidas digitales.

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B002(Relé autoencavador) :	Rem = off
B003(Relé autoencavador) :	Rem = off
B006(Amplificador analógico) :	Gain =0.48+ Offset=0 Point =0
B007(Amplificador analógico) :	Gain =0.32+ Offset=0 Point =0
B038(Retardo a la conexión) :	Rem = off 00:15s+
B039 PULSOS T(Contador adelante/atrás) :	Rem = off On=0+ Off=0 Start=0
B040 VELOCIDA(Instrucción aritmética) :	V1=B39+ V2=60 V3=3 V4=500 Point=0 (B39*60)/(3*500)
B044(Relé de barrido (Salida de impulsos)) :	Rem = off 00:10s+
B047(Generador de impulsos asíncrono) :	Rem = off 00:25s+ 03:00s

Figura 4.13 Tabla de Configuración de bloques utilizados en el programa del PLC.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los parámetros configurados por cada bloque del programa, se realizó un programa específico para convertir las señales de impulso del encoder en un valor numérico para tener como datos la velocidad de producción de la máquina. Para ello se utiliza bloques contadores, generadores de impulsos asincrónicos e instrucción aritmética. En la lógica instructiva de que la máquina está en funcionamiento automático se emplearon bloques de Relé auto enclavador, marcas y compuertas lógicas.

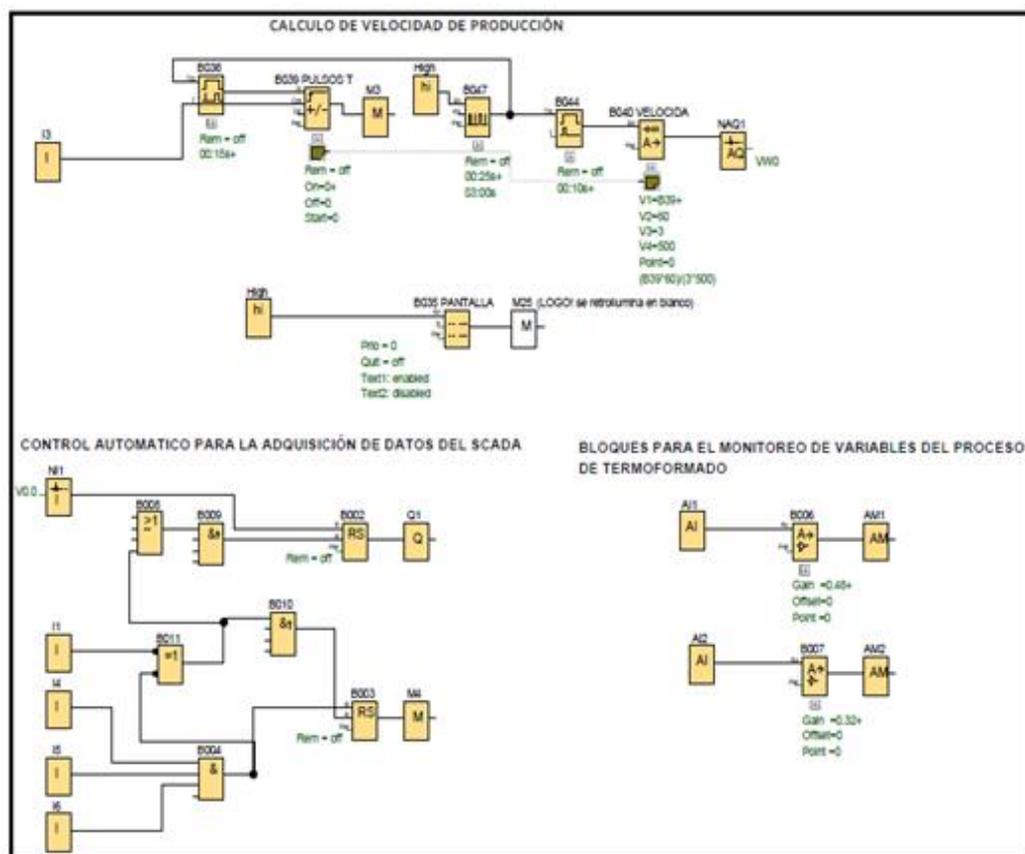


Figura 4.14 Diagrama de bloques FUP del programa en el PLC Siemens LogoV8

La Figura 4.14 muestra el programa realizado en el PLC logoV8, mediante bloques FUP donde se aprecia el programa de los cálculos de velocidad, control automático para la adquisición de datos y el monitoreo de variables del proceso de termoformado.

Para el cálculo de velocidad de producción la señal de entrada emitida por el encoder es procesada por los bloques contador y temporizador. Cada 3 segundo el contador registra el número de pulsos que ha generado el encoder. Este valor es utilizado en un bloque aritmético donde se calcula la velocidad en función al número de pulsos registrados x 60 segundo entre los 3 segundos en que registra el número de pulso x los pulsos por revoluciones de fabricación del encoder del encoder.

I4, I5 e I6 son entradas digitales que indican que la maquina está en operación automática. La entrada NI1 es una entrada de red que controla el sistema SCADA y da indicación de que el operador ha ingresado el motivo de una parada por lo que puede continuar con la operación automática. Esta confirmación y continuidad la hace por medio de la salida Q1.

La marca M1va hacia el SCADA e indica al operador que el sistema automático está habilitado. Las entradas analógicas AI1 y AI2 se conectan los sensores de temperatura y presión respectivamente. Los bloques analógicos B006 y B007 dan al sistema SCADA las señales para monitorear la temperatura de enfriamiento y la presión de aire respectivamente.

4.2.4 Administración de tags

En el programa del PLC se definieron las siguientes variables para operar con los datos del desarrollo, detalladas en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1 Mapeado de variables (Tags) del proyecto en el PLC Siemens Logo V8.

ID	Bloque	Tag	Parámetro	Tipo	Dirección
1	B040	Velocidad	AQ Amplificada	Word	VW1
2	B006	Presión	Ax Amplificada	Word	VW3
3	B007	Temperatura	Ax Amplificada	Word	VW5
4	NI1	Marcha_Máquina	-	Booleano	V0.0
5	Q1	Sal_Aut	-	Booleano	Q0.0
6	M4	Runing	-	Booleano	M0.3

4.2.5 Sistemas HMI SCADA

Wonderware es un software de interacción humano máquina muy poderoso capaz de soportar múltiples plataformas de Microsoft, además que posee un sinnúmero de ventajas, entre una de ellas que

se destaca es que puede vincularse y administrar una base de datos ya sea en SQL, MySQL o ACCES.

Esto nos permite guardar toda la información necesaria a lo largo del tiempo para poder analizar punto a punto el desempeño de la maquina a monitorear. Para diferentes cálculos y tareas es indispensable utilizar este software pues cada dato se puede guardar por separado y se lo llama independientemente y así poder manipularlo de acuerdo con las necesidades del usuario.

Indusfot por defecto viene diseñado para sistemas operativos Microsoft de 32 y 64 bits completamente compatible con Windows 10pro 64 bits lo que lo hace bien versátil para equipos contemporáneos, pero sin olvidar la compatibilidad con servidores de generaciones pasadas.

Este software es muy sencillo de usar siguiendo sencillos pasos explicados en la página web del autor se instala con mucha facilidad y versatilidad. Lo que ahorra tiempo al momento de ejecutarlo.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la versión demo, ya que el Gerente de la planta prefirió comenzar con una prueba para revisar el buen funcionamiento del sistema y ver si cumplía con lo requerido.

4.2.6 Instalación y configuración del HMI

Para instalar Wonderware Indusoft es necesario tener instalado en el servidor todos los paquetes de net framework 3.5 para que el sistema

reconozca y pueda ejecutar las tareas de gráficos, aplicaciones y comandos que servirán para poder compilar el proyecto.

Entre otros requisitos que el sistema requiere es tener instalado Microsoft Visual C++ y un elemento bien importante, si deseamos publicar el proyecto en la nube u otros equipos dentro de la red puedan acceder mediante navegador web es Internet Information Service.

4.2.7 Conexión con driver Wonderware Indusoft

Wonderware Indusoft posee un driver que puede interactuar con PLC siemens mediante una conexión ethernet y así poder monitorear y obtener datos de la máquina, el driver SIETH de siemens es muy completo y fácil de configurar debido a que son muy pocos los campos que debemos llenar como es la IP del equipo a conectarse y el tag que va a viajar (Ver Figura 4.15).

Este driver nos permite una comunicación directa con el PLC, lo cual nos permite obtener los datos para poder procesar la información y así completar las tablas necesarias para el proyecto.

Luego de vincular al PLC con el software procedemos a crear las variables necesarias para poder guardar sus valores en tablas dentro de un almacenamiento dinámico o base de datos. Los valores que se van a almacenar en estas variables deben de ser booleanas, enteros reales y cadena de caracteres tal como lo muestra la figura 4.15.

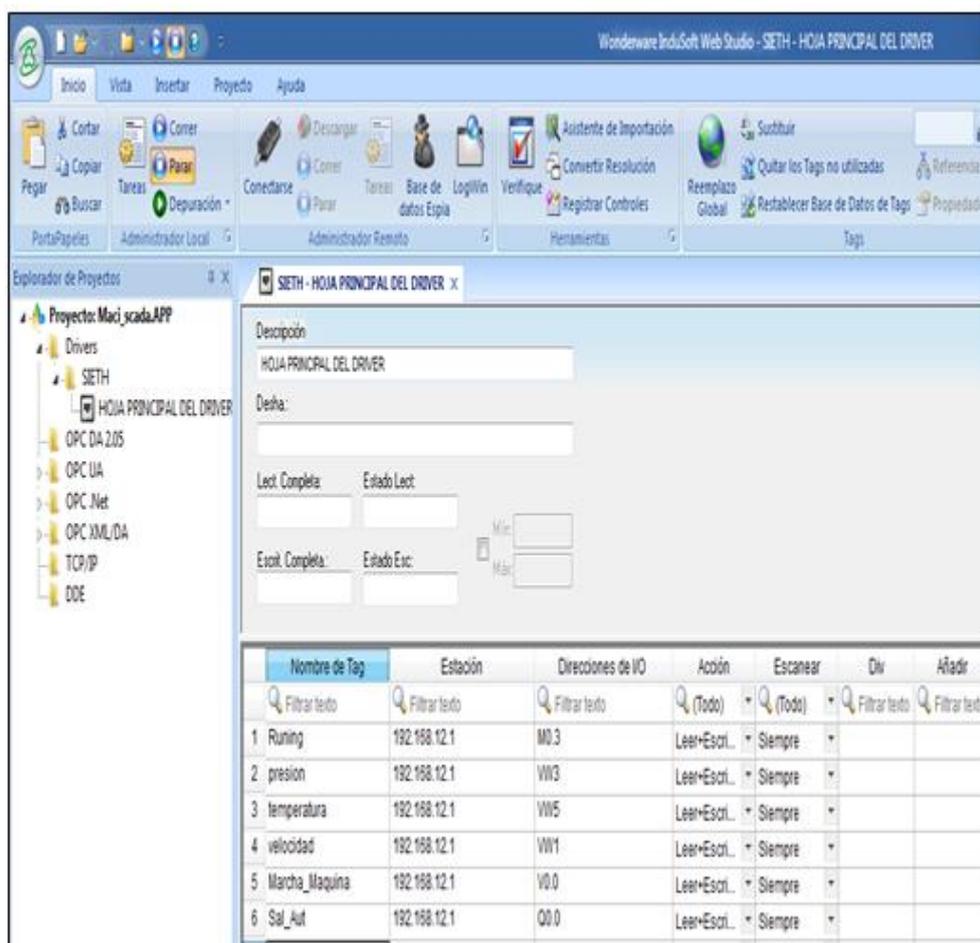


Figura 4.15 Variables y direcciones dentro del driver SIETH de siemens.

En la Figura 4.16 se observa la vinculación del PLC con el software donde se han creado las variables necesarias para poder guardar sus valores en tablas dentro de un almacenamiento dinámico o base de datos. Los valores que se van a almacenar en estas variables deben de ser booleanas, enteros reales y cadena de caracteres.

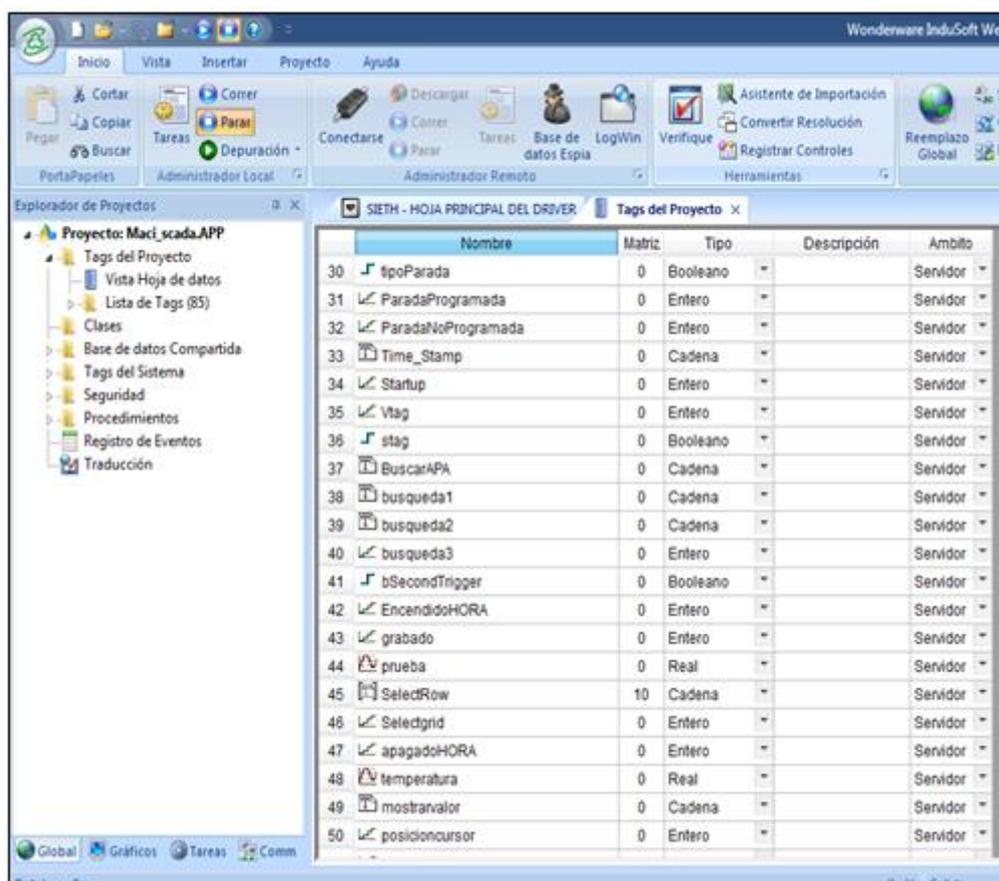


Figura 4.16 Selección de variables y tags del proyecto.

4.2.8 Configuración VB

Para realizar algunas funciones es necesario trabajar mediante scripts. Estos scripts son realizados mediante documentos de VBscripts lo que permite realizar funciones como grabado de la base de datos, selección de datos de pantalla, incremento de variables para funciones específicas. Adicional también podemos interactuar con el usuario haciendo que el SCADA sea más dinámico puesto que con las funciones que posee se puede dar un toque de inteligencia al programa como observan en la Figura 4.17.

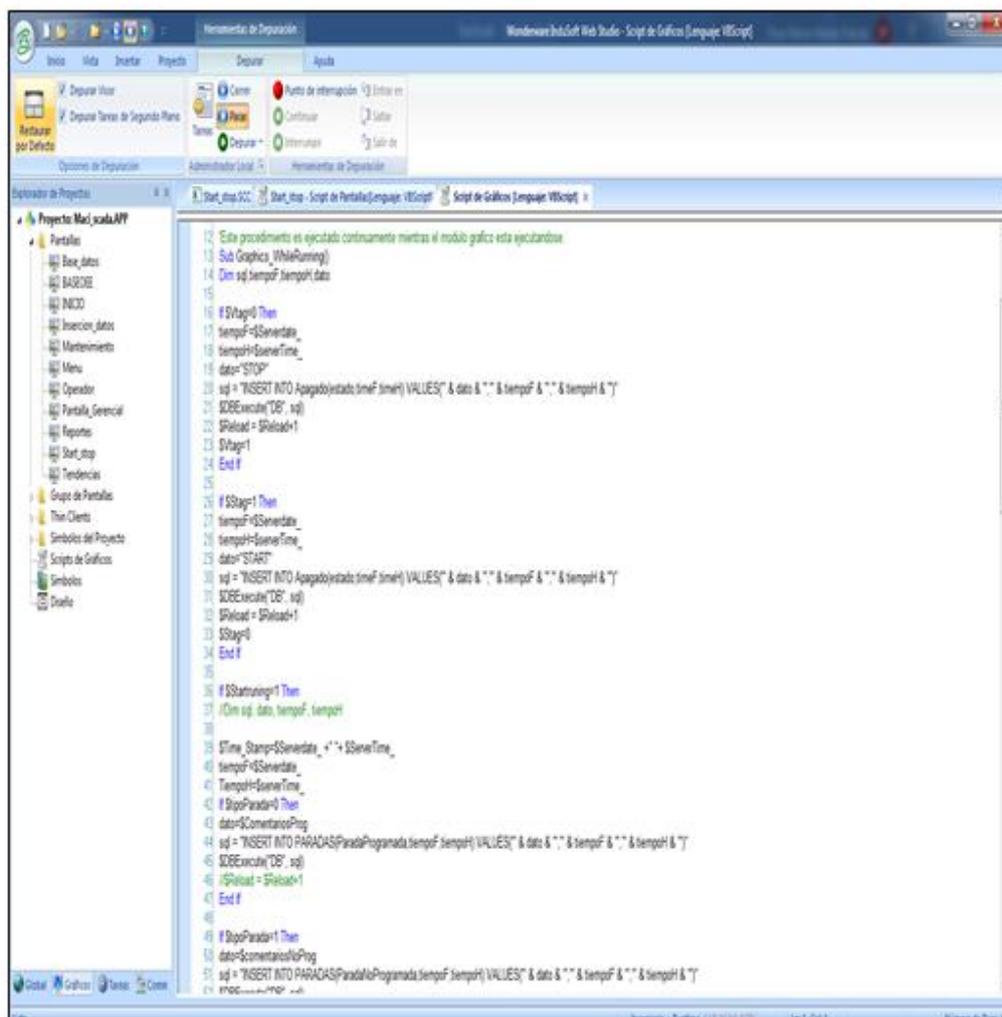


Figura 4.17 Programación de Script VB.

4.2.9 Cálculo de variables

Una vez creadas las variables procedemos a hacer los cálculos necesarios para la obtención del OEE mediante una herramienta de cálculo matemático que el software ofrece y así poder realizar las operaciones mucho más rápidas y efectivas como lo realiza una hoja de cálculo como lo muestra la Figura 4.18.

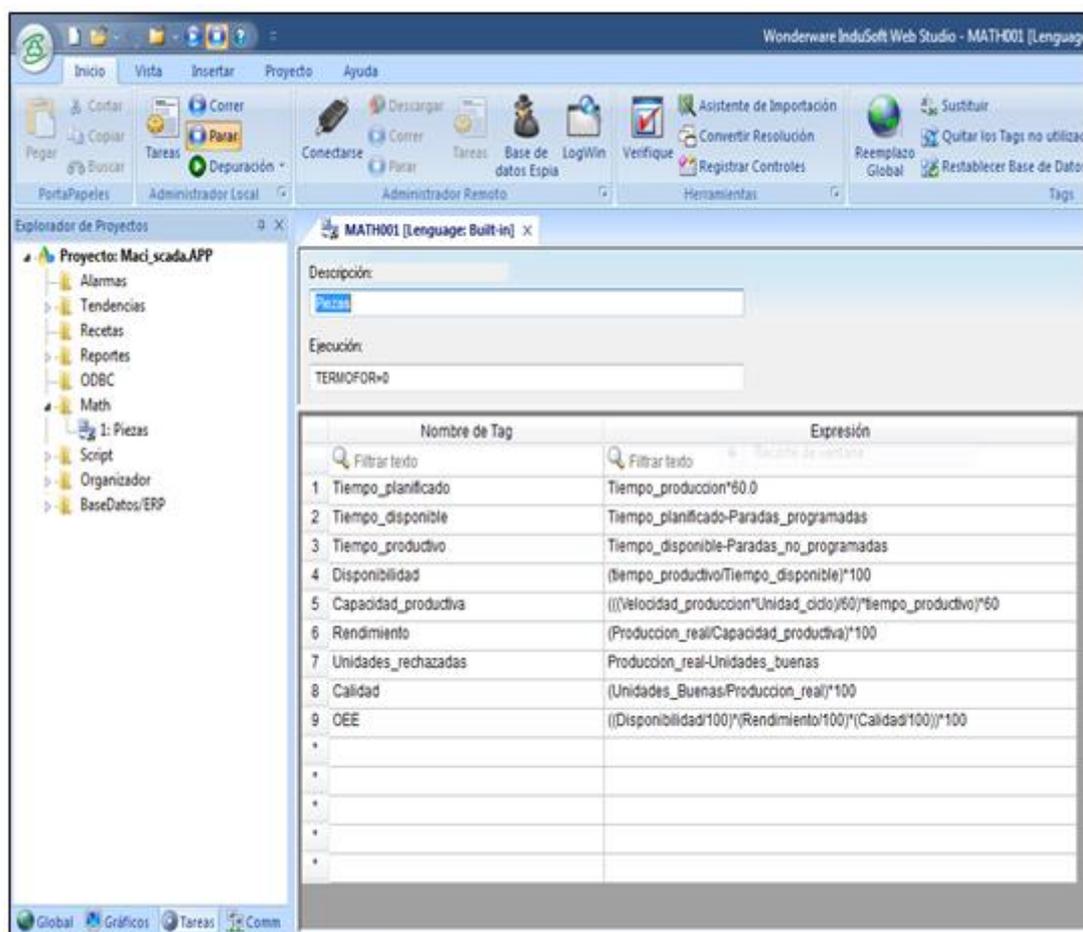


Figura 4.18 Herramienta Math de Wonderware Indusoft.

Esta herramienta puede ser utilizada en cualquier operación, matemática y trigonométrica, también permite ordenar los resultados cual documentos de Excel se tratase pues se puede crear varios documentos y así poder tener más ordenadas las operaciones matemáticas.

La Figura 4.18 muestra las fórmulas ingresadas para obtener los tiempos necesarios y así calcular los indicadores de eficiencia de máquinas.

4.2.10 Pantallas de usuario y reportes

La parte grafica se configura para una resolución estándar 1366 x 768 píxeles (16:9): monitores de 17" y 19".

Cada pantalla ahora tendrá esta configuración inicial para que se pueda mostrar hacia el usuario. Adicional se configura la optimización del servidor para hacerlo más eficiente con la ejecución del driver. Se configuran 6 pantallas de acceso local y remoto para mostrar los datos en el monitor, estas pantallas corresponden al tipo de información que se va a mostrar o datos que se deben ingresar.

En esta pantalla se observan los valores de proceso inicial y está mostrando toda la información de la máquina a cada instante para que el operador tenga el control del proceso a cada momento y pueda iniciar o parar el proceso (Ver Figura 4.19).

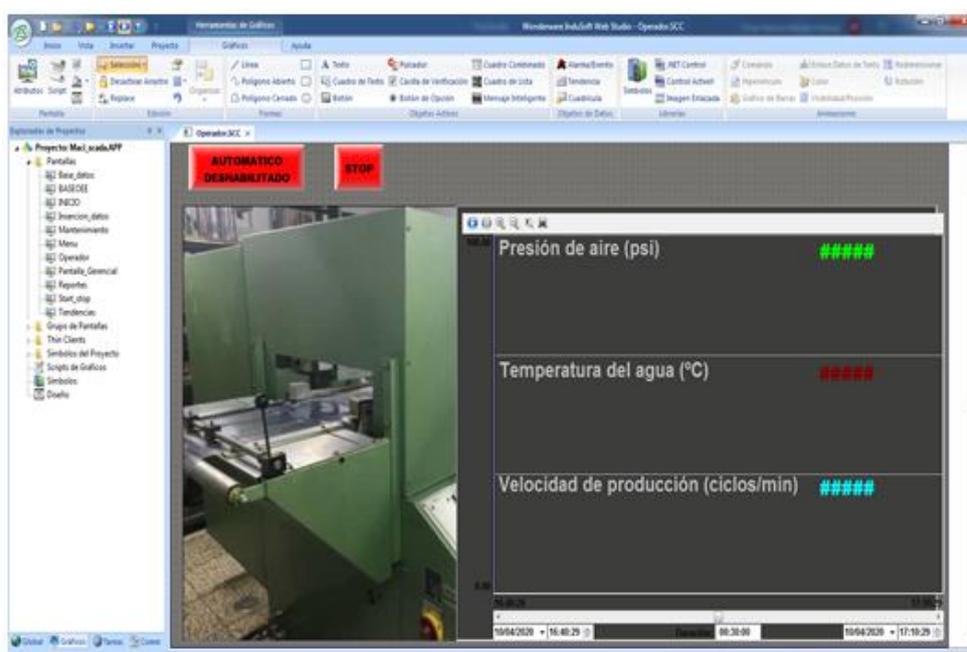


Figura 4.19 Configuración pantalla de Operador.

Seguidamente se configura y programa la pantalla de acceso para gerente, en esta pantalla se muestra toda la información obtenida en el transcurso del día en forma gráfica y concisa de cada dato obtenido.



Figura 4.20 Configuración pantalla Gerencial.

Como se puede observar en la Figura 4.20 los datos están definidos para ser mostrados en forma de barras numérica y en forma de manómetro para que sea más fácil su interpretación por parte del usuario.

La pantalla de Producción es un poco básica en cuanto a configuración, pero muy importante porque es donde se ingresarán datos relevantes como el tiempo planificado de producción, así como también la información de unidades aceptadas por el personal de calidad. Adicional muestra un resumen del proceso anterior (Ver Figura 4.21).

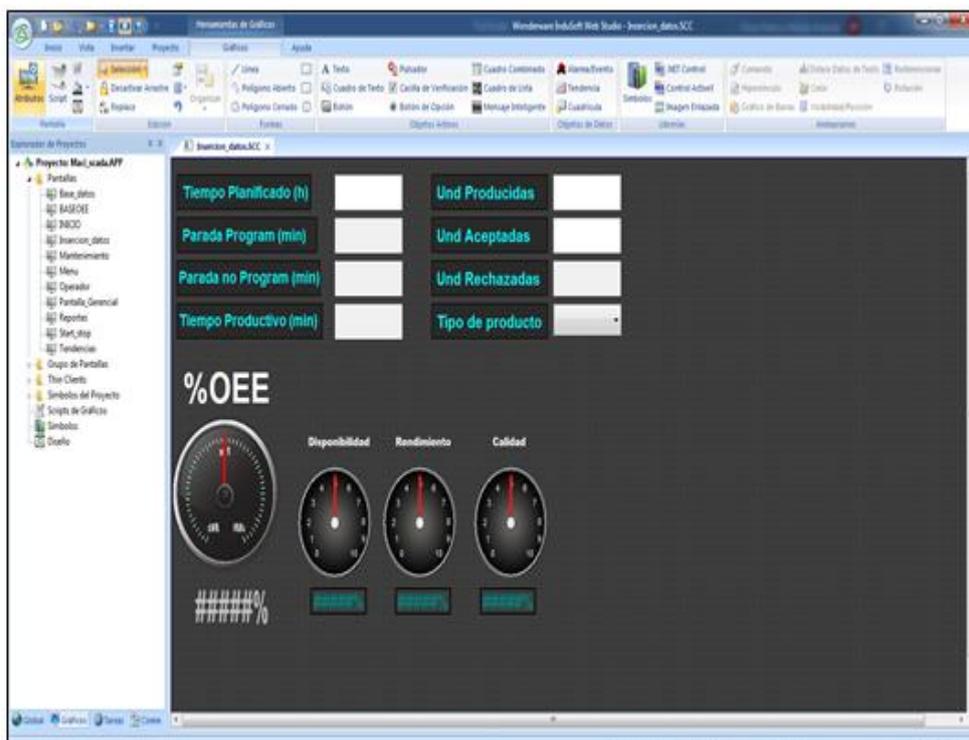


Figura 4.21 Configuración pantalla Producción.

La información guardada en la base de datos SQL Server propia de Microsoft se puede verificar desde el Microsoft SQL Server Management Studio donde se puede observar cada variable y su valor guardado en el tiempo.

En la Figura 4.22 se muestra la pantalla de tendencias en esta pantalla el usuario puede revisar la evolución del proceso segundo a segundo y evaluar los cambios entre las variables, además de poder analizar procesos anteriores debido a su amplia memoria de datos proporcionada por la base SQL Server como lo muestra la Figura 4.24.

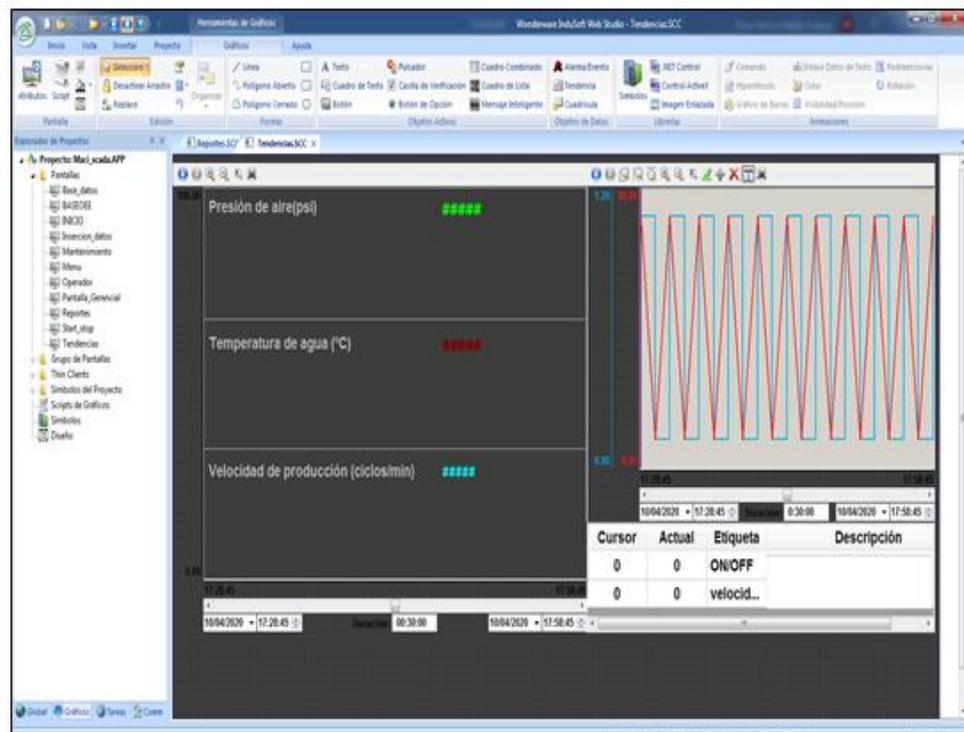


Figura 4.22 Configuración pantalla de Tendencias.

En la Figura 4.23 se aprecia el programa de la pantalla Start, esta pantalla está diseñada para ser indicador que de la pauta del porque paro el equipo, bajo la ayuda del operador se puede determinar porque hubo la parada y el tiempo de parada lo calcula automáticamente el software mediante su motor VBscript. Esta pantalla es una pantalla de sobreposición para que no afecte la visualización de las demás pantallas.

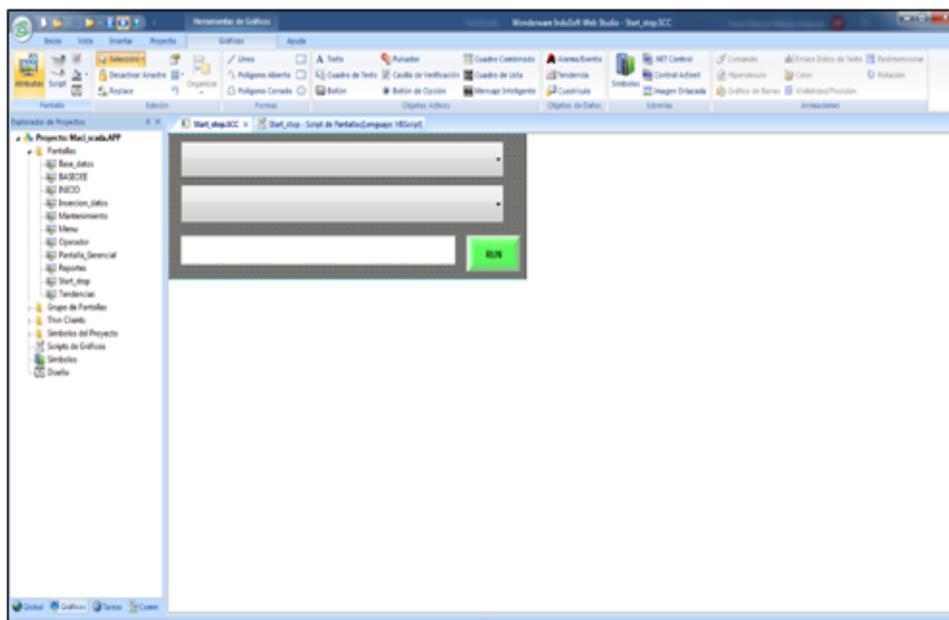


Figura 4.23 Configuración pantalla de Start.

Luego se configura la pantalla Reportes (Ver Figura 4.24). En este escenario se muestra una mayor programación en cuanto a software pues será la encargada de mostrar toda la información detallada en la fecha que se le indique para poder imprimir un reporte de la fecha que desee el usuario, así como también se utiliza para hacer un análisis de la trayectoria de producción.

ID	Fecha	Hora	Calidad	Rendimiento	Disponibilidad	OEE	Velocidad A...	Tiempo de ...	Tiempo Dep...
1	0000 1	0000 1	1	1	1	1	1	1	1
2	0000 2	0000 2	2	2	2	2	2	2	2
3	0000 3	0000 3	3	3	3	3	3	3	3
4	0000 4	0000 4	4	4	4	4	4	4	4
5	0000 5	0000 5	5	5	5	5	5	5	5
6	0000 6	0000 6	6	6	6	6	6	6	6
7	0000 7	0000 7	7	7	7	7	7	7	7
8	0000 8	0000 8	8	8	8	8	8	8	8
9	0000 9	0000 9	9	9	9	9	9	9	9
10	0000 10	0000 10	10	10	10	10	10	10	10
11	0000 11	0000 11	11	11	11	11	11	11	11
12	0000 12	0000 12	12	12	12	12	12	12	12
13	0000 13	0000 13	13	13	13	13	13	13	13
14	0000 14	0000 14	14	14	14	14	14	14	14
15	0000 15	0000 15	15	15	15	15	15	15	15
16	0000 16	0000 16	16	16	16	16	16	16	16
17	0000 17	0000 17	17	17	17	17	17	17	17
18	0000 18	0000 18	18	18	18	18	18	18	18
19	0000 19	0000 19	19	19	19	19	19	19	19
20	0000 20	0000 20	20	20	20	20	20	20	20

Figura 4.24 Configuración pantalla Reportes.

El Reporting que se muestra en la Figura 4.25 está diseñado en varios documentos según la necesidad de producción y del usuario final puesto que se configura un reporte en PDF el cual será producido cada que termine el turno de producción. Otro reporte está diseñado para el personal de producción por lo que es necesario exportar las variables en un formato CSV compatible con Excel y así poder llevar la producción turno a turno. Otro formato que sirve como informe del turno es obtenido bajo demanda del usuario y exportado en formato RTF compatible con Word u otro editor de texto.



Figura 4.25 Modelo de reporte generado en formato RTF.

4.2.11 Servidor de base de datos

Una vez realizadas las operaciones solicitadas se guarda esta información en un archivo dinámico o una base de datos para lo cual, por ser más eficiente, con muchas facilidades de acceso y flexibilidad se escogió guardar la información en una base de datos propia de la empresa que se instaló el software. La conexión con esta base se la realizó mediante la herramienta de vinculación de datos DB propio de Indusoft como se muestra en la Figura 4.26.

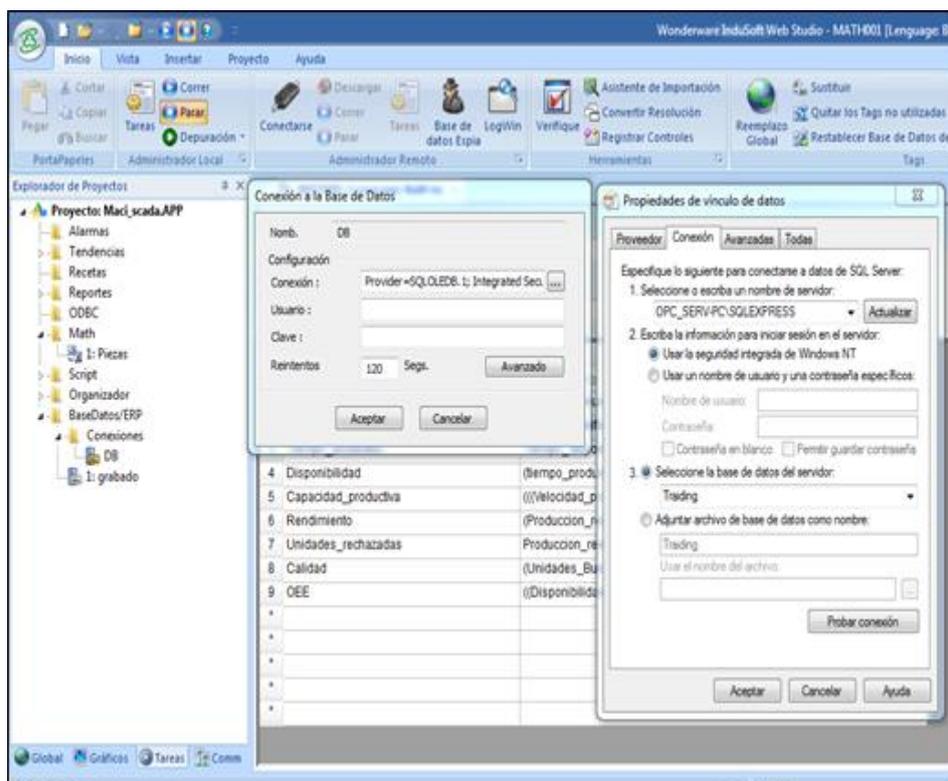


Figura 4.26 Vinculación del software con la base de datos SQL Server.

Se vincula todo el proyecto a la base de datos TRADING creada en el servidor de la empresa para poder acceder desde cualquier punto de la red local u otro acceso WAN o VPN requerido por el usuario final.

ser	caldad	disponible	result	velocidad	tempdisponible	unidades	tempproduccion	fecha	tempo
48.32040	76.32633	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	12	645	5	12.25	NA:1	NA:1
48.4288577	76.32633	85.71429	75.81729	12	630	5	12	06/06/2020	02:38:40
47.22222	76.32633	86.36384	71.63740	12	660	5	12.5	06/06/2020	02:39:30
65.97222	100	100	65.97222	12	720	5	12	06/06/2020	22:45:50
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1	NA:1
48.32040	76.32633	86.04851	73.57357	12	645	5	12.25	NA:1	NA:1
48.42857	76.32633	86.04851	73.57357	12	648	5	12.49	NA:1	NA:1
47.22222	76.32633	86.36384	71.63740	12	660	5	12.5	06/06/2020	02:39:30
65.97222	100	100	65.97222	12	720	5	12	06/06/2020	22:45:50

Figura 4.27 Administrador de Base de datos SQL Server.

En la Figura 4.27 se muestra la pantalla con los datos se van almacenando uno a uno conservando la hora y fecha en la que fueron creados para tener un mayor control de la trazabilidad y evolución de la data obtenida. Esto es muy útil cuando se quiera recabar información de fechas hacia atrás para verificar el correcto funcionamiento o desviaciones de los parámetros establecidos.

Capítulo 5

5 DISEÑO DEL CONTROLADOR DIFUSO E IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DEL SISTEMA SCADA.

5.1 Diseño del Controlador difuso

5.1.1 Definir las variables de entradas y de control

Considerando que para el diseño del controlador difuso se va a requerir mucho de la expertis del operador y no de análisis matemáticos vamos a utilizar el tipo de sistema Mandami.

Aunque hay muchas variables que se pueden usar como entrada (por ejemplo, la integral de error), adoptaremos solo el error ya que este es el utilizado por el experto. Luego debemos identificar las variables a controlar. Para el caso de control de temperatura propuesto, solo podemos controlar la apertura de la válvula de control de entrada de agua helada.

Por lo tanto, la variable de entrada del controlador la llamaremos “error” y la de salida “Apertura de válvula”.

Una vez que se seleccionan las entradas y salidas del controlador difuso, el siguiente paso es determinar la entrada de referencia deseada, que en nuestro caso será la temperatura de trabajo del molde siendo 10°C o 12°C (entrada de paso de diez o doce).

De acuerdo con la información dada por el operador de máquina, el sistema de control difuso, entonces, con sus entradas y salidas, sería como se muestra en la Figura 5.5 donde se muestra el diagrama en bloques diseñado en la herramienta “fuzzy” y Simulink de Matlab.

5.1.2 Fusificación

5.1.2.1 Variables lingüísticas

El operador utiliza cierto lenguaje para describir las variables de entradas y salidas en el tiempo del controlador difuso, Por lo tanto, para nuestro sistema de temperatura, podríamos definir las siguientes variables lingüísticas:

Para la entrada (error):

1. N Negativo
2. NP Negativo Pequeño
3. ZE Cero
4. SP Positivo Pequeño
5. P Positivo

Para la salida (Apertura de válvula):

- 1. Z Cero
- 2. MB Medio Alto
- 3. M Medio
- 4. MA Medio Alto
- 5. A Alto

Consideremos ahora como podemos describir la dinámica del sistema en función a las variables lingüística y los valores que asumen. En el caso del controlador de temperatura cada una de las siguientes frases representan diferentes estados del sistema:

- 1. El error es Negativo lo que indica que la temperatura del molde es mucho más alta de lo deseado.
- 2. El error es Negativo Pequeño lo que indica que la temperatura del molde es algo más alta que el valor deseado.
- 3. El error es cero lo que indica que la temperatura del molde es más o menos el punto de ajuste, pero aumenta.

4. El error es Positivo pequeño lo que indica que la temperatura del molde está por debajo del punto de ajuste y baja aún más.

6. El error es Positivo lo que indica que la temperatura del molde está muy por debajo del punto de ajuste, pero aumenta.

5.1.2.2 Funciones de membresía

Ahora cuantifiquemos el significado de las variables lingüísticas utilizando las funciones de pertenencia. Dependiendo de la aplicación específica y el diseñador (experto), podemos seleccionar entre varias funciones de membresía.

Las particiones difusas tanto para la variable de entrada (error) como para la variable de salida (apertura de la válvula) consistirá en cinco grupos difusos distribuido a conveniencia en un universo normalizado de discurso con rango de -19.75 a 4. La Figura 5.1 muestra la función de membresía con el método triangular para las variables de entrada, y la Figura 5.2 que corresponde a la función de membresía con método triangular de la variable de salida definido con un rango de 0 a 100.

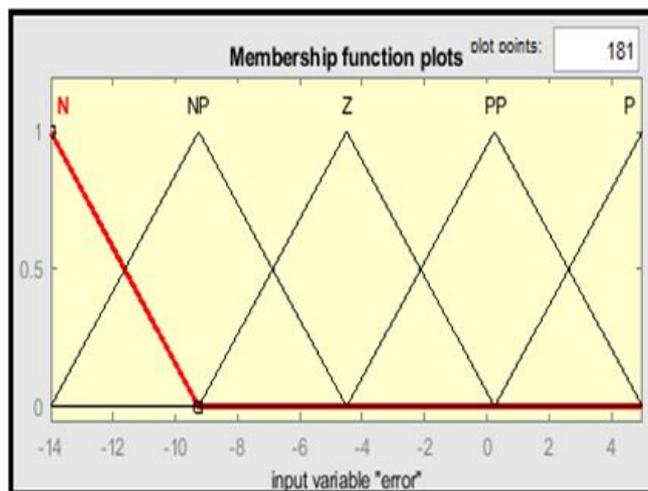


Figura 5.1 Función de membresía de la variable de entrada (error).

Los rangos de la función de membresía de la variable de entrada se los detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla 5.1

Tabla 5.1 Datos para la Fusificación de la variable de entrada.

No.	Rango de entrada	Variable lingüística	Método
1	-18.75 -14 -9.25	N	Triangular
2	-14 -9.25 -4.5	NP	Triangular
3	-9.25 -4.5 0.25	Z	Triangular
4	-4.5 0.25 5	PP	Triangular
5	0.25 5 9.75	P	Triangular

5.1.3 Base de reglas

Una vez que se difuminan los valores actuales de las variables de entrada, el controlador difuso continúa con la fase de "tomar decisiones" o decidir qué acciones tomar para llevar la temperatura a su valor de

referencia. Para iniciar la acción, las medidas son un tiempo y una temperatura mínimos. La política de restricción de un Sistema de control difuso está compuesta por los bloques de reglas. En las reglas, la parte "SI" representa la situación, para la cual se proyectan las reglas. La siguiente parte 'ENTONCES' delinea la reacción del sistema difuso en este estado. La política de control del controlador está formulada estructuralmente de acuerdo con reglas difusas de la siguiente manera:

1. "Si el error es N, entonces la apertura es A".
2. "Si el error es NP, entonces la apertura es MA".
3. "Si el error es Z, entonces la apertura es M".
4. "Si el error es PP, entonces la apertura es MB".
5. "Si el error es P, entonces la apertura es Z".

5.1.4 Defusificación

Para la Defusificación utilizaremos el método centroide como se muestra en la Figura 5.2.

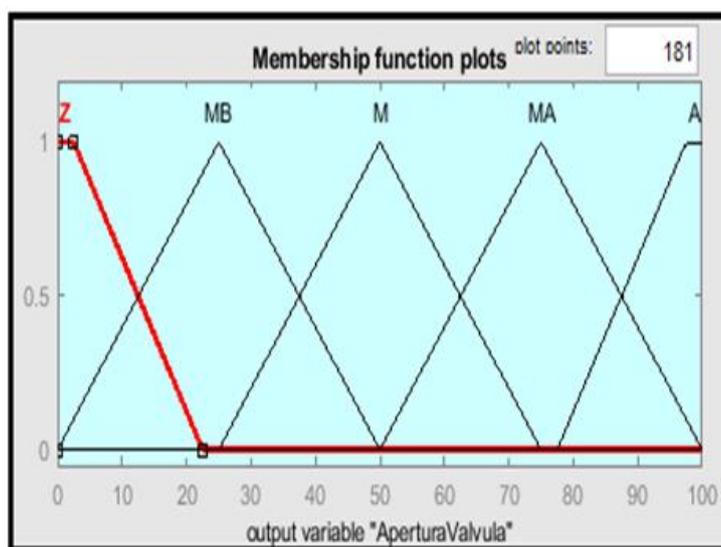


Figura 5.2 Función de membresía de la variable de salida (Apertura de válvula).

Los rangos de la función de membresía de la variable de salida se los detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla 5.II:

Tabla 5.II Datos para la defusificación de la variable de salida

No.	Rango de la variable de salida	Variable lingüística	Método
1	0 0 2.5 22.5	Z	Trapezoidal
2	0 25 50	MB	Triangular
3	27 50 75	M	Triangular
4	50 75 100	MA	Triangular
5	77.5 97.5 100 100	A	Trapezoidal

5.1.5 Simulación de control de temperatura difusa

Para evaluar el desempeño del controlador diseñado y previo a su implementación se realiza una simulación. Los resultados de la simulación pueden ayudar a mejorar el diseño del controlador difuso y a verificar que funcionará correctamente cuando esté implementado. Tal simulación se muestra a continuación usando Matlab, específicamente Simulink para simular el bucle de control y la caja de herramientas difusa que ayudan a implementar el controlador difuso.

El controlador diseñado se define utilizando la caja de herramientas difusa en Matlab. La partición difusa de las entradas y salidas se muestra en Figura 5.1 y Figura 5.2 respectivamente. En cuanto a la

superficie de salida, se muestra en la Figura 5.3. Con esta herramienta, podemos ver cómo se lleva a cabo el proceso de inferencia, Figura 5.4.

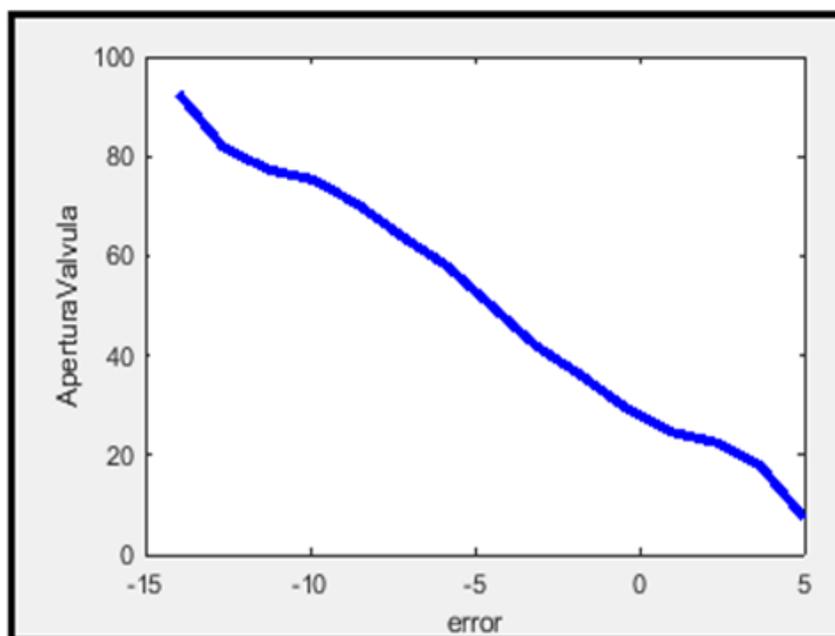


Figura 5.3 Superficie de control.

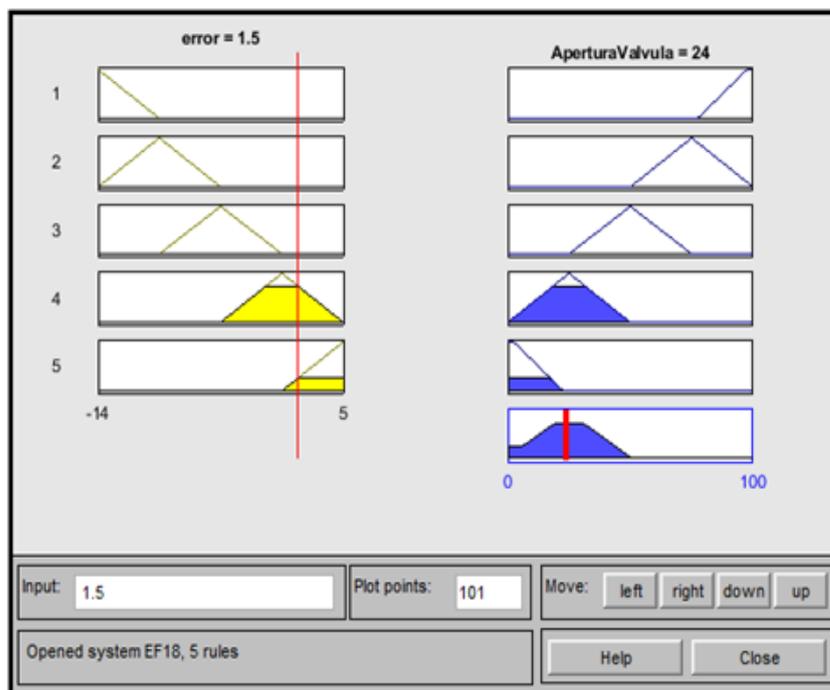


Figura 5.4 Proceso de inferencia para error P (1.5).

El siguiente paso es realizar una simulación con el sistema de temperatura para verificar el rendimiento del sistema de control. Para ello, utilizaremos la herramienta de simulación Simulink, que nos permite implementar el lazo de control en bloques y usar el sistema difuso creado con la caja de herramientas difusa como el controlador. El diagrama del sistema de control, entonces, es como se muestra en la Figura 5.5.

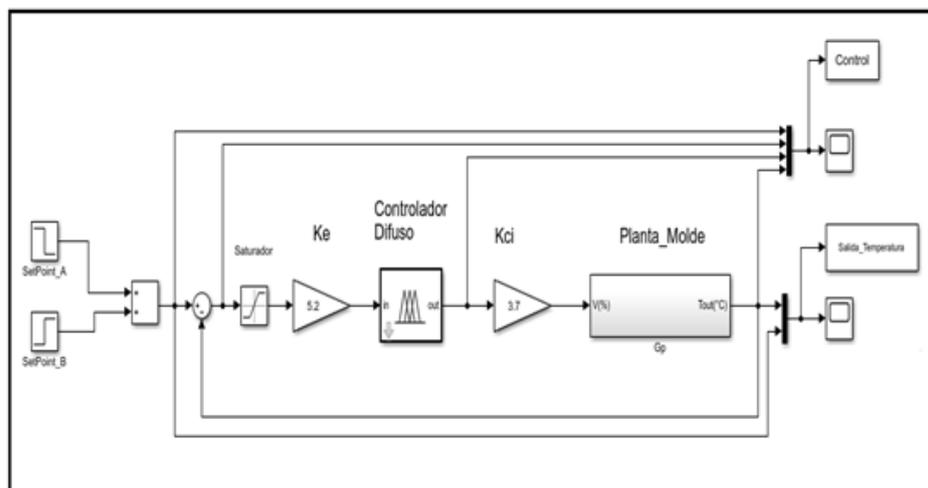


Figura 5.5 Diagrama Simulink del control difuso de temperatura.

Un paso previo necesario para estudiar los resultados del controlador difuso es ajustar sus parámetros. En otras palabras, utilizamos particiones difusas que se normalizaron entre -14 y 5, y aún el error y la apertura comandada deben tomar valores dentro de un Rango diferente. Para hacer esto, utilizamos ganancias que escalan estas variables dentro del rango del diseño del controlador difuso, ajustando estas ganancias para lograr las especificaciones deseadas. Estas ganancias se denominan ganancias de escala (g_s) y su efecto es el siguiente:

1. Si $g_s = 1$, no hay efecto en las funciones de membresía.
2. Si $g_s > 1$, entonces las funciones de membresía se contraen uniformemente por un factor de $1 / g_s$.
3. Si $g_s < 1$, las funciones de membresía se expanden uniformemente por un factor de $1 / g_s$.

Para el controlador de temperatura, hemos seleccionado una ganancia de escala para el error del controlador entrada de $K_e = 5.2$ y de $K_{ci} =$

3.7 para el comando Apertura. El valor K_e es necesario para mantener el error y la variación del error acotada en los mismos márgenes. El valor K_{ci} se utiliza para hacer coincidir el comando máximo con el valor máximo de apertura de la válvula (100%). Los valores utilizados en las ganancias de escala han sido seleccionados a través de un método adaptativo basado en los resultados de simulaciones sucesivas.

Los resultados obtenidos por este sistema son los que se muestran en la Figura 5.6 y Figura 5.7. Aplicando el máximo comando de 92%, podemos alcanzar el valor del punto de ajuste en 260 segundos. La regla que es aplicado al principio corresponde a la regla 1, que implican N. Luego, el grupo 2 se hace cargo, esta regla controla el error de NP y pequeños errores variaciones Los siguientes para activar son las reglas para tratar los errores de Z. Por último, la regla 3, con La fuerza de disparo 1, se activa para tratar el error PP.

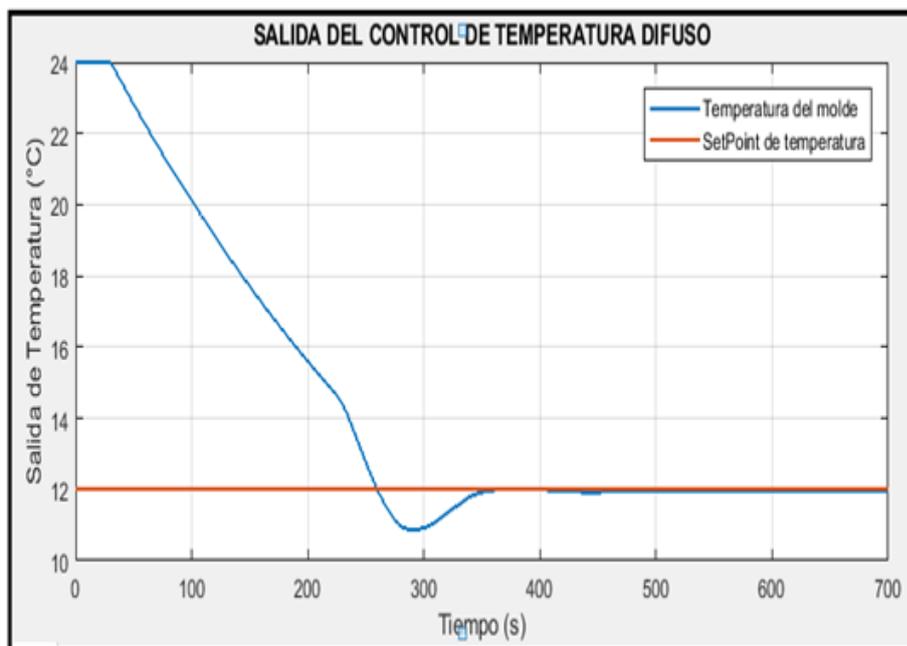


Figura 5.6 Salida del Controlador Difuso - Temperatura en el molde.

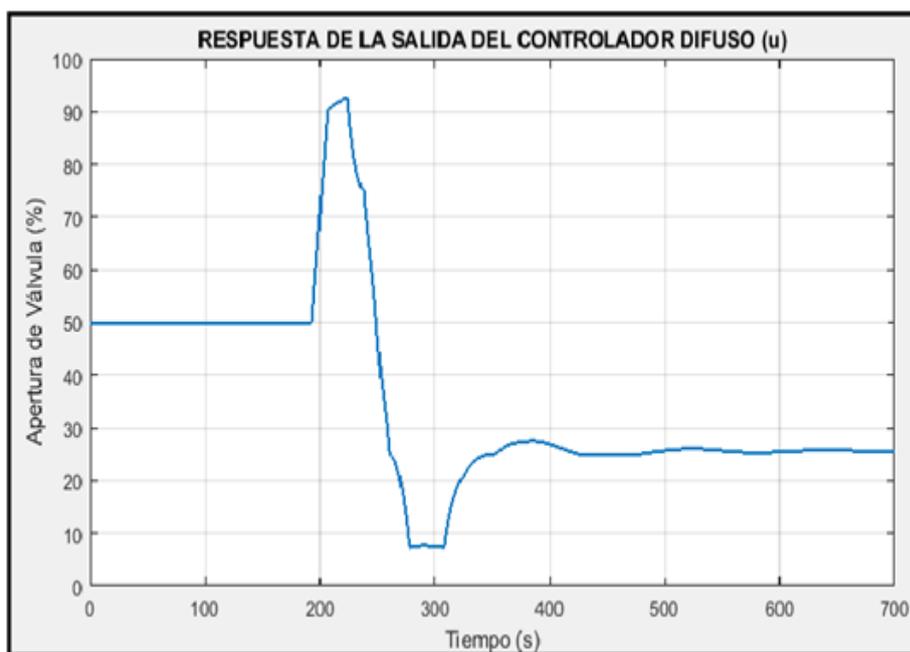


Figura 5.7 Gráfica de la respuesta de la salida del controlador difuso.

Si el punto de ajuste se cambia en $t = 1.100$ segundos, el resultado es como se muestra en la Figura 5.8. Cuando se cambia el punto de ajuste, se emite un nuevo comando ya que la regla de error PP está activada.



Figura 5.8 Respuesta del sistema a una variación del setpoint.

En la figura 5.9 se muestra el desempeño del controlador y la repuesta del sistema al ocurrir un cambio del setpoint luego de un tiempo determinado, aquí podemos apreciar la dinámica del sistema con el controlador diseñado y debidamente ajustado sus parámetros.

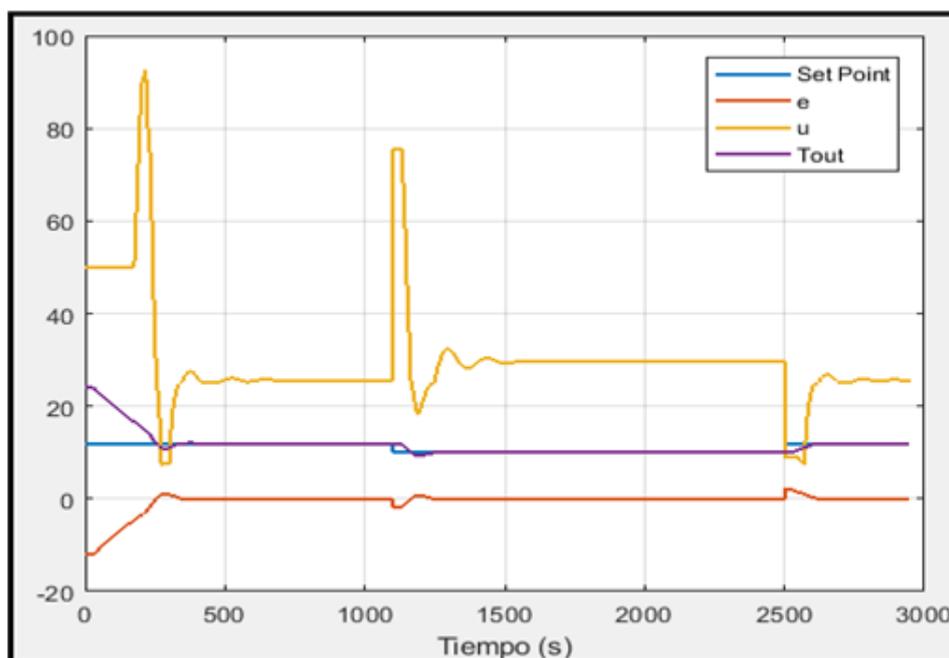


Figura 5.9 Simulación del sistema con control de realimentación de temperatura mediante modelado de la planta G_p .

5.2 Implementación del sistema SCADA

Se instala el sistema SCADA en el servidor propinado por la empresa que corresponde a un CPU Core i7 de 8va generación con 8 gigas de memoria RAM, fuente de 700 watts y ups de 2000VA de la marca FORZA, Monitor de 24" HD para una mejor visualización de las pantallas.

El Sistema operativo corresponde a Windows 7 pro-64 bits con paquetería de procesamiento de texto y hojas de cálculo. Se procede a instalar y configurar el software Wonderware Indusoft 8.0 con licencia de prueba estudiantil trial con un tiempo de vida de seis meses. Se prueba cada una de las pantallas configuradas y se obtiene los siguientes resultados.

5.2.1 Pantalla de operador

En esta pantalla el operador se ve obligado a ingresar el tipo de falla para que la maquina arranque caso contrario la maquina no iniciará el proceso. Esta parte es fundamental para obtener los datos de la parada, y evaluar si fue una parada programada o no programada, el motivo por el cual se produjo y así poder asignar el valor de tiempo muerto a la variable correspondiente para los cálculos postreros.

Una vez ingresados estos valores el sistema encenderá y empezará a contar el tiempo de producción para los cálculos consiguientes. Al momento de arrancar la maquinaria volverá un tag indicando que está en run el sistema y automáticamente el SCADA guardará en la base de datos el tipo de parada.

5.2.2 Pantalla de producción con resumen de OEE.

Luego que ha transcurrido el tiempo necesario los datos empezaran a aparecer en la pantalla de producción dando como valor el actual indicando cómo se está llevando el proceso con un resumen de OEE. para que el supervisor pueda saber cómo está yendo el proceso e interactuar y evaluar con el operador, adicional se deberá ingresar los datos de unidades rechazadas para que el sistema haga los cálculos necesarios.

5.2.3 Pantalla de control de tendencias.

Luego está la pantalla de tendencias donde muestra a cada momento lo que está ocurriendo con el proceso y adicional se puede buscar por

fechas y por paradas pues toda la información queda guardada en la base de datos y así acceder a la información más rápida y segura.

5.2.4 Pantalla de Gerencia.

Una vez visualizado los datos donde el operador y el supervisor pueden acceder viene la pantalla gerencial que es un resumen de todas las demás para compactar información, además de dar datos detallados en la forma más gráfica posible para que el gerente del negocio pueda revisar los indicadores y así tomar decisiones precisas y a tiempo, pues el sistema puede mostrar un resumen diario o a su vez buscar la información de días atrás mediante el navegador.

5.2.5 Configuración de la red y conexión con el Autómata

La red de la empresa está configurada con el firewall necesario para impedir que software no deseado pueda intercambiar datos en la red. Se pide la autorización necesaria para agregar una nueva regla al programa y así se pueda acceder al software desde cualquier punto de la red.

Una vez configurada la red Se procede a ubicar al autómata que está programado con la dirección IP 192.168.0.20 máscara 255.255.255.0 que está controlando la máquina. Al enlazar se prueba con la base de datos espía que trae el software para comprobar si el autómata está enviando los datos al SCADA y si este los está leyendo de la forma correcta.

Una vez comprobado que el autómata está enviando la información se procede a poner en modo Run el software y a observar los valores enviados desde el PLC y visualizarlos en las pantallas configuradas. Se puede observar, la conexión con la maquina es estable y fiable lo que brinda la seguridad que el sistema no perderá datos ni se colgará cuando una petición no sea respondida.

5.2.6 Conexión con la base de datos

Al iniciar el sistema nos da un error de conexión a la base de datos lo que significa que no está aún enlazada al servidor de SQL Server. Para eliminar este error se procede a vincular cada elemento de consulta y escritura con una de las tablas configuradas dentro de la base de datos TRAINING configurada por el personal de sistemas en el equipo servidor. Al presionar prueba de conexión aparece que la prueba es exitosa, solo así se puede estar seguro de que el sistema ya es capaz de intercambiar datos con él Servidor de la empresa en este caso con SQL server.

En la pantalla de tendencias se puede apreciar como cada dato queda registrado dentro del servidor de datos y que es accesible desde el navegador interno, pues permite desplazar y observar la data de la evolución del proceso segundo a segundo.

En la pantalla reportes la tabla está llena con cada uno de los datos obtenidos del proceso, esto significa que ya se puede hacer consultas con hora y fecha específicas para saber que paso en cierto lapso y hacer un análisis más preciso de cualquier evento suscitado durante el turno de producción.

5.2.7 Validación de la base de Datos y del Sistema Implementado

Para evaluar el proceso de toma de datos se la deja trabajando interrumpidamente en un lapso de quince días y se obtienen los siguientes resultados:

La base de datos optimiza es optimizada y facilita la búsqueda de eventos con resultados mucho más confiables y efectivos reduciendo los tiempos de localización de folios, lo que ayuda enormemente al manejo de información porque ya no se la realiza de forma manual. También podemos agregar que una visualización exacta del día anterior ayuda a identificar cualquier anomalía que se presente en el proceso.

La grafica de tendencias es de gran ayuda para el personal técnico puesto que pueden seguir minuto a minuto el desarrollo del proceso y el comportamiento de la maquina lo que brinda facilidad para diagnosticar, anticipar fallas y efectuar un mantenimiento preventivo y predictivo tratando de minimizar las paradas no programadas que son puntos clave en la optimización de KPIs

Producción es uno de los departamentos más beneficiados con el sistema de adquisición de datos, todos los parámetros que ellos vigilan están dispuestos en la pantalla exclusiva para el departamento. Aquí se muestran los datos recopilados por la maquina como son el tiempo planificado para el turno de proceso, el tiempo transcurrido desde el inicio del turno, las paradas programadas que van ocurriendo, las paradas no programadas con su respectivo tiempo de suceso, el número de unidades que el equipo va produciendo y el número de

unidades que no pasaron el registro de calidad, así como también el tipo de producto, la velocidad de producción y la cantidad de unidades por ciclo de máquina.

En lo que a reportes se refiere se dispone de una pantalla exclusiva para imprimir reportes. Estos documentos están dispuestos de tal forma que al ingresar nos muestre todo lo ocurrido durante el turno de proceso en curso. Si el usuario desea buscar fechas anteriores para obtener información la puede hacer de la forma más sencilla puesto que tiene una slider para indicar el año, mes, día haciendo la experiencia más sencilla para el usuario. Una vez localizada la fecha de búsqueda se despliega en la pantalla todos los datos como son: encendido y apagado de la máquina, paradas programadas y no programadas con su respectiva hora de inicio y parada, información de OEE incluyendo el tiempo planificado en el turno, el tiempo de paradas, la disponibilidad del equipo, la eficiencia del equipo, la calidad del producto incluyendo la hora y fecha de creación del archivo. Luego solo necesita que se oprima el botón del archivo que se desea obtener ya sea en PDF o en CSV para que el sistema lo genere.

Otra de las bondades de la aplicación es la pantalla que se creó exclusivo para la gerencia de la empresa. Esta pantalla aloja toda la información más relevante del turno de producción y la muestra de una forma gráfica fácil de interpretar por el gerente con lo cual se hace sencillo entender un turno de producción, saber cómo se produjo en el turno anterior y como está yendo proceso actual, dando la facilidad al jefe tomar las decisiones adecuadas y en menor tiempo puesto que la información siempre está disponible a cualquier hora del día.

CONCLUSIONES

Diseño de un controlador de temperatura aplicando control difuso

1. Los resultados obtenidos en el diseño del controlador difuso tipo Mamdani evidencian que, si cumple con las características para la aplicación del proceso, con un funcionamiento satisfactorio de respuesta.
2. Esta técnica de control es evidentemente robusta para el control de temperatura, teniendo en cuenta la gráfica de adquisición de datos que se comporta como una variable no lineal. En base a los resultados de la simulación se puede inferir que el sistema propuesto basado en lógica difusa permite obtener una respuesta rápida y estable.
3. El controlador de temperatura difusa es diseñado utilizando un sistema informático donde se demuestra que un controlador de lógica difusa único que utiliza una pequeña cantidad de reglas y una implementación simple resuelve un problema de control de temperatura con dinámicas desconocidas o retrasos de tiempo variables que se encuentran comúnmente en la industria.
4. En las simulaciones se observa que los valores de las variables de salida no presentan grandes oscilaciones alrededor del valor de consigna. Esto se logró mediante la selección de los parámetros de entonación (ganancias K_e y K_{ci}) que permitieron obtener una respuesta rápida y con un sobre pico relativamente bajo.

Implementación del sistema SCADA en la Termo formadora #3

1. La aplicación es muy eficiente y estable, se la ha probado por varios días teniendo resultados fidedignos y confiables del desarrollo del proceso brindando a sus usuarios datos reales y precisos de todos los acontecimientos ocurridos en la maquina a monitorear. Además de incluir al operador como ente responsable de los datos procesados y al supervisor de proceso como validador de estos datos.
2. Los drivers que posee el sistema SCADA son amigables con la mayoría de PLC del mercado lo que lo hace una herramienta poderosa y fácil de manejar por cualquier programador de HMI constituyéndolo en un software indispensable para la industria de automatización.
3. Las bases de datos son muy efectivas y estables ahorrando espacio de almacenamiento y haciéndolas accesibles desde cualquier punto de la red o internet si el usuario lo prefiere, además permite tomar todas las acciones de seguridad para evitar la fuga de información para que sea segura y confiable.
4. Los datos obtenidos por la aplicación son mucho más exactos que los obtenidos de la forma manual, esto se debe a que el digitador no está presente durante una parada. Esto hace que se tengan mejores resultados y los KPIs ahora son más reales y precisos.
5. La aplicación reduce el tiempo de recolección de datos que hasta ahora la empresa la hacía de forma manual confiando únicamente en la palabra del digitador, adicional a esto también se reduce el consumo de papel lo que la hace amigable con el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener mucho cuidado con la sintonización del controlador por medio de las ganancias ya que estas al ser muy altas podrían llevar al controlador a una etapa de saturación teniendo como resultado la pérdida del control.
2. El resultado del control se puede mejorar cambiando el tamaño de los conjuntos difusos y ajustando las funciones de pertenencia.
3. Se recomienda al departamento de sistemas vincular la base de datos a las hojas de cálculo Excel para que puedan acceder de esta forma los usuarios que no tienen acceso a la aplicación y puedan procesar los datos obtenidos del proceso productivo de una forma eficaz reduciendo el consumo de papel, tiempo de recolección de datos manuales.
4. Se recomienda la compra del software para que el trial de seis meses no caduque y puedan seguir guardando la información y hacer un proyecto viable en la empresa. Adicional se recomienda enlazar las demás máquinas al SCADA para que la información sea global pudiéndose obtener el OEE de toda la línea de producción.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. R.H., «The Benefits of Networked SCADA Systems utilizing IPEnable Networks,» Colorado USA, 2002.
- [2] J. A. Cruelles, «Productividad Industrial, metodos de trabajo, tiempo y su aplicación a la planificación y a la mejora continua.,» 2012.
- [3] I. M.C., «Moldeo por inyección científica,» 2008.
- [4] J. M. L. y F. A. P., «El Entorno de la Industria 4.0,» 2017.
- [5] F. E. G., «Instalacion de equipos y elementos de sistemas de automatización Industrial,» 2017.
- [6] A. Cruz, «¿Qué es el OEE y como se calcula?,» 2018.
- [7] D. Caro, «Automation Networks Selection,» 2009.
- [8] K. M. y S. Yurkovich, Fuzzy Control, 1997.
- [9] Agarwal, «Diferentes tipos de sensores con sus aplicaciones,» 2017.
- [10] R. R y D. V., «Modern HMI/SCADA Systems,» 2010.

- [11] F. G. E. Q. A. V. Quezada Quezada Jose Carlos, «Diseño e Implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable,» 2014.
- [12] J. & G. L. Catañeda, «Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para una estación multivariable didáctica.,» 2019.
- [13] Control SDindustrial, 2019. [En línea]. Available: https://control.sindustrial.com.mx/imagenes/septiembre13/integracion_hmi_plc.pdf.
- [14] H. Tran, «Creating a User Interface For Home Automation,» 2017.
- [15] P. R. K. Pavan R. Gosavil, «Industrial Energy Monitoring System Using PLC and SCADA,» 2017.
- [16] J. Balcells y J. L. Romeral, «Automatas Programables,» 1997.
- [17] J. C. Eraso, «Redes Industriales,» 2003.
- [18] P. Rodriguez, Sistemas SCADA, Mexico D.F.: Marcombo, 2007.
- [19] C. Salazar y L. Correa, «Buses de campo y Protocolos en redes industriales,» 2011.
- [20] A. Larco, «Diseño de una tarjeta de adquisición de datos para la supervisión y control de proceso,» 2009.
- [21] L. A. Zadeh, «Fuzzy Logic,» 2010.
- [22] National Communications Systems, «Supervisory Control and Data Acquisition,» 2004.

