

# **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



**“CONTROL SECUENCIAL DE PESO, TEMPERATURA, PH EN LA  
PREPARACION DE MEZCLA BASICA PARA EXPLOSIVOS EN UN TANQUE  
DE DISOLUCION”**

TESIS PRESENTADA POR:

**BACH. PABLO HERSON BLACK RODRIGUEZ ELIAS**

**BACH. JOSE ALONSO ZAMBRANO CAMPOS**

COMO REQUISITO PARA OBTENER  
EL TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO

Mayo del 2017

Lambayeque – Perú

# **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



**“CONTROL SECUENCIAL DE PESO, TEMPERATURA, PH EN LA  
PREPARACION DE MAZCLA BASICA PARA EXPLOSIVOS EN UN TANQUE  
DE DISOLUCION”**

TESIS PRESENTADA POR:

**BACH. PABLO HERSON BLACK RODRIGUEZ ELIAS**

**BACH. JOSE ALONSO ZAMBRANO CAMPOS**

COMO REQUISITO PARA OBTENER  
EL TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO

JURADO CALIFICADOR

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro  
PRESIDENTE

Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera  
SECRETARIO

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano  
VOCAL

Mayo del 2017

Lambayeque – Perú

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO ELCTRONICO

PRESENTADO POR:

BACH. PABLO HERSON BLACK RODRIGUEZ ELIAS

BACH. JOSE ALONSO ZAMBRANO CAMPOS

ACEPTADA POR LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
ELECTRONICA

---

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro  
Presidente

---

Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera  
Secretario

---

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano  
Vocal

---

Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla  
Asesor

Mayo del 2017  
Lambayeque – Perú

## **Dedicatoria**

*La presente tesis se la dedico a mi familia que gracias a su apoyo pude conducir mi carrera.*

*A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona.*

*A mi padre Eduardo por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome y aconsejándome siempre.*

*A mi madre Teresa por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.*

*A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y presionándome para culminar mi carrera profesional y llenándome de fuerzas para seguir creciendo profesionalmente ante las adversidades que se presentan.*

*A mis compañeros y profesores de la Universidad por las enseñanzas y el apoyo que me brindaron en el transcurso de la vida universitaria y ahora que estoy por culminar mi tesis me siguen brindando su apoyo incondicionalmente.*

*Gracias*

**José Zambrano Campos**

## **Dedicatoria**

*El presente proyecto va dedicado a Dios, mi familia y amigos por al apoyo incondicional que me han brindado en todo el transcurso de mi carrera profesional.*

*Para mis padres Pedro y Raquel por su apoyo, consejos, comprensión, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar y a mí hermana Grecia por ser un ejemplo a seguir de manera personal y profesional. Gracias a ellos tengo todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.*

*A mis amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que estos sueños se haga realidad.*

**Pablo Rodríguez Elías**

## **AGRADECIMIENTO**

*El agradecimiento de la Tesis es a Dios quien nos ha guiado y dado la fortaleza para seguir adelante.*

*A los Catedráticos de la Universidad Pedro Ruiz Gallo por quienes hemos llegado a obtener los conocimientos necesarios para poder desarrollar la tesis.*

*Un reconocimiento especial para el Ing. Víctor Jara S. que nos dejó en vida grandes enseñanzas y nos incentivó a realizar la Tesis, nos brindó la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también de habernos tenido la paciencia del mundo para guiarnos al comienzo de la Tesis. Ahora que se encuentra culminada la Tesis se la dedicamos en agradecimiento a su apoyo que nos brindó.*

## INDICE GENERAL

### CAPITULO I

#### ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. ASPECTO INFORMATIVO .....	2
1.1.1. Título.....	2
1.1.2. Personal investigador.....	2
1.1.3. Centro o instituto de investigación.....	2
1.1.4. Área de Investigación.....	2
1.1.5. Lugar de ejecución.....	2
1.1.6. Beneficiarios del proyecto .....	3
1.2. ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.2.1. Marco lógico.....	3
1.2.1.1. Situación Problemática .....	3
1.2.1.2. Antecedentes .....	4
1.2.1.3. Formulación del Problema Científico.....	5
1.2.1.4. Objetivos.....	5
1.2.1.5. Justificación e importancia de la investigación .....	5
1.2.1.6. Hipótesis .....	6
1.2.1.7. Modelo Lógico de Contrastación.....	6

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1. SISTEMAS DE CONTROL [1].....	8
2.1.1. Definiciones básicas .....	8
2.1.2. Tipos de sistema de control [2].....	9
2.1.2.1. Sistema de control en lazo abierto .....	9
2.1.2.2. Sistema de control en lazo cerrado .....	10
2.1.3. Modelado de sistemas [3] .....	11
2.1.3.1. Modelo matemático.....	11
2.1.3.2. Métodos de obtención de modelos.....	12
2.1.4. Identificación de sistemas [3] .....	13
2.1.4.1. Métodos de identificación.....	14
2.1.4.2. Técnicas de identificación paramétrica.....	15
2.2. CONTROL BATCH [4].....	16
2.3. MÁQUINAS DE ESTADO.....	19
2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES .....	20

2.4.1.	Temperatura .....	20
2.4.2.	pH .....	22
2.4.3.	Peso.....	23
2.5.	REDES INDUSTRIALES [10] .....	24
2.6.	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN .....	26
2.6.1.	Protocolo Ethernet [11].....	26
2.6.2.	Protocolo serial [12] .....	27
2.6.3.	Protocolo OPC [13] .....	27
2.7.	SISTEMA SCADA .....	28
2.7.1.	Arquitectura de un sistema SCADA.....	30
2.7.2.	Funciones de los sistemas SCADA.....	31
2.8.	CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE .....	32
2.8.1.	Estructura básica de un PLC.....	33
2.8.2.	Arquitectura de un PLC.....	34
2.8.3.	Módulos de entrada y salida.....	37
2.8.4.	Comunicación de un PLC.....	39
2.8.4.1.	Comunicación serial.....	40
2.8.4.2.	Interfaz RS – 232 .....	40
2.8.4.3.	Red Ethernet.....	41

### **CAPITULO III**

#### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO**

3.1.	DESCRIPCION DEL PROCESO.....	44
3.1.1.	Suministro de agua .....	45
3.1.2.	Mezclado.....	46
3.1.3.	Calentamiento.....	46
3.1.4.	Dosificación de ácido nítrico.....	46
3.2.	CONDICIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL .....	47
3.2.1.	Selección AUTO/MANUAL.....	47
3.2.2.	Agitador de Tanque de Disolución TQ-101.....	47
3.2.3.	Bomba de Condensado.....	48
3.2.4.	Bomba de Solución Oxidante (BM-200) .....	48
3.2.5.	Secuencia en Automático.....	49
3.2.6.	Lazos de control.....	51
3.2.6.1.	Control de Peso de Agua WIC-101 en Tanque de Disolución TQ-101	51
3.2.6.2.	Control de Temperatura TIC-101 en Tanque de Disolución TQ-101 ..	51
3.2.6.3.	Control de pH AIC-101 en Tanque de Disolución TQ-101 .....	52

3.2.7. Enclavamientos y Permisivos.....	53
---	----

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL**

4.1. CONTROL ON – OFF DE LA VALVULA DE INGRESO DE AGUA EN EL BATCH .....	56
4.1.1. Determinación del Control On – Off de la Válvula de Ingreso de Agua....	56
4.1.2. Diseño del Control On – Off de la Válvula de ingreso de Agua.....	57
4.2. CONTROL DE TEMPERATURA.....	60
4.2.1. Determinación de la función de transferencia de la planta con un polo .....	60
4.2.2. Determinación de la función de transferencia de la planta con dos polos..	68
4.2.3. Determinación del modelo de control de acuerdo a método experimental.	73
4.2.4. Diseño del Control Escalonado de la Válvula Proporcional de Vapor.....	75
4.3. CONTROL DE pH.....	78
4.3.1. Determinación del Modelo de Control de pH.....	78
4.3.2. Diseño del control de pH.....	84
4.4. SISTEMA SCADA.....	87
4.4.1 Pantalla del Escritorio.....	87
4.4.2. Pantalla de Menú Principal.....	87
4.4.3. Pantalla de Plataforma de Solución.....	88
4.4.4. Pantalla de Alarmas .....	95
4.4.5. Pantalla de Horómetros.....	95
4.4.6. Pantalla de Tendencias.....	96

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

5.1. RESULTADOS.....	100
----------------------	-----

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1. CONCLUSIONES .....	108
6.2. RECOMENDACIONES.....	110

## **CAPITULO VII**

### **BIBLIOGRAFIA**

7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
---------------------------------------	-----

## **CAPITULO VIII**

### **ANEXOS**

Anexo A.....	114
<i>Trasmisor Indicador de pH - FOXBORO 875PH.....</i>	<i>114</i>
Anexo B.....	117
<i>Trasmisor Indicador de Temperatura – PR 5714.....</i>	<i>117</i>
Anexo C.....	118
<i>Válvula Eléctrica On –OFF Belimo.....</i>	<i>118</i>
Anexo D.....	119
Sensores de PH y ORP FOXBORO PH12 SERIES .....	119
Anexo E.....	121
Bomba Dosificadora de Ácido B92 SERIES .....	121
Anexo F.....	124
Válvula Proporcional – PRO.COM.....	124

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “Control Secuencial de Peso, temperatura y pH en la preparación de mezcla básica para explosivos en un tanque de disolución”, ha sido elaborado como objetivo de estudio por su importancia para las empresas dedicadas a la elaboración de explosivos realizan la preparación de la mezcla de modo manual o con sistemas semiautomáticos independientes que tiene graves riesgos a la salud, al ambiente y la vida de los operarios

El diseño del sistema de control fue realizado siguiendo una metodología mostrada en el capítulo cuatro y está dividido en tres partes: En primer lugar evaluar y tomar la decisión de controlar de modo ON-OFF el sistema de alimentación de agua al proceso, luego para el control de temperatura, se hicieron pruebas reales en el tanque de disolución y de acuerdo a los datos extraídos del historial y con ayuda del MATLAB de terminamos la función de transferencia del sistema con dos polos. Luego realizamos las pruebas con lazo cerrado observando en la simulación la semejanza de las curvas simuladas con las curvas experimentales del proceso. Por último, realizamos un algoritmo de control para el nivel de pH para determinar el arranque automático de la bomba dosificadora que se activará cuando la secuencia en el proceso automático lo requiera y el pH de la mezcla se encuentre por encima del pH solicitado en la receta.

Para finalizar realizamos implementamos el sistema SCADA en ésta aplicación fue generada por FactoryTalk View SE v8.1. donde mostramos los componentes y etapas del proceso en su totalidad para luego simular y obtener los resultados esperados.

## **ABSTRACT**

The present research work titled "Sequential Control of Weight, Temperature and pH in the preparation of basic mixture for explosives in a dissolution tank" has been elaborated as a study objective because of its importance for the companies involved in the elaboration of explosives. The preparation of the mixture manually or with semi-automatic independent systems that has serious risks to the health, the environment and the life of the operators.

The design of the control system was performed following a methodology shown in chapter four and is divided into three parts: Firstly evaluate and make the decision to control the water supply system to ON-OFF, then to the Temperature control, real tests were made in the dissolution tank and according to the data extracted from the history and with the help of MATLAB we finished the transfer function of the system with two poles. Then we performed the closed loop tests observing in the simulation the simulation of the curves simulated with the experimental curves of the process. Finally, we perform a control algorithm for the pH level to determine the automatic start of the dosing pump that will be activated when the sequence in the automatic process requires it and the pH of the mixture is above the pH requested in the recipe.

To finalize we implemented the SCADA system in this application was generated by FactoryTalk View SE v8.1. Where we show the components and stages of the process in its entirety and then simulate and obtain the expected results.

## Introducción

La constante evolución del control de calidad dentro del proceso de elaboración de productos químicos como los explosivos, viene siendo provocada por las nuevas exigencias y requerimientos de los mercados tanto nacional como internacional. Investigadores y desarrolladores de aplicaciones se ven seducidos y persuadidos a la innovación y creación de nuevos sistemas de control y monitoreo de productos, a ser utilizados durante las diferentes etapas de producción.

Este proyecto permite un impacto científico tecnológico esperado con la importancia de proponer un control secuencial de peso, temperatura y pH en la preparación de mezcla básica para explosivos en un tanque de disolución que ayuda a mejorar la calidad del producto final en este caso los explosivos.

Esta tesis muestra el diseño y simulación de un sistema de control automatizado para el proceso en cuestión requiere controlar la temperatura, la cantidad de agua, el peso total del BATCH y el control de pH de las diferentes recetas compuestas por Nitrato Sodio, Nitrato de Amonio, Agua y Ácido Nítrico al 35% que se preparan en el tanque de disolución de la planta de Explosivos de EXSA SA Sede Lurín.

Esta investigación está organizada en cinco capítulos. El primer capítulo aborda la descripción del problema, justificación del problema y los objetivos planteados para la investigación.

El capítulo segundo se dedica al marco teórico a la describir los tipos de sistemas de control utilizados en este tipo de procesos, el principio teórico de un proceso tipo BATCH, la definición de máquina de estado, la descripción de las variables a controlar como son temperatura, pH y peso y por último se muéstralos tipos de redes industriales y los protocolos de comunicación a utilizar.

En el capítulo tercero no dedicamos a describir al detalle el proceso a controlar y sus condiciones de diseño. Esto significa explicar paso a paso las etapas del proceso BATCH y especificar que controles tendrá el sistema SCADA, así como que equipos e instrumentos requiere el proceso. Además de identificar los lazos de control necesarios.

En el capítulo cuarto se aborda la ingeniería del proyecto obedeciendo a las condiciones de diseño especificadas en el capítulo tres. Para lo cual se siguió la siguiente metodología. Primero determinamos la función de transferencia con la ayuda del MATLAB de acuerdo a datos reales extraídos del proceso. Luego se diseñó un algoritmo a base de bloques matemáticos para el control del PH y por último implementamos el proceso en el SCADA.

Por último, en el capítulo cinco simulamos nuestro sistema con los datos obtenidos en el capítulo anterior y comprobamos su desempeño comparándolo con las curvas reales extraídas del proceso.

---

# **ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

---

## **CAPITULO I**

1.1. ASPECTO INFORMATIVO

1.1.1. Título

CONTROL SECUENCIAL DE PESO, TEMPERATURA Y PH EN LA PREPARACION DE MEZCLA BÁSICA PARA EXPLOSIVOS EN UN TANQUE DE DISOLUCIÓN.

1.1.2. Personal investigador

➤ Autores

<b>Nombre</b>	<b>RODRIGUEZ ELIAS, PABLO HERSON BLACK</b>
<b>Grado</b>	Bachiller en Ingeniería Electrónica
<b>E-mail</b>	pablo.r@gyscontrol.com
<b>Teléfono</b>	992095074

<b>Nombre</b>	<b>ZAMBRANO CAMPOS, JOSE ALONSO</b>
<b>Grado</b>	Bachiller en Ingeniería Electrónica
<b>E-mail</b>	jose.z@gyscontrol.com
<b>Teléfono</b>	959627969

➤ Asesor

<b>Nombre</b>	<b>HUGO CHICLAYO PADILLA</b>
	Docente de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
<b>E-mail</b>	hchiclayo@hotmail.com
<b>Teléfono</b>	952852364

1.1.3. Centro o instituto de investigación

Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

1.1.4. Área de Investigación

Ingeniería Electrónica – Control y Automatización.

1.1.5. Lugar de ejecución

Empresa EXSA – Planta Lurín.

1.1.6. Beneficiarios del proyecto

Empresa EXSA fabricantes de explosivos para fragmentación de roca para las industrias de minería e infraestructura.

### 1.2. ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.2.1. Marco lógico

##### 1.2.1.1. Situación Problemática

Actualmente en las empresas dedicadas a la elaboración de explosivos realizan la preparación de la mezcla de modo manual o con sistemas semiautomáticos independientes que tiene graves riesgos a la salud, al ambiente y la vida de los operarios pues están expuestos a material tóxico y a las diferentes factores que intervienen en el control de este proceso como el vapor en la temperatura y el ácido en el control pH, que hacen que esta preparación tenga condiciones inseguras inherentes al proceso.

Dichos sistema utilizado actualmente en la preparación de mezclas de estas empresas aparte de los riesgos antes mencionados presenta diferentes tipos de problemas como el tiempo de proceso que independientemente de la mezcla a preparar se debe tomar en cuenta el manejo manual del operador y tiempos muertos del mismo, otro problema es el desperdicio de material ya se debe solo confiar en el control manual del operador en la preparación de la mezcla lo que conlleva al mal uso de los ingredientes inmersos en la preparación, todo esto da como consecuencia en muchos casos una mala calidad del producto final la cual repercute en pérdidas económicas para las empresas

Es por eso que estas empresas inmersas en un mercado en el que el ser competitivo implica buscar la máxima calidad del producto final ha conllevado a buscar mejoras en la preparación de diferentes mezclas con la que se elabora los explosivos empleando diversos sistemas de control y monitoreo automático y manual de la preparación del producto, surgiendo como una solución alternativa la utilización de operarios y los sistemas control secuencial en la preparación acompañado del control de las variables que intervienen en el proceso teniendo así un control optimizado de la preparación, que a su vez aplicados en los controladores e implementan la lógica necesaria para monitorear variables físicas, activar y sincronizar actuadores. Lo que hace que este objetivo sea posible de lograr.

### 1.2.1.2. Antecedentes

- **WILSON PAÚL VILELA SANGAY (2014) – PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ**

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE ANFO A BASE DE EMULSIÓN GASIFICABLE.

En esta tesis se tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica, económica y operativa de un nuevo tipo de emulsión. Este nuevo producto es una emulsión gasificable de mejor calidad y mayor costo en comparación con la emulsión matriz que se utiliza actualmente. La principal ventaja y motivo de investigación es su capacidad de gasificar por la adición de un agente química. Ello permite variar su densidad y como consecuencia variar la velocidad de detonación, poder rompedor y otras propiedades, dependiendo de las características del material.

**ANTONIO BALTA PERALES – CARLOS VÁSQUEZ VELÁSQUEZ (2013) – UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE RETRATAMIENTO DEL RELAVE EN LA UNIDAD MINERA ORCOPAMPA.

En este trabajo se da a conocer los conceptos básicos de sistema de control clásico, así como arquitectura de control, sistema de monitoreo, relaves, espesadores, componentes químicos que se usarán en el proceso como cianuro, carbón activado, etc. Todo esto con el fin de llegar a los objetivos planteados y la comprensión del proceso.

**EMILIO JIMENEZ MACISD (2011) – UNIVERSIDAD DE RIOJA**

TÉCNICAS DE AUTOMATIZACIÓN AVANZADA EN PROCESOS INDUSTRIALES.

Este trabajo describe la finalidad primordial de la automatización que es la de gobernar la evolución de un proceso sin la intervención, salvo esporádica de un operador.

Cuando se trata de procesos de fabricación con poca variación en el tiempo o de tipo independiente y sin interrelación con tratamientos anteriores y posteriores, la finalidad se logra programando sobre los controles locales de la planta, las instrucciones de control que se

deseen y cerrando bucles de control precisos para que los valores de las variables significativas estén dentro del intervalo fijado por las señales de consigna.

Tales necesidades han motivado la aparición de sistemas automatizados de control muy complejos que han de ser dotados de funciones adicionales a las básicas de ejecución de tareas y monitorización del proceso.

### 1.2.1.3. Formulación del Problema Científico

¿Cómo diseñar un sistema de control secuencial de peso, temperatura y pH en la preparación de mezcla básica para explosivos en un tanque de disolución?

### 1.2.1.4. Objetivos

#### 1.2.1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de control secuencial de peso, temperatura y pH en la preparación de mezcla básica para explosivos en un tanque de disolución.

#### 1.2.1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar los procesos de fabricación de explosivos.
- Tomar datos experimentales y diagnosticar la situación actual del proceso.
- Determinar la función de transferencia del sistema para el control de temperatura.
- Implementar el algoritmo de control ON-OFF para entrada de agua y escalamiento para control de pH.
- Plantear el diseño de sistema de control secuencial de peso, temperatura y pH para el proceso.
- Implementar y simular el sistema en FactoryTalk.

### 1.2.1.5. Justificación e importancia de la investigación

La constante evolución del control de calidad dentro del proceso de elaboración de productos químicos como los explosivos, viene siendo provocada por las nuevas exigencias y requerimientos de los mercados tanto nacional como internacional. Investigadores y desarrolladores de aplicaciones se ven seducidos y persuadidos a la

innovación y creación de nuevos sistemas de control y monitoreo de productos, a ser utilizados durante las diferentes etapas de producción.

Este proyecto permite un impacto científico tecnológico esperado con la importancia de proponer un control secuencial de peso, temperatura y pH en la preparación de mezcla básica para explosivos en un tanque de disolución que ayuda a mejorar la calidad del producto final en este caso los explosivos.

### **1.2.1.6. Hipótesis**

Si diseñamos un sistema de control secuencial en la preparación de mezclas se optimizara el proceso de la mezcla de explosivos reduciendo el tiempo de proceso, minimizando los riesgos y las pérdidas y mejorando la calidad del producto final.

### **1.2.1.7. Modelo Lógico de Contrastación.**

#### **1.2.1.7.1. Consecuencias Lógicas**

Mayor calidad del producto final elaborado con un sistema de control secuencial evitando tiempos muertos y errores humanos en la preparación.

#### **1.2.1.7.2. Modelo Empírico, experimental u operacional de contrastación**

En este proyecto, se realizará un modelo experimental. Es necesaria la implementación de este proyecto y observación de campo para la obtención de resultados concretos y demostrar la validación de lo planteado en la hipótesis.

---

# MARCO TEÓRICO

---

## CAPITULO II

## 2.1. SISTEMAS DE CONTROL [1]

### 2.1.1. Definiciones básicas

Un sistema puede definirse como la combinación de componentes físicos relacionados entre sí que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo, como se muestra en la Figura 1.

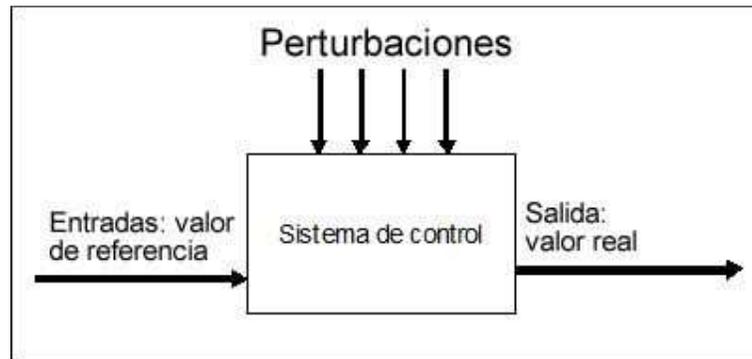


Figura 1: Diagrama de un sistema

**Variable de Entrada:** Es una variable del sistema tal que una modificación de su magnitud o condición puede alterar el estado del sistema.

**Variable de Salida:** Llamadas también variables controladas, respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implica la entrada.

**Perturbación:** Es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema

Un sistema de control se caracteriza por tener elementos que permiten tener control sobre el sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de estado, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados o valor de consigna.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Garantizar la estabilidad y no variar ante perturbaciones externas que generen un error a la salida.
- Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido.

- Ser amigable a la hora de ser desarrollado con ayuda de un computador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores:** Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- **Un elemento de transmisión:** Recibe la señal del sensor y la convierte en una señal diferente la cual puede ser transmitida hacia el controlador, también se conocen como circuitos acondicionadores de señal. La señal recibida del elemento de transmisión es comparada con un valor predeterminado (set point) dentro de un controlador, el cual a través de funciones programadas envía señales hacia el elemento de control final para realizar cambios en el proceso.
- **Controlador:** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- **El elemento de control final:** Puede ser una unidad modulada, la cual cambiará proporcionalmente de acuerdo a la señal recibida del controlador (señal analógica) o también puede ser un elemento de dos posiciones on/off. El lazo de control finaliza en el elemento de control final.

### 2.1.2. Tipos de sistema de control [2]

#### 2.1.2.1. Sistema de control en lazo abierto

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración.

Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto. El diagrama de bloques se muestra en la Figura 2.



**Figura 2: Sistema de control en lazo Abierto**

### 2.1.2.2. Sistema de control en lazo cerrado

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema y su diagrama de bloques se muestra en la Figura 3.

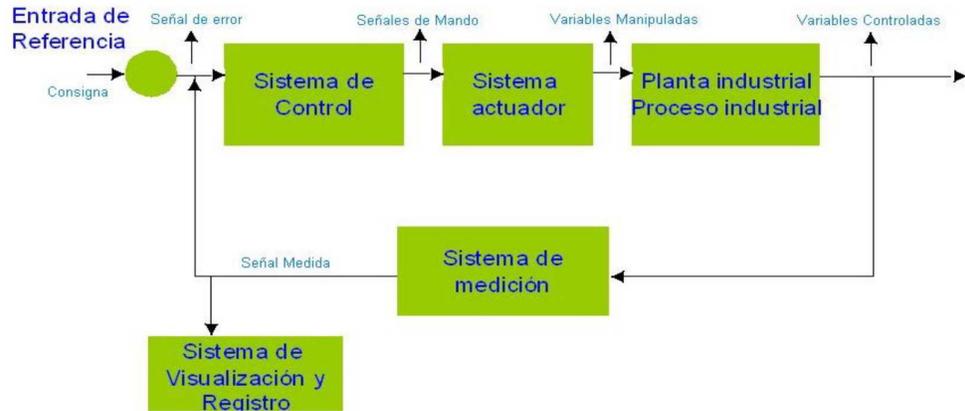


Figura 3: Sistema de control en lazo cerrado

### 2.1.3. Modelado de sistemas [3]

Cuando se hace necesario conocer el comportamiento de un sistema en unas determinadas condiciones y ante unas determinadas entradas, se puede recurrir a la experimentación sobre dicho sistema y a la observación de sus salidas a partir de entradas conocidas o condiciones de experimentación. Sin embargo, en muchos casos la experimentación puede resultar compleja o incluso imposible de llevar a cabo, lo que hace necesario trabajar con algún tipo de representación que se aproxime a la realidad, y a la que se conoce como modelo.

Básicamente, un modelo es una herramienta que permite predecir el comportamiento de un sistema sin necesidad de experimentar sobre él.

#### 2.1.3.1. Modelo matemático

Los modelos de sistemas físicos pueden ser de muy diversos tipos. Una clasificación, en función del grado de formalismo matemático que poseen, es la siguiente:

**Modelos no paramétricos:** Muchos sistemas quedan perfectamente caracterizados mediante un gráfico o tabla que describa sus propiedades dinámicas mediante un número no finito de parámetros. Por ejemplo, un sistema lineal queda definido mediante su respuesta al impulso o al escalón, o bien mediante su respuesta en frecuencia.

**Modelos paramétricos o matemáticos:** Para aplicaciones más avanzadas, puede ser necesario utilizar modelos que describan las relaciones entre las variables del sistema mediante expresiones matemáticas como pueden ser ecuaciones diferenciales (para sistemas continuos) o en diferencias (para sistemas discretos). En función del tipo de sistema y de la representación matemática utilizada, los sistemas pueden clasificarse en:

- **Determinísticos o estocásticos:** Se dice que un modelo es determinístico cuando expresa la relación entre entradas y salidas mediante una ecuación exacta. Por contra, un modelo es estocástico si posee un cierto grado de incertidumbre. Estos últimos se definen mediante conceptos probabilísticos o estadísticos.
- **Dinámicos o estáticos:** Un sistema es estático cuando la salida depende únicamente de la entrada en ese mismo instante (un resistor, por ejemplo, es un sistema estático). En estos sistemas existe una relación directa entre entrada y salida, independiente del tiempo. Un sistema dinámico es aquél en el que las salidas evolucionan con el tiempo tras la aplicación de una determinada entrada (por ejemplo, una red RC). En estos últimos, para conocer el valor actual de la salida es necesario conocer el tiempo transcurrido desde la aplicación de la entrada.
- **Continuos o discretos:** Los sistemas continuos trabajan con señales continuas, y se caracterizan mediante ecuaciones diferenciales. Los sistemas discretos trabajan con señales muestreadas, y quedan descritos mediante ecuaciones diferenciales.

### 2.1.3.2. Métodos de obtención de modelos

Existen dos métodos principales para obtener el modelo de un sistema:

**El Modelado teórico:** Se trata de un método analítico, en el que se recurre a leyes básicas de la física para describir el comportamiento dinámico de un fenómeno o proceso.

El modelado teórico tiene un campo de aplicación restringido a procesos muy sencillos de modelar, o a aplicaciones en que no se requiera gran exactitud en el modelo obtenido. En muchos casos, además, la estructura del modelo obtenido a partir del conocimiento físico de la planta posee un conjunto de parámetros desconocidos y que sólo se pueden determinar experimentando sobre el sistema real. De ahí la necesidad de recurrir a los métodos de identificación de sistemas.

**Identificación del sistema:** Se trata de un método experimental que permite obtener el modelo de un sistema a partir de datos reales recogidos de la planta bajo estudio.

Los modelos obtenidos mediante técnicas de identificación tienen, sin embargo, las siguientes desventajas:

- Su rango de validez suele ser limitado (sólo son aplicables a un determinado punto de trabajo, un determinado tipo de entrada o un proceso concreto).
- En muchos casos es difícil dar significado físico al modelo obtenido, puesto que los parámetros identificados no tienen relación directa con ninguna magnitud física. Estos parámetros se utilizan sólo para dar una descripción aceptable del comportamiento conjunto del sistema.

En la práctica, lo ideal es recurrir a una mezcla de ambos métodos de modelado para obtener el modelo final. El uso de datos reales para identificar los parámetros del modelo provee a éste de una gran exactitud, pero el proceso de identificación se ve tanto más facilitado cuanto mayor sea el conocimiento sobre las leyes físicas que rigen el proceso.

### 2.1.4. Identificación de sistemas [3]

Se entiende por identificación de sistemas a la obtención de forma experimental de un modelo que reproduzca con suficiente exactitud, para los fines deseados, las características dinámicas del proceso objeto de estudio.

El proceso de identificación se resume en los siguientes pasos descritos a continuación:

- **Obtención de datos de estímulo y respuesta del sistema:** Al aplicar una señal de estímulo a la planta, este se comporta de forma que genera una señal de respuesta y que permite registrar la evolución del sistema en intervalos de tiempo.
- **Tratamiento de los datos de estímulo y respuesta:** Además de tener un tiempo de muestreo fijo e igual para las dos señales de análisis, se pueden realizar algoritmos de obtención de errores y de eliminación de ruido no deseado, sin alterar los componentes principales de las dos señales.
- **Elección de la estructura del modelo paramétrico:** Determinar la estructura del modelo del cual se obtendrán los resultados de la identificación. Esto será hecho si el método utilizado es por medio de identificación paramétrica.
- **Estimación de parámetros del modelo:** Se procede a estimar los parámetros que mejor se ajusten a la respuesta obtenida por el sistema.
- **Validación del modelo:** Consiste en tomar el modelo obtenido y al aplicar la señal de estímulo comparar la respuesta con los datos obtenidos. Para ello se puede obtener un parámetro de exactitud que satisfaga dicho proceso.

### 2.1.4.1. Métodos de identificación

De acuerdo a diferentes criterios, los métodos de identificación pueden ser identificados de las formas siguientes:

- Según el modelo obtenido, se pueden clasificar en paramétricos y no paramétricos. Los métodos no paramétricos pueden ser el análisis de respuesta transitoria, en frecuencia, análisis de correlación, análisis espectral, análisis de Fourier, etc. Estos métodos pueden depender de parámetros infinitos para llegar con exactitud al modelo del sistema. Los métodos paramétricos son métodos basados en estructuras predeterminadas, con un número finito de parámetros, con el cual se puede dar un buen acercamiento al modelo real.

- De acuerdo con la aplicación, se pueden clasificar en Off-Line y On-Line. Los métodos On-line, son métodos que permiten un ajuste constante de los parámetros del modelo, en concordancia con los cambios reales del sistema en el tiempo, mientras que en el método Off-Line se asume que el sistema no tendrá cambios en un futuro, por lo que se realiza una única identificación inicial del modelo.
- También se pueden clasificar de acuerdo con los criterios que se utilicen para el ajuste de los parámetros, como lo es el método de mínimos cuadrados y el método de variables instrumentales.

La experimentación tiene ciertas desventajas que hacen que no se logre tener una confiabilidad del 100%, por ejemplo sólo se trabaja en un punto de trabajo y los parámetros obtenidos no corresponden a las variables físicas que pueden intervenir en el sistema. De ahí que no es posible comparar un modelo paramétrico obtenido por experimentación, con un modelo desarrollado mediante las propiedades físicas de los elementos que intervienen.

Otras desventajas del modelo experimental, es que la exactitud del modelo depende de la exactitud de los instrumentos con los que fueron tomadas las muestras para el análisis, entendiendo que los elementos primarios en un lazo de control tienen errores propios de cada instrumento y que sumados a las tolerancias del sistema de adquisición de datos, pueden afectar el modelo resultante de la identificación. Los errores por operación humana también están presentes en el proceso de identificación, sin embargo, con las herramientas de software aplicado se pretende mitigar dichos errores.

### 2.1.4.2. Técnicas de identificación paramétrica

Los modelos paramétricos, a diferencia de los anteriores, quedan descritos mediante una estructura y un número finito de parámetros que relacionan las señales de interés del sistema (entradas, salida y perturbaciones). En muchas ocasiones es necesario realizar la identificación de un sistema del cual no se tiene ningún tipo de conocimiento previo. En estos casos, se suele

recurrir a modelos estándar, cuya validez para un amplio rango de sistemas dinámicos ha sido comprobada experimentalmente. Generalmente estos modelos permiten describir el comportamiento de cualquier sistema lineal. La dificultad radica en la elección del tipo de modelo (orden del mismo, número de parámetros, etc.) que se ajuste satisfactoriamente a los datos de entrada - salida obtenidos experimentalmente.

### 2.2. CONTROL BATCH [4]

Generalmente se entiende como sistemas Batch aquellos sistemas de control que gestionan y ejecutan una fabricación acotada, en número de unidades o en tiempo, de un determinado producto de características predefinidas por una fórmula o especificación. A estas producciones, se les asigna una matrícula que identifica a todos los componentes que forman parte de la fabricación. También pueden utilizar sistemas Batch para procesos continuos, consiguiendo de algún modo, ordenar y secuenciar la utilización de las instalaciones que forman parte del proceso productivo.

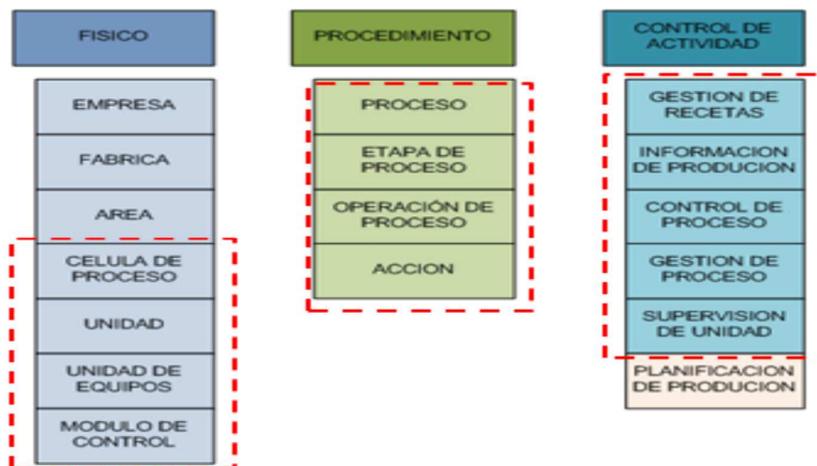
Dentro de la pirámide de automatización, estos sistemas están comprendidos entre la parte de supervisión (sistemas SCADA) y la parte de MES (gestión y ejecución de la información de planta). La parte de supervisión es la encargada de ejecutar las ordenes hacia los sistemas de control, mientras la parte de MES es la encargada de recoger, almacenar y empaquetar la información procedente de los sistemas de control durante la fabricación del Batch. Al tratarse de sistemas con capacidad de decisión, para que puedan decidir correctamente es esencial que accedan a la mayor cantidad de información posible. Deben ser capaces de comunicarse con otros sistemas de fábrica. Es probable que deban comunicarse con sistemas corporativos para conocer el estado de las cantidades de la materia prima que se pretende utilizar para la fabricación. También es probable que dichos sistemas corporativos requieran que el sistema Batch les reporte las cantidades realmente utilizadas de cada material. También deberán comunicarse con los sistemas de control de calidad para avisarles de que hay que realizar alguna prueba y otros departamentos que intervienen en el ciclo de producción.

En un proceso Batch se ejecutan una secuencia de operaciones encadenadas. Cada una de las cuales está controlada por una o varias fases que realizan funciones simples como carga de agua, adición, agitación, calentamiento, enfriamiento, mezcla etc.

En el sistema de gestión Batch el operador podrá seleccionar, previa autorización, la receta de producción, la fórmula y ejecutar en modo automático o manual las distintas secuencias de operación.

A continuación se muestra en la Figura 4 un resumen que describe el modelo de proceso batch acorde con la norma ISA-S88 dada en sus apartes:

- **Parte 1:** Modelos, definición de términos, tipos de recetas, secuencia de actividades.
- **Parte 2:** Estructura de datos, estructura de lenguaje, materiales (Entradas, parámetros y salidas).
- **Parte 3:** Implementación receta, estructura de fabricación
- **Parte 4:** Registro de producción lote, identificación de objetos, descripción de clases de objetos y atributos.



**Figura 4: Descripción de un proceso batch – ISA-S88**

Un Sistema de Control Avanzado de Procesos permite desarrollar aplicaciones de control de lotes y proporcionar un entorno de producción flexible a través de cualquier combinación de las siguientes actividades:

**Manejo de recetas:** La aplicación de una solución integral para el manejo de recetas le permite desarrollar procesos independientes en los equipos de producción. Se pueden manejar fácilmente las múltiples definiciones de los productos, modificar las fórmulas y sus secuencias, y definir los equipos que los lotes pueden utilizar, sin necesidad de ingeniería o de cambios en el sistema de automatización. A lo largo de este proceso, el sistema le proporcionará administración de cada cambio, su seguimiento y un control de revisiones.

**Planificación y Programación de la Producción:** Permite producir más, de una manera más eficiente, utilizando un manejo integrado de órdenes de compra, con

plazos establecidos, y mejorar así la capacidad para utilizar los equipos de producción más eficientemente. Provee acceso a los plazos y las órdenes de compra para permitir que el sistema de producción pueda determinar proactivamente la capacidad de producción, y determinar los equipos necesarios para maximizar la utilización de activos y aumentar la producción.

**Administración de la Información de Producción:** Para comprender mejor y mejorar su proceso, se necesita información sobre la actividad y la calidad de los lotes, los materiales utilizados, los procedimientos ejecutados para fabricar el producto y las condiciones de proceso que existieron mientras el producto se estaba haciendo. La función de la historia del lote monitorea las operaciones, recopila los datos pertinentes, y construye una representación histórica de las operaciones manuales y automatizadas que se produjeron durante la producción por lotes.

**Administración de Procesos:** Ayuda con la elección del mejor equipo para las necesidades del batch y los dirige fácilmente a través de múltiples piezas de equipo o de varias líneas, incluso cuando muchas piezas de equipo están implicadas en la operación. Cuando es necesario, normas de selección de equipos pueden ser incluidas dentro de la receta, para tomar decisiones de asignación inteligente de recursos en tiempo real. Además de la optimización de recursos físicos, puede reducir las demoras en su procesamiento por lotes causados por la intervención manual mediante la combinación de pasos manuales y automatizados en una receta única de producción. El sistema le notificará al operador cuando se requiere una acción manual y seguimiento de la respuesta del operador.

**Supervisión de Unidades y Control de Procesos:** Dependiendo de la complejidad del proceso de producción, los equipos y materiales necesarios, o los requisitos de información, el usuario puede elegir la capacidad de proceso por lotes dentro del controlador o de aprovechar la potencia de un PC basado en sistema de administración de batch.

**Manejo de Materiales de inventarios:** Es cuando se integra en el sistema, la recepción de material, la cantidad y ubicación del inventario disponible, la liberación de la producción, y la información de cuarentena se convierten en parte de su automatización y la gestión de la información de producción. La funcionalidad de administración de material genera informes relacionados con los materiales específicos suministrados a, consumido por, o producidas en su planta.

**Informes Regulatorios y Validación de Procesos:** Establece procedimientos para supervisar, reunir, y documentar todo tipo de información, según requiere las normas de cada región. Los niveles de seguridad se pueden personalizar para

satisfacer los requisitos más exigentes, tales como los establecidos por los gobiernos de cada país.

**Modelado, simulación y control:** Provee una solución que permite probar con las configuraciones de la planta sin llegar a ser ejecutar en realidad. Puede ser configurada para que coincida con su proyecto específico y / o proceso de dispositivos conectados. Un procedimiento de batch completo puede ser simulado, sin conexiones, para verificar la información secuencial y de procedimiento, antes de que la receta sea lanzada a la producción. La simulación permite la eliminación o cambio de cada fase, y acelerar el proceso de depuración.

### 2.3. MÁQUINAS DE ESTADO

Se denomina máquina de estados a un modelo de comportamiento de un sistema con entradas y salidas, en donde las salidas dependen no sólo de las señales de entradas actuales sino también de las anteriores. Las máquinas de estados se definen como un conjunto de estados que sirve de intermediario en esta relación de entradas y salidas, haciendo que el historial de señales de entrada determine, para cada instante, un estado para la máquina, de forma tal que la salida depende únicamente del estado y las entradas actuales. Es posible clasificar las máquinas de estados en aceptoras o transductoras:

- Aceptoras (también llamadas reconocedoras o discriminadoras): Son aquellas en donde la salida es binaria, depende únicamente del estado y existe un estado inicial. Puede decirse, entonces, que cuando la máquina produce una salida "positiva" (es decir, un "1"), es porque ha "reconocido" o "aceptado" la secuencia de entrada. En las máquinas de estados aceptoras, los estados con salida "positiva" se denominan estados finales.
- Transductoras: Son las más generales, que convierten una secuencia de señales de entrada en una secuencia de salida, pudiendo ésta ser binaria o más compleja, depende de la entrada actual (no sólo del estado) y pudiendo también prescindirse de un estado inicial.

El concepto de Máquina de Estado, en particular la Máquina de Estados Finitos, es adecuado para el diseño de sistemas de control y supervisión de procesos industriales automáticos de manufactura. La herramienta gráfica vinculada a la máquina de estado, denominada Diagrama de Transición de Estados, permite describir con extrema facilidad procesos industriales de manufactura, abordando así rápidamente y de forma sistemática, el diseño de programas y/o sistemas electrónicos asociados. A partir de la representación gráfica del sistema o proceso,

mediante el diagrama de transición de estados, y considerando la evolución de todos los estados en funcionamiento normal y de emergencia, puede diseñarse directamente el sistema de control y supervisión para luego volcar el funcionamiento a un programa o un sistema electrónico encargado del control y supervisión de dicho proceso.

### 2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

#### 2.4.1. Temperatura

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como «energía cinética», que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que este se encuentra más «caliente»; es decir, que su temperatura es mayor.

En el caso de un sólido, los movimientos en cuestión resultan ser las vibraciones de las partículas en sus sitios dentro del sólido. En el caso de un gas ideal monoatómico se trata de los movimientos traslacionales de sus partículas (para los gases multiatómicos los movimientos rotacional y vibracional deben tomarse en cuenta también).

El desarrollo de técnicas para la medición de la temperatura ha pasado por un largo proceso histórico, ya que es necesario darle un valor numérico a una idea intuitiva como es lo frío o lo caliente.

Multitud de propiedades fisicoquímicas de los materiales o las sustancias varían en función de la temperatura a la que se encuentren, como por ejemplo su estado (sólido, líquido, gaseoso, plasma), su volumen, la solubilidad, la presión de vapor, su color o la conductividad eléctrica. Así mismo es uno de los factores que influyen en la velocidad a la que tienen lugar las reacciones químicas.

Dentro de los instrumentos industriales de medición de temperatura tenemos:

**RTDs [5]:** Los detectores de resistencia de temperatura (RTDs) operan bajo el principio de los cambios en la resistencia eléctrica de metales puros y se caracterizan por un cambio lineal positivo en resistencia con temperatura. Los elementos típicos usados por los RTDs incluyen níquel (Ni) cobre (Cu), pero platino (Pt) es el más común por su amplio rango de temperatura, precisión y estabilidad. La relación entre temperatura y resistencia de un conductor cerca a los 0°C se calcula a partir de:

$$R(t) = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

Donde  $R(t)$  = resistencia del conductor a la temperatura  $t$  en grados Celsius

$R_0$  = resistencia a la temperatura de referencia

$\alpha$  = coeficiente de temperatura de resistencia

$\Delta t$  = Diferencia entre la temperatura diferencia y la de operación.

**Termopares [6]:** En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado Celsius, son difíciles de obtener.

**Intercambiadores de calor [7]:** Los intercambiadores de calor son dispositivos usados para transferir energía térmica entre uno o más fluidos y entre una superficie sólida o un fluido. En un intercambiador usualmente no hay calentadores. Sus aplicaciones consisten en enfriar, calentar o condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.

Los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en cuenta que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, se encuentran separados a través de paredes metálicas.

**Radiador [8]:** Comúnmente, los intercambiadores de calor están pensados como dispositivos líquido-líquidos solamente. Algunas plantas dependen de intercambiadores de calor aire/líquido. El ejemplo más claro de un intercambiador de calor aire-líquido es un radiador de automóvil. El líquido refrigerante fluye por el motor y toma el calor expelido y lo lleva hasta el radiador. El líquido refrigerante fluye entonces por tubos que

utilizan aire fresco del ambiente para reducir la temperatura del líquido refrigerante. Ya que el aire es un mal conductor del calor, el área de contacto térmico entre el metal del radiador y el aire se debe maximizar.

### 2.4.2. pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno  $[H]^+$  presentes en determinadas disoluciones.

La sigla significa: potencial hidrógeno o potencial de hidrogeniones. El término "pH" se ha utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. En disoluciones diluidas, en lugar de utilizar la actividad del ion hidrógeno, se le puede aproximar empleando la concentración molar del ion hidrógeno.

En disolución acuosa, la escala de pH varía, típicamente, de 0 a 14. Son ácidas las disoluciones con pH menores que 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones hidrógeno en la disolución). Por otro lado, las disoluciones alcalinas tienen un pH superior a 7. La disolución se considera neutra cuando su pH es igual a 7, por ejemplo el agua.

Dentro de los instrumentos industriales de medición de pH tenemos:

**Analizadores de pH [9]:** El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución.

Dentro de las aplicaciones industriales se encuentran sensores de pH de vidrio y electrónicos, pero se hablará del tipo electrónicos. Estos últimos se construyen a partir de un transistor denominado ISFET, se describe como un sensor químico de estado sólido sensible al pH, el cual combina los principios de los sensores químicos potenciométricos y amperométricos, debido a que la circulación de corriente eléctrica en un sustrato semiconductor es controlada por la diferencia de potencial que se origina en una interfaz.

Físicamente el ISFET es similar al MOSFET, la única diferencia en la estructura del ISFET es el reemplazo de la puerta de metal del MOSFET por una combinación en serie de un electrodo de referencia, un electrolito y un aislante químico sensible o membrana.

El ISFET está constituido por un sustrato de silicio dopado con impurezas de boro (tipo P) o de fósforo (tipo N), en el cual dos regiones de dopaje diferente a la del sustrato son formadas mediante procesos tecnológicos de implantación y difusión. A estas zonas se les denominan fuente y drenador. La zona localizada entre la fuente y el drenador es denominada canal, encima de la cual se ubica una capa delgada de óxido de silicio de gran calidad sobre el que se coloca una membrana inorgánica sensible al pH, tales como nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), óxido de tantalio ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y trióxido de tungsteno amorfo ( $\alpha\text{-WO}_3$ ).

### 2.4.3. Peso

El peso es una medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre un objeto. El peso equivale a la fuerza que ejerce un cuerpo sobre un punto de apoyo, originada por la acción del campo gravitatorio local sobre la masa del cuerpo. Por ser una fuerza, el peso se representa como un vector, definido por su módulo, dirección y sentido, aplicado en el centro de gravedad del cuerpo y dirigido aproximadamente hacia el centro de la Tierra.

La magnitud del peso de un objeto, desde la definición operacional de peso, depende tan solo de la intensidad del campo gravitatorio local y de la masa del cuerpo, en un sentido estricto. Sin embargo, desde un punto de vista legal y práctico, se establece que el peso, cuando el sistema de referencia es la Tierra, comprende no solo la fuerza gravitatoria local, sino también la fuerza centrífuga local debido a la rotación de la Tierra; por el contrario, el empuje atmosférico no se incluye, ni ninguna otra fuerza externa.

Existen varios métodos para medir el peso:

- Comparación con otros patrones (balanzas y básculas).
- Células de carga a base de galgas extensométricas.
- Células de carga hidráulica.
- Células de carga neumáticas.

Dentro de la mayoría de procesos industriales se hace más común el uso de las Células de carga a base de galgas extensométricas que consiste, esencialmente en una célula que contiene un pieza de elasticidad

conocida (tal como el acero de módulo de elasticidad  $2.1 \times 10^6$  bar) capaz de soportar la carga sin exceder su límite de elasticidad. A esta pieza se encuentra cementada una galga extensométrica, que puede estar formada por varias espiras de hilo (0.025 mm) pegado a un soporte de papel o resina sintética, o bien puede estar formada por bandas delgadas unidas con pegamento a la estructura sometida a carga. La tensión o compresión a que el peso somete a la célula de carga hacen variar la longitud del hilo metálico y modifican, por lo tanto, su resistencia eléctrica.

También se utilizan acondicionadores de señal, que son puentes de Wheatstone, que captan pequeños cambios en la resistencia y compensan los efectos de la temperatura.

### 2.5. REDES INDUSTRIALES [10]

Se pueden definir las Comunicaciones Industriales como el área de la tecnología que estudia la transmisión de información entre circuitos y sistemas electrónicos utilizados para llevar a cabo tareas de control y gestión del ciclo de vida de los productos industriales.

Deben resolver la problemática de la transferencia de información entre los equipos de control del mismo nivel y entre los correspondientes a los niveles contiguos de la pirámide CIM como se muestra en la Figura 5.



### Figura 5: Pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing)

En el uso de comunicaciones industriales se pueden separar dos áreas principales, una comunicación a nivel de campo, y una comunicación hacia la Supervisión.

En ambos casos la transmisión de datos se realiza en tiempo real, o por lo menos con una demora que no es significativa respecto de los tiempos del proceso, pudiendo ser crítico para el nivel de campo. A continuación se explican las características de cada nivel del modelo CIM:

- **Nivel de Proceso e Instrumentación:** Comprende el conjunto de subprocesos, instrumentos y maquinaria en general, con que se realizan las operaciones de producción en la empresa. En este nivel se toman las variables del proceso mediante sensores situados en él, y se actúa sobre él mediante elementos finales de control. Los sensores envían la información de las variables al nivel sistema de control, para que ejecute los algoritmos de control y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, envíe las órdenes oportunas a los actuadores.
- **Nivel Sistema de Control:** En este nivel se encuentran los Controladores Lógicos Programables (PLC's), Unidades Terminales Remotas (RTU's), Controladores Industriales, Sistemas de Control Distribuido (DCS) y demás dispositivos electrónicos de control. En suma, constituyen los elementos de mando y control de la maquinaria del nivel de proceso e instrumentación.
- **Nivel Sistema SCADA:** Dependiendo de la filosofía de control de la empresa, este nivel emite órdenes de ejecución al nivel sistema de control y recibe situaciones de estado de dicho nivel. Igualmente recibe los programas de producción, calidad, mantenimiento, etc., del nivel sistema MES y realimenta dicho nivel con las incidencias (estado de órdenes de trabajo, situación de máquinas, estado de la obra en curso, etc.) ocurridas en planta.
- **Nivel MES:** Los sistemas MES (Manufacturing Execution Systems), o Sistemas de Ejecución de Manufactura, son principalmente sistemas informáticos en línea que proporcionan herramientas para llevar a cabo las distintas actividades de la administración de la producción.
- **Nivel ERP (Planeación de los Recursos de la Empresa):** En este nivel se lleva cabo la gestión e integración de los niveles inferiores; considerando principalmente los aspectos de la empresa desde el punto de vista de su gestión global, tales como compras, ventas, comercialización, objetivos estratégicos, planificación a mediano y largo plazo e investigación.

## 2.6. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación que se usan en los procesos industriales para un sistemas SCADA son: Ethernet, Serial, OPC.

### 2.6.1. Protocolo Ethernet [11]

Es un estándar de redes de área local para computadores, Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3, siendo usualmente tomados como sinónimos. Se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Sin embargo, las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

Las tecnologías Ethernet que existen se diferencian en estos conceptos:

- Velocidad de transmisión, Velocidad a la que transmite la tecnología.
- Tipo de cable, Tecnología del nivel físico que usa la tecnología.
- Longitud máxima, Distancia máxima que puede haber entre dos nodos adyacentes (sin estaciones repetidoras).
- Topología, Determina la forma física de la red. Bus; si se usan conectores T (hoy solo usados con las tecnologías más antiguas) y estrella si se usan hubs (estrella de difusión) o switches (estrella conmutada).

Los elementos de una red Ethernet son: tarjetas de red, repetidoras, concentradoras, puentes, los conmutadores, los nodos de red y el medio de interconexión.

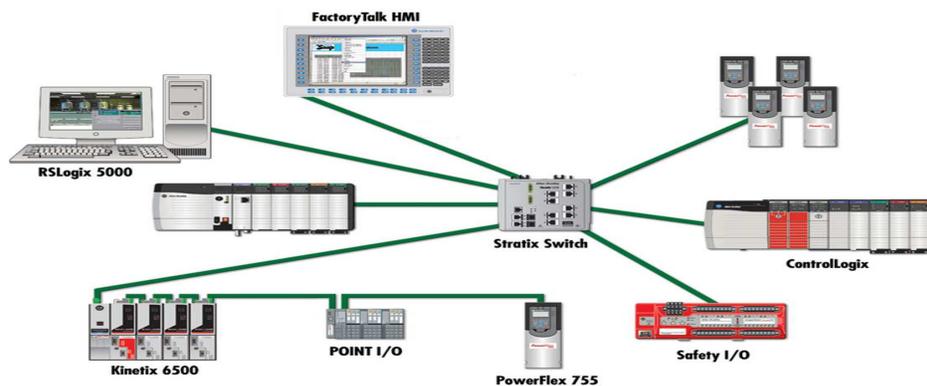


Figura 6: Arquitectura Ethernet.

### 2.6.2. Protocolo serial [12]

La comunicación serial es un protocolo muy común para la comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora.

La mayoría de las computadoras incluyen dos puertos seriales RS – 232. La comunicación serial es también un protocolo común utilizado por varios dispositivos para instrumentación.

El concepto de comunicación serial es sencillo. El puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. Aun y cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo, que permite la transmisión de un byte completo por vez, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias de hasta 1200 m.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión:

- Tierra (o referencia).
- Transmisión.
- Recepción.

Debido a que la transmisión es asincrónica, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra.

Las características más importantes de la comunicación serial son la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de parada, y la paridad. Para que dos puertos se puedan comunicar, es necesario que las características sean iguales.

### 2.6.3. Protocolo OPC [13]

Actualmente los sistemas SCADA disponen de un tipo de comunicación que se ha convertido en un estándar a nivel internacional para transferir datos independientemente de la aplicación y del lenguaje de comunicación. Dicho estándar es el denominado OPC.

El OPC (OLE for Process Control: Object Linking and Embedding for Process Control) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interfaz común para comunicación, que permite

que componentes de software individuales interaccionen y compartan datos.

La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura Cliente - servidor. El servidor OPC es la fuente de datos (como un dispositivo hardware a nivel de planta) y cualquier aplicación basada en OPC puede acceder a dicho servidor para leer/escribir cualquier variable que ofrezca el servidor.

Es una solución abierta y flexible al clásico problema de los drivers propietarios. Prácticamente todos los mayores fabricantes de sistemas de control, instrumentación y de procesos han incluido OPC en sus productos. Tiene como propósito cubrir las necesidades de acceso en forma estándar de las distintas aplicaciones hacia los dispositivos o base de datos. Es decir una aplicación X y una Y se podrían comunicar con distintos servidores A, B, C de diferentes protocolos de comunicación, siempre y cuando estos tengan interfaces OPC las cuales se les puede aprovechar para conectarlas con las aplicaciones.

En la actualidad la mayoría de dispositivos controladores contienen drivers OPC, por tanto no es necesario adaptar los drivers ante nuevos dispositivos de otras marcas.

La arquitectura OPC es de entorno heterogéneo, es decir integra equipos de distintos fabricantes y simplifica las comunicaciones. Un cliente OPC se puede conectar a múltiples servidores OPC, tan solo direccionándolos.

### 2.7. SISTEMA SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) es la designación que se da a cualquier Software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permite, utilizando herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo. En sí no se trata de un sistema de control, sino de una utilidad de monitorización o supervisión por software en donde se realiza la tarea de interface entre los niveles de control y los de gestión de la pirámide de automatización.

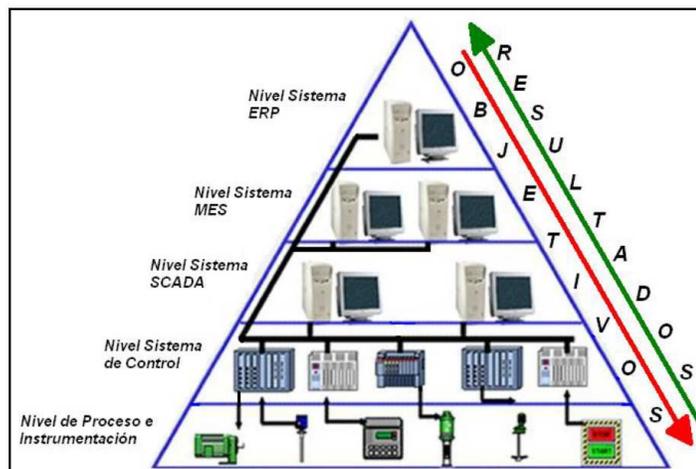
Por lo tanto el SCADA, en su vertiente de herramienta de Interface Humano-Maquina (HMI), comprende toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación clara entre el proceso y el operador.

La monitorización es una función del SCADA, a través de la cual se representan los datos en tiempo real a los operadores de planta, lo que implica la lectura de los datos de las variables asociadas a los controladores, tales como temperatura, velocidad, detectores, entre otras. Por tanto ya sea para una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, o un parque eólico la monitorización está en la capacidad de vigilarlas a grandes distancias.

Al igual que la supervisión, el mando y la adquisición de datos para un proceso y el uso de las herramientas de gestión para la toma de decisiones, con el SCADA se tiene la capacidad de ejecutar programas que están en la capacidad de supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas.

La visualización de los estados de las señales del sistema, tales como alarmas y eventos, hace referencia al reconocimiento de eventos excepcionales ocurridos en el proceso y su inmediata notificación a los operarios para ejecutar las acciones oportunas. Además, los paneles de alarmas pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias.

La automatización de sistemas, desde el estado inicial de aislamiento productivo, ha pasado a formar parte del ámbito corporativo y se engloba dentro del paquete empresarial con finalidad de optimizar la productividad y mejorar la calidad. La representación de los flujos de información dentro de la empresa indica claramente cómo se realiza la integración entre todos los niveles de la organización, lo que se evidencia en la Pirámide de la Automatización CIM (Computer Integrated Manufacturing) como muestra la siguiente figura.



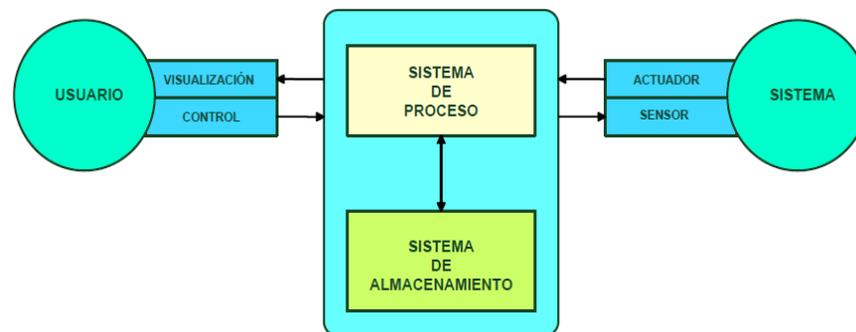
**Figura 7: Pirámide CIM – Nivel de Sistema SCADA.**

### 2.7.1. Arquitectura de un sistema SCADA

A través de las herramientas de visualización y control, un usuario tiene acceso al Sistema de Control de Proceso, generalmente un ordenador donde reside la aplicación de control y supervisión (Sistema Servidor). La comunicación entre estos dos sistemas se suele realizar a través de redes de comunicaciones corporativas como Ethernet.

El Sistema de Proceso capta el estado del Sistema a través de los elementos sensores e informa al usuario a través de las herramientas HMI. Basándose en los comandos ejecutados por el usuario, el sistema de proceso inicia las acciones pertinentes para mantener el control del sistema a través de los elementos actuadores. A través del software de adquisición de datos y control, el mundo de las máquinas se integra directamente en la red empresarial, pasando a formar parte de los elementos que permitirán crear estrategias de empresa.

Un sistema SCADA es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción que proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, RTU (Unidades de Terminal Remotas), donde se pueden encontrar elementos tales como PLC's o PAC's, donde se controla el proceso de forma automática.



**Figura 8: Estructura Básica de un Sistema de Supervisión y Mando.**

Un sistema SCADA está dividido en dos grandes bloques:

- **Captadores de datos:** Son los servidores del sistema donde recopilan los datos de los elementos de control del sistema, tales como autómatas, reguladores, registradores, entre otros, y los procesan para su utilización.

- **Utilizadores de datos:** Son los clientes, ellos utilizan la información recogida por los anteriores, como pueden ser las herramientas de análisis de datos o los operadores del sistema.

En un programa SCADA tendremos dos bloques bien diferenciados:

- **Programa de Desarrollo:** Engloba las utilidades relacionadas con la creación y edición de las diferentes ventanas de aplicación, así sus características como textos, dibujos, entre otros.
- **El Programa de Ejecución o Runtime:** Permite ejecutar la aplicación creada con el programa de desarrollo, por lo que en la industria se entrega, como producto acabado, el Runtime y la aplicación.

### 2.7.2. Funciones de los sistemas SCADA

A su vez cualquier sistema de visualización posee utilidades para realizar la configuración del sistema de comunicaciones, tales como: pantallas, contraseñas, impresiones o alarmas. Por tanto, los módulos más habituales en un sistema SCADA, visto como sistema de desarrollo gráfico, es decir, la HMI, son:

- **Configuración:** Permite definir el entorno de trabajo para adaptarlo a las necesidades de la aplicación.
- **Interface Gráfica:** Permiten la elaboración de pantallas de usuario con múltiples combinaciones de imágenes y/o textos, definiendo así las funciones de control y supervisión de planta.
- **Tendencias:** Son las utilidades que permiten representar de forma cómoda la evolución de variables del proceso.
- **Alarmas y Eventos:** Las alarmas se basan en la vigilancia de los parámetros de las variables del proceso. Son los sucesos no deseables, porque su aparición puede dar lugar a problemas de funcionamiento. El resto de situaciones, de carácter normal, tales como puesta en marcha, paradas, cambios de Set Point, consulta de datos, etc., se denominan eventos del sistema o sucesos.
- **Registro y Archivado:** El registro, consisten en el almacenamiento temporal de valores, generalmente basándose en un patrón cíclico y limitado en tamaño. A su vez es posible definir que, una vez el registro llegue a su límite de almacenamiento, se guarde una copia

en un archivo (archivado) que no se borra, como sucede con el registro, quedando a disposición del usuario.

- **Generación de Reportes:** En el modelo CIM se complementan las funcionalidades de adquisición, registro de datos y generación de alarmas con la capacidad de generar información capaz de ayudar en la toma de decisiones. A través de la herramienta SQL es posible realizar extractos de los archivos, registros o las bases de datos del sistema, realizar operaciones de clasificación o valoración sin afectar los datos originales. A su vez permite presentar los archivos en forma de informes o transferirlos a otras aplicaciones mediante las herramientas de intercambio disponibles.
- **Control de Proceso:** Lenguajes de alto nivel (Visual Basic o C), incorporados en los paquetes SCADA, permiten programar tareas que respondan a eventos del sistema.
- **Recetas:** Gracias a estas es posible almacenar y recuperar paquetes de datos que permiten configurar un sistema de forma automática. Son archivos que guardan los datos de configuración de los diferentes elementos del sistema.
- **Comunicaciones:** Soporta el intercambio de información entre los elementos de planta, la arquitectura de hardware implementada y los elementos de gestión.

### 2.8. CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Un PLC (controlador lógico programable) se puede definir como toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales de control. Fue inventado para remplazar los circuitos secuenciales basados en relés que eran necesarios para el control de las máquinas.



### Figura 9: Aspecto físico de un PLC.

Los primeros modelos de PLC fueron diseñados para manejar señales digitales y realizar actividades de mando, posteriormente la creación de interfaces permitió el manejo de señales analógicas y con ello la regulación o control de las variables de proceso, siendo esta una de las ventajas de este equipo ya que con él se pueden realizar actividades de mando o accionamiento y regulación al mismo tiempo. A continuación se definen las distintas señales.

**Señal Digital:** Es la manifestación física de una magnitud de la que solo interesan dos niveles de la señal, ON o uno (1) lógico si la señal está presente y OFF o cero (0) lógico si no está presente.

**Señal Analógica:** Manifestación física de una magnitud de la cual un individuo puede captar, monitorear y reportar un gran número de valores (inicial, intermedio y final) de la magnitud en forma continua, por ejemplo 4 a 20 Miliamperios o 1 a10 voltios.

#### 2.8.1. Estructura básica de un PLC

Cada Controlador Lógico Programable se compone de dos partes básicas:

- **Sección Operativa (SO):** Es la que opera la materia prima y el producto en general. Se compone de los medios y herramientas necesarias para transformar la materia prima, por ejemplo: bombas, taladros, etc. Los accionadores destinados a mover y poner en funcionamiento estos medios son por ejemplo: Motores eléctricos para accionar una bomba, gatos hidráulicos para cerrar una válvula, gatos neumáticos para taladrar un cabezal de perforación.
- **Sección de Comando (SC):** Es la que emite las órdenes hacia la sección operativa (SO) y recoge las señales de retorno para sus acciones. Cada vez más, la sección de comando (SC) se basa en técnicas de lógica programada. Como parte central de la sección de comando (SC) está el tratamiento, que conste en la unión de tres diálogos:

**El Diálogo con la Máquina:** Consiste en el comando de los accionadores, (motores, gatos) a través de los pre-accionadores (contadores, distribuidores, variadores), y de la adquisición de las señales de la retroalimentación provenientes de los sensores que dependen de la evolución del proceso.

**El Diálogo Hombre-Máquina:** Para manejar, regular, calibrar la máquina, el personal introduce mensajes y comandos y recoge informaciones del autómata.

**El Diálogo con Otras Máquinas:** Varias máquinas pueden operar en una misma producción. Su coordinación está asegurada por el diálogo entre las secciones de comando.

### 2.8.2. Arquitectura de un PLC

La sección de comandos de una autómata programable desde el punto de vista conceptual es muy similar a la de un computador dedicado a funciones de control. Como tal, la arquitectura de un autómata programable puede dividirse en tres bloques principales:

- **C.P.U. (Central Processing Unit):** Es la parte central de todo Controlador Lógico Programable, es la encargada de recibir, interpretar y ejecutar las instrucciones que lleguen correspondiente al programa en curso. El C.P.U. es el encargado de procesar los datos de acuerdo a una lógica pre-establecida y ejercer control sobre el flujo de información. El CPU se componen por los siguientes elementos:

**Unidad Lógico Aritmética:** Encargada de efectuar todas las instrucciones aritméticas (suma, resta, etc.) y lógicas (AND, OR, EXOR, NOT).

**Registros de Uso General:** Unidad de almacenaje provisional que contiene datos sobre los cuales se va a trabajar en un determinado momento, operando de una suma, punteros de memoria, etc.

**Acumulador:** Es el registro principal del C.P.U. Es el que participa en más instrucciones.

**Banderas:** Registran condiciones especiales, de acuerdo a las cuales pueden o no tomarse acciones específicas por ejemplo: acarreo de una operación aritmética, signo de un dato, condición de un registro cuando es igual o diferente de cero, etc.

**Registro de Instrucciones:** Es el registro que contiene el código de la instrucción en curso y que se encarga de pasarlo a la unidad decodificadora de instrucciones.

**Contador de Programa (PC):** Es el registro que indica la posición de memoria donde ha de buscarse la próxima instrucción.

**Unidad de Control:** Es la encargada de generar o recibir las señales de control necesario para la comunicación del C.P.U. con el mundo exterior, memorias, unidades de E/S y otros. El C.P.U. debe ser programado (usando una memoria) en un código que él entienda. Las instrucciones de programa son leídas en un código (binario). Sin embargo existen programas que permiten traducir instrucciones expresadas en un lenguaje de mayor nivel, el un lenguaje de "1" y "0" que entiende el C.P.U.

- **Memoria:** Permite el almacenamiento de datos y/o programas del sistema. La memoria consta de la circuitería electrónica capaz de almacenar el programa y los datos. La memoria de datos tiene las variables de entrada de la máquina, las variables intermedias (por ejemplo producto de un cálculo) y las variables de salida a ser transmitidas por las unidades E/S. Desde el punto de vista del C.P.U, la memoria es una unidad de E/S que puede ser leída, escrita o ambas. Generalmente las memorias están organizadas en arreglos de 1 byte u 8 bits cada una, aunque recientemente se fabriquen arreglos de 16 a 32 bits. Cuanto mayor sea la palabra o longitud del arreglo de memoria, mayor capacidad aritmética y precisión digital se obtiene y por lo tanto mayor resolución en las señales discretas. Existen dos tipos de memoria y se clasifican de la manera siguiente:

**Memoria RAM:** La Memoria RAM, en general puede estar constituida por diversos medios físicos. Desde el punto de vista de los PLC. La memoria RAM semiconductor es la más importante. En este tipo de memoria, la información (en binario) puede ser escrita o leída en número indefinido de veces, y la memorización está garantizada mientras exista memorización eléctrica. Al suprimir la fuente de alimentación, la memoria se borra. Por ello la RAM de tipo semiconductor es una memoria volátil. Para evitar esto puede añadirse al sistema de memoria RAM semiconductor un respaldo de batería que supla la energía suficiente como para mantener la información de memoria cuando falle la alimentación principal.

La celda básica de una memoria RAM está constituida por un Flip-Flop con su circuitería de control de lectura y escritura. Internamente la memoria consta de celdas básicas capaces de almacenar un bit de información ("1" o "0" lógico). El conjunto de estas celdas constituye una matriz que es accesada (o direccionada) por líneas externas bajo el control del CPU.

**Memoria ROM:** La memoria ROM semiconductor sólo puede ser leída (no escrita). Viene en diferentes modalidades:

- **ROM:** Memoria con los datos grabados de fábrica.
  - **PROM:** Inicialmente "Vacía", el usuario programa una vez los datos en la memoria y estos ya no pueden borrarse o cambiarse más.
  - **EPROM:** El usuario programa los datos de la memoria, sin embargo éstos pueden borrarse sometiendo el integrado a una dosis de luz ultravioleta, según especificación del fabricante.
  - **EEPROM:** Los datos son grabados y borrados eléctricamente. La ventaja de las memorias EPROM y EEPROM es que pueden usarse para prototipos que deben someterse a correcciones. Una vez que el programa sea definido, puede pasarse a una memoria ROM o PROM, que fabricado en grandes cantidades resulta más económicas. Las memorias de tipo ROM son no volátiles, la información que contiene no se borra al quitar la alimentación del integrado. Las memorias EPROM, no pueden borrarse y grabarse indefinidamente sino sólo un número limitado de veces que por lo general oscila entre 10.000 y 100.000.
- **Fuente de poder:** Este sistema juega uno de los mayores roles de operación total de controlador programable ya que su papel fundamental no es solamente la de suministrar los requerimientos de voltaje DC a los componentes del PLC (es decir, al procesador, a la memoria y a las Entradas/Salidas), sino también, al monitor. Además debe regular el voltaje suministrado y debe alertar al C.P.U. si todo marcha bien.

### 2.8.3. Módulos de entrada y salida

Son módulos que reciben y/o envían señales al proceso o planta que se está controlando. Sirven de interfaz entre el PLC y los dispositivos o elementos de campo. Las señales de entrada, provenientes por lo general de sensores, son de naturaleza diversa y pueden ser:

- Voltaje Alterno.
- Voltaje DC.
- Corriente.
- Binaria o Digitales.
- Analógicas.

Pero siempre deben ser convertidas por los elementos de entradas y salidas (E/S) en señales binarias capaces de ser comprendidas por el C.P.U.

De manera similar, las señales que provienen del C.P.U. deben ser convertidas por las unidades de entradas y salidas (E/S) en señales de voltajes AC o DC, o de corriente, analógicas, etc.

Otras de las características generales que deben presentar las unidades E/S son aislamiento y protección.

**Entradas Analógicas (AI):** Los módulos analógicos, permiten convertir señales analógicas en señales numéricas digitales y viceversa. La resolución de la conversión es una función digital del número de bits usados en la parte numérica. También la rapidez de conversión es una característica esencial. Por ejemplo, en un módulo de conversión de 8 bits ( $2^8 = 256$  valores posibles), y un voltaje analógico máximo de  $10V/256=0,39V$ .

**Salidas Analógicas (AO):** La salida analógica es un producto de la conversión de un valor numérico digital a través de una tarjeta DIA. Los módulos de salida analógicos permiten realizar salidas de comandos y regulación. Cada salida está definida por la naturaleza de la corriente o voltaje usado. Ejemplo: (0-5V o 4-20 mA).

**Entradas Digitales (DI):** La tensión de control (Tensión de alimentación del emisor o del actuador) es, en la mayor parte de los casos, + 24V o 220V. Estas tensiones no las puede proporcionar directamente el procesador central, éste necesita para ello los apropiados adaptadores de señal. Las tarjetas de entrada digital adaptan el nivel externo de la señal al

nivel interno (+5V). Adicionalmente se filtran las señales de entrada, es decir, se eliminan las interferencias de las líneas de señal y se recorta los picos de sobre tensión de breve duración. Condicionadas por este filtraje, las entradas de señal sufren un retraso; que según las tarjetas, se encuentra entre 1.4 ms y 25 ms. Si se tienen que captar las modificaciones de las señales de entrada muy rápidamente, se aconseja la utilización de tarjetas de entrada con formación de alarmas de procesos, en las que el filtro de entrada tiene un tiempo de retardo máximo de 1.5ms.

**Salidas Digitales (DO):** Para poder realizar acciones de control sobre el proceso, el procesador central necesita de adaptación de la señal, que transforme el estado interno de la señal en las correspondientes tensiones y corrientes del proceso. Las tarjetas de salida digital contienen una memoria de datos sobre la que se escriben los estados de señal enviados a la tarjeta, conduciéndose posteriormente a un amplificador, en donde se dispone de la potencia necesaria de conmutación. La protección contra cortocircuitos se realiza electrónicamente en los amplificadores de corriente continua y en las salidas de corriente alterna mediante un fusible de precisión. En la selección de tarjeta de la salida digital hay que tener en cuenta la frecuencia de conmutación, la carga total y la corriente residual. La frecuencia de conmutación más alta permitida depende de la tarjeta y la clase de aparato a controlar. Se encuentra entre los 10KHz (Carga Óhmica) y 0.1Hz (Carga Inductiva).

**Módulos de Comunicación:** La comunicación más usada entre el PLC y su periférico (Terminales, consolas teclados, impresoras) es la del tipo serial asincrónico. Este modo de comunicación permite el intercambio de caracteres alfanuméricos (generalmente en código ASCU) compuesto de una secuencia de bits transmitidos uno detrás del otro. La velocidad de transmisión se expresa en baudios (bits /seg). Las interfaces se rigen por normas estándar como RS 232C.

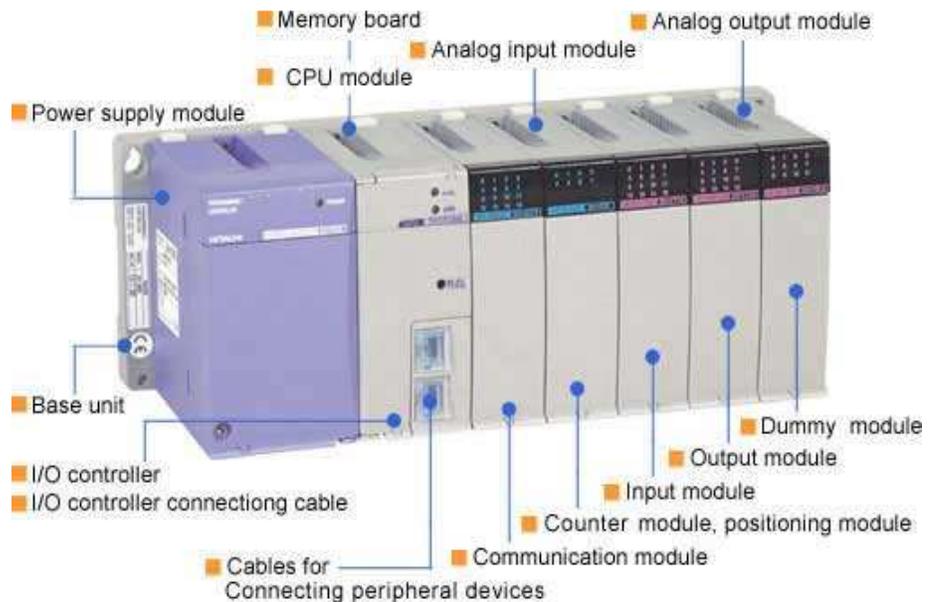
**Las Unidades de Diálogo:** Consisten en las interface y periféricos que permiten la comunicación Hombre -Máquina.

**Consola de Programación:** Su función es la de registrar en la memoria del controlador las instrucciones para el funcionamiento del programa. El código usado para la programación (Booleano, redes de contactos, Grafcet, Lenguaje de alto nivel) debe ser transformado al código binario entendible por el C.P.U. La consola de programación contiene un procesador de traducción (Compilador). La consola puede estar integrada

en el controlador programable o estar separada. En algunos casos puede simularse un programa por medio de la consola colocándole en un modo especial. Existe también un control de ejecución de programa paso a paso o en bloque, con la inserción de "break-point". El programa puede ser almacenado en otros medios como Cassette, discos, etc. La consola contiene a veces programadores de EPROM que permite guardar el contenido del programa en forma no volátil.

**Diálogo de Supervisión:** Permite coordinar subsistemas entre sí, su funcionamiento, mantenimiento etc. Consta de:

- Un terminal para el diálogo Hombre-Máquina.
- Una impresora para reportes diarios.
- Una unidad de almacenaje (disco duro).
- El terminal permite presentar visualmente las indicaciones de estado (máquina en parada, causas de averías, estadísticas de calidad, etc.).



**Figura 10: Módulos de E/S del PLC.**

### 2.8.4. Comunicación de un PLC

Las formas como los PLC intercambian datos con otros dispositivos son muy variadas. Típicamente un PLC puede tener integrado puertos de

comunicaciones seriales que pueden cumplir con distintos estándares de acuerdo al fabricante. Estos puertos pueden ser de los siguientes tipos: RS 232C, RS 485, RS 422, Ethernet entre otras.

### 2.8.4.1. Comunicación serial

La comunicación serial es un protocolo muy común para comunicación entre dispositivos que se incluyen de manera estándar en prácticamente cualquier computadora.

El concepto de comunicación serial es muy sencillo, el puerto serial envía y recibe bytes de información, un bit a la vez. Aún y cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo, que permite la transmisión de un byte completo por vez, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias. Por ejemplo, la especificación IEEE 488 para la comunicación en paralelo determina que el largo del cable para el equipo no puede ser mayor a 20 metros, con no más de 2 metros entre cualquiera de dos dispositivos; por el otro lado, utilizando comunicación serial el largo del cable puede llegar a los 1200 metros.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. La característica más importante en la comunicación serial son: la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de parada y la paridad. Para que dos puertos se puedan comunicar, es necesario que las características sean iguales.

### 2.8.4.2. Interfaz RS – 232

Se puede definir al RS-232 como un sistema de transmisión de datos en serie, universalmente extendido y bien considerado. Tiene algunas limitaciones. Por ejemplo los cables RS-232 estándar solo transmiten hasta 256 kbps y son de una longitud máxima de 15 metros. Sin embargo, hoy se pueden ver puertos de alta velocidad hacia nuestros PC's de casa por los que circulan datos provenientes de lugares muy lejanos y a muy alta velocidad. La regla básica para la longitud de un cable de datos depende de la velocidad de transmisión y de la calidad de dicho cable.

Con el paso del tiempo y la evolución tecnológica obligaron el aumento de la longitud y velocidad, emergiendo el RS 422 y el RS 485, que utiliza líneas balanceadas, es decir, no utiliza un único hilo para transmitir cambiando la polaridad con referencia a un circuito común, sino que utiliza dos hilos para cada señal. Las condiciones de 0 y 1 lógico son determinadas por cambios en la polaridad de los dos hilos, por referencia del uno con el otro. Con esto se logra eliminar algunos problemas que se presentan a mayores longitudes y velocidades de transmisión.

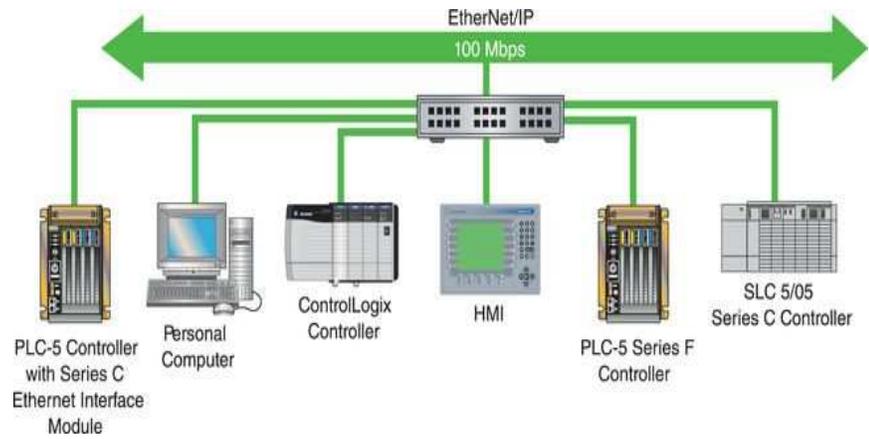
### 2.8.4.3. Red Ethernet

Es una red de área local diseñada para el intercambio a alta velocidad de información entre las computadoras y dispositivos asociados. El alto ancho de banda (10 Mbps a 100 Mbps) de la red Ethernet permite que muchas computadoras, controladores y otros dispositivos se comuniquen a través de largas distancias.

Todos los equipos de una red Ethernet están conectados a la misma línea de transmisión y la comunicación se lleva a cabo por medio de la utilización un protocolo denominado CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect), protocolo de acceso múltiple que monitorea la portadora: detección de portadora y detección de colisiones.

Con este protocolo cualquier equipo está autorizado a transmitir a través de la línea en cualquier momento y sin ninguna prioridad entre ellos. Esta comunicación se realiza de manera simple:

- Cada equipo verifica que no haya ninguna comunicación en la línea antes de transmitir.
- Los dos equipos transmiten simultáneamente, entonces se produce una colisión (o sea, varias tramas de datos se ubican en la línea al mismo tiempo).
- Si dos equipos interrumpen su comunicación y esperan un período de tiempo aleatorio, luego una vez que el primero ha excedido el período de tiempo, puede volver a transmitir.



**Figura 11: Red Ethernet en PLC.**

La red Ethernet usa una topología de bus donde todos los computadores están conectados por un cable de alta velocidad y es una tecnología muy usada ya que su costo no es muy elevado.

En la capa de información, la red Ethernet proporciona acceso de los sistemas en toda la empresa a los datos de la planta. TCP/IP es el protocolo usado por el internet.

---

# **DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO**

---

## **CAPITULO III**

### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

#### 3.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso en cuestión requiere controlar la temperatura, la cantidad de agua, el peso total del batch y el control de pH de las diferentes recetas compuestas por Nitrato Sodio, Nitrato de Amonio, Agua y Ácido Nítrico al 35% que se preparan en el tanque de disolución de la planta de Explosivos de EXSA SA Sede Lurín.

El propósito de la mezcla para explosivos elaborada en el tanque de disolución, como medida de mitigación, es asegurar el abastecimiento de esta mezcla para otros procesos, con suficiente calidad, para que puedan ser utilizadas por las diferentes etapas posteriores al del tanque de disolución como son en los la zona de filtrado, zona de tanques de preparación, modulo y Rotaclip siendo esta última donde se obtiene el producto final.

El proceso consiste concretamente en que las diferentes recetas preparadas en el tanque de disolución (BATCH) sean finalizadas de acuerdo a las especificaciones de la receta seleccionada cuyas condiciones son:

- Peso de agua (+/- 1 Kg).
- Temperatura final (+/- 1 °C).
- PH final (+/- 0.5 pH).
- Peso del batch (+/- 2 Kg).

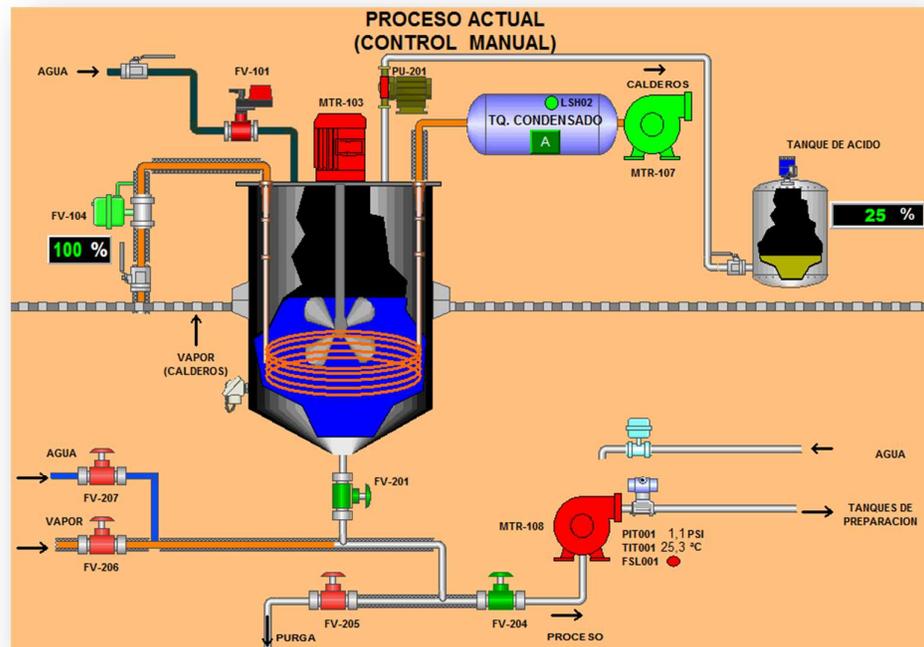


Figura 12: Diagrama del proceso.

### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

El proceso de preparación de la mezcla en el tanque de disolución presenta dos modos de operación siendo estos el modo manual y el modo automático (Secuencial).

En el modo manual el operador puede controlar los actuadores de campo independientemente en el accionamiento.

En el modo automático se inicia teniendo en claro las condiciones de preparación de la receta:

	AGUA	TEMPERATURA	BATCH	pH
GASIFICADO	312,5 Kg	95,0 °C	3150 Kg	1,8
RHO-415	650,0 Kg	95,0 °C	3513 Kg	
RHO-414	789,0 Kg	95,0 °C	3720 Kg	
RHO-422	405,0 Kg	95,0 °C	2830 Kg	
RHO-411	753,0 Kg	95,0 °C	3253 Kg	
RHO-421	330,0 Kg	95,0 °C	3040 Kg	

TIEMPO DE FINALIZADO  
1 MIN

Figura 13: Recetas de acuerdo a EXSA.

- Peso de agua.
- Peso del batch
- Temperatura final.
- pH final.

Una vez definida la receta, he iniciado la preparación, el proceso seguirá una secuencia de acciones de acuerdo a los datos ingresados hasta la finalización de la preparación del batch.

#### 3.1.1. Suministro de agua

Para el suministro de agua el tanque de disolución contará con dos válvulas, una válvula de bola que se abre/cierra manualmente, y una válvula de flujo que se abre/cierra remotamente desde un HMI del Panel de Operador

### **3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO**

---

RIO-003, la válvula de flujo también podrá ser controlada de manera automática. Ambas válvulas estarán conectadas en serie.

Por lo general el peso del agua no excede de los 450 Kg. en todas sus recetas.

Una vez que se haya completado el peso que requiere la receta, se procederá a cerrar de manera manual al menos una de las válvulas, y no debe abrirse mientras se encuentre en preparación, en caso de que este en modo automático, la válvula de flujo se cerrara automáticamente.

#### **3.1.2. Mezclado**

Una vez que el operador este ingresando los ingredientes, el agitador debe arrancar de manera manual desde el Panel de Operador RIO-003 o de manera automática si se encuentra en este modo, a los 850 Kg.

El agitador no se detendrá hasta el término de la preparación, éste se detiene de manera manual o también de manera automática.

#### **3.1.3. Calentamiento**

El calentamiento de la mezcla se realiza mediante el ingreso de vapor en el serpentín que se encuentra ubicado dentro del tanque.

El suministro de vapor al serpentín se controlará mediante dos válvulas, una válvula de bola que se abre/cierra manualmente, y una válvula de control de flujo que se abre/cierra remotamente desde el HMI del Panel de Operador RIO-003, esta válvula también podrá ser controlada de manera automática. Ambas válvulas estarán conectadas en serie.

Una vez se haya alcanzado la temperatura requerida, se procede a cerrar de manera manual al menos una de las válvulas, en caso de que este en modo automático, la válvula de control se cerrará automáticamente.

En caso la temperatura descendiera se debe volver a abrir las válvulas hasta volver a alcanzar la deseada, en el caso del modo automático, la válvula de control de flujo se abrirá automáticamente.

#### **3.1.4. Dosificación de ácido nítrico**

Dependiendo de la receta seleccionada, la dosificación de ácido nítrico podría o no realizarse. En el caso que requiera dosificación de ácido nítrico significa que se desea llegar a un pH menor al que se encuentra.

### **3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO**

---

La dosificación de ácido nítrico se realizará por medio de una bomba, la cual será abastecida desde el tanque TQ-117. Esta dosificación solo puede realizarse estando en modo automático.

Una vez se haya alcanzado el pH requerido, se mantendrá por un lapso de 10 minutos agitando la mezcla, para finalmente poder dar por concluido la preparación.

#### **3.2. CONDICIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL**

##### **3.2.1. Selección AUTO/MANUAL**

La selección AUTO/MANUAL se realizará mediante un selector ubicado en el Panel de Operador RIO-003. Para cada tanque existe un selector independiente.

La selección MANUAL entregará control total al operador. Los equipos responden a señales de comando provenientes del Panel de Operador. En caso de los motores, estos podrán ser arrancados y/o apagados desde las botoneras; en el caso de las válvulas, estas podrán ser controladas desde el HMI. Las protecciones eléctricas y enclavamientos de proceso estarán habilitadas dependiendo del equipo, esto se describirá en adelante.

La selección AUTO será usada cuando se desee arrancar y detener un equipo de manera automática por decisión del sistema de control sin intervención del operador. Un ejemplo típico sería la operación automática de un agitador el cual en base a las señales de peso, el sistema de control decide pararla o arrancarla.

##### **3.2.2. Agitador de Tanque de Disolución TQ-101**

Este motor se encargará de realizar la agitación de la solución que se encuentra dentro del Tanque de Disolución TQ-101. Este equipo posee enclavamientos de protección que se detallan en la tabla N<sup>o</sup>1.

**Manual:** El control manual de esta bomba la realiza el circuito de Fuerza ubicado en el Tablero Eléctrico TF-002 y se puede operar desde los pulsadores ubicados en el Panel de Operador RIO-003. El pulsador de START arrancará al equipo. El pulsador STOP detendrá al equipo.

**Automático:** Este equipo arranca una vez haya sobrepasado los 850 Kg. El equipo se detendrá de manera automática una vez haya terminado toda la secuencia. También podrá ser detenido si se desea terminar la secuencia desde el HMI del panel de operador.

Por razones de seguridad, el pulsador STOP podrá detener al equipo.

### **3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO**

---

El cambio del selector de modo AUTO a MANUAL, debe parar el equipo.

El pulsador de PARADA DE EMERGENCIA siempre detendrá al equipo.

El indicador del motor en funcionamiento es de color verde y se muestra en la misma ubicación del pulsador START.

El indicador del motor detenido es de color rojo y está en la misma ubicación del pulsador STOP.

#### **3.2.3. Bomba de Condensado**

Esta bomba se encarga de bombear agua condensada desde el Tanque de Condensado hacia los calderos.

**Manual:** El control manual de esta bomba la realiza el circuito de Fuerza ubicado en el Tablero Eléctrico TF-002 y se puede operar desde los pulsadores ubicadas en el Panel de Operador RIO-003.

El pulsador de START arrancara al equipo. El pulsador STOP detendrá al equipo.

**Automático:** Este equipo arranca cuando el switch de nivel alto LSH-002 del Tanque de Condensado lo detecte, y se detendrá hasta que este switch cambie de estado.

Por razones de seguridad, el pulsador STOP podrá detener al equipo.

El cambio del selector de modo AUTO a MANUAL, debe parar el equipo, el indicador del motor en funcionamiento es de color verde y se muestra en la misma ubicación del pulsador START y el indicador del motor detenido es de color rojo y está en la misma ubicación del pulsador STOP.

#### **3.2.4. Bomba de Solución Oxidante (BM-200)**

Esta bomba se encarga de hacer el envío de la solución desde el Tanque de Disolución hacia el Tanque Pulmón.

Esta es la única bomba que no tiene pulsadores de START y STOP ni selector MANUAL/AUTO.

Su modo de operación es netamente manual, y se opera desde el HMI del panel de operador.

Este equipo posee enclavamientos de protección. Los permisivos y enclavamientos de proceso se detallan en la Tabla N<sup>o</sup>1.

**Manual:** El control manual de esta bomba la realiza el circuito de Fuerza ubicado en el Tablero Eléctrico TF-002 y se puede operar desde el

### **3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO**

---

HMI ubicado en el Panel de Operador RIO-003. El pulsador de START arrancará al equipo. El pulsador STOP detendrá al equipo.

**Automático:** No tiene.

El pulsador de PARADA DE EMERGENCIA siempre detendrá al equipo.

El indicador del motor en funcionamiento es de color verde y se muestra en la misma figura que representa a la bomba en el HMI.

El indicador del motor detenido es de color rojo y se muestra en la misma figura que representa a la bomba en el HMI.

#### **3.2.5. Secuencia en Automático**

La secuencia en automático se iniciará una vez se habiliten las siguientes condiciones:

- La receta es seleccionada y se cargan los valores (peso de agua, Temperatura final, pH final).
- El seleccionador es colocado en modo AUTO.
- Se pulsa en el HMI la opción INICIAR.

La secuencia se inicia verificando el peso en el tanque. Se entiende que el primer ingrediente a ingresar es AGUA, por lo que si el peso es menor al peso de agua cargado en la receta, se abrirá automáticamente la válvula de agua. Una vez completado el peso requerido, se cerrará automáticamente la válvula de agua.

Luego, se espera a que se llene con el resto de ingredientes en el tanque.

Una vez alcanzado los 850 Kg, el Agitador arrancará de manera automática. Este no se detendrá hasta finalizar la secuencia.

Al llegar a los 950 Kg, el sistema dará inicio al control automático de temperatura, es decir, se abrirá la válvula de vapor de acuerdo al nivel de temperatura que se encuentre el tanque. Por lo general la temperatura en ese instante está entre 20 – 40°C, por lo que la válvula de vapor se abrirá en un 100%. A medida que la temperatura se esté acercando a la temperatura cargada en la receta, la válvula de vapor cerrará porcentualmente hasta cerrarse por completo. Si la temperatura llegase a descender, la válvula de vapor se abrirá porcentualmente de manera que mantenga la temperatura deseada. Este control de temperatura permanecerá activo hasta finalizar la secuencia.

### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

Una vez que la temperatura llegue al valor requerido, se esperara por un lapso de 5 minutos para que se estabilice y se mezcle completamente.

Habiendo terminado este tiempo, si no se requiere bajar el nivel de pH, la secuencia se dará por terminada. Si fuese lo contrario y se es necesario llevar el nivel de pH hasta un valor cargado en la receta, se iniciara con la dosificación automática de ácido nítrico a través de una bomba dosificadora que regula la inyección del ácido nítrico de acuerdo el nivel de pH se acerque a lo solicitado en la receta

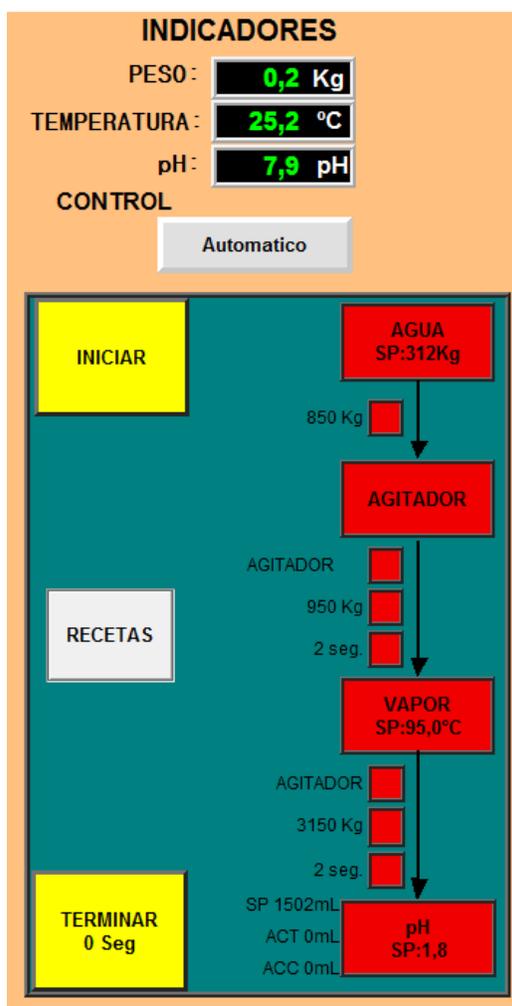


Figura 14: Secuencia en Automático.

Una vez se termine el mezclado que son 5 minutos más, el sistema dará por terminado la secuencia.

Al finalizar la secuencia, se cambiará los estados de los equipos (válvula de agua, agitador, válvula de vapor y bomba dosificadora) a modo

### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

MANUAL. Se deberá pulsar en el HMI la opción TERMINAR, para poder iniciar una nueva secuencia.

#### 3.2.6. Lazos de control

##### 3.2.6.1. Control de Peso de Agua WIC-101 en Tanque de Disolución TQ-101

Este lazo de control comprenderá de un transmisor de peso WIT-101 y una válvula de flujo FV-101.

El transmisor de peso WIT-101 enviará la señal PV hacia el controlador PLC, el controlador lo comparará con el peso deseado SP y calculará la señal de control CV para luego ser enviada hacia la válvula de flujo FV-101 para el ingreso de agua dentro del tanque de disolución TQ-101, controlando de esta manera el peso de agua.

El control seleccionado será tipo ON/OFF. El SP de peso de agua definido por el operador en el HMI.

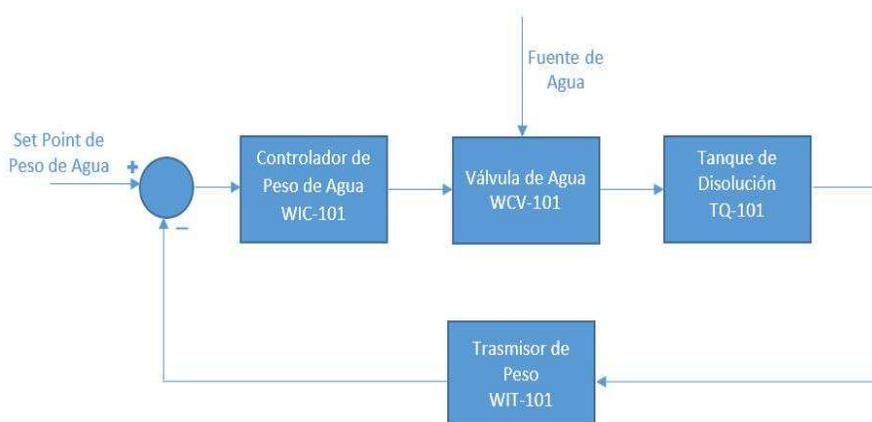


Figura 15: Lazo del Control de peso de agua.

##### 3.2.6.2. Control de Temperatura TIC-101 en Tanque de Disolución TQ-101

Este lazo de control comprenderá de un transmisor de temperatura TIT-101 y de una válvula proporcional FV-101.

El transmisor de temperatura TIT-101 enviará la señal PV hacia el controlador PLC, el controlador lo comparará con temperatura deseada SP y calcula la señal de control CV para luego ser enviada hacia la válvula proporcional FV-101 para el ingreso de vapor en el serpentín ubicado dentro del tanque de disolución TQ-101, controlando de esta manera la temperatura.

### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

El control seleccionado será de tipo proporcional según la diferencia que haya entre el PV y el SP. El SP de temperatura será definido por el operador en el HMI.

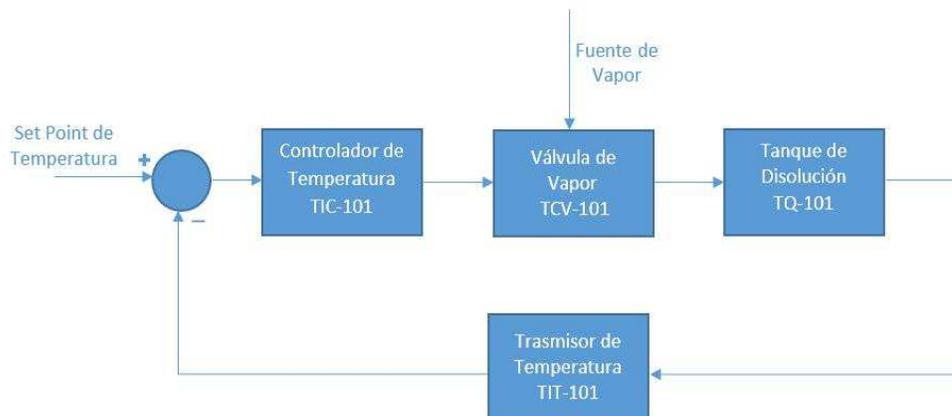


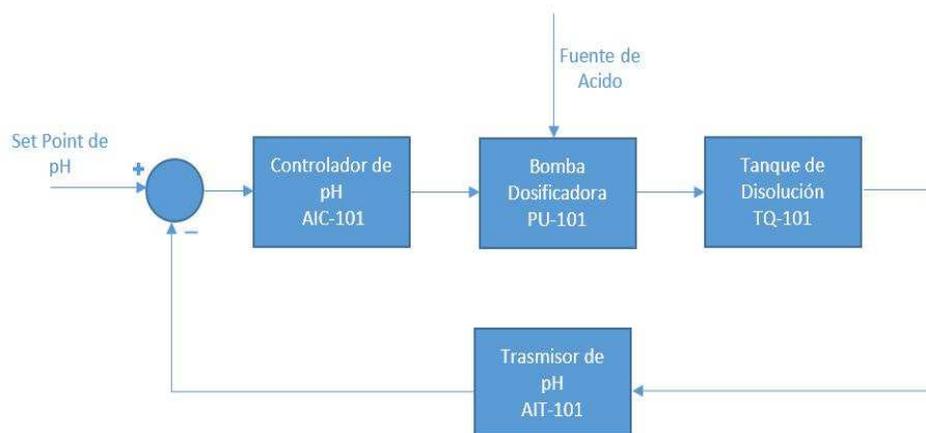
Figura 16: Lazo del Control de Temperatura.

#### 3.2.6.3. Control de pH AIC-101 en Tanque de Disolución TQ-101

Este lazo de control comprende de un transmisor de pH AIT-101 y de una bomba dosificadora PU-101.

El transmisor de pH AIT-101 envía la señal PV hacia el controlador PLC, el controlador lo compara con el pH deseado SP y calcula la señal de control CV para luego ser enviada hacia la bomba dosificadora PU-101 para el ingreso de ácido nítrico al 35% dentro del tanque de disolución TQ-101, controlando de esta manera el pH.

El control seleccionado se basa de acuerdo al comportamiento del cambio de pH dosificando ácido nítrico al 35% a una temperatura de 95°C. Obteniendo un cálculo matemático de la cantidad de ácido a ingresar. El SP de pH será definido por el operador en el HMI.



### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

Figura 17: Lazo del Control de pH.

#### 3.2.7. Enclavamientos y Permisivos

En general, el sistema de control estará diseñado para proteger los diferentes equipos y el proceso en general.

A continuación describiremos los enclavamientos y permisivos para cada uno de los equipos que requerirá este proceso.

Equipo	Condición	Permisivo	Enclavamiento
<b>Agitador de Tanque de Disolución TQ-101</b>	El agitador no puede ponerse en marcha y se detiene si el peso en el tanque es menor a 850 Kg. WIT-101 < 850	X	X
	El agitador se detiene después de un tiempo T (seteado por operador) de haber terminado la secuencia. SEQ101.TMR6.ACC > T	-	X
<b>Bomba de Condensado</b>	La bomba se detiene si el nivel en el tanque de Condensado es alto LSH-002	-	X
<b>Bomba de Solución Oxidante BM-200</b>	La bomba se detiene si después de un tiempo de 10 seg. El transmisor de presión PIT-001 sigue en bajo PIT_001 < 3	-	X
	La bomba se detiene si el transmisor de presión PIT-001 detecta alto PIT_001 > 80	-	X
	La bomba se detiene si nivel del tanque es alto LSH_001	-	X
	La bomba se detiene si el transmisor de temperatura TIT-001 detecta alto TIT_001 > 120	-	X
	La bomba se detiene si el switch de flujo bajo FSL_001 no se desactiva después de 11 seg.	-	X
	La bomba no puede ponerse en marcha y se detiene si las válvulas de vaciado FV-201 del tanque de disolución, se encuentran cerradas al mismo tiempo.	-	X
	La bomba no puede ponerse en marcha y se detiene si la válvula de proceso FV-104 se encuentra cerrada.	-	X

Tabla N°1: Enclavamientos de protección.

### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO Y CONDICIONES DE DISEÑO

TAG	Condición	P&ID	Ubicación
TI-101	Indicador de Temperatura en Tanque de Disolución TQ-101	GYS-EXA01-557-08-401	TQ-101 HMI
WI-101	Indicador de Peso en Tanque de Disolución TQ-101	GYS-EXA01-557-08-401	TQ-101 HMI
AI-101	Indicador de pH en Tanque de Disolución TQ-101	GYS-EXA01-557-08-401	TQ-101 HMI
PI-001	Indicador de presión en salida de Bomba de Solución Oxidante BM-200	GYS-EXA01-557-08-401	HMI
TI-001	Indicador de Temperatura en Bomba de Solución Oxidante BM-200	GYS-EXA01-557-08-401	HMI

**Tabla Nº2: Variables de proceso monitoreadas.**

Controlador	Mensaje	Origen
PLC	AGITADOR TQ SOLUCION 1 - FALLA AL ARRANQUE	TQ-101
PLC	BOMBA SOL. OXIDANTE - FALLA AL ARRANQUE	Sótano
PLC	FV-01 VALVULA TQ1 - FALLA AL ABRIR	TQ-101 / Sótano
PLC	FV-01 VALVULA TQ1 - FALLA AL CERRAR	TQ-101 / Sótano
PLC	FV-04 VALVULA PROCESO - FALLA AL ABRIR	Sótano
PLC	FV-04 VALVULA PROCESO - FALLA AL CERRAR	Sótano
PLC	FV-05 VALVULA PURGA - FALLA AL ABRIR	Sótano
PLC	FV-05 VALVULA PURGA - FALLA AL CERRAR	Sótano
PLC	FV-06 VALVULA VAPOR - FALLA AL ABRIR	Sótano
PLC	FV-06 VALVULA VAPOR - FALLA AL CERRAR	Sótano
PLC	FV-07 VALVULA AIRE - FALLA AL ABRIR	Sótano
PLC	FV-07 VALVULA AIRE - FALLA AL CERRAR	Sótano
PLC	FLUJO BAJO - BOMBA SOLUCION OXIDANTE	Sótano
PLC	PRESION BAJA - BOMBA SOLUCION OXIDANTE	Sótano
PLC	PRESION ALTA - BOMBA SOLUCION OXIDANTE	Sótano
PLC	TEMPERATURA ALTA - BOMBA SOL. OXIDANTE	Sótano

**Tabla Nº3: Alarmas.**

---

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

---

## CAPITULO IV

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

### 4.1. CONTROL ON – OFF DE LA VALVULA DE INGRESO DE AGUA EN EL BATCH

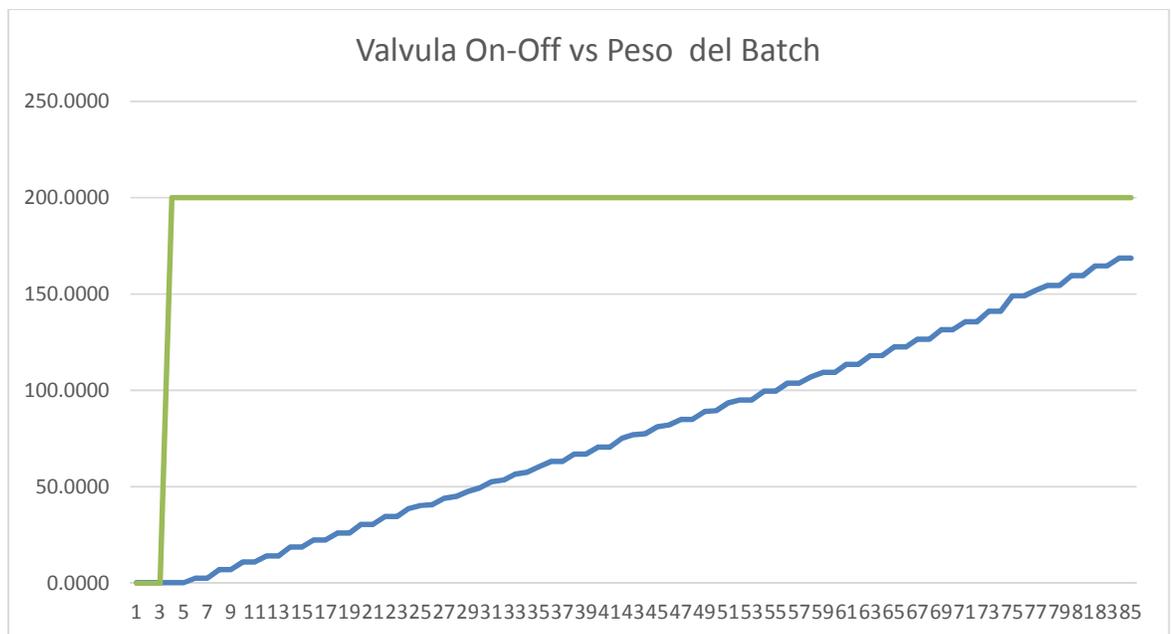
#### 4.1.1. Determinación del Control On – Off de la Válvula de Ingreso de Agua

Dentro los actuadores que intervienen en el proceso, la encargada de realizar el control del ingreso de agua hacia el tanque de disolución es una válvula de bola con movimiento asociado a un accionamiento eléctrico que regula la apertura y cierre, siendo el tiempo de apertura y cierre de la válvula una de las condiciones que influyen en el proceso de llenado del tanque.

Tiempo de apertura = 5 seg

Tiempo de cierre = 5 seg

De acuerdo a esto y debido a las pruebas experimentales con el accionamiento y llenado del tanque obtuvimos los siguientes resultados:



**Figura 18: Válvula de agua vs peso del tanque.**

Como se puede observar en la Figura 18 se tomó una muestra de 85 segundos en donde se acciono la válvula en el tercer segundo de la prueba aplicando de esta manera un escalón unitario para analizar la respuesta del sistema.

El flujo promedio que pasa por la válvula de ingreso de agua al 100% de apertura de acuerdo a los resultados es de 3.30 kg por segundo.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

De acuerdo a este resultado se puede calcular el total de kilos de agua que cae al tanque de disolución en el proceso de cierre de la válvula que dura según especificaciones 5 segundos.

Resultados en el proceso de cierre de válvula:

Flujo Promedio = 3.30 kg/s

3.30 Kg/s ----- 5to Seg

2.67 Kg/s ----- 4to Seg

2.01 Kg/s ----- 3er Seg

1.35 Kg/s ----- 2do Seg

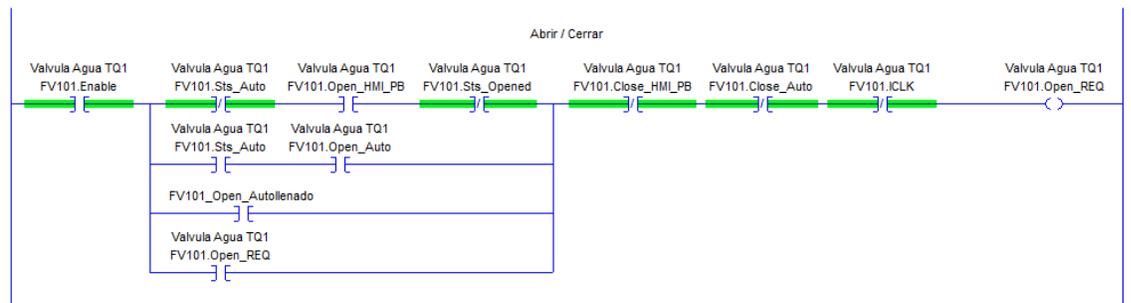
0.68 Kg/s ----- 1er Seg

0.00 Kg/s ----- 0 Seg

Según estos resultados durante los 5 segundos del proceso de cierre de la válvula ingresa al tanque la cantidad de 10.01 kg de agua, por lo tanto si desea obtener una cantidad kilos de acuerdo a la receta en el tanque de disolución se debe activar la válvula al comienzo de la secuencia y esta debe ser cerrada 10 Kg antes de llegar a la cantidad de kilos de agua seleccionado.

### 4.1.2. Diseño del Control On – Off de la Válvula de ingreso de Agua

De acuerdo al análisis realizado de los resultados obtenidos en las pruebas se procede a realizar la programación teniendo en cuenta lo explicado anteriormente.

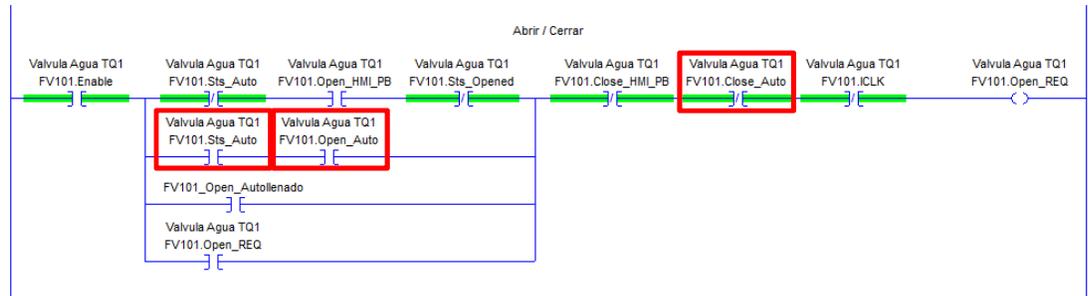


**Figura 19: Programación de accionamiento de Válvula de Agua.**

Como se puede observar en la Figura 19 que muestra la lógica de programación para el accionamiento de la válvula en modo manual y automático, en el modo manual los bits de accionamiento de la válvula están enlazados a los botones del HMI presente en planta, con lo que

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

respecta el modo automático los bits de accionamiento están comandados de acuerdo a receta seleccionada y a la secuencia del proceso.



**Figura 20: Bits accionamiento automático de Válvula de Agua.**

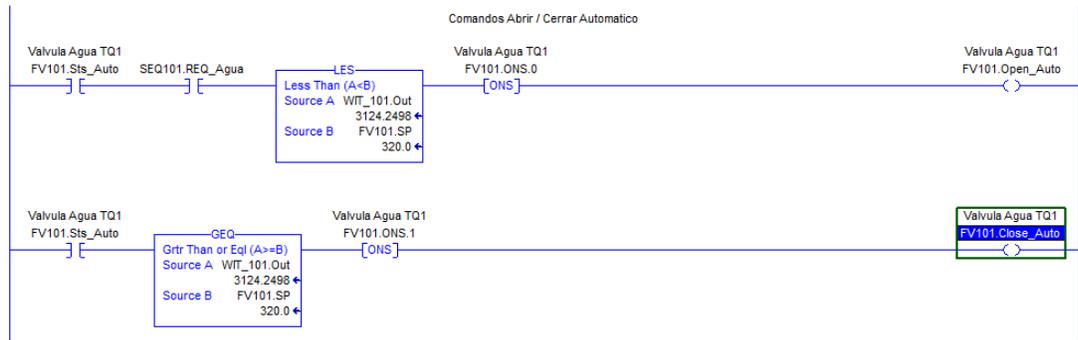
Esta válvula se coloca en modo automático cuando el operador acciona dicho modo lo que lleva a la preparación del batch en un proceso secuencial ya antes descrito, que comienza con el ingreso de la cantidad de agua de acuerdo a la receta seleccionada.



**Figura 21: Calculo del Set Point de Operación para la Válvula.**

Para la apertura y cierre automático de la válvula de ingreso de agua en modo automático se debe tener la cantidad de agua necesaria para el batch de acuerdo a la receta seleccionada, a este valor se le denomina Set Point de Operación (.SPOper). Debido a que la válvula en el proceso de cierre total ingresa 10.01 kilogramos de agua se debe restar dicha cantidad al set point de Operación y así obtener el Set Point (.SP) para la válvula de ingreso de agua tal y como muestra la figura 21.

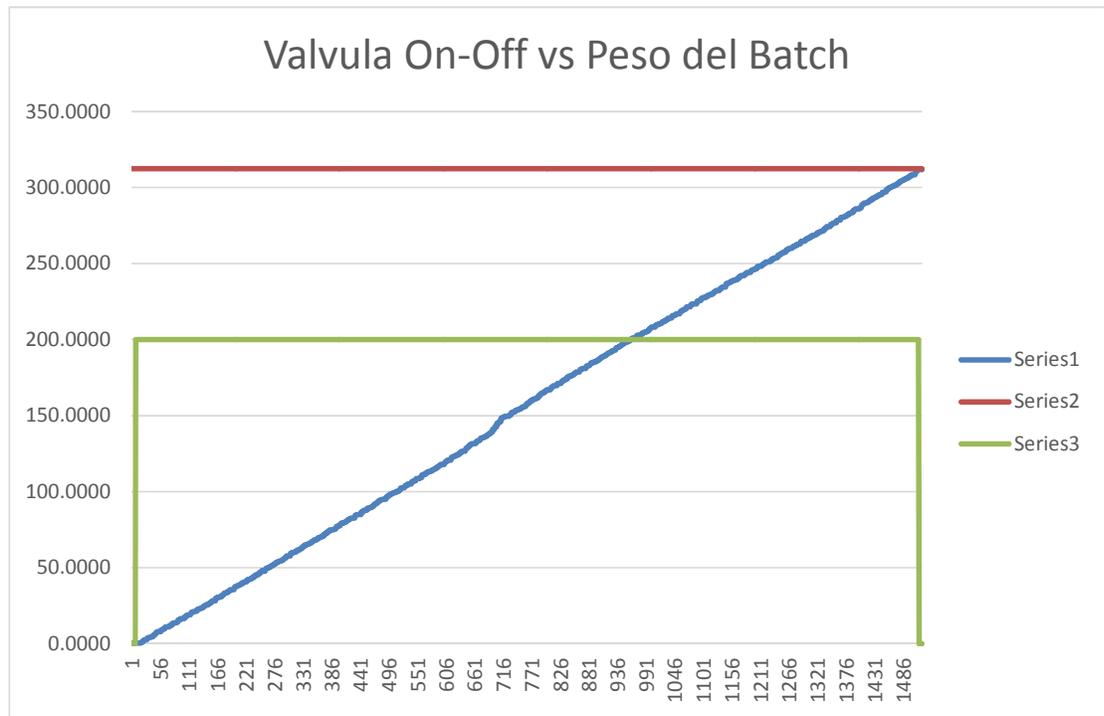
## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 22: Comando de apertura y cierre automático.**

La figura 22 muestra como el accionamiento automático de la válvula de ingreso de agua se activa cuando la secuencia lo requiere estando el proceso en modo automático y procede a cerrarse 10 kilogramos antes de la cantidad requerida por la receta seleccionada llegando así a la cantidad de agua ideal con una desviación de +/- 1 kg tolerable dentro de la preparación.

De acuerdo al control realizado se obtuvo como resultado del control de la cantidad de agua en el Batch.



**Figura 23: Resultados del Control On-Off Ingreso de Agua.**

Control de ON – OFF Ingreso de Agua	
Series 1	Peso del batch (Kg)
Series 2	Set Point Requerimiento de Agua (Kg)
Series 3	Accionamiento de Válvula de Agua

### 4.2. CONTROL DE TEMPERATURA

Debido a que la mezcla preparada dentro del tanque de disolución contiene compuestos que producen una reacción química ENDOTERMICA es decir absorbe energía y teniendo en cuenta que siendo una masa para explosivos cuya temperatura no debe sobrepasar los 99 °C se tiene que evaluar el tipo de control que se adecue al proceso para cual se realizó pruebas del sistema y de acuerdo a los datos registrados del comportamiento de la temperatura del batch se procedió a evaluar el tipo de control a ejecutar

#### 4.2.1. Determinación de la función de transferencia de la planta con un polo

Se define un vector vacío para guardar los datos de temperatura registrados en el proceso real.

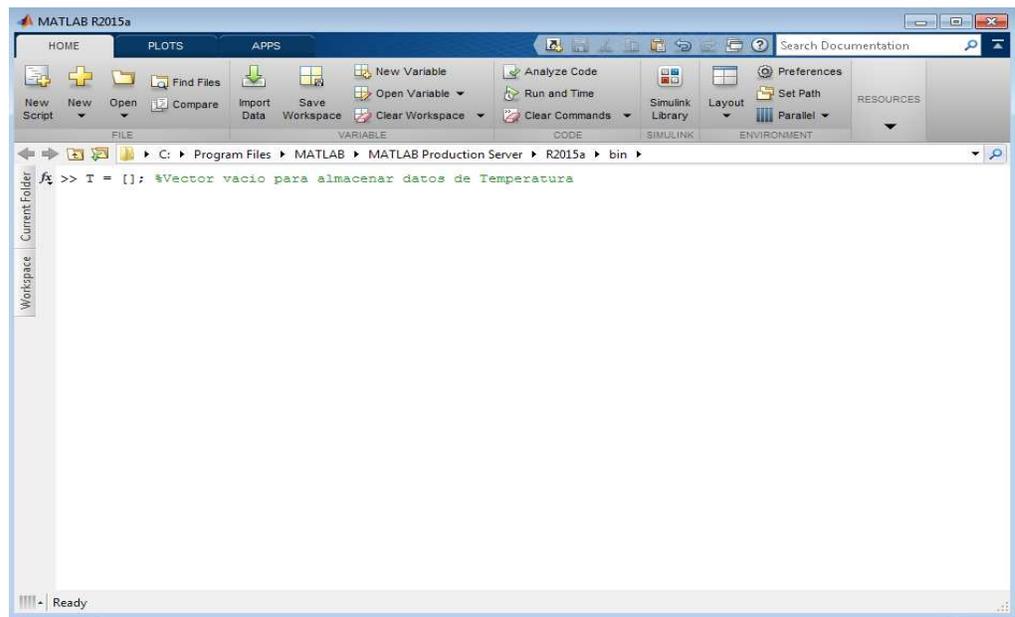


Figura 24: Vector para almacenar datos de Temperatura.

En el "Workspace" se verifica que el vector "T" sea nulo.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

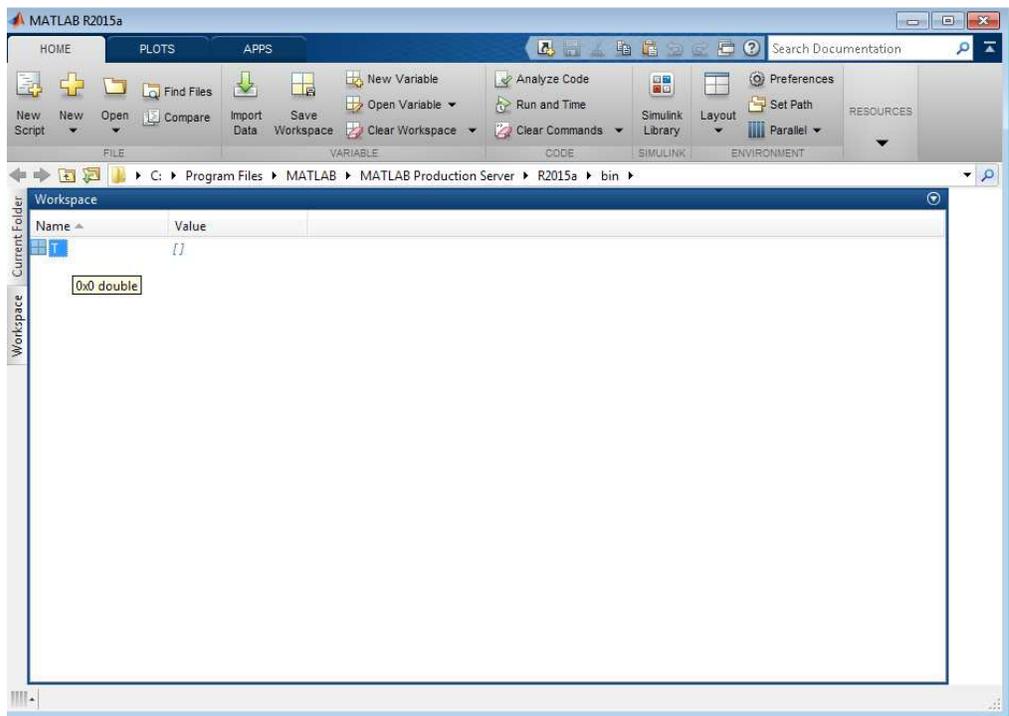


Figura 25: Vector para Temperatura en el Workspace.

Haciendo click sobre la variable se abrirá el siguiente cuadro donde se ingresarán los datos de temperatura.

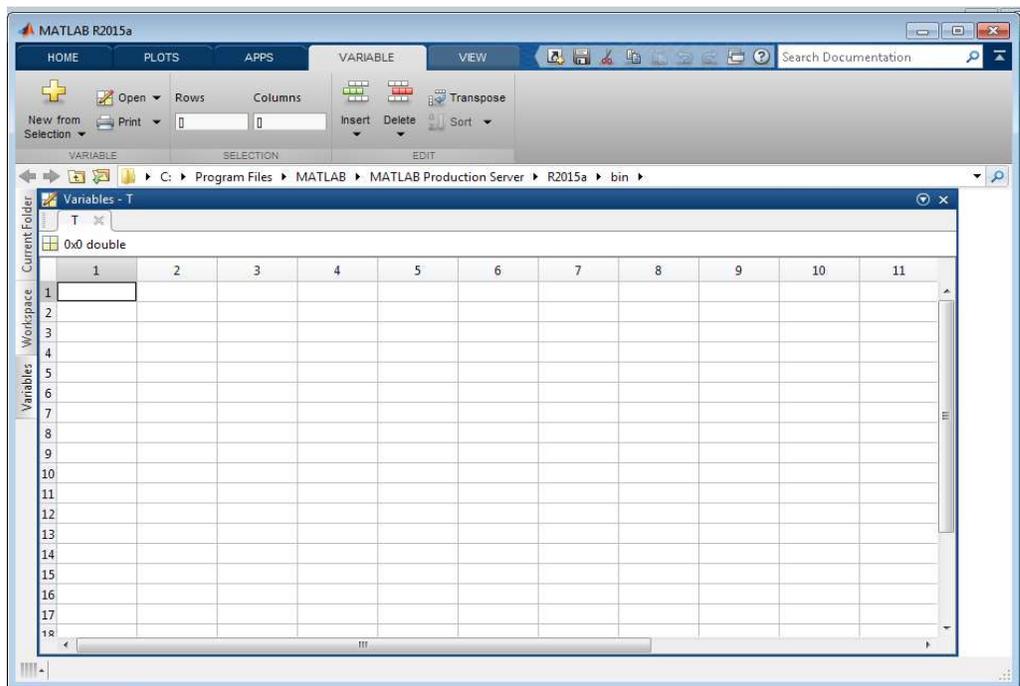


Figura 26: Cuadro para almacenar los valores de Temperatura.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

Desde Excel, se exportarán los datos hacia el cuadro anterior para determinar la función de transferencia.

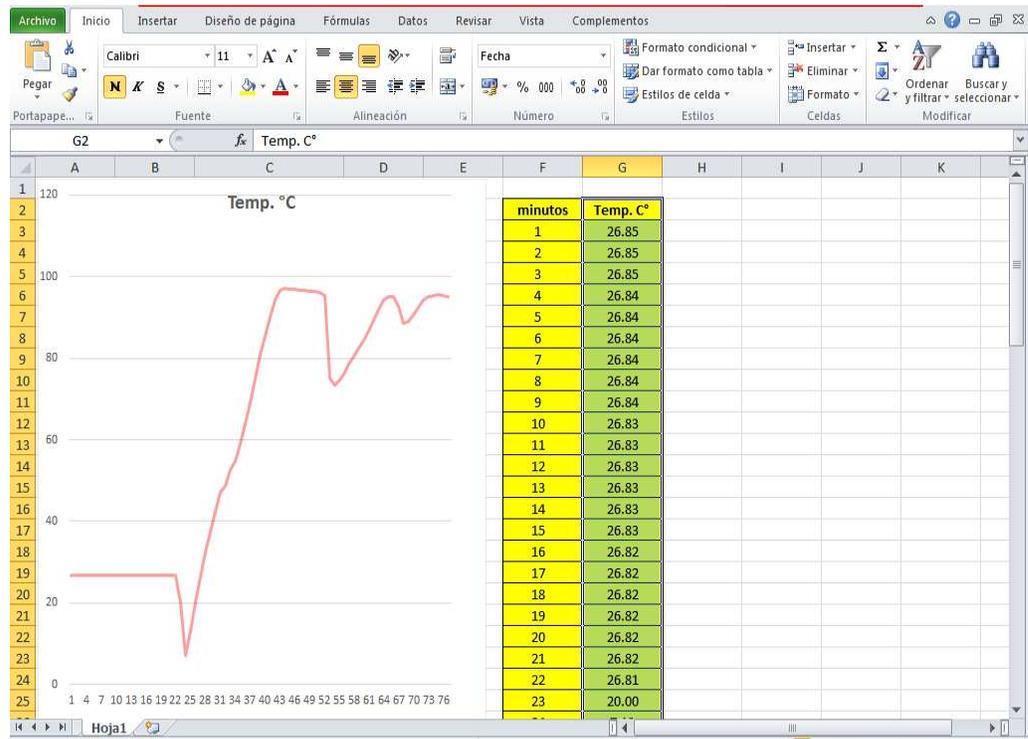


Figura 27: Desde Excel se exportan los datos a Matlab.

Los datos de Excel son almacenados en el vector "T".

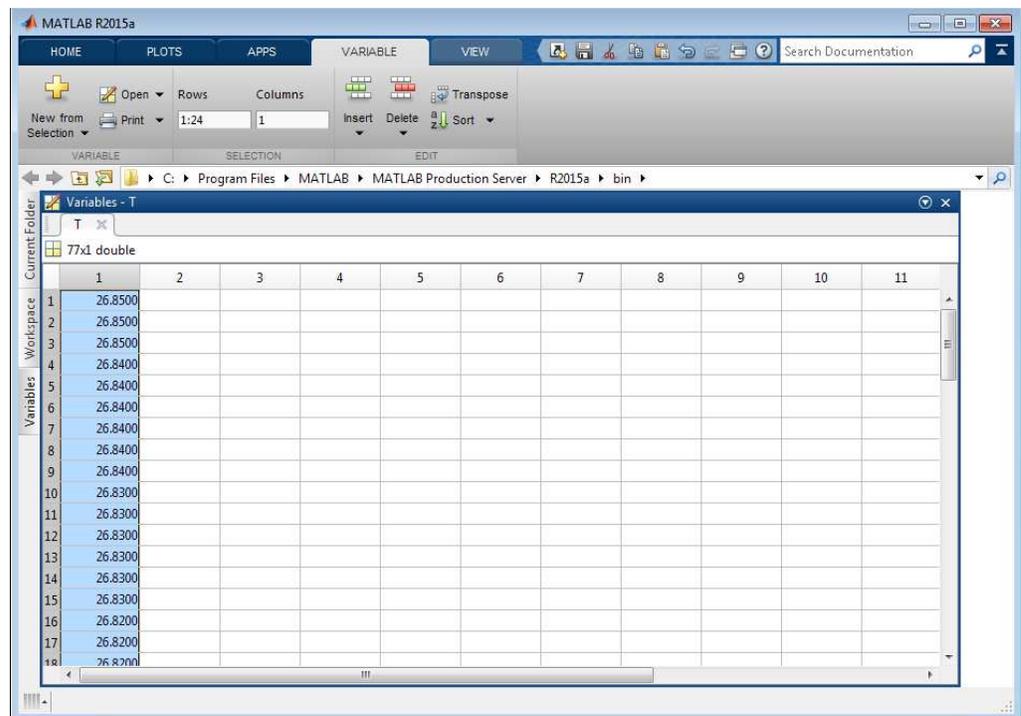
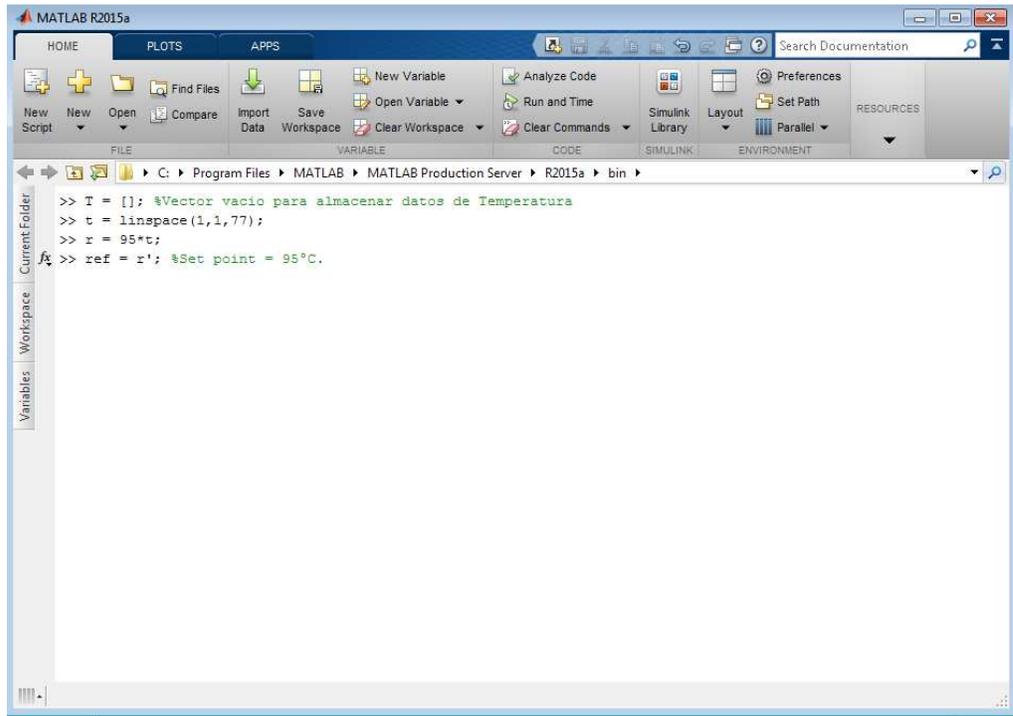


Figura 28: Almacenamiento de datos en Matlab.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

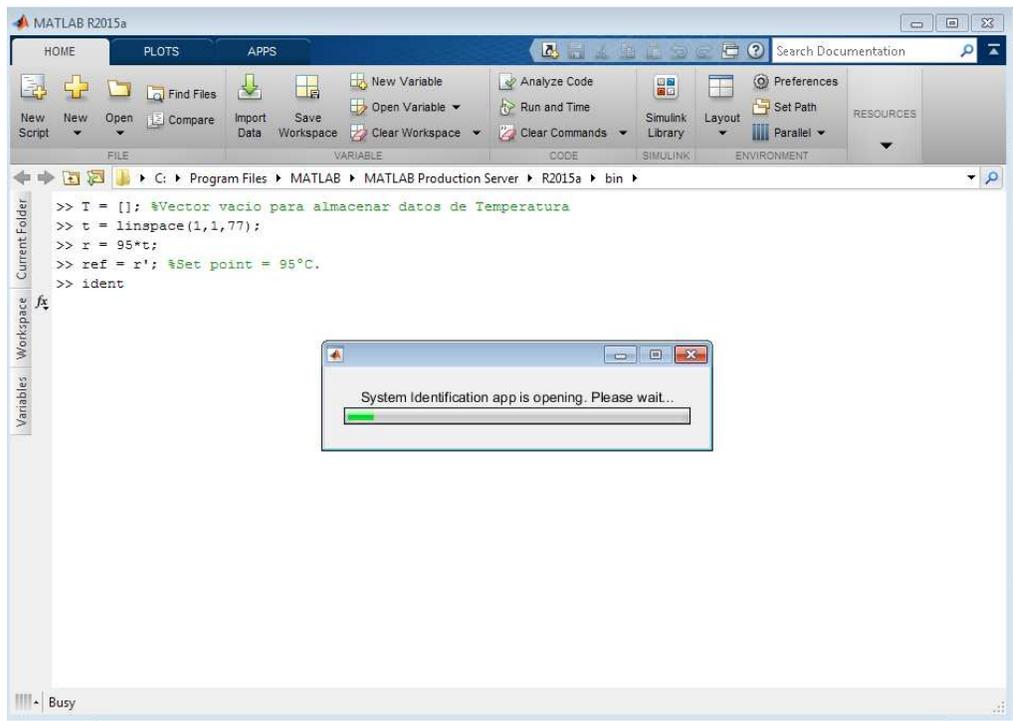
Como solo se almacenaron 77 datos, se define un vector de tiempo de 77 minutos mediante la instrucción “linspace (1, 1, 77)”. Además, se establece el Set point en 95°C (ref).



```
>> T = []; %Vector vacio para almacenar datos de Temperatura
>> t = linspace(1,1,77);
>> r = 95*t;
>> ref = r'; %Set point = 95°C.
```

Figura 29: Código fuente.

Para determinar la función de transferencia de la planta, se utiliza la herramienta “ident” de Matlab.



```
>> T = []; %Vector vacio para almacenar datos de Temperatura
>> t = linspace(1,1,77);
>> r = 95*t;
>> ref = r'; %Set point = 95°C.
>> ident
```

System Identification app is opening. Please wait...

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

Figura 30: Iniciando la herramienta “ident” de Matlab.

Luego de abrir “ident”, se importan los datos del proceso.

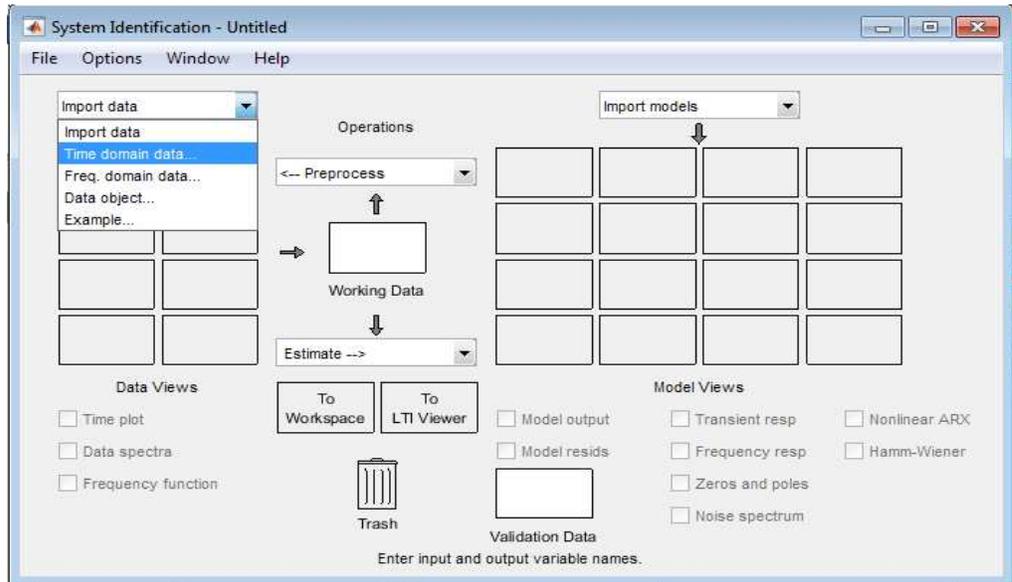


Figura 31: Importación de datos en “ident”.

Después, se procede a ingresar el vector “ref” como como parámetro de entrada y el vector “T” como parámetro de salida.

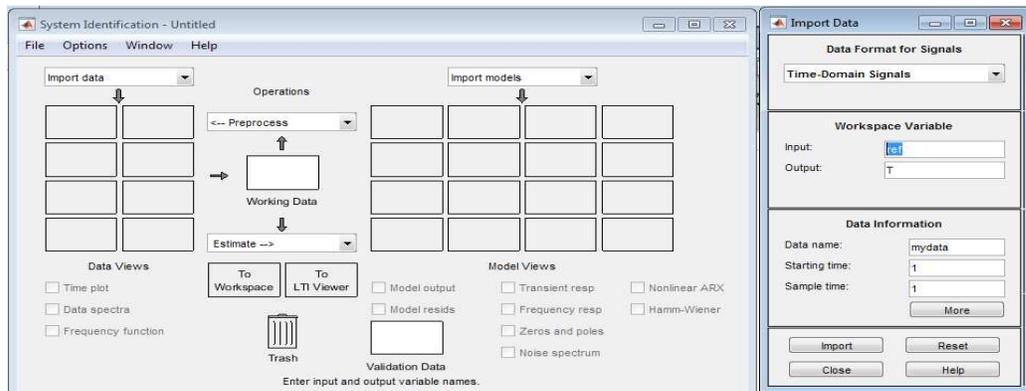


Figura 32: Ingreso de parámetros de entrada y salida.

Una vez ingresados los parámetros requeridos, se procede al estimar la función de transferencia de la planta.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

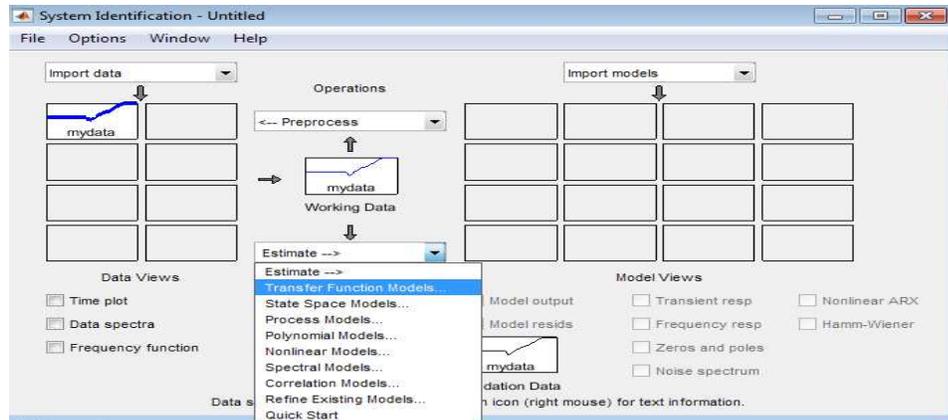


Figura 33: Estimación de la función de transferencia.

Se calculará la función de transferencia con un polo.

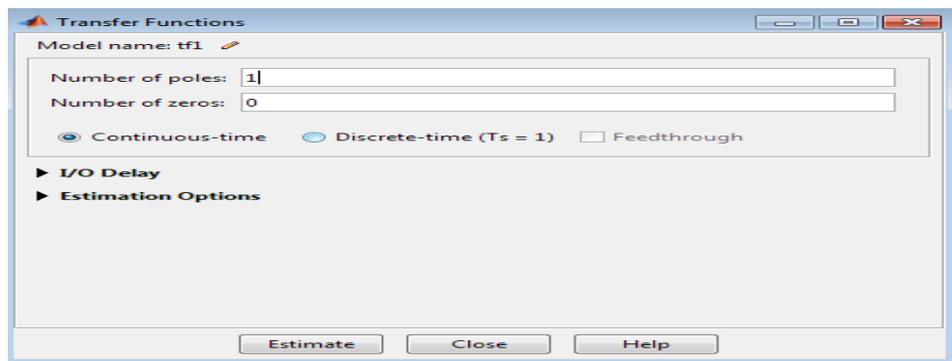


Figura 34: Función de transferencia con un polo.

La función de transferencia calculada, "tf1", es exportada a la ventana de comandos para ser visualizada.

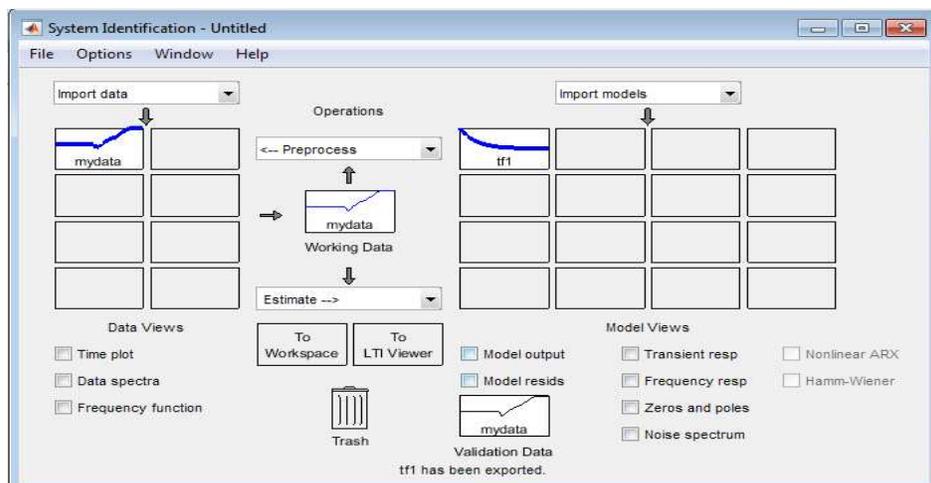


Figura 35: Función de transferencia exportada al Workspace.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

Se tiene que la función de transferencia de la planta es la siguiente:

$$\frac{0.01854}{s + 0.008435}$$

Se observa:

1º El sistema contiene un polo

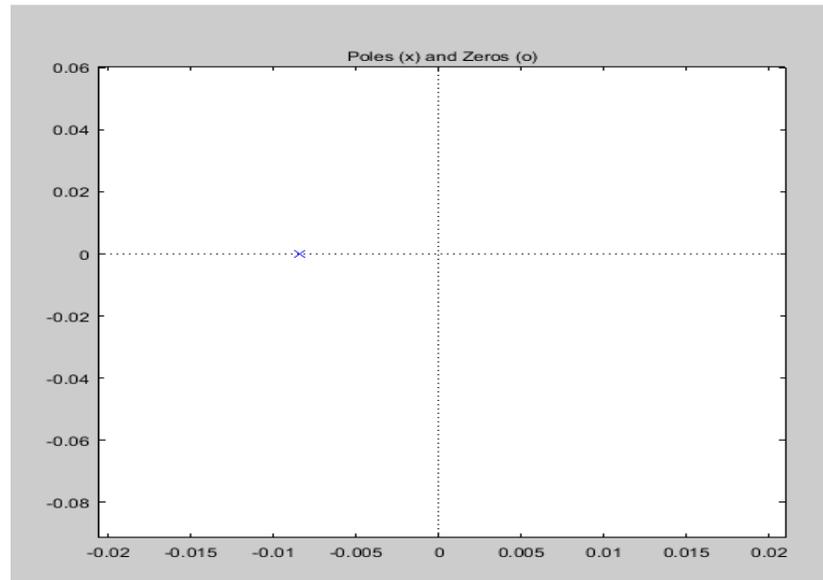


Figura 36: Ubicación del polo de la planta.

2º Al aplicarle un escalón para observar su respuesta, se puede ver lo siguiente:

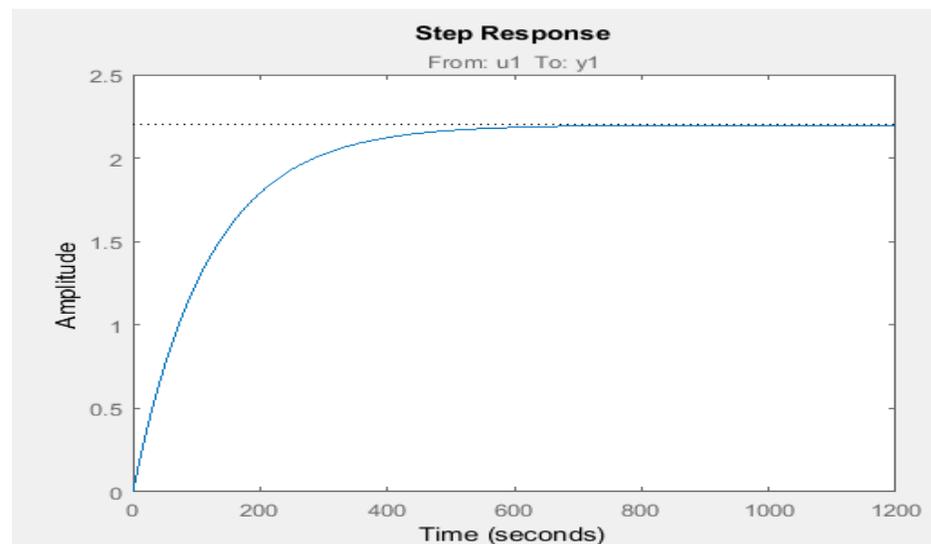
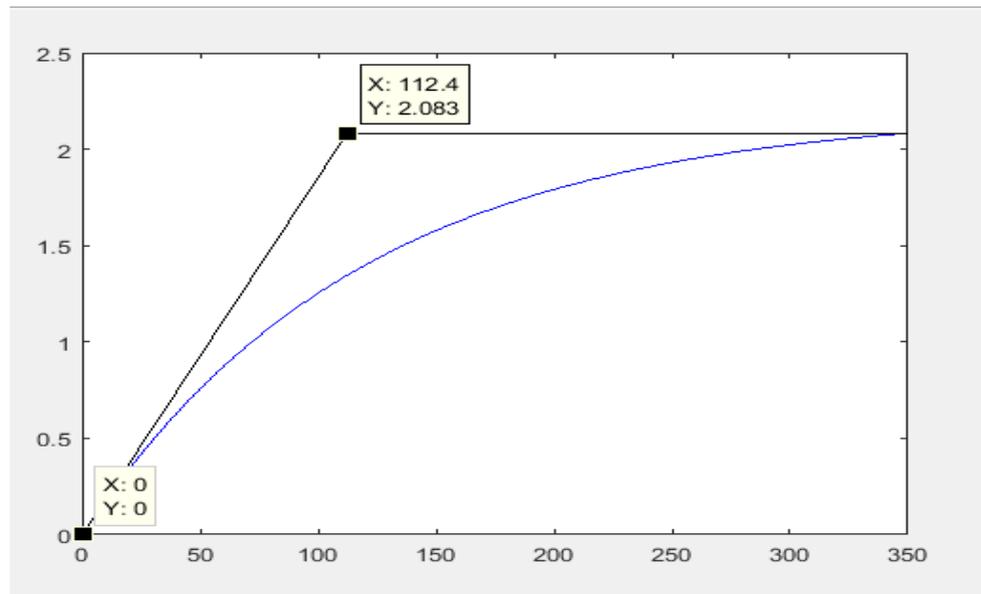


Figura 37: Respuesta al Escalón de la planta.

3º Aplicamos Método De Ziegler – Nichols

- Hallamos el punto de inflexión y su tangente para ubicar las variables L, T.



**Figura 38: Cálculo de los parámetros L y T.**

### • CONCLUSIÓN

Al observar los valores obtenidos en el “Workspace”, nos damos cuenta que algunos valores de los parámetros del controlador PID no están determinados o tienden al infinito. Esto quiere decir que debido a las características del proceso, la dinámica del sistema no se puede representar como un sistema de primer orden.



**Figura 39: Valor de los parámetros calculados.**

4.2.2. Determinación de la función de transferencia de la planta con dos polos

Al no poder determinar la función de transferencia de la planta con un polo, se optó por representar la dinámica del proceso con una función de transferencia con dos polos.

Al iniciar la estimación de la función de transferencia con dos polos en “ident”, se siguen los mismos pasos que en el caso en que se usó un polo. Solo se debe cambiar lo siguiente:

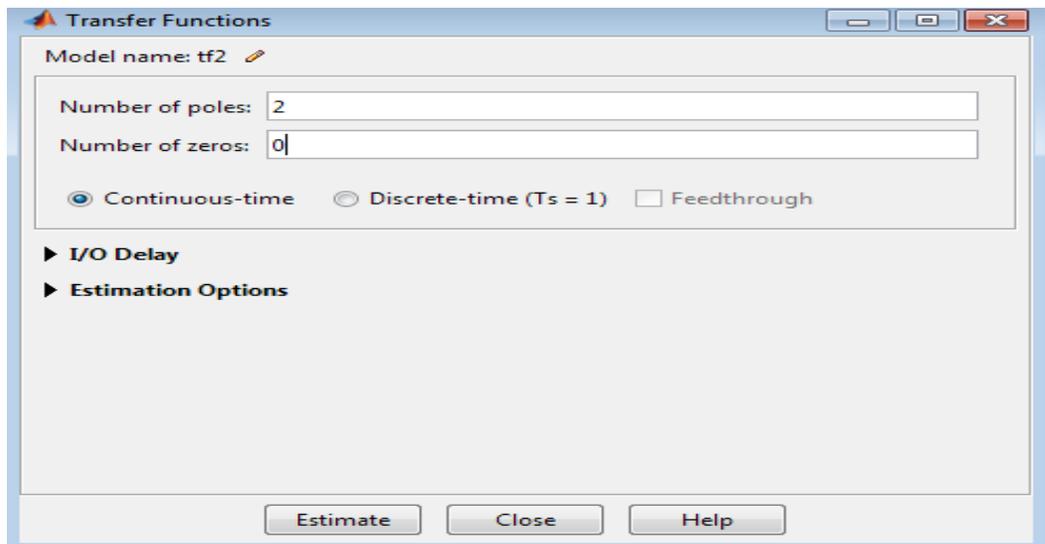


Figura 40: Función de transferencia con dos polos.

La función de transferencia calculada, “tf2” de color verde, es exportada a la ventana de comandos.

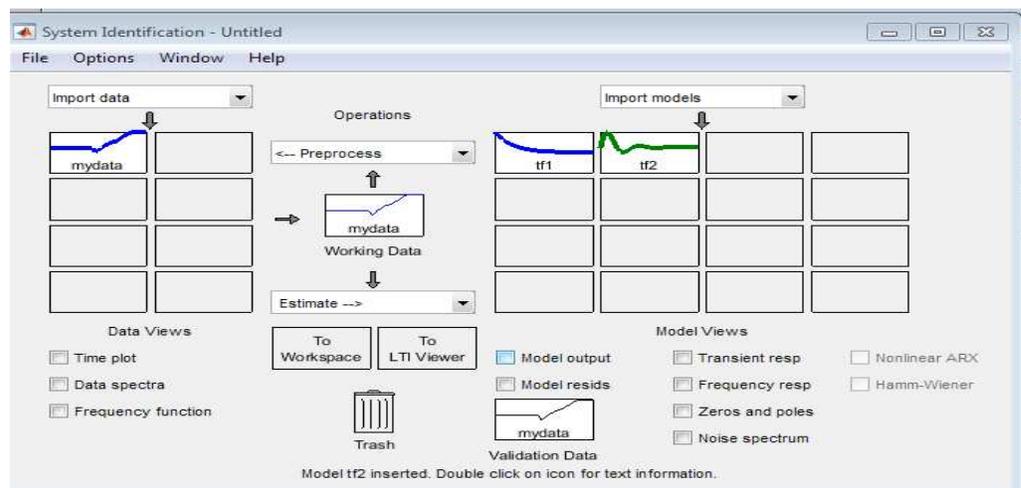


Figura 41: Exportación de la Función de transferencia al Workspace.

Se tiene que la función de transferencia del sistema es la siguiente:

$$\frac{0.004578}{s^2 + 0.04715s + 4.812 \times 10^{-3}}$$

Se observa:

1º El sistema contiene dos polos complejos conjugados.

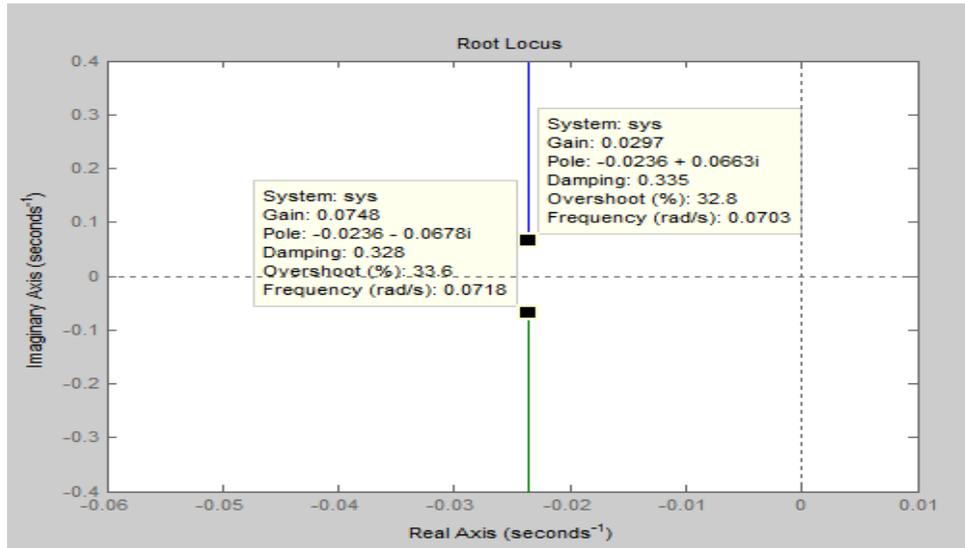


Figura 42: Ubicación de los polos de la Función de transferencia.

2º Al aplicarle un escalón para observar su respuesta, se puede ver lo siguiente:

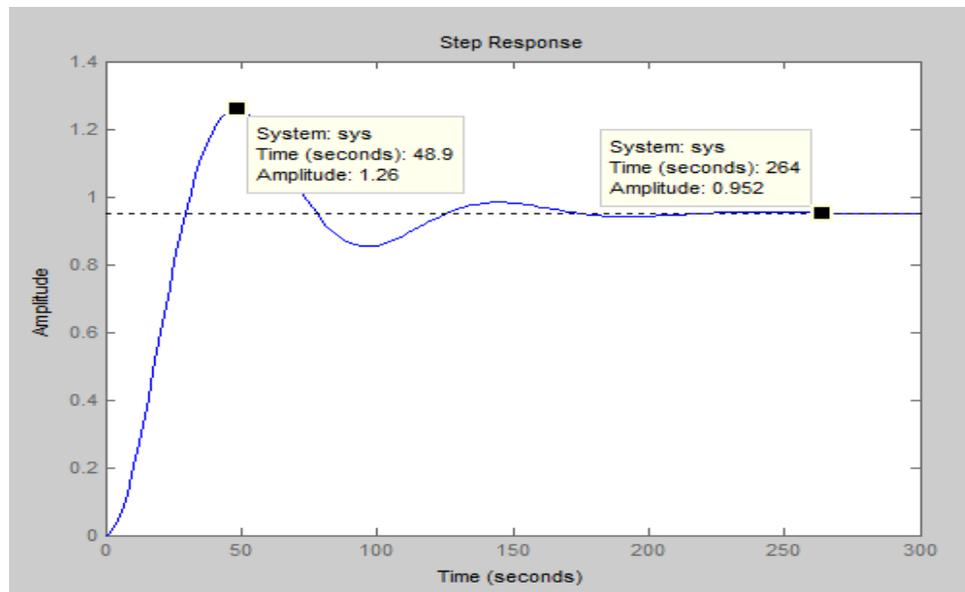


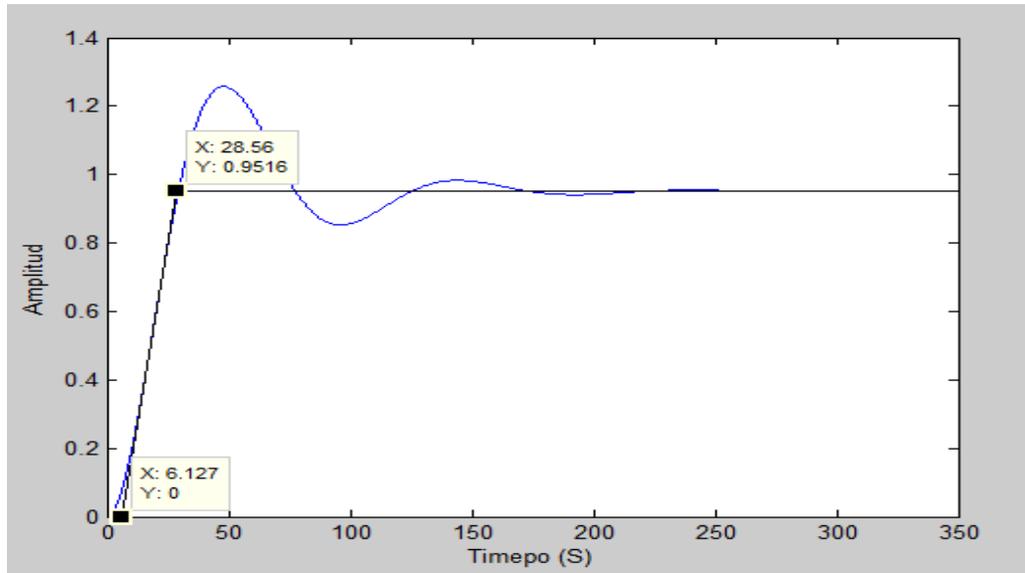
Figura 43: Respuesta al Escalón de la planta.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

En la gráfica se observa que la salida se estabiliza en 0.952 teniendo un offset de 0.048 por lo que se procederá a desarrollar el controlador PID, basándose en el 1º método de Ziegler-Nichols.

3º Aplicamos Método De Ziegler - Nichols

- Hallamos el punto de inflexión y su tangente para ubicar las variables L, T.



**Figura 44 Cálculo de los parámetros L y T .**

Según la siguiente tabla, obtenemos los valores para las ganancias del P

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

**Figura 45: Constantes del controlador PID según Ziegler y Nichols.**

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

$$K_p = 4.3935$$

$$T_i = 12.2537 \rightarrow K_i = K_p / T_i = 0.3585$$

$$T_d = 3.0634 \rightarrow K_d = K_p \cdot T_d = 13.4593$$

Entonces tenemos la función de transferencia del PID:

$$K_p \left( 1 + t_d \cdot S + \frac{1}{t_j \cdot S} \right)$$

$$4.3935 \left( 1 + 3.0634s + \frac{1}{12.2537s} \right)$$

$$\frac{13.46 s^2 + 4.394 s + 0.3585}{s}$$

Y el sistema en lazo cerrado de todo el proceso quedaría de la siguiente forma:

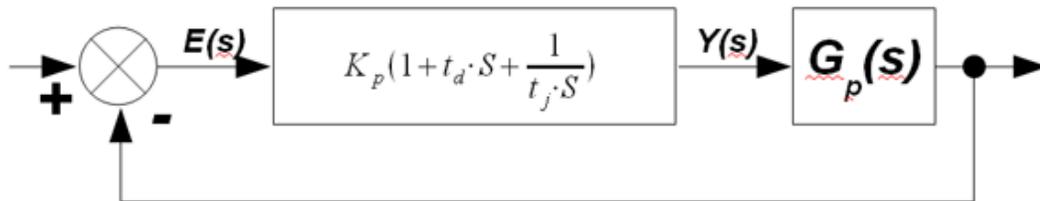
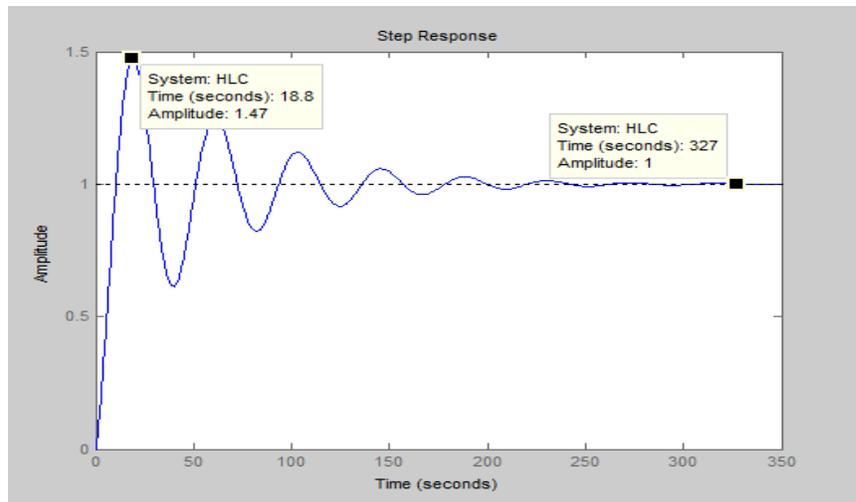


Figura 46: Sistema de control en lazo cerrado.

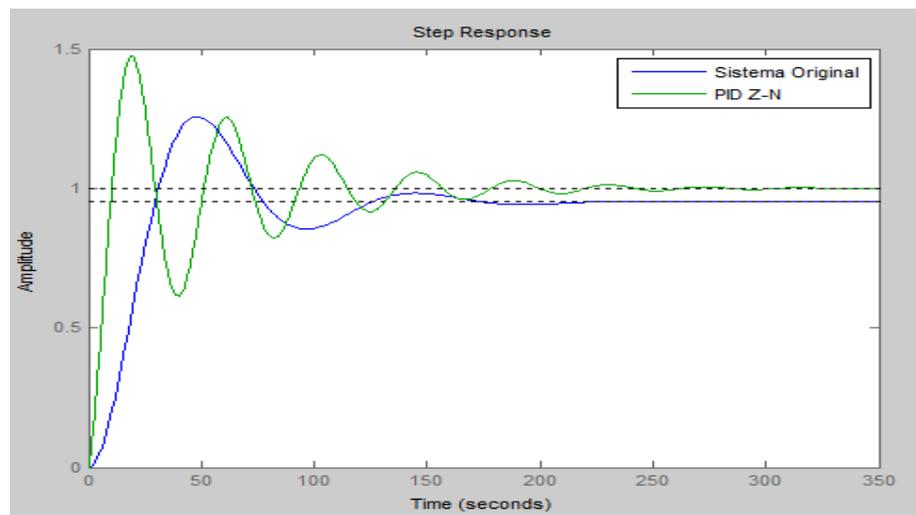
$$\frac{0.06162 s^2 + 0.02011 s + 0.001641}{s^3 + 0.1087 s^2 + 0.02493 s + 0.001641}$$

Al aplicar este controlador al sistema, mostramos la nueva respuesta al escalón, nos fijamos que hemos logrado reducir el error en estado estacionario a cero. Ver figura 38.



**Figura 47: Respuesta al escalón del sistema realimentado.**

En la siguiente gráfica se observa la respuesta original del sistema y la respuesta con el controlador PID



**Figura 48: Sistema original y Sistema con controlador PID.**

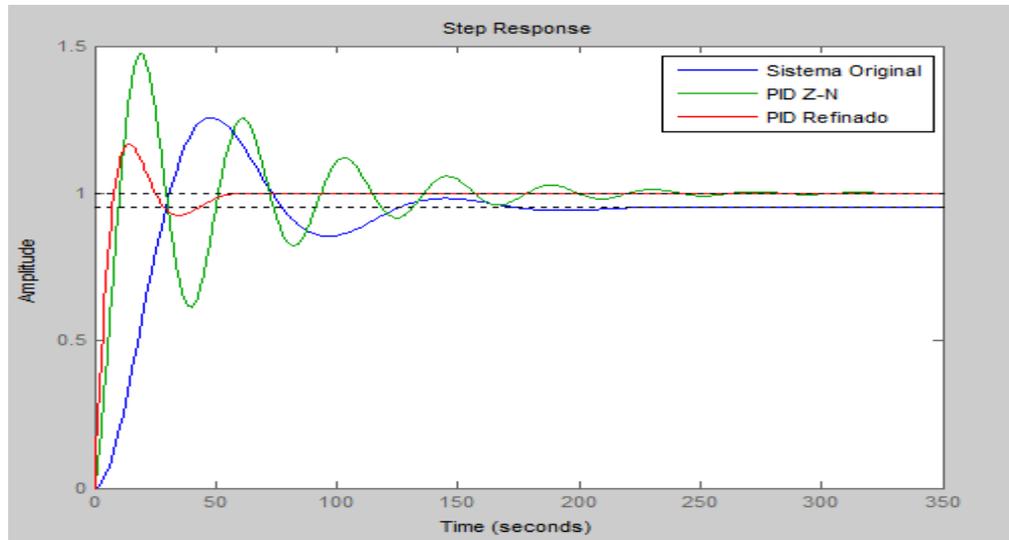
También podemos refinar aún más el sistema cambiando los valores de las ganancias, por ejemplo si hacemos los nuevos valores:

$$K_p_{\text{nuevo}} = 1.5 \cdot K_p;$$

$$K_d_{\text{nuevo}} = 3 \cdot K_d;$$

$$K_i_{\text{nuevo}} = 1.0 \cdot K_i;$$

Generamos una respuesta al escalón como la siguiente:



**Figura 49: Sistema original, Sistema con controlador PID y Sistema Refinado.**

### • CONCLUSIÓN

Al observar los valores obtenidos en el "Workspace", y poder ver la respuesta del sistema y debido a las características del proceso, la dinámica del sistema no se puede representar como un sistema de segundo orden ya que por las condiciones del proceso este no debe sobrepasar los 99 °C de temperatura y el tiempo de enfriamiento al ser una reacción endotérmica es demasiado prolongado para el proceso en general.

#### 4.2.3. Determinación del modelo de control de acuerdo a método experimental.

Debido a las características del proceso y a las condiciones ya mencionadas con anterioridad se planteó utilizar un modelo de control que se adecue al proceso, en los tiempos establecidos y se obtenga la respuesta requerida.

Se utilizara la válvula de proporcional del vapor en 5 posiciones fijas y así realizara un control escalonado utilizando diferentes rangos de temperatura para cada posición de la válvula de vapor.

#### **4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL**

Se identificó los diferentes puntos claves de acuerdo al grado de temperatura que se desea alcanzar.

Teniendo el Set Point de Temperatura (Temperatura deseada de acuerdo a la receta seleccionada) entonces se define los puntos clave de temperatura en el proceso de la siguiente manera:

- 70% Del Set Point
- 80% Del Set Point
- 90% Del Set Point
- 99% Del Set Point

Por lo tanto se define los rangos de temperatura para las diferentes posiciones de la válvula proporcional de la siguiente manera:

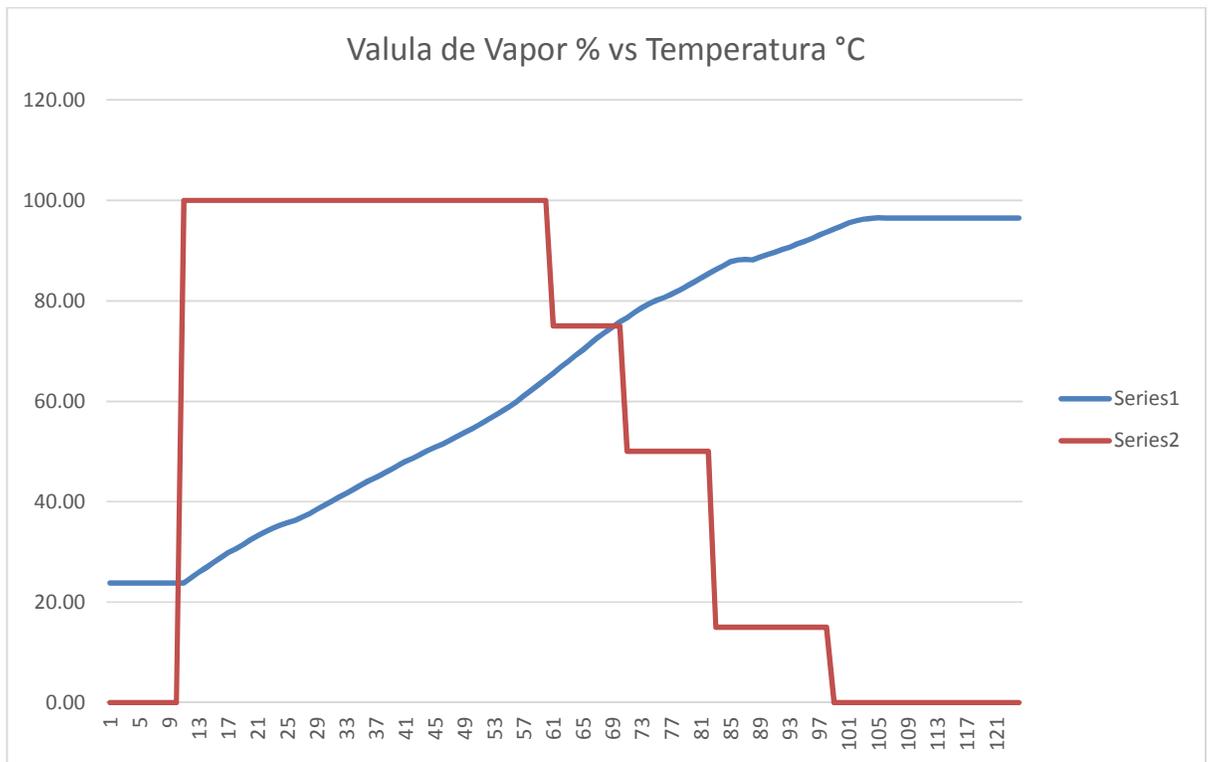
- Rango 1: < 70 % SP = 100% Apertura
- Rango 2: 70% SP - 80% SP = 75% Apertura
- Rango 3: 80% SP - 90% SP = 50% Apertura
- Rango 4: 90% SP - 99% SP = 15% Apertura
- Rango 5: > 99 % SP = 0% Apertura

De esta manera se procedió a realizar pruebas del funcionamiento del control teniendo como set point del proceso  $SP=95\text{ }^{\circ}\text{C}$  ya que la mayoría de recetas presenta dicho grado como punto de preparación del batch, con lo cual se obtuvo los rangos de operación de la válvula donde se tiene lo siguiente:

Si  $SP = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  entonces:

- Rango 1: < 66.50 °C
- Rango 2: 66.50 °C – 76.00 °C
- Rango 3: 76.00 °C – 85.50 °C
- Rango 4: 85.50 °C – 94.05 °C
- Rango 5: > 94.05 °C

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 50: Respuesta del Sistema por control escalonado.**

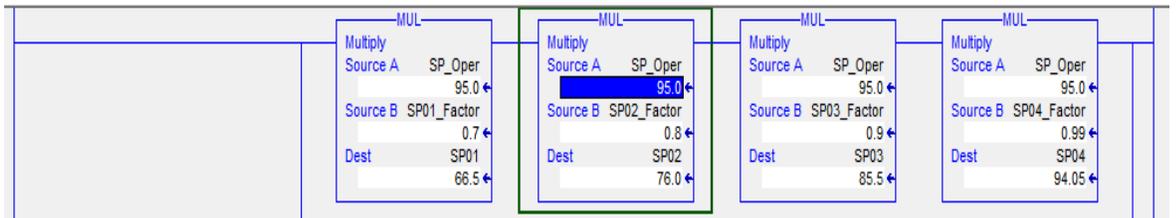
Control de Temperatura	
Series 1	Temperatura de batch (°C)
Series 2	% Apertura de Válvula de Vapor

Como muestra la Figura 50 del control escalonado aplicado al sistema nos da una respuesta adecuada a las necesidades del proceso y teniendo en cuenta que en la prueba realizada se tomó una muestra cada 10 segundos de la respuesta en los diferentes rangos del control de temperatura de tal manera que el control aplicado tarda 15 minutos en llegar a la temperatura deseada con una desviación máxima de  $\pm 1$  °C lo cual es favorable según las condiciones de preparación de la mezcla y no perjudica ninguna de las condiciones de proceso.

#### 4.2.4. Diseño del Control Escalonado de la Válvula Proporcional de Vapor

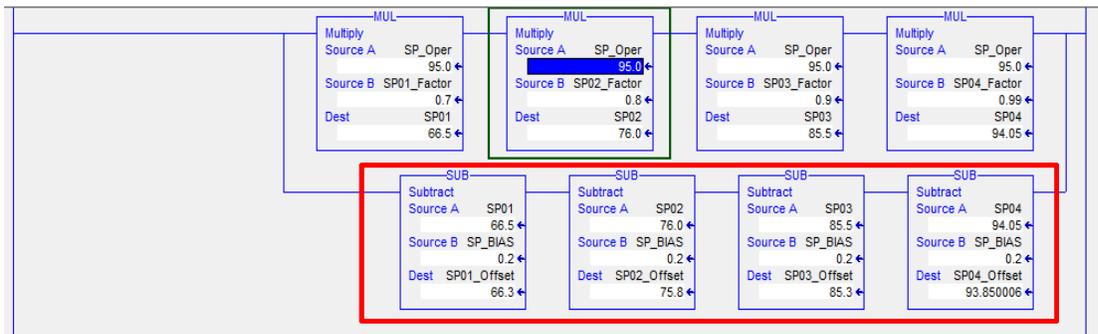
Definido el modelo de control de acuerdo al análisis realizado de los resultados obtenidos en las pruebas se procede a realizar la programación.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 51: Programación de los límites de temperatura.**

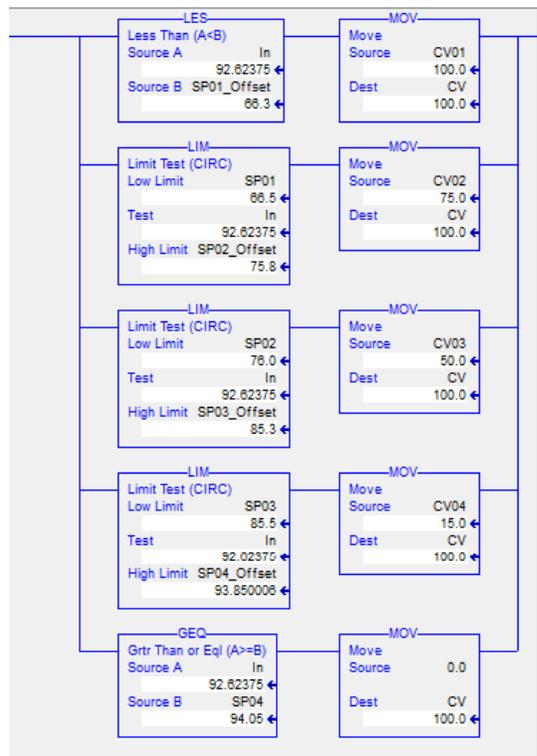
Como muestra la Figura 51 se define dentro de la programación los límites de temperatura para los diferentes rangos donde trabajaran las posiciones de apertura de la válvula de vapor de acuerdo al set point establecido según la receta seleccionada por el operador.



**Figura 52: Offset de los límites de temperatura.**

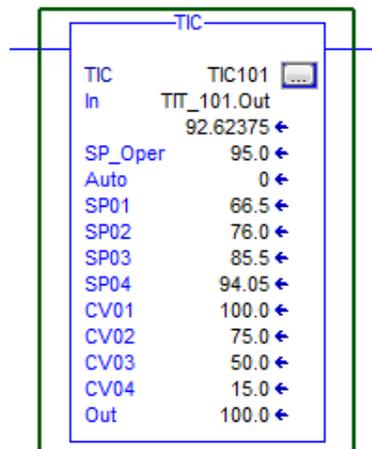
La Figura 52 muestra cómo se obtiene para cada límite de temperatura un offset para que la válvula de vapor no oscile en diferentes posiciones si se encuentra en una temperatura límite de un rango a otro.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 53: Programación de los rangos de temperatura.**

De acuerdo a la programación realizada mostrada en las figuras anteriores, se generó un bloque de función que contiene dicha lógica y se aplicó al control de la válvula proporcional de vapor.



**Figura 54: Bloque de Función Aplicada a la Válvula de Vapor.**

Aplicada la Lógica realizada al proceso se obtuvo los siguientes resultados que permiten controlar de manera óptima la temperatura del batch.

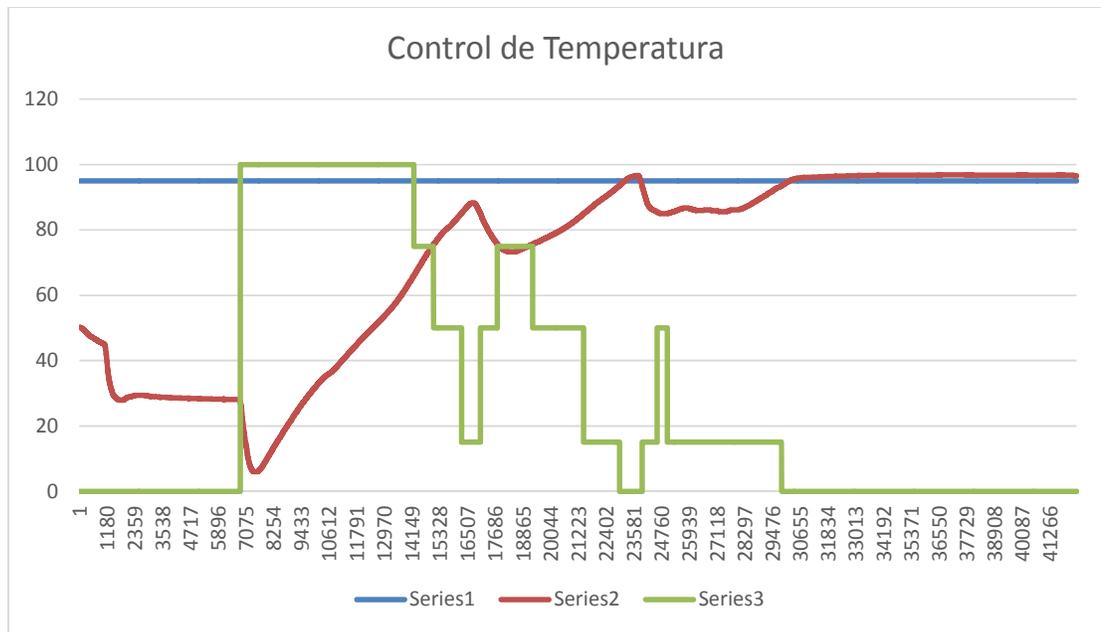


Figura 55: Resultados del Control de Temperatura.

Control de Temperatura	
Series 1	Set Point de Temperatura (°C)
Series 2	Temperatura de batch (°C)
Series 3	% Apertura de Válvula de Vapor

### 4.3. CONTROL DE pH

#### 4.3.1. Determinación del Modelo de Control de pH.

Para determinar el modelo se realizaron diversas pruebas para verificar la respuesta del pH en el batch con el ingreso del Ácido Nítrico al 35%, teniendo en cuenta que esta variable depende de los compuestos químicos de la masa, la temperatura y de las condiciones del proceso.

Se realizaron 3 pruebas en donde se ingresó ácido Nítrico de manera manual en una determinada cantidad y poder observar la respuesta del batch.

Debido a que el proceso de controlar el pH del batch se da finalizada la secuencia automática es decir ya teniendo el peso completo del batch y habiendo llegado a la temperatura deseada según la receta para las pruebas realizadas se generó las mismas condiciones del proceso.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

---

Primera prueba:

Peso Inicial = 3473.5 Kg

Temperatura Inicial = 94.5 °C

Se procedió a ingresar Acido Nítrico al 35% en diferentes cantidades con un lapso de 3 min para la homogenización de la mezcla obteniendo los siguientes resultados.

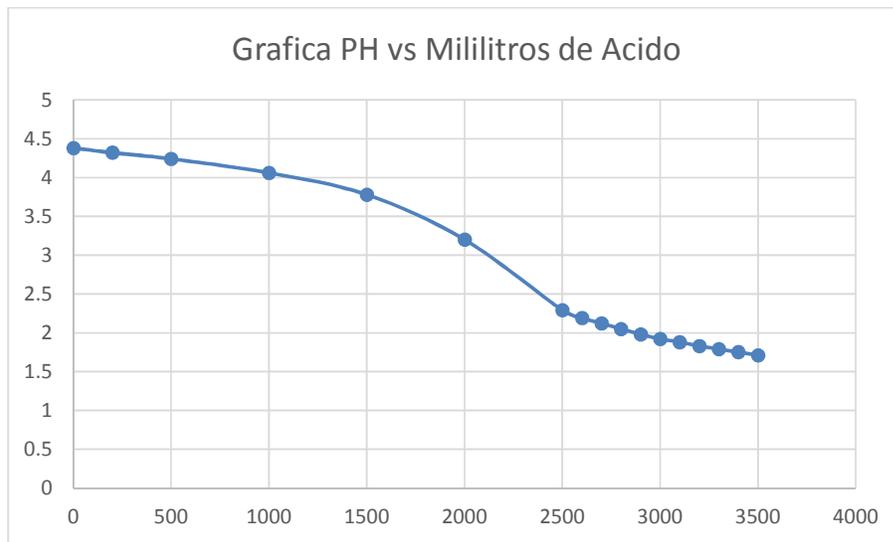
Tabla: Cantidad de Mililitros de Ácido y variación de pH:

Vacido (mL)	PH
0	4.38
200	4.32
500	4.24
1000	4.06
1500	3.78
2000	3.2
2500	2.29
2600	2.19
2700	2.12
2800	2.05
2900	1.98
3000	1.92
3100	1.88
3200	1.83
3300	1.79
3400	1.75
3500	1.71

Como se puede observar el pH según la cantidad de ácido que ingresaba en el tanque iba disminuyendo teniendo de esta manera la siguiente respuesta como muestra la figura 55.

Una de las peculiaridades que se presentaron durante la prueba fue la evidente evaporación del Ácido nítrico al 35% en forma de vapor a medida que ingresa al batch quedando esto verificado con el peso final del batch 3473.01 Kg el cual no concuerda con el peso inicial mas los litros de ácido ingresado.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 56: Resultados de la primera prueba de control pH**

Segunda prueba:

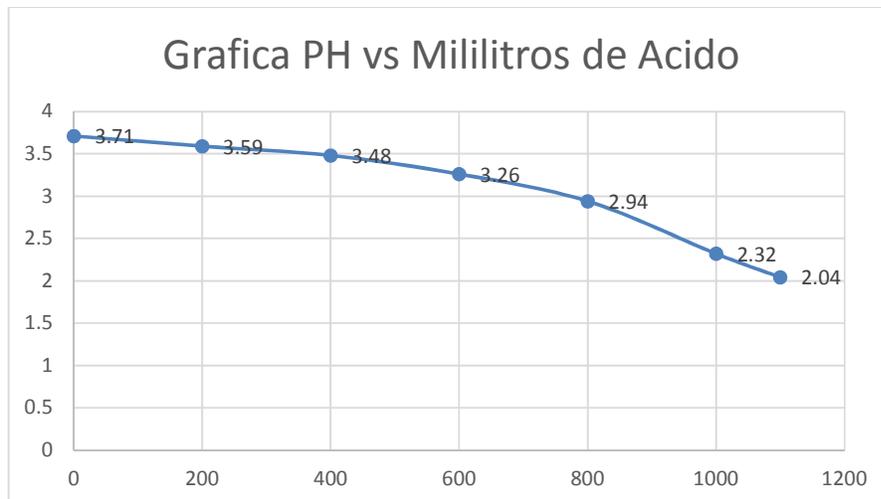
Peso Inicial = 3088 Kg

Temperatura Inicial = 95.2 °C

Tabla: Cantidad de Mililitros de Ácido y variación de pH:

Vaciado (mL)	PH
0	3.71
200	3.59
400	3.48
600	3.26
800	2.94
1000	2.32
1100	2.04

Resultados:



#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

**Figura 57: Resultados de la segunda prueba de control pH.**

Tercera prueba:

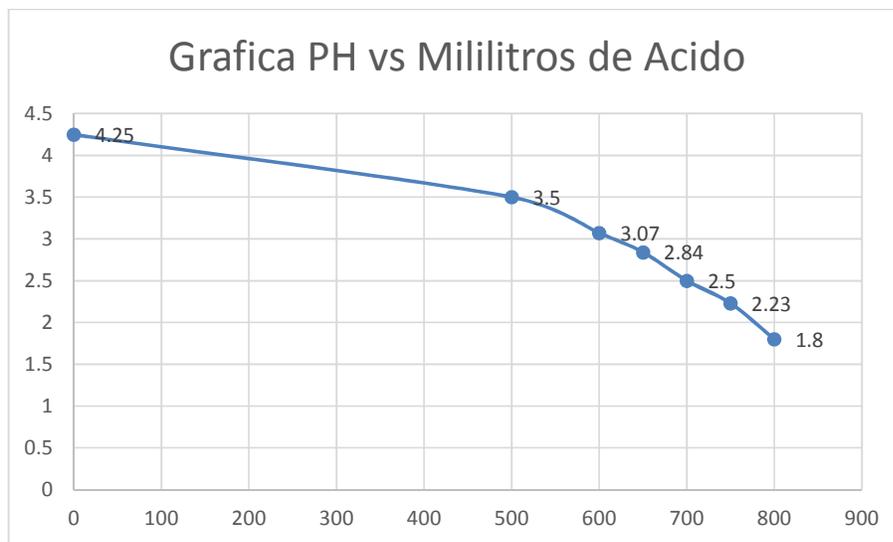
Peso Inicial = 1865 Kg

Temperatura Inicial = 93 °C

Tabla: Cantidad de Mililitros de Ácido y variación de pH:

Vaciado (mL)	PH
0	4.25
500	3.50
600	3.07
650	2.84
700	2.50
750	2.23
800	1.80

Resultados:



**Figura 58: Resultados de la Tercera prueba de control pH.**

Cuarta prueba:

Peso Inicial = 3180 Kg

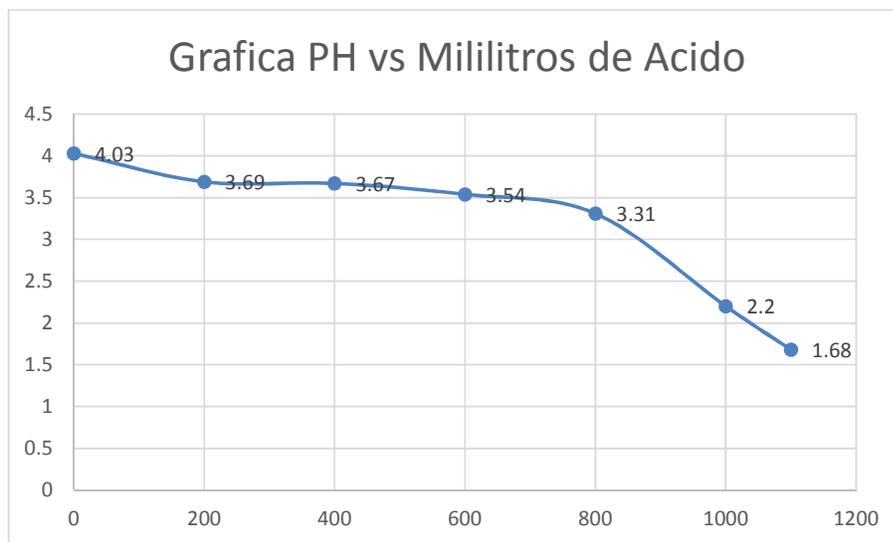
Temperatura Inicial = 94 °C

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

Tabla: Cantidad de Mililitros de Ácido y variación de pH:

Vaciado (mL)	PH
0	4.03
200	3.69
400	3.67
600	3.54
800	3.31
1000	2.20
1100	1.68

Resultados:



**Figura 59: Resultados de la Cuarta prueba de control pH.**

De todas las pruebas realizadas se puede observar que el sistema presenta diferentes respuestas a condiciones parecidas por lo cual el proceso tiene una respuesta impredecible a un leve cambio de las condiciones como: temperatura, peso e ingredientes del batch. Por lo que no se puede definir una cantidad fija de ácido nítrico para llegar al nivel de pH según la receta elegida.

Teniendo en cuenta que dentro de las recetas ah preparar en esta parte del proceso solo existe una receta que requiere la modificación del pH (1.8 de pH) de la mezcla final y todas las pruebas realizadas se detectó puntos claves con respecto al pH al que se quiere llegar.

#### **4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL**

Por lo tanto de acuerdo al Set Point de pH (pH deseado de acuerdo a la receta seleccionada) entonces se define los puntos de pH en el proceso de la siguiente manera:

- 128% Del Set Point de pH
- 110% Del Set Point de pH
- 105% Del Set Point de pH
- 100% Del Set Point de pH

Entonces si el Set Point de pH es de 1.8 se define los siguientes puntos

- 2.304 pH
- 1.980 pH
- 1.890 pH
- 1.800 pH

Teniendo en cuenta que la bomba dosificadora tiene un flujo máximo total de 26.5 litros por hora con una rango de operación máximo de 100 strokes por minuto nos da un funcionamiento de 4.4 mililitros por stroke.

Debido a las condiciones del proceso y el delicado funcionamiento de la bomba dosificado cuando el pH del batch se acerca más al pH deseado se realiza el siguiente afinamiento para llegar al pH adecuado en el proceso

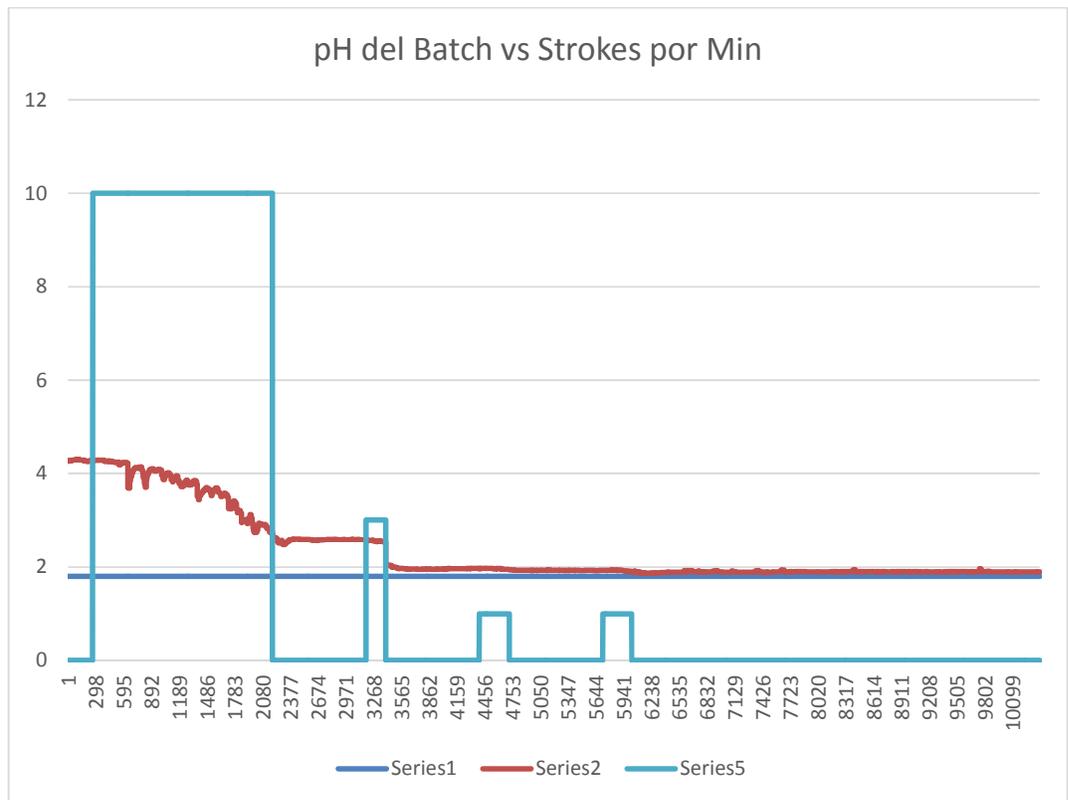
- Rango 1: < 2.304 pH = 100 Strokes/Min
- Rango 2: 1.980 pH – 2.304 pH = 30 Strokes/Min
- Rango 3: >1.980 pH = 10 Strokes/Min

De esta manera se procede a realizar la prueba en el proceso del batch teniendo como condiciones iniciales:

- Peso Inicial = 3151.26 Kg
- pH Inicial = 4.31 pH
- Temperatura Inicial = 96.30 °C

Obteniendo los siguientes resultados:

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

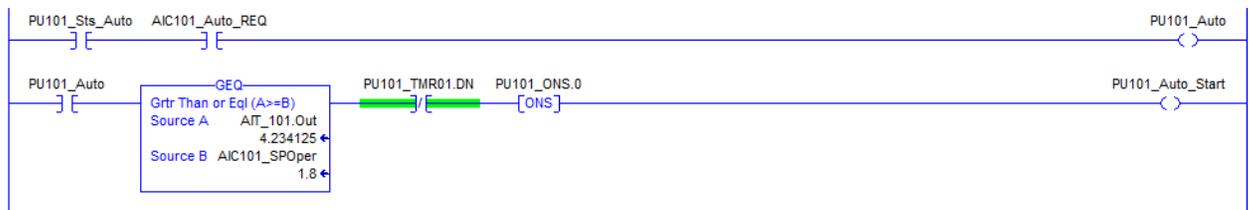


**Figura 60: Resultados del control pH.**

Control de pH	
Series 1	Set Point de pH
Series 2	pH de batch
Series 3	Strokes por min x 10

#### 4.3.2. Diseño del control de pH.

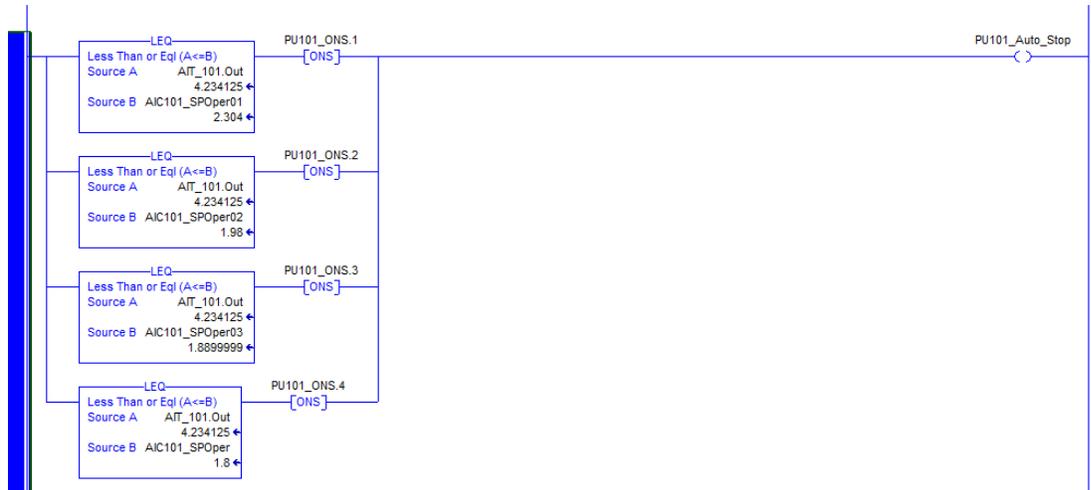
Definido el modelo de control de acuerdo al análisis se procede a realizar la programación.



**Figura 61: Arranque Automático de la bomba Dosificadora.**

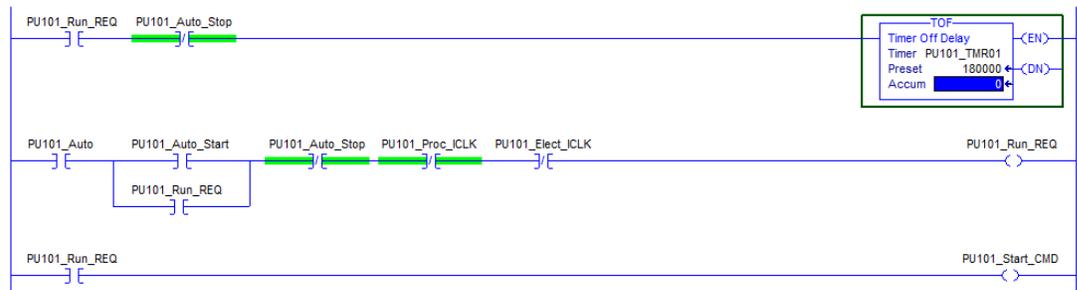
Tal como muestra la Figura 61 el arranque automático de la bomba dosificadora se activa cuando la secuencia en el proceso automático lo requiera y el pH de la mezcla se encuentre por encima del pH solicitado en la receta.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 62: Stop Automático de la bomba Dosificadora.**

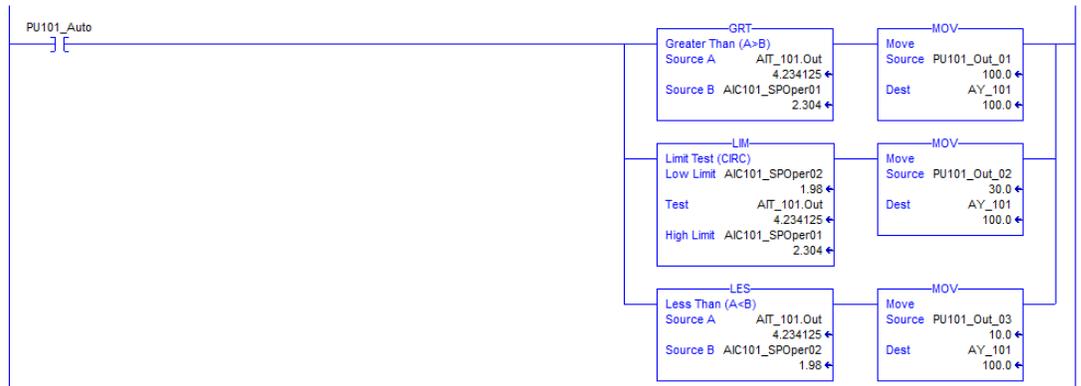
Se define los puntos de operación de acuerdo al set point 1.8 pH que intervienen en el stop automático de la bomba dosificadora como muestra la figura 62, de tal manera que cuando el pH del batch llegue a un punto de operación procede a detener la bomba y espera 3 minutos para homogenizar la mezcla y evaluar nuevamente si es que le falta dosificar ácido nítrico llegar sucesivamente un punto de operación menor, hasta llegar al pH según la receta (1.8 pH).



**Figura 63: Tiempo de espera – comandos de arranque.**

En la figura 64 muestra el temporizador de 3 minutos entre arranques de la bomba dosificadora y también la programación del enclavamiento para el accionamiento de la bomba de acuerdo a los comandos de arranque y parada automáticos.

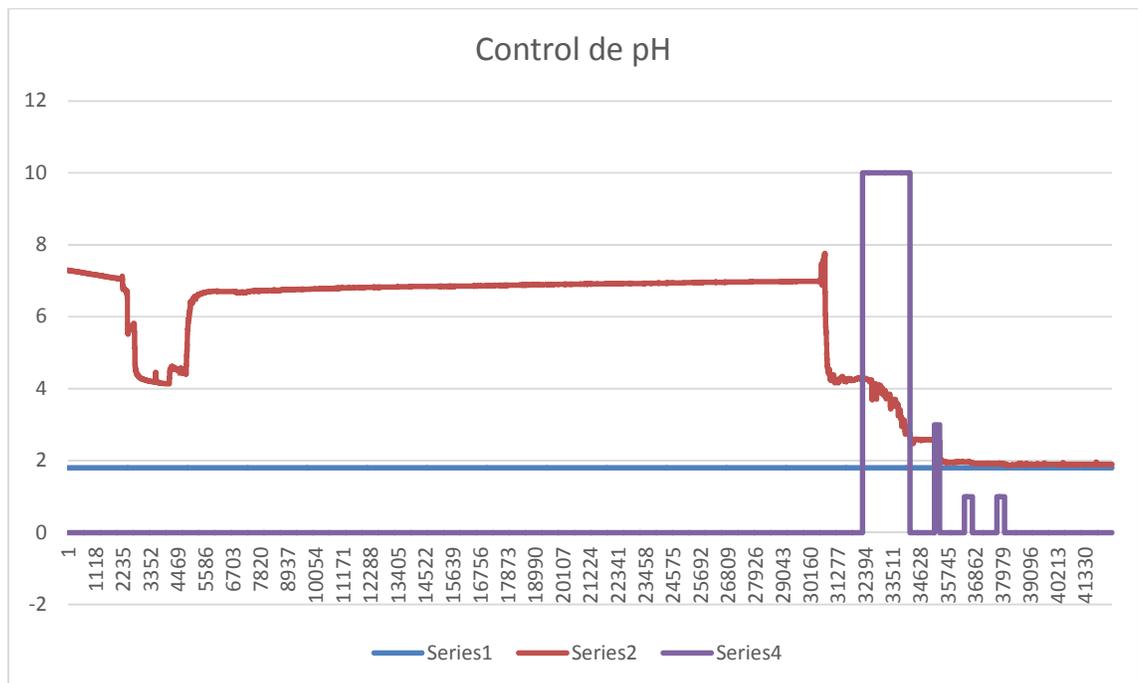
#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 64: Programación de Rangos – Strokes/Min**

Tal como se explicó en la determinación del modelo de control sobre la regulación de los strokes por minutos de la bomba dosificadora cuando el ph del batch se acerque al pH de la receta se realizó la programación tal y como muestra la figura 64.

De acuerdo a la programación realizada en el controlador se procedió a realizar las pruebas de control obteniendo los siguientes resultados:



**Figura 65: Resultados del control de pH**

Control de pH	
Series 1	Set Point de pH
Series 2	pH de batch
Series 3	Strokes por min x 10

### 4.4. SISTEMA SCADA

Se define a un SCADA como un sistema que permite supervisar una planta o proceso por medio de una estación central que hace de Master (llamada también estación maestra o unidad terminal maestra, MTU) y una o varias unidades remotas (generalmente RTUs) por medio de las cuales se hace el control / adquisición de datos hacia / desde el campo.

En nuestro caso es solo administración de datos de los procesos, no involucra nada de control. A continuación explicaremos como ingresar a la aplicación.

#### 4.4.1. Pantalla del Escritorio



**Figura 66: Pantalla del Escritorio.**

En la figura 66, muestra el escritorio de la consola en donde se encuentra la aplicación de Supervisión que tiene por nombre EXSA cuya extensión es en .cli de acuerdo a sus propiedades. Esta aplicación fue generada por FactoryTalk View SE v8.1.

#### 4.4.2. Pantalla de Menú Principal



## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

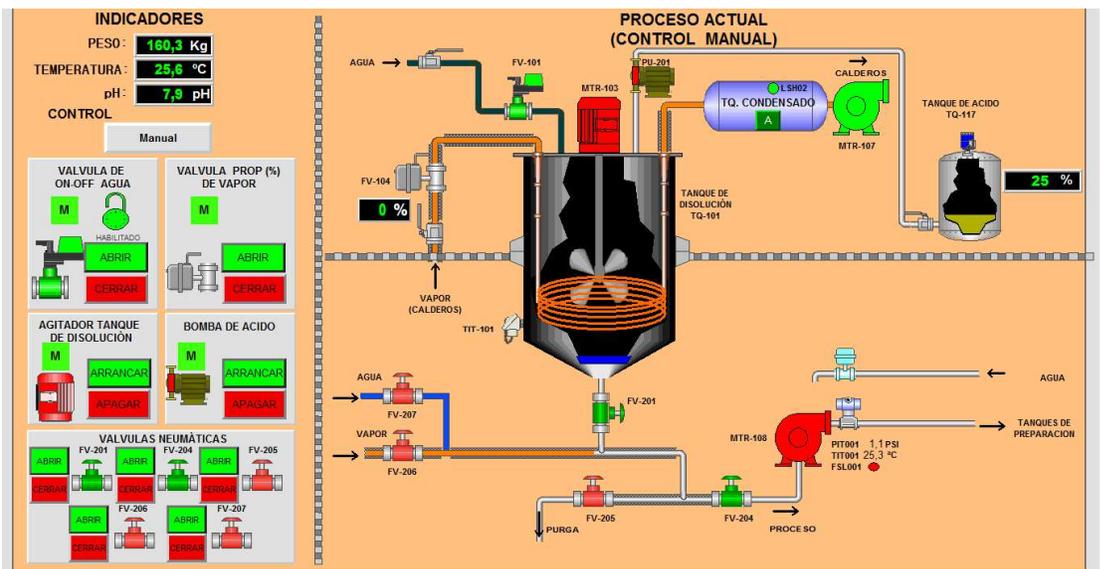
**Figura 67: Pantalla de Menú Principal.**

En la pantalla principal (figura 47) se logra visualizar una presentación de la empresa y en la parte superior un banner con clasificación de las pantallas de Supervisión.

El banner se encuentra seleccionada en la pantalla principal, para ingresar hacemos click sobre el nombre a entrar.

Este banner cuenta con la selección del Módulos 2 que se encuentra dividida en 4 procesos: Plataforma de Solución que es donde se ejecuta nuestro proyecto, Plataforma de Filtrado, Plataforma de Preparación, Modulo de preparación y otros procesos como Rotaclip 1, Silos, Monitoreo de tendencias, Alarmas y horómetros.

### 4.4.3. Pantalla de Plataforma de Solución



**Figura 68: Pantalla de Plataforma de Solución.**

En la pantalla de “Plataforma de Solución” (figura 68) se puede observar en la parte señalizada de verde, un indicador de peso con unidad en Kg, un indicador de temperatura con unidad en °C y un indicador de Acides con unidad en pH, estos indicadores muestran los parámetros de la masa en cada tanque de disolución, se encuentran provistos en cada tanque; se considera un punto decimal por cada indicador para tener una lectura más precisa.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

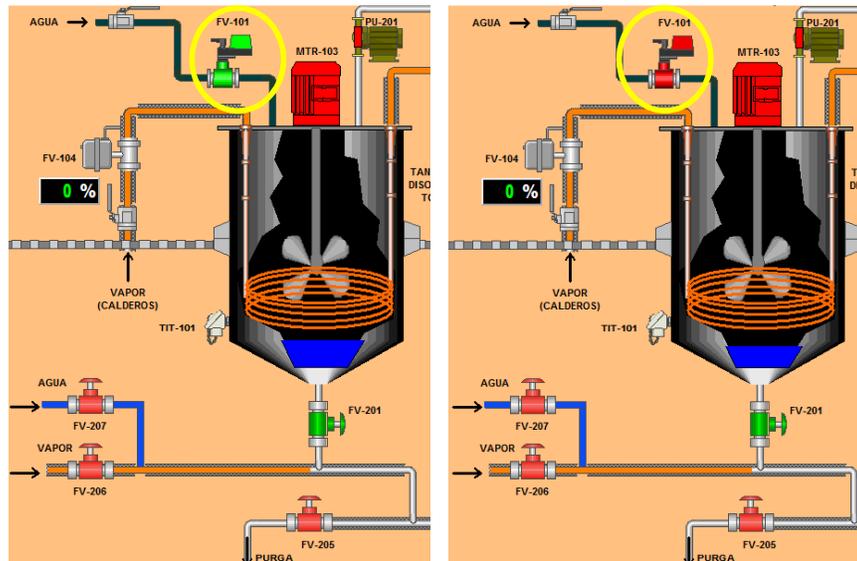


Figura 69: Válvula de agua.

En la figura 69 se muestra la válvula de Agua, solo es una visualización de estado, cambiando de color de acuerdo al estado en el que se encuentra, el color (VERDE) indica que la válvula está abierta y el color (ROJO) es porque se cerró completamente el suministro de agua al tanque.

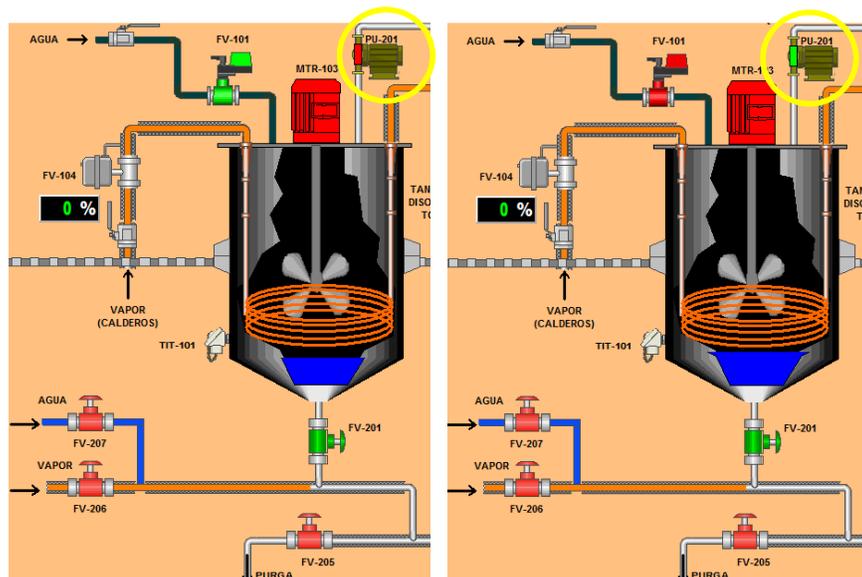


Figura 70: Bomba dosificadora.

En la figura 70, se marcan de amarillo la bomba dosificadora de Acido, esta se abastece del tanque de Ácido y suministran al tanque de disolución con la finalidad de bajar el pH de la masa hasta un parámetro establecido

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

por una receta seleccionada por el operador, esta receta se encuentra en el HMI de tablero RIO03.

La visualización del funcionamiento de las dosificadoras se da por el cambio de color (ROJO) a (VERDE) para entender que se está dosificando.

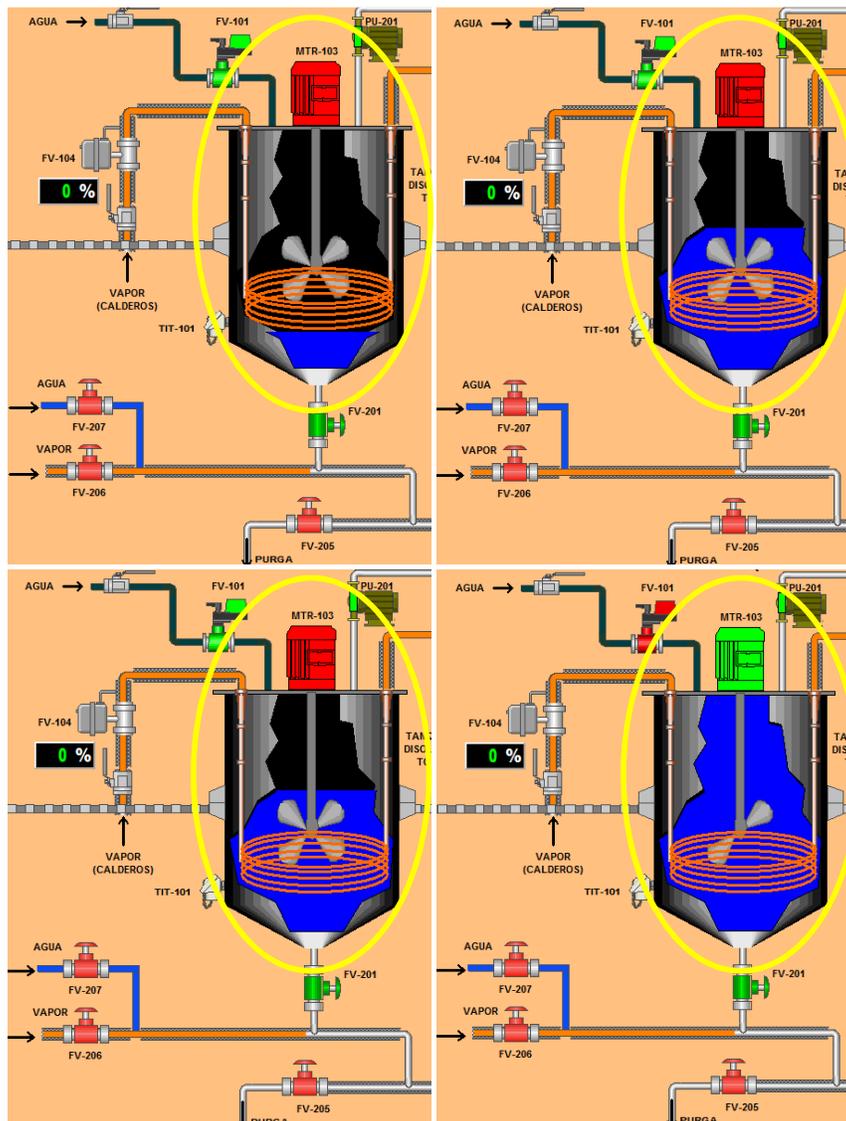


Figura 71: Tanque de disolución.

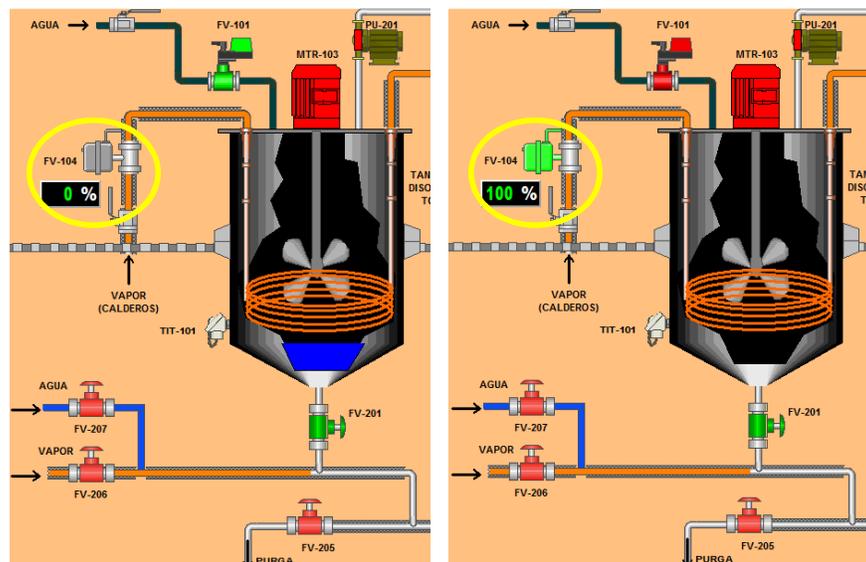
En la figura 71, el Tanque de disolución existen 3 animaciones que a continuación se declaran:

- Animación del motor (Agitador) cambia de color de acuerdo al funcionamiento, el color (ROJO) indica que el agitador no se

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

encuentra en funcionamiento y si se encuentra de color (**VERDE**) refiere que está agitando la mezcla.

- b) Las paletas que salen del eje del motor tiene la animación de movimiento, tiene la apariencia de un movimiento giratorio cuando el motor está en funcionamiento (**VERDE**), y se encuentran estáticas cuando el motor deja de funcionar (**ROJO**).
- c) El tanque tiene animación de nivel de acuerdo al peso que marca el indicador, mientras aumentas el peso la animación de color azul va elevándose dando la apariencia que el tanque se está llenando de mezcla o agua.

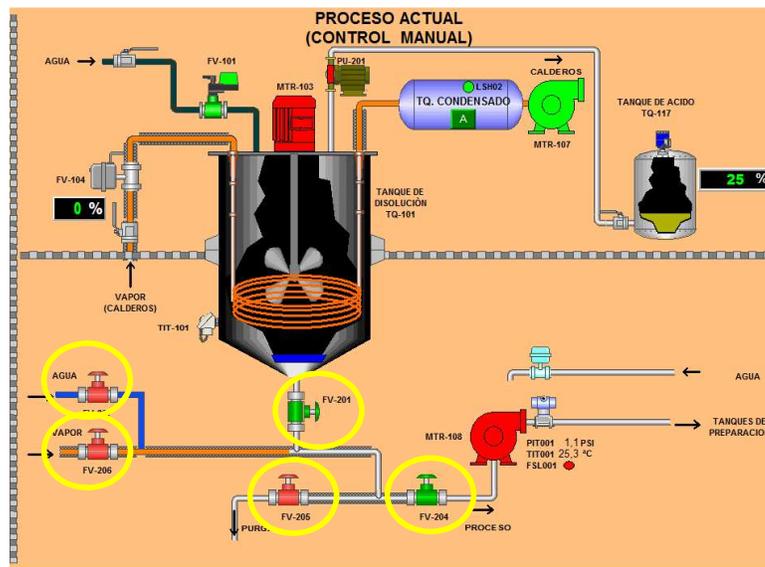


**Figura 72: Animación de válvulas de vapor.**

La figura 72, muestra la animación de la válvula proporcional de vapor; cambian de color de acuerdo al estado de la válvula, (**ROJO**) indica 0% de apertura y el color (**VERDE**) muestra la válvula abierta por más del 1% de apertura.

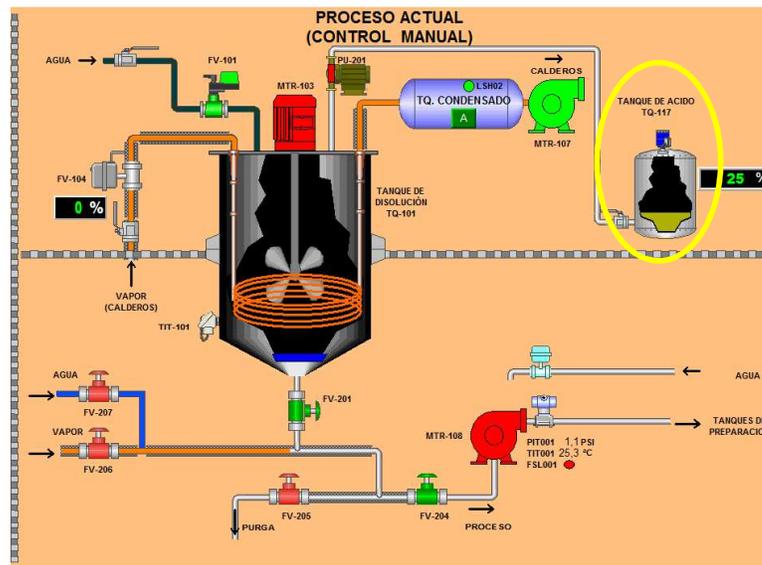
También se cuenta con un indicador del porcentaje de apertura de cada válvula en un rango de 0 a 100%.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 73: Animación de válvulas de neumáticas.**

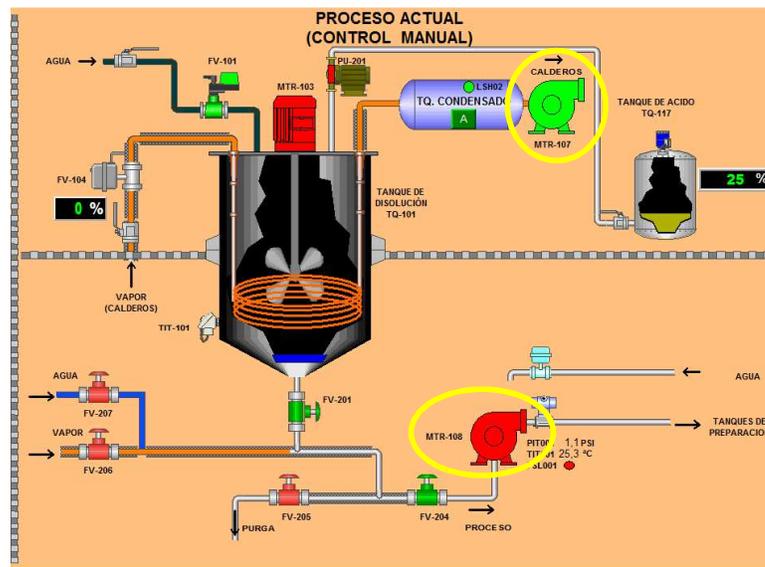
La figura 73, muestra la animación de las válvulas neumáticas, el funcionamiento de cada válvula es, en estado abierto (**VERDE**) y estado cerrado (**ROJO**).



**Figura 74: Animación del nivel en el tanque de ácido.**

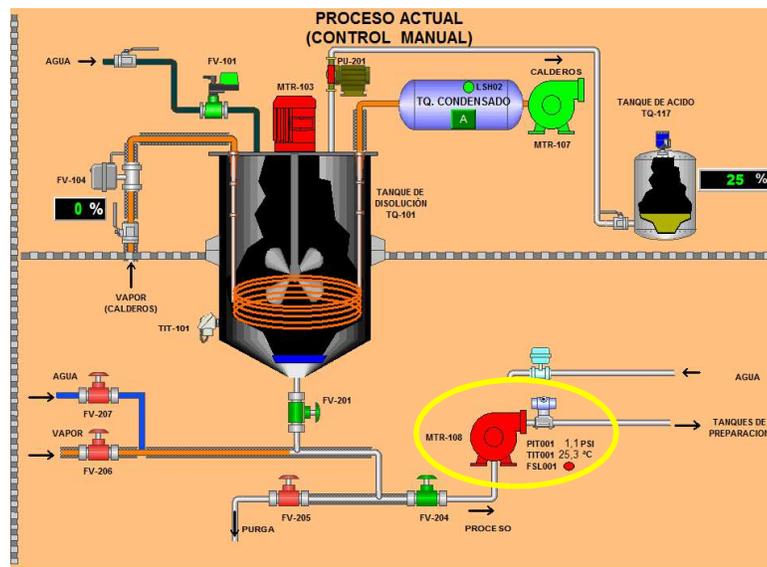
En la figura 74, el tanque de Acido muestra animación de nivel de acuerdo al porcentaje que muestra el indicador, la animación es color **AMARILLO**.

#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 75: Animación de las bombas de condensado y oxidante.**

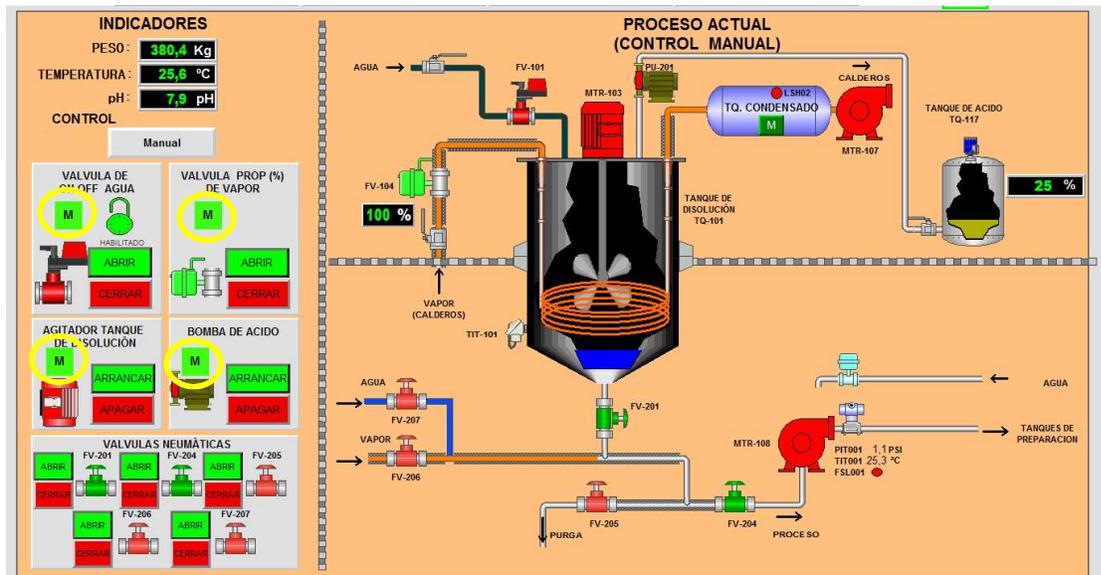
En la figura 75, las bombas de condensado y oxidante muestra animación de color de acuerdo a su funcionamiento el (ROJO) como se refiere anteriormente muestra bomba apagada y el color (VERDE) muestra funcionamiento de la bomba.



**Figura 76: Indicadores de la bomba oxidante.**

En la figura 76 muestra indicadores que pertenecen a la Bomba Oxidante, estos son de presión (PIT001) en unidad de PSI y temperatura (TIT001) en unidad de °C y activación del Switch de Flujo (FSL001).

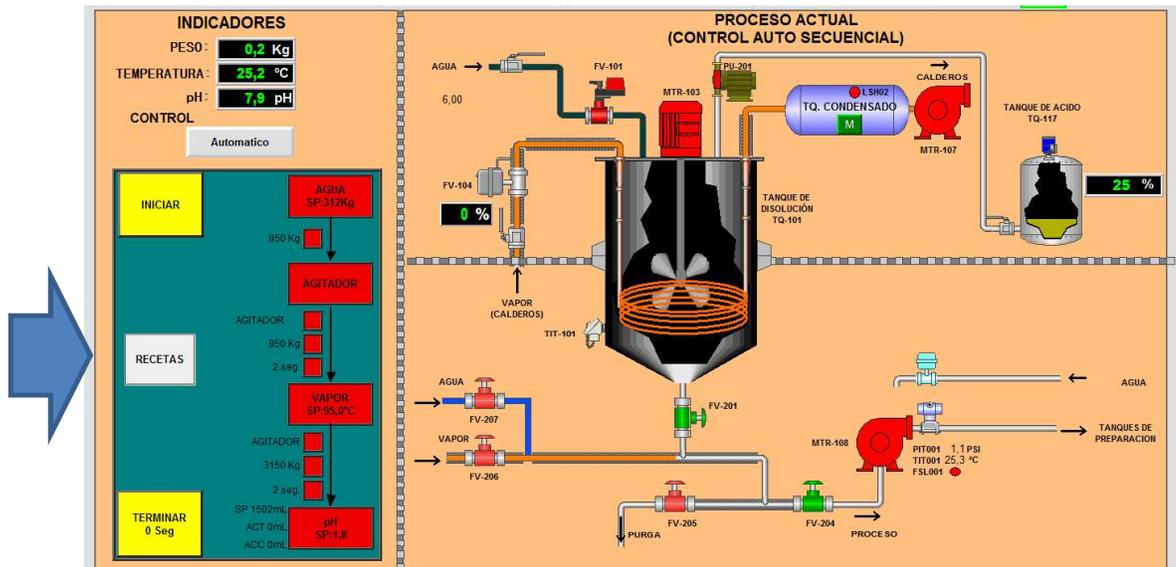
#### 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL



**Figura 77: Preparación del Batch en modo Manual.**

En la figura 77 es un indicador que muestra dos opciones (M) o (A), donde la letra (M) hace referencia que la preparación de batch está en modo MANUAL, Cuando se esté ejecutando en automático mostrara la letra (A), para el avance en la preparación se tiene que pasar por una secuencia (etapas) ya elaboradas.

Se muestra a continuación las etapas por las que debe pasar la preparación para obtener el batch.



**Figura 78: Secuencia de Preparación del Batch en modo Automático.**

4.4.4. Pantalla de Alarmas

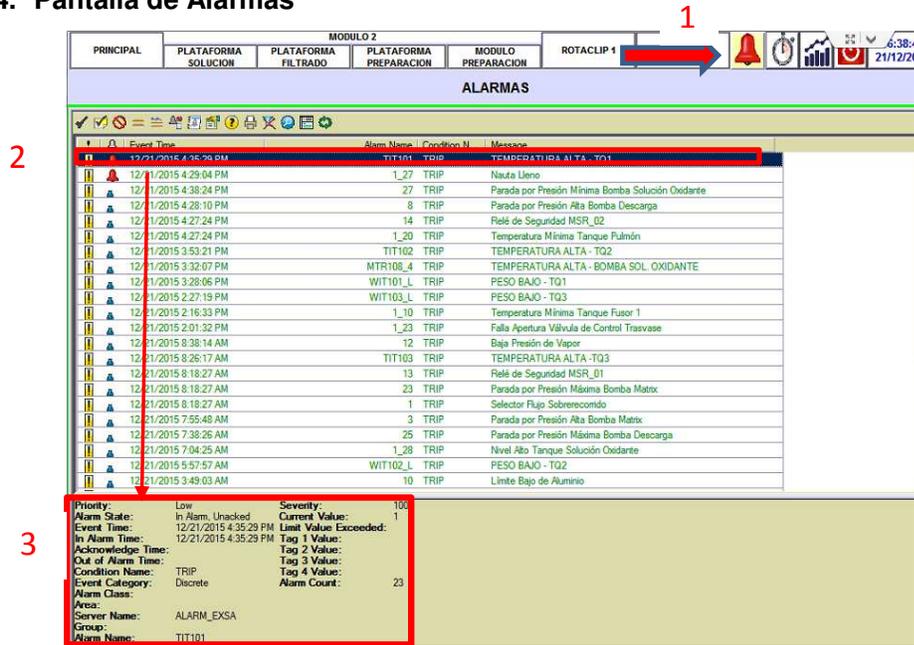


Figura 79: Pantalla de Alarmas.

La figura 79 está dedicada a las alarmas:

1. La Imagen de la campana “blinkea” cuando se presenta una alarma, si se encuentra en otra pantalla la animación se va a visualizar, solo seleccionamos el icono y nos direccionara a la pantalla de alarmas.
2. Si seleccionamos la alarma con un clic en la parte inferior mostrará datos.
3. Datos pertenecientes a la alarma seleccionada como Nombre de alarma, fecha, hora, etc.

4.4.5. Pantalla de Horómetros

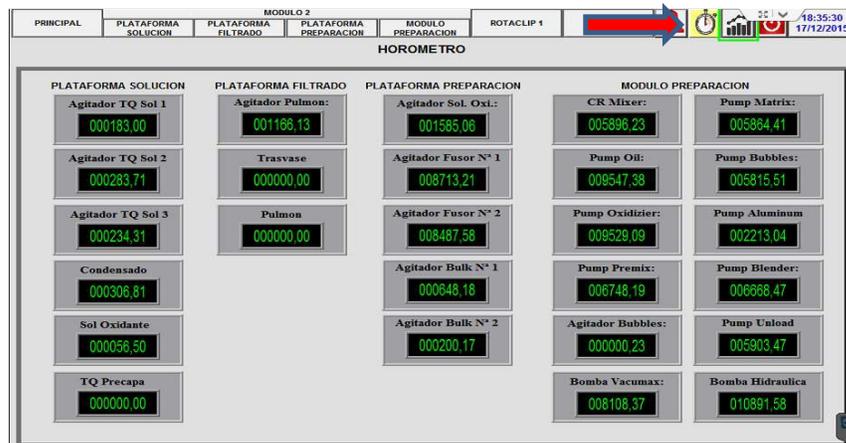


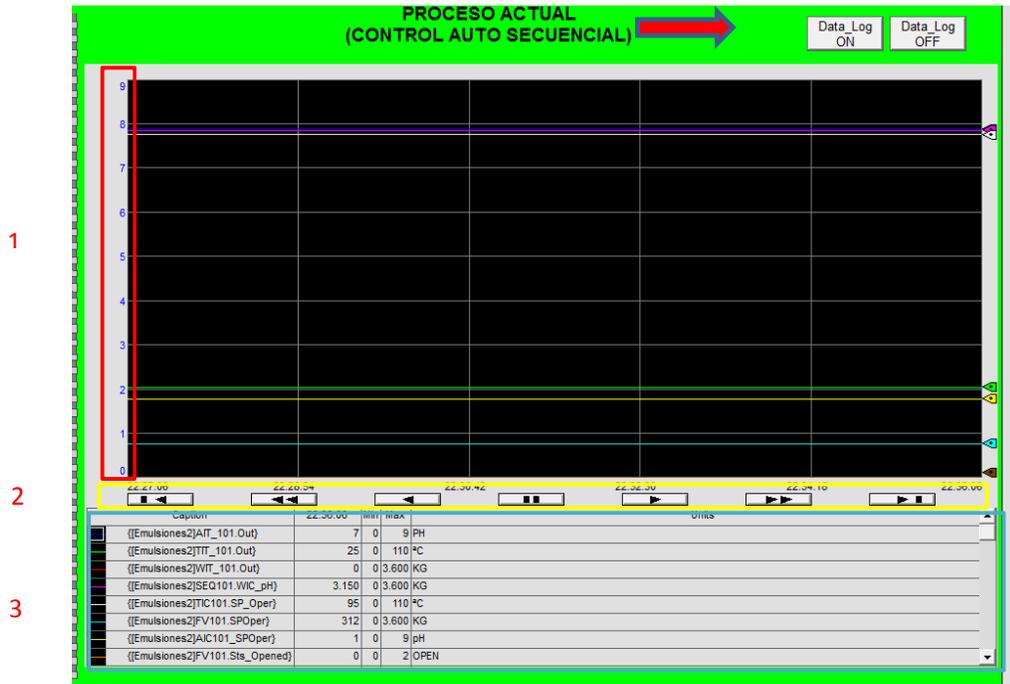
Figura 80: Pantalla de Horómetros.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

En la figura 80 se muestra indicadores de horas de funcionamiento de cada motor.

Si damos click al icono de un reloj que se muestra en la parte superior nos dirige a la pantalla de horómetros.

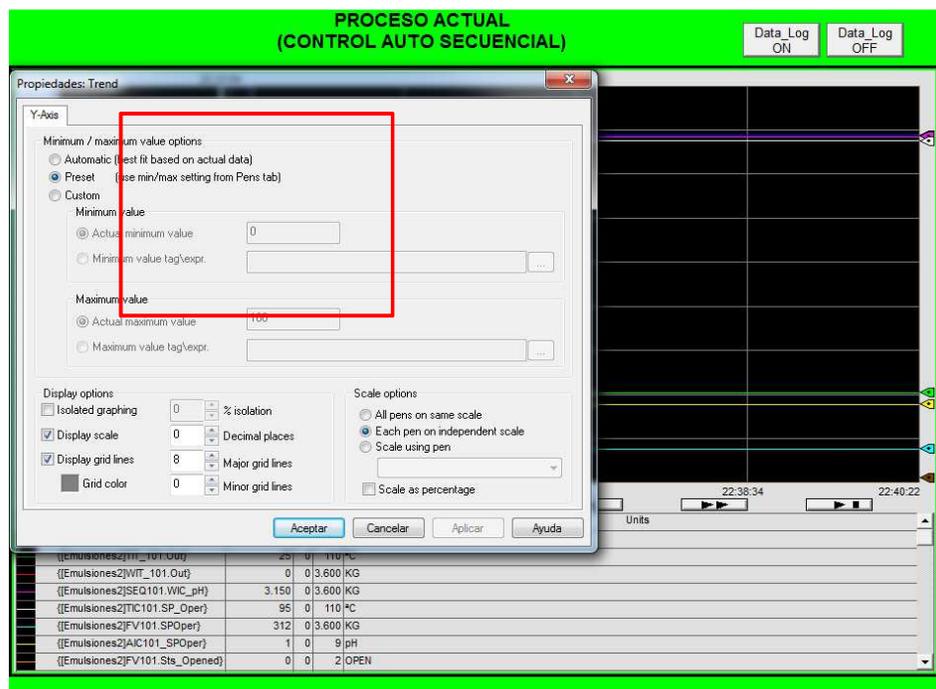
### 4.4.6. Pantalla de Tendencias



**Figura 81: Pantalla de Tendencias.**

En la figura 81 Si le damos clic en el icono de tendencias nos direcciona a la pantalla de tendencias.

1. Si le damos doble clic en la barra de escala nos abre una pantalla de propiedades (Propiedades: Trend – Y Axis) para nosotros escalar y colocar un valor mínimo y un valor máximo y le aplicamos ACEPTAR como muestra la figura 82.



**Figura 82: Trend Properties – Y Axis.**

2. El cuadro seleccionado de amarillo tiene una botonera para poder retroceder a una hora o fecha establecida para poder visualizar el comportamiento de la gráfica.
3. Si queremos cambiar de pen para visualizar otra grafica damos doble clic en el nombre y se abrirá una ventana (Trend Properties - Pens). En esa pantalla se puede seleccionar otro tag como puede ser pH (AIT), Temperatura (TIT) o Peso (WIT) del tanque 1, 2 o 3 solo cambias de **OFF** a **ON** y también se podría cambiar el color del pen. Como se muestra en la figura 83.

## 4. DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL

PLATAFORMA DE PREPARACION - EXPLOSIVOS EXSA
22:43:05  
16/02/2017

TK-Disolucion-Manual
TK-Disolucion-Auto
TENDENCIAS DEL CONTROL SECUENCIAL

PROCESO ACTUAL  
(CONTROL AUTO SECUENCIAL)

Data\_Log ON
Data\_Log OFF

Propiedades: Trend
✖

Pen Attributes						
	Tag\Expr.	Model	Color	Visible	Width	Type
1	{Emulsiones2}AIT_101.Out	SECUENCIA	Blue	On	1	Analog
2	{Emulsiones2}TIT_101.Out	SECUENCIA	Green	On	1	Analog
3	{Emulsiones2}WIT_101.Out	SECUENCIA	Red	On	1	Analog
4	{Emulsiones2}SEQ101 WIC_pH	SECUENCIA	Magenta	On	1	Analog
5	{Emulsiones2}TIC101.SP.Oper	SECUENCIA	Cyan	On	1	Analog
6	{Emulsiones2}FV101.SP.Oper	SECUENCIA	Blue	On	1	Analog
7	{Emulsiones2}AIC101.SP.Oper	SECUENCIA	Green	On	1	Analog
8	{Emulsiones2}FV101.Sts.Opened	SECUENCIA	Orange	On	1	Analog
9	{Emulsiones2}FY_101	SECUENCIA	Green	On	1	Analog

Pen Source: Tag (Live Data)
Add Pen(s)...
Delete Pen(s)

Multiple Pen Edits							
Visible	Width	Type	Style	Marker	Min	Max	Eng. Units

Clear Selections
Apply to Selected Pen(s)

Aceptar
Cancelar
Aplicar
Ayuda

{Emulsiones2}TIT_101.Out	25	0	110	FC
{Emulsiones2}WIT_101.Out	0	0	3,600	KG
{Emulsiones2}SEQ101 WIC_pH	3.150	0	3,600	KG
{Emulsiones2}TIC101.SP.Oper	95	0	110	FC
{Emulsiones2}FV101.SP.Oper	312	0	3,600	KG
{Emulsiones2}AIC101.SP.Oper	1	0	9	pH
{Emulsiones2}FV101.Sts.Opened	0	0	2	OPEN

**Figura 83: Trend Properties – Pens.**

---

# RESULTADOS

---

## CAPITULO V

5.1. RESULTADOS

Aplicando los diferentes métodos de control para el peso, la temperatura y el pH del batch dentro del control secuencial en la optimización de la preparación de mezcla de explosivos en un tanque de disolución se obtiene los siguientes resultados.

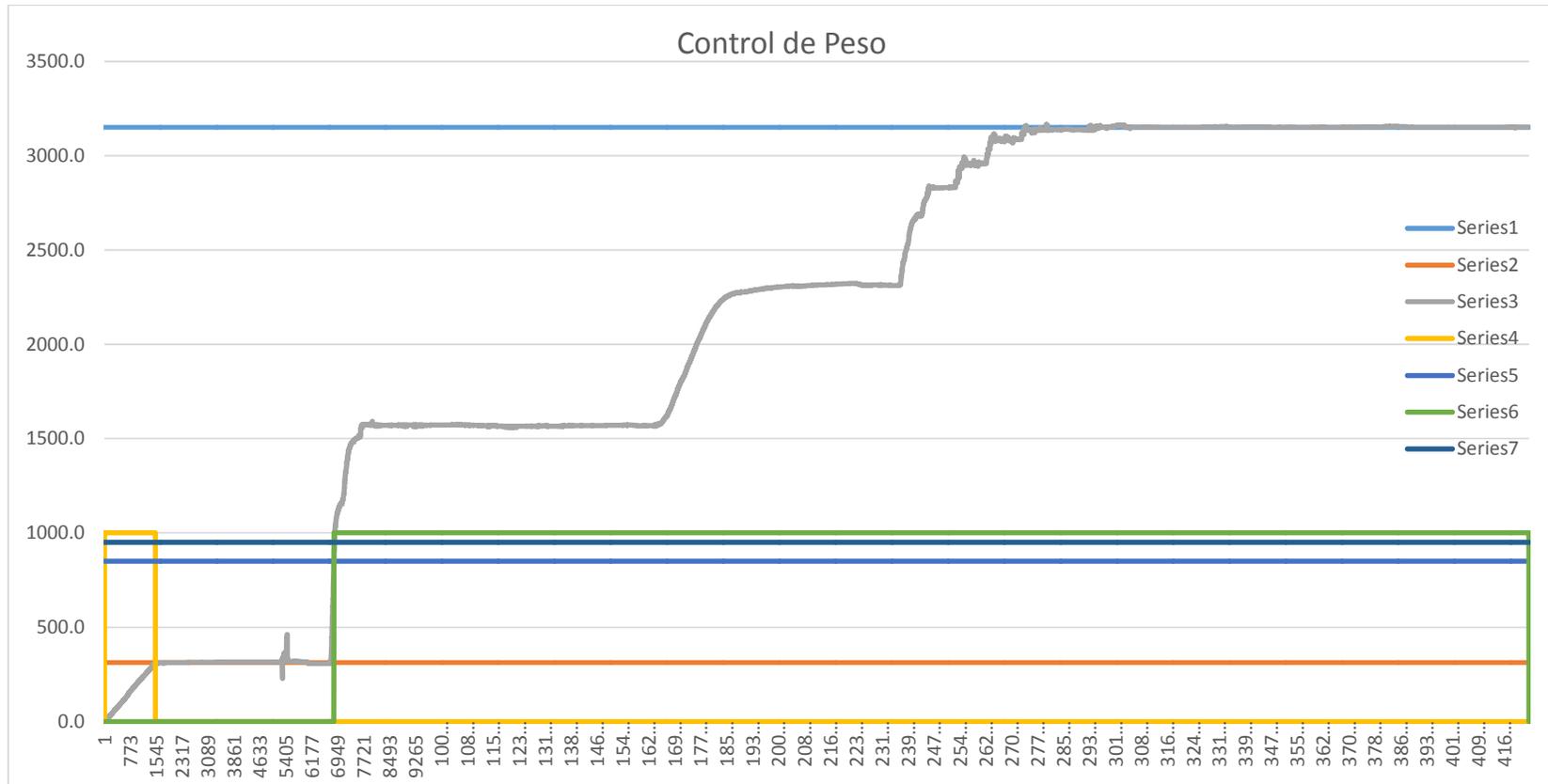


Figura 84: Resultados del control de peso en la elaboración de un Batch en modo automático.

Control de pH	
Series 1	Set Point de Peso del batch
Series 2	Set Point de Peso de Agua
Series 3	Peso del batch
Series 4	Activación de la Válvula de ingreso de agua
Series 5	Set Point de peso para Activación de Agitador
Series 6	Activación de Agitador
Series 7	Set Point de peso para Activación de Control de Temperatura



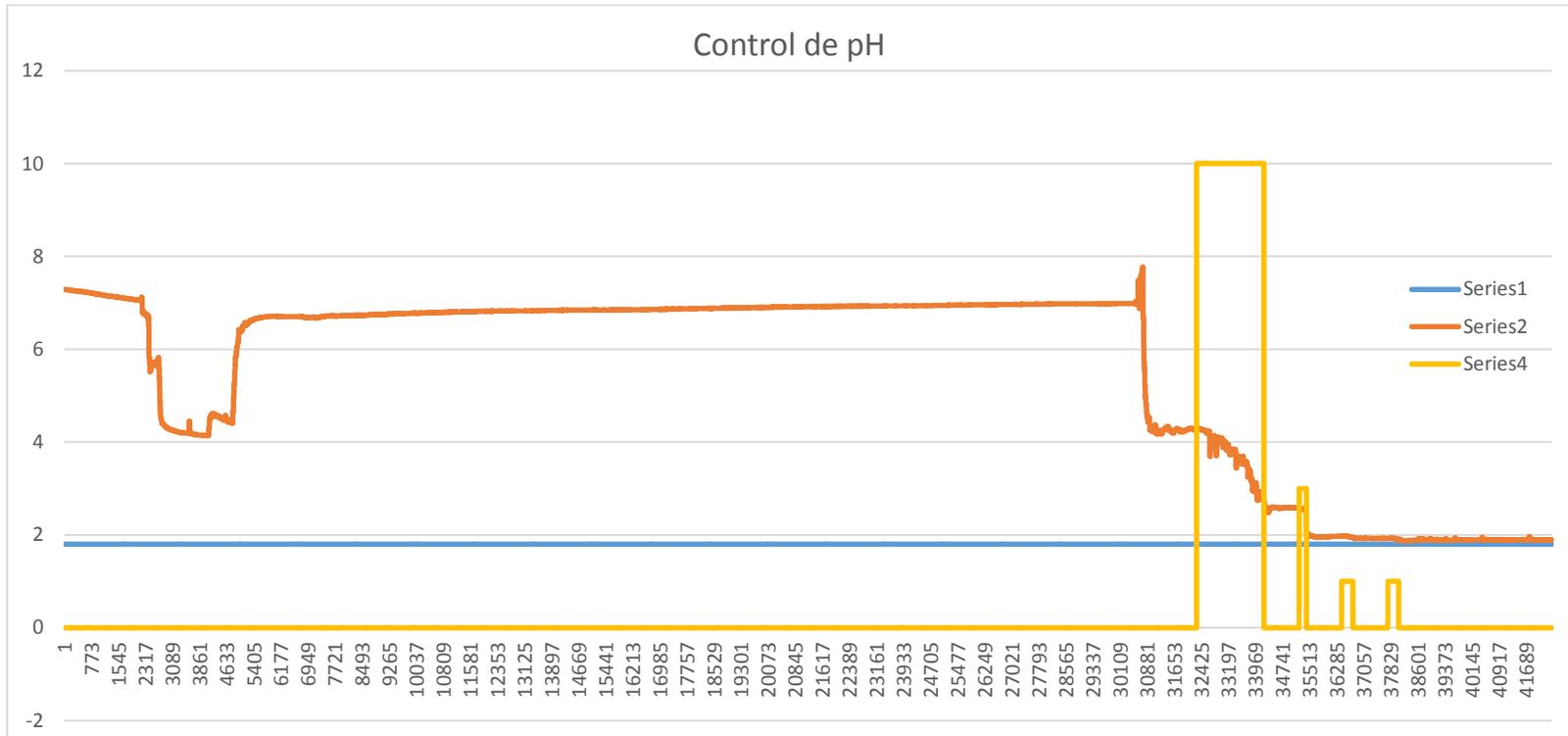


Figura 86: Resultados del control de pH en la elaboración de un Batch en modo automático.

Control de pH	
Series 1	Set Point de pH
Series 2	pH del batch
Series 3	Activación de Bomba de Acido
Series 4	% de Pulsos por minutos /10

### NOTA:

El batch preparado tuvo comienzo a las 15h10min11seg y finalizado a las 16h20min53seg teniendo una duración de 1 hora con 10 minutos aproximadamente en donde se tomó muestras cada 6 ms de todas variables que intervienen en la preparación del batch pudiendo comprobar el funcionamiento del sistema de control secuencial en un proceso donde se aplica de manera secuencial diferentes tipos de control como son:

- ✓ Control de Peso del Batch.
- ✓ Control de Temperatura del Batch.
- ✓ Control de pH del Batch.

Los resultados se obtuvieron a través de software historiador de datos que permitieron la captura de estos, pero también dentro del sistema de supervisión (Scada) en la pantalla de tendencia se pudo verificar a través de una gráfica el funcionamiento de las variables controladas dentro de la preparación del batch con el control secuencial tal y como muestra la figura 87.

La figura 88 muestra la pantalla del proceso finalizado la secuencia de control con el batch preparado de acuerdo a la receta seleccionada, en este caso se utilizó la receta donde este necesario modificar el pH de la mezcla preparada, pudiendo de esta manera realizar y comprobar el funcionamiento de los controles en la secuencia.

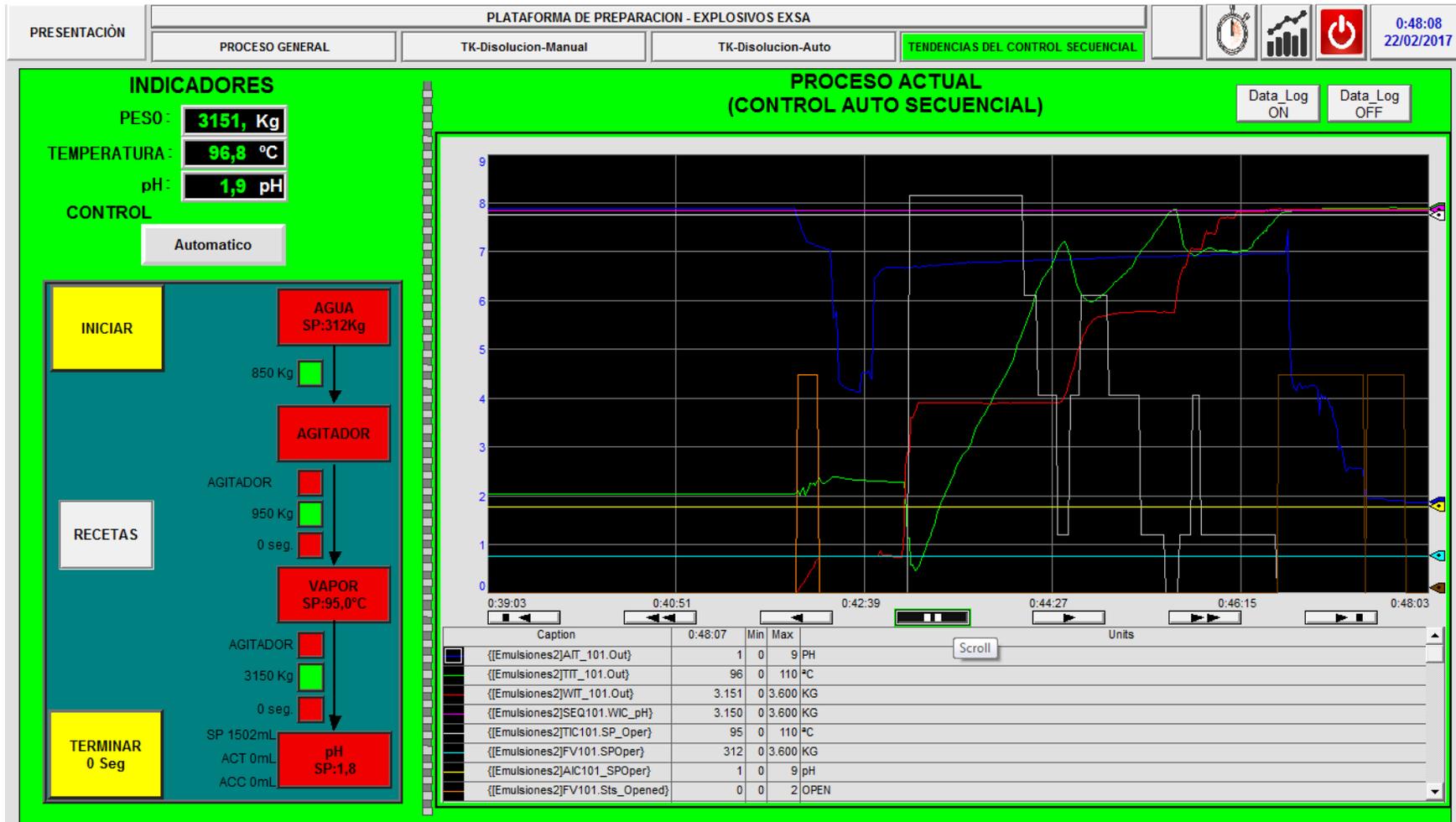


Figura 87: Resultados del control secuencial en la elaboración de la mezcla para explosivos en el tanque de disolución.

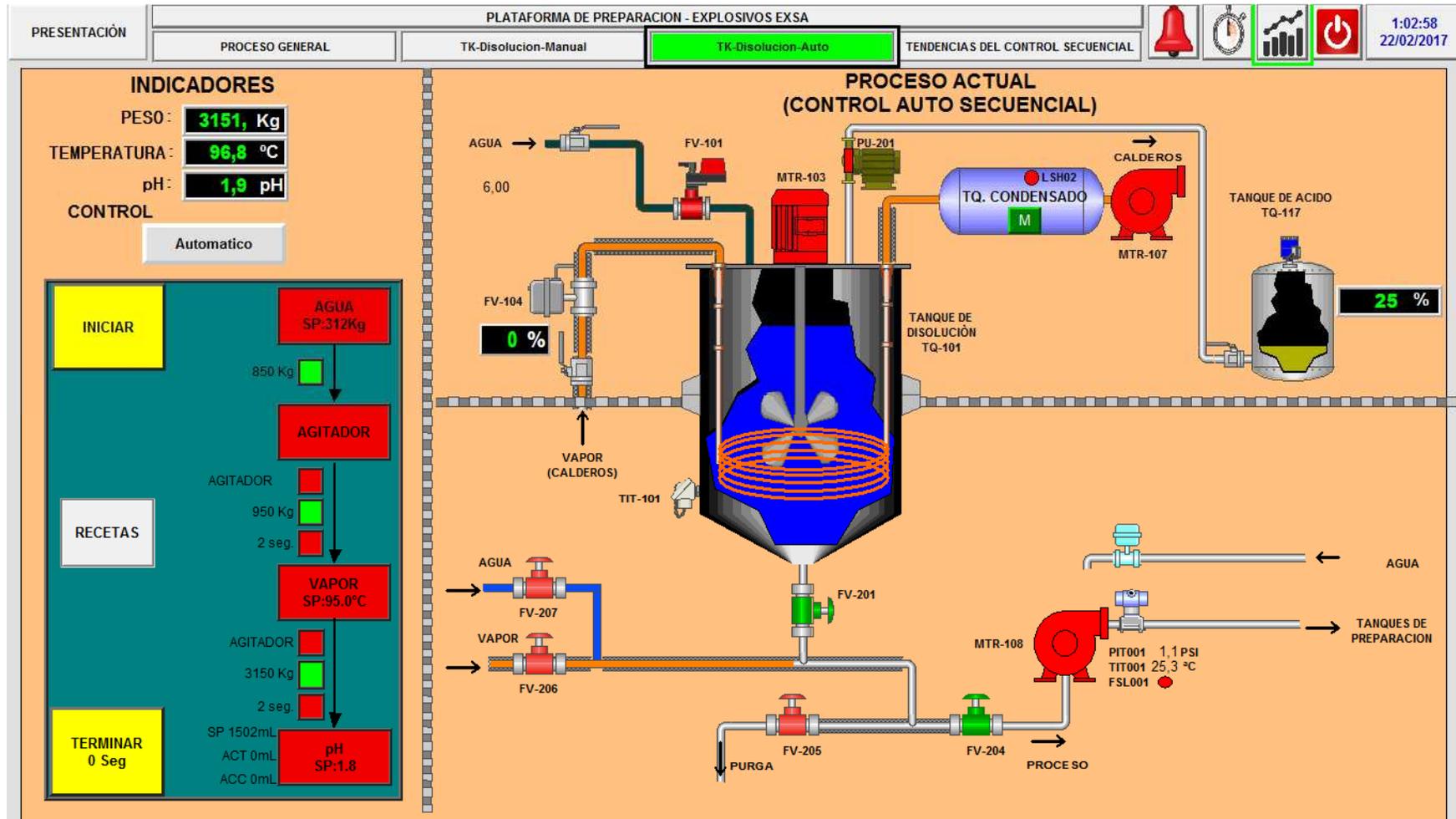


Figura 88: Scada del control secuencial en la elaboración de la mezcla para explosivos en el tanque de disolución.

---

# **BIBLIOGRAFÍA**

---

**7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Ing. Mario Alberto Pérez e Ing. Analía Pérez Hidalgo, Introducción a los sistemas de control y modelo matemático de sistemas lineales invariantes en el tiempo.

<http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>

[2] O. Katsuhiko, Ingeniería de Control moderna 5ta Edición.

[3] Elena López Guillen, Identificación de sistemas.

<http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/32328/Tema6.pdf>

[4] ADASOFT, Procesos Batch.

<http://migracionxp.adasoft.es/es/products/procesos-batch>

[5] Ingeniería, control y temperatura SA, Fabricación de RTD Pt 100.

[http://icytsa.com.mx/1976378\\_FABRICACION-DE-RTDS--PT-100.html](http://icytsa.com.mx/1976378_FABRICACION-DE-RTDS--PT-100.html)

[6] Ing. Álvaro Bustos, Nociones de instrumentación industrial.

<http://instrumentacionbustos.blogspot.pe/2008/09/sensores-de-temperatura.html>

[7] Dosinda Gonzáles-Mendizábal, Guía de intercambiadores de calor: Tipos generales y aplicaciones

<http://es.slideshare.net/yumardiaz/intercambiadores-decalortiposgeneralesyaplicacionesc>

[8] Néstor paredes, José Luis Quisintuña, Alejandra Riobamba, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de mantenimiento termodinámica, Paguay – Ecuador 2012.

<http://es.slideshare.net/kof2002plus/termodinmica-intercambiadores-de-calor>

[9] Thelma Diego Sánchez, Proyecto de calibración.

<http://proyectedecalibracion.blogspot.pe/2011/12/ph-metro.html>

[10] Enrique Mandado Pérez, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernández Silva, Autómatas programables y sistemas de automatización.

[11] Javier Barragán Piña, Ethernet.

[12] National Instruments, Comunicación serial: Conceptos generales.

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>

[13] Wikipedia, OPC.

---

# **ANEXOS**

---

## Anexo A

### *Trasmisor Indicador de pH - FOXBORO 875PH*



El Analizador de PH modelo FOXBORO 875 PH es un analizador avanzado que integra todas las características necesarias para el análisis del PH, combinado una extrema sencillez de uso.

Como características estándar incorpora dos salidas de alarma de tipo relé y dos salidas analógicas del tipo 4...20mA y como opcional la comunicación con protocolo HART. Está disponible en versiones con caja plástica para montaje en panel y con caja metálica para montaje en campo NEMA 4X e IEC IP65.

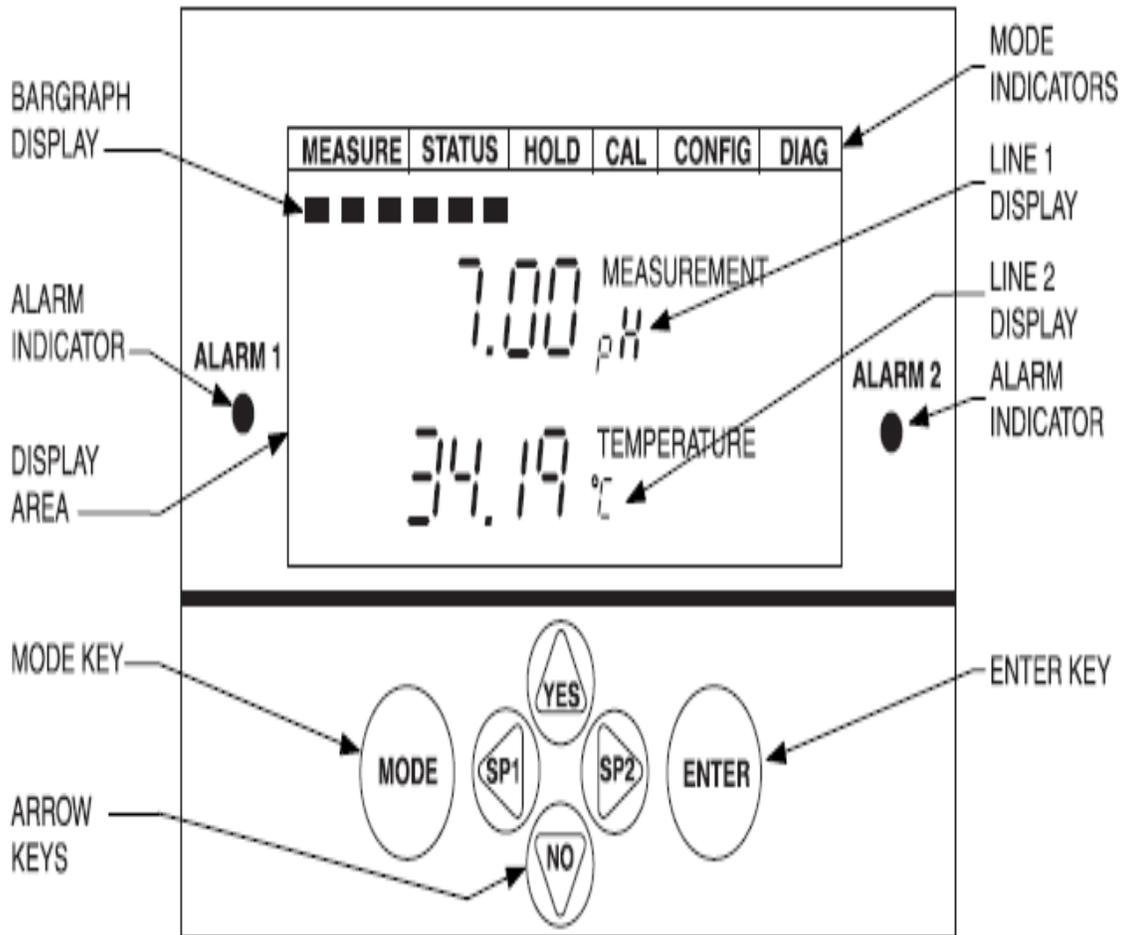
#### **Características principales:**

- Facilidad de Uso
- Comunicación RS-232 y opcional HART
- Doble salida 4-20 mA y doble salida de relé para alarmas
- Auto reconocimiento del Buffer para una perfecta calibración del PH
- Compatible con un amplio rango de sensores incluidos versiones con y sin pre-amplificador integrado
- Único equipo analizador para aplicaciones de PH
- Montaje en panel o en campo
- Histórico de registros de hasta 100 eventos con estampación de la fecha y hora del evento
- Auto-servicio remoto de limpieza y calibración del sensor
- Diagnóstico del sensor y del analizado

**Human Interface:**

El interfaz humano local permite la configuración, calibración, el estado y ubicación de la falla, sin la necesidad de un terminal de mano. Esta interfaz se compone de indicadores MODE, un área de visualización de 2 líneas, una pantalla gráfica de barras, dos indicadores de alarma, MODE y ENTER llaves, izquierda y derecha teclas de flecha y las teclas de flecha ARRIBA y ABAJO. Los caracteres de la pantalla con retroiluminación de medición son de 15 mm de alto para permitir una fácil lectura desde la distancia. Ver Figura para la configuración de la interfaz humana.

El área de visualización muestra en la figura, además de indicar los datos de medición, también se utiliza para mostrar distintas pantallas.



**Figura 69: Pantalla del transmisor.**

## Configuración del terminal de cableado y la descripción

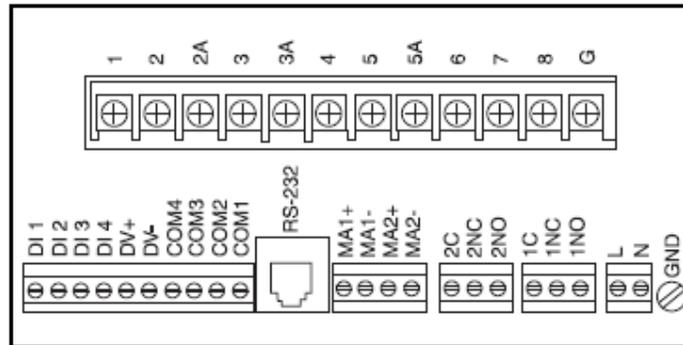


Figura 70: Configuración de terminal.

Sensor Connections	
Terminal	Terminal Description
1	RTD Return
2	RTD Drive
2A	RTD Cable Length Compensation
3	Measurement Electrode
3A	Measurement Screen (Shield)
4	Solution Earth (Ground)
5	Reference Electrode
5A	Reference Electrode Screen (Shield)
6	Sensor Power, +
7	Sensor Power, -
8	Diagnostic
G	Not Used
Digital, Analog, Alarm, and Power Connections	
DI 1, 2, 3, 4	Digital Inputs
DV+, DV-	Power Source for Digital Inputs
COM 1, 2, 3, 4	Digital I/O Communications
MA1+, MA1-	Analog Output 1
MA2+, MA2-	Analog Output 2
1C, 1NC, 1NO	Alarm 1
2C, 2NC, 2NO	Alarm 2
L	Power, Line (Black)
N	Power, Neutral (White)
GND	Power, Ground (Green)

Tabla N°4: Configuración, Cableado y descripción.

## Anexo B

### Trasmisor Indicador de Temperatura – PR 5714



PERFORMANCE  
MADE  
SMARTER

#### Programmable LED indicator

### 5714

- 4-digit 14-segment LED display
- Input for mA, V, Ohm, RTD, TC and potentiometer
- 2 relays and analog output
- Universal supply
- Front key programmable



#### Application

- Display for digital readout of current / voltage / resistance / temperature or potentiometer signals.
- Process control with 2 potential-free relays and / or analog output.
- For local readout in extremely wet atmospheres with a specially designed splash-proof cover.

#### Technical characteristics

- 4-digit LED indicator with 13.8 mm 14-segment characters. Max. display readout -1999...9999 with programmable decimal point and relay ON / OFF indication.
- All standard operational parameters can be adjusted to any application by way of the front function keys.
- Help texts in eight languages can be selected via a menu item.
- PR5714 is available fully-configured according to specifications ready for process control and visualization.
- In versions with relay outputs the user can minimize the installation test time by activating / deactivating each relay independently of the input signal.

#### Mounting / installation

- To be mounted in panel front. The included rubber packing must be mounted between the panel cutout hole and the display front to obtain a protection degree of IP65 (type 4X). For extra protection in extreme environments, PR5714 can be delivered with a specially designed splash-proof cover as accessory.

#### Connections

##### Input signals:



##### Output signals:



##### Supply:



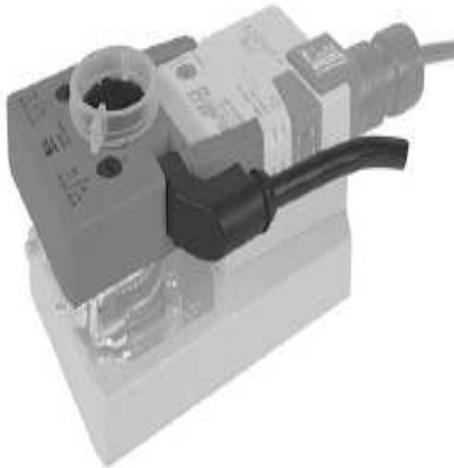
## Anexo C

### Válvula Eléctrica On –OFF Belimo



## Auxiliary Switches S1A, S2A

For the Non-Spring Return Direct-Coupled Actuators



### Application

The S1A and S2A auxiliary switches are used to indicate when a desired position of a damper is reached or to interface additional controls for a specific control sequence.

### Operation

The S1A and S2A auxiliary switches are mounted onto the direct coupled actuator. The switches are modular units that mount directly onto LM, NM, AM, and GM type actuators and are locked into place by guiding grooves on the sides of the actuator.

A driver disk is attached to the actuator clamp and offers direct transmission of the actuator position to the micro switch cams. The switching points can be set over the full scale of 0 to 1 simply by adjusting the slotted discs.

### Mounting Instructions

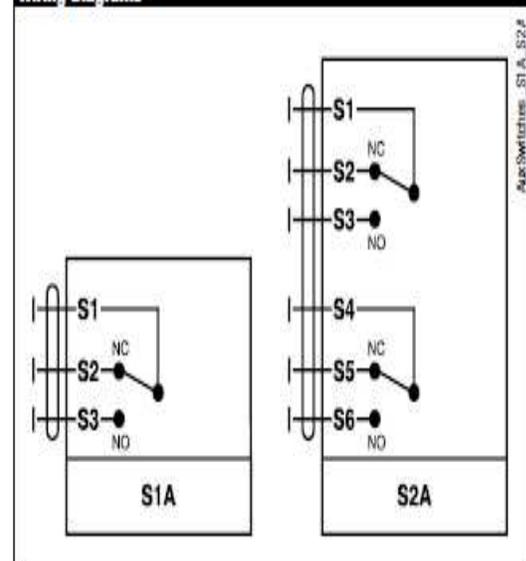
1. Remove position indicator from actuator.
2. Press down the manual override button and rotate the actuator fully counter clockwise.
3. Turn the driver disk on the switch fully counterclockwise.
4. Slide switch onto the actuator using the actuator guiding grooves on the sides of the actuator.
5. Check for correct mating of the driver disk to the universal clamp.
6. Adjust switch dials as necessary.

### Types

<b>S1A</b>	one SPDT	3 ft, 18 GA appliance cable
<b>S2A</b>	two SPDT	3 ft, 18 GA appliance cable

Technical Data	S1A	S2A
Number of switches	one SPDT	two SPDT
Weight	4.6 oz (130 g)	6.0 oz (170 g)
Switching capacity	3A (0.5A), 250 VAC	
Switching point	adjustable over full rotation (0° to 95°)	
Pre-setting	with scale possible	
Humidity	5 to 95% RH non-condensing	
Ambient temperature	-22°F to 122°F [-30°C to +50°C]	
Storage temperature	-40°F to 176°F [-40°C to 80°C]	
Housing	NEMA 2 / IP54	
Housing rating	UL94-5VA	
Servicing	maintenance free	
Agency listings	cULus acc. to UL60730-1 CE according to 73/23/EEC	
Quality standard	ISO 9001	

### Wiring Diagrams



## Anexo D

### *Sensores de PH y ORP FOXBORO PH12 SERIES*



**Figura 71: Sensor de pH.**

La nueva serie de Sensores de **PH y ORP FOXBORO PH12 SERIES**, constituye una línea de sensores para la medición electroquímica de alta precisión en aplicaciones con el popular set de accesorios de montaje para la medida de PH y ORP y con una tecnología única en el diseño de su electrodo dentro del ampliamente utilizado sensor de **12mm**.

Sensores de PH y ORP FOXBORO PH12 SERIES. Se trata de un sensor robusto, fácil de utilizar y particularmente indicado para aplicaciones de alta temperatura que proporciona una rápida respuesta, larga vida útil, alta precisión y estabilidad.

A diferencia de otros sensores de PH de 12mm del mercado, el modelo PH12 de Foxboro está fabricado con un cuerpo de PEEK, material altamente resistente a los productos químicos y de gran resistencia mecánica, electrodo de membrana plana y sin partes metálicas en contacto con el fluido. Esta combinación de características, junto con ratios de temperatura de 125°C (vidrio plano) o 140°C (vidrio romo), proporciona una resistencia y robustez únicas que aseguran una larga vida útil al sensor.

#### **Características principales:**

- Rango: 0 – 14 pH
- Máxima temperatura 140°C
- Electrodo: Romo o Plano
- Preamplificador: No
- Características: cuerpo de 12mm, disponible en longitudes de 120mm, 225mm, 360mm y 425mm.

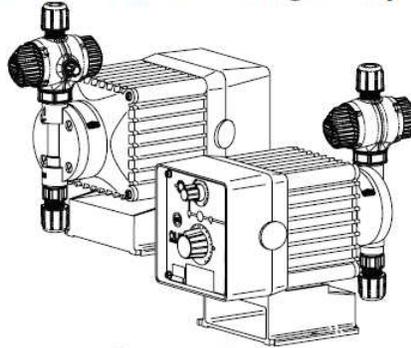
## Especificaciones técnicas Sensores de PH12 SERIES:

- Electrodo de medición, de cristal abovedado o vidrio plano Rugerizado para pH Platinum ORP
- Rango de medición: electrodo de cristal abovedado, pH: 0-14 pH, electrodo de vidrio plano, pH: 0-12 p, ORP: -2000 a 2000 mV
- Temperatura de trabajo: Electrodo Tipos -1, -4, -A: -25 a + 125 ° C Electrodo Tipos -2, -B: 0 a 140 ° C Electrodo Tipos -3, -C: -15 a + 125 ° C
- Presión de servicio: de -7 a 150 psi
- Precisión y estabilidad: +/- 0,02 de pH / 24 horas EMF
- Eficiencia: 98,5 +/- 1,5%
- Respuesta electrométrica: <15 segundos
- Temperatura de respuesta: <1 minuto
- Piezas húmedas: Cuerpo del sensor: PEEK o vidrio, tal como se especifica
- Electrodo de medición: de cristal abovedado, Vidrio Plano, o unión de referencia de Platinum: Cerámica Outer Solución
- Referencia: gelificado KCl electrolito Proceso de la junta tórica y Procesos Electrodo
- Sello: Viton estándar; EPDM y Perfluoroelastómero opcional
- Temperatura compensación Automática: RTD 3 hilos 100 Ω platino o RTD 3 hilos de platino 1000 Ω
- Certificaciones: Biocompatibilidad: biocompatible según la Farmacopea de Estados Unidos y Formulario Nacional (USP 87) y ANSI / AAMI / ISO 10993-5 criterios.
- 3-A Sanitary: compatible con el estándar 3-A norma 74 para su uso en procesos diarios de producción.
- Seguridad: El sensor PH12 cumple los requisitos de un aparato simple, ya que no contiene pre-amplificador integral o otros aparatos electrónicos.
- El sensor **PH12** puede ser conectado a un transmisor **876PH** intrínsecamente seguro o un transmisor **870ITPH** sin violar la certificación de seguridad intrínseca del bucle de medición.

## Anexo E

### Bomba Dosificadora de Ácido B92 SERIES

#### Electronic Metering Pumps



#### Configuration Data

Model **B92** **1** - **392SI**

##### Control & Output Code with Standard Liquid End

###### Manual Control

Speed (stroking frequency) and stroke length manually adjustable.

B11	--	1.6 GPH	(6.1 l/h)	--	150 psi	(10.30 Bar)
B12	--	2.5 GPH	(9.5 l/h)	--	100 psi	(6.90 Bar)
B13	--	4.5 GPH	(17.0 l/h)	--	50 psi	(3.4 Bar)
B14	--	7.0 GPH	(26.5 l/h)	--	30 psi	(2.07 Bar)

###### Instrument Responsive/Manual Control

Manual adjustment features of Series B1 plus switch conversion to external control for automatic systems.

B71	--	1.6 GPH	(6.1 l/h)	--	150 psi	(10.30 Bar)
B72	--	2.5 GPH	(9.5 l/h)	--	100 psi	(6.90 Bar)
B73	--	4.5 GPH	(17.0 l/h)	--	50 psi	(3.4 Bar)
B74	--	7.0 GPH	(26.5 l/h)	--	30 psi	(2.07 Bar)
B91	--	1.6 GPH	(6.1 l/h)	--	150 psi	(10.30 Bar)
B92	--	2.5 GPH	(9.5 l/h)	--	100 psi	(6.90 Bar)
B93	--	4.5 GPH	(17.0 l/h)	--	50 psi	(3.4 Bar)
B94	--	7.0 GPH	(26.5 l/h)	--	30 psi	(2.07 Bar)

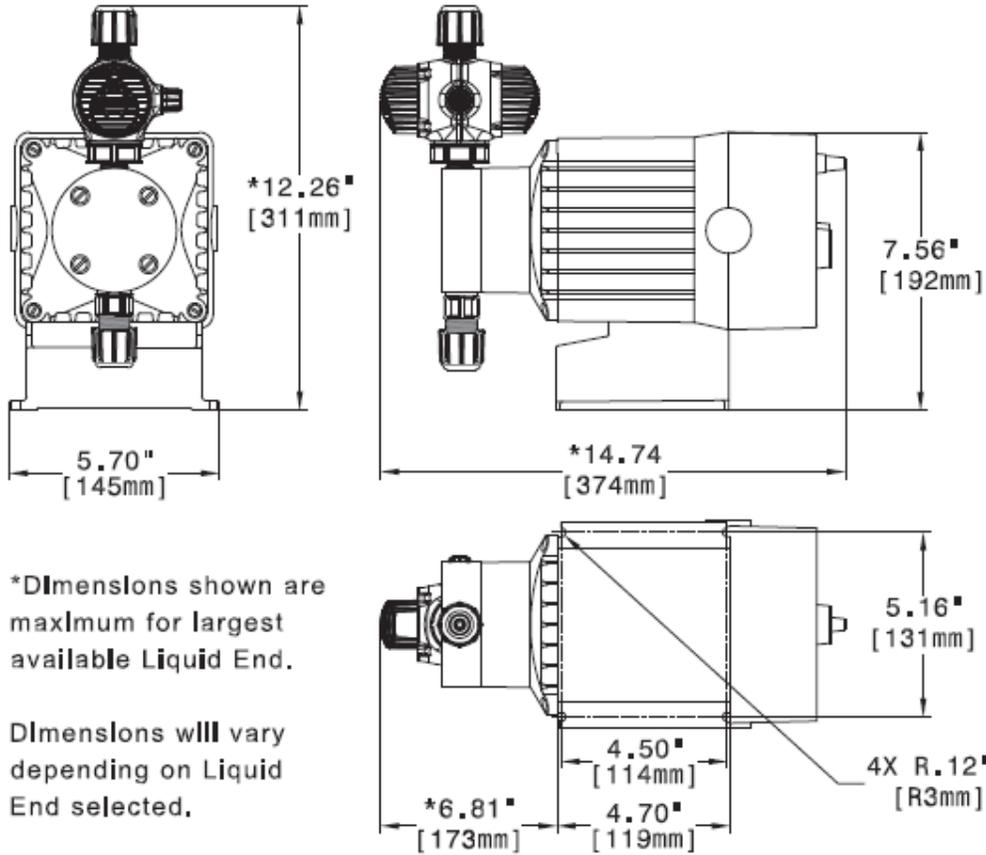
##### Voltage Code

1	-----	120 VAC, US Plug
2	-----	240 VAC, US Plug
3	-----	220-240 VAC, DIN Plug
5	-----	240-250 VAC, UK Plug
6	-----	240-250 VAC, AUST/NZ Plug
7	-----	220-240 VAC, SWISS Plug

##### Liquid End

See next page for complete liquid end specifications and selection.

# Dimensions



\*Dimensions shown are maximum for largest available Liquid End.

Dimensions will vary depending on Liquid End selected.

# Specifications

Series	Strokes Per Minute (Adjustable)		Stroke Length (Adjustable) Recommended Minimum	Average Input Power @Max Speed	Shipping Weight
	Min	Max			
B11, B71, B91 B12, B72, B92 B13, B73, B93 B14, B74, B94	1	100	10%	29 watts	15 lbs (6.9 kg)

**Standard Liquid End Configuration Data & Materials of Construction**

Drive Assembly	Liquid End No.	Size Code	Materials of Construction				Accessory	Tubing & Connections
			Head & Fittings	Balls	Liquifram™	Check Valve		
B91 - B92 - B71 - B72 - B11 - B12 -	498SI†	0.9	PVC/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	490SI†	0.9	Acrylic/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	499SI†	0.9	Acrylic/PVDF	PTFE	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	398SI†	0.9	PVC/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	393SI†	0.9	PVDF/PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/PTFE	4FV	PE .375" O.D.
	392SI†	0.9	PVDF/PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	85HV	0.9	Polypropylene	316 S.S.	Fluorofilm™	PTFE		PE .5" O.D. Vinyl .938" O.D.
	86HV	0.9	Acrylic/PP	316 S.S.	Fluorofilm™	Viton®		PE .5" O.D. Vinyl .938" O.D.
	495SI†	0.9	Polypropylene	Ceramic	Fluorofilm™	PTFE	4FV	PE .375" O.D.
	297	0.9	316 S.S.	316 S.S.	Fluorofilm™	316 S.S.		Pipe 1/4" NPT M
B93 - B73 - B13 -	468SI†	1.8	PVC/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	460SI†	1.8	Acrylic/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVC/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	469SI†	1.8	Acrylic/PVDF	PTFE	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	368SI†	1.8	PVC/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVC/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	363SI†	1.8	PVDF/PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/PTFE	4FV	PE .375" O.D.
	362SI†	1.8	PVDF/PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .375" O.D.
	465SI†	1.8	Polypropylene	Ceramic	Fluorofilm™	PTFE	4FV	PE .375" O.D.
	75HV	1.8	Polypropylene	316 S.S.	Fluorofilm™	PTFE		PE .5" O.D. Vinyl .938" O.D.
	76HV	1.8	Acrylic/PP	316 S.S.	Fluorofilm™	Viton®		PE .5" O.D. Vinyl .938" O.D.
	277	1.8	316 S.S.	316 S.S.	Fluorofilm™	316 S.S.		Pipe 1/4" NPT M
B94 - B74 - B14 -	312SI†	3.0	PVDF/PVDF	.375 Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.
	313SI†	3.0	PVDF/PVDF	.375 Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/PTFE	4FV	PE .5" O.D.
	318SI†	3.0	PVC/PVC	.375 Ceramic	Fluorofilm™	PVC/Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.
	410SI†	3.0	Acrylic/PVC	.375 Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.
	415SI†	3.0	Polypropylene	Ceramic	Fluorofilm™	PTFE	4FV	PE .5" O.D.
	418SI†	3.0	PVC/PVC	.375 Ceramic	Fluorofilm™	PVC/Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.
	419SI†	3.0	Acrylic/PVDF	.375 PTFE	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.
	217	3.0	316 S.S.	316 S.S.	Fluorofilm™	316 S.S.		Pipe 1/4" NPT M

#These liquid ends use 3/8" diameter valve balls. Pump output may be reduced in some applications. Size 3.0 liquid ends use the accessory type AutoPrime valve.

**Output Information with Standard Liquid End**

Series	Gallons per Hour*		Liters per Hour*		mL/cc per Minute*		mL/cc per Stroke		Maximum Injection Pressure
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
B11, B71, B91	0.002	1.6	0.006	6.1	0.10	101	0.10	1.01	150 psi (10.30 Bar)
B12, B72, B92	0.003	2.5	0.009	9.5	0.16	158	0.16	1.58	100 psi (6.90 Bar)
B13, B73, B93	0.005	4.5	0.017	17.0	0.28	284	0.28	2.84	50 psi (3.4 Bar)
B14, B74, B94	0.007	7.0	0.027	26.5	0.44	442	0.44	4.42	30 psi (2.07 Bar)

\*Minimum output is based on 1 stroke per minute and 10% stroke setting, minimum output can be reduced further in external mode. Series B9 pumps may be programmed for strokes per hour for lower outputs.

**AutoPrime™ Liquid End Configuration Data & Materials of Construction**

Drive Assembly	Liquid End No.	Size Code	Materials of Construction				Accessory	Tubing & Connections
			Head & Fittings	Balls	Liquifram™	Check Valve		
B92, B91, B72	D90HI	0.9	Acrylic/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE 0.375" O.D.
B71, B12, B11	D98HI	0.9	PVC/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE 0.375" O.D.
B93, B73, B13	D60HI	1.8	Acrylic/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE 0.375" O.D.
	D68HI	1.8	PVC/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE 0.375" O.D.
B94, B74, B14	D10HI	3.0	Acrylic/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE 0.5" O.D.
	D18HI	3.0	PVC/PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF/Polyprel®	4FV	PE 0.5" O.D.

**Output Information – AutoPrime™ Liquid Ends (Liquid end models beginning with "D")**

Series	Maximum Output				Maximum Pressure	
	GPH	Liters/hr	mL/cc per minute	mL/cc per stroke	PSI	Bar
B11, B71, B91	1.4	5.3	88.3	0.88	150 psi	10.3
B12, B72, B92	2.3	8.7	145.1	1.45	100 psi	6.9
B13, B73, B93	4.0	15.1	252.4	2.52	50 psi	3.4
B14, B74, B94	6.8	25.7	429.1	4.29	30 psi	2.07

AutoPrime™ liquid ends have 3 check valves: suction on the bottom; discharge on the front; and autoprime bleed on the top. By design, a repeatable portion of the process fluid continuously bleeds through the top check valve to be returned to the chemical supply. The result is the assurance that any gas in the head is automatically relieved thus eliminating air-binding. The maximum output per the tables above is reduced to account for the continuous bleed.

See front page for voltage code specifications.

Plastic heads with tubing connection include 1/2" NPT and 1/2" BSP.

† To specify 1/2" NPT male, change 'I' to 'P'.

To specify black, UV resistant tubing, change 'I' to 'U'.

To specify 3FV, change 'S' to 'T'.

3FV indicates that the pump is equipped with an LMI Three Function Valve (pressure relief, priming aid, line drain).

4FV indicates that the pump is equipped with an LMI Four Function Valve. This diaphragm type, anti-siphon/pressure relief valve is installed on the pump head. It provides anti-siphon protection and aids priming, even under pressure.

Fluorofilm™ is a copolymer of PTFE and PFA.

Polyprel® is an elastomeric PTFE copolymer.

Polyprel is a registered trademark of the Milton Roy Company.

Fluorofilm and Liquifram are trademarks of the Milton Roy Company.

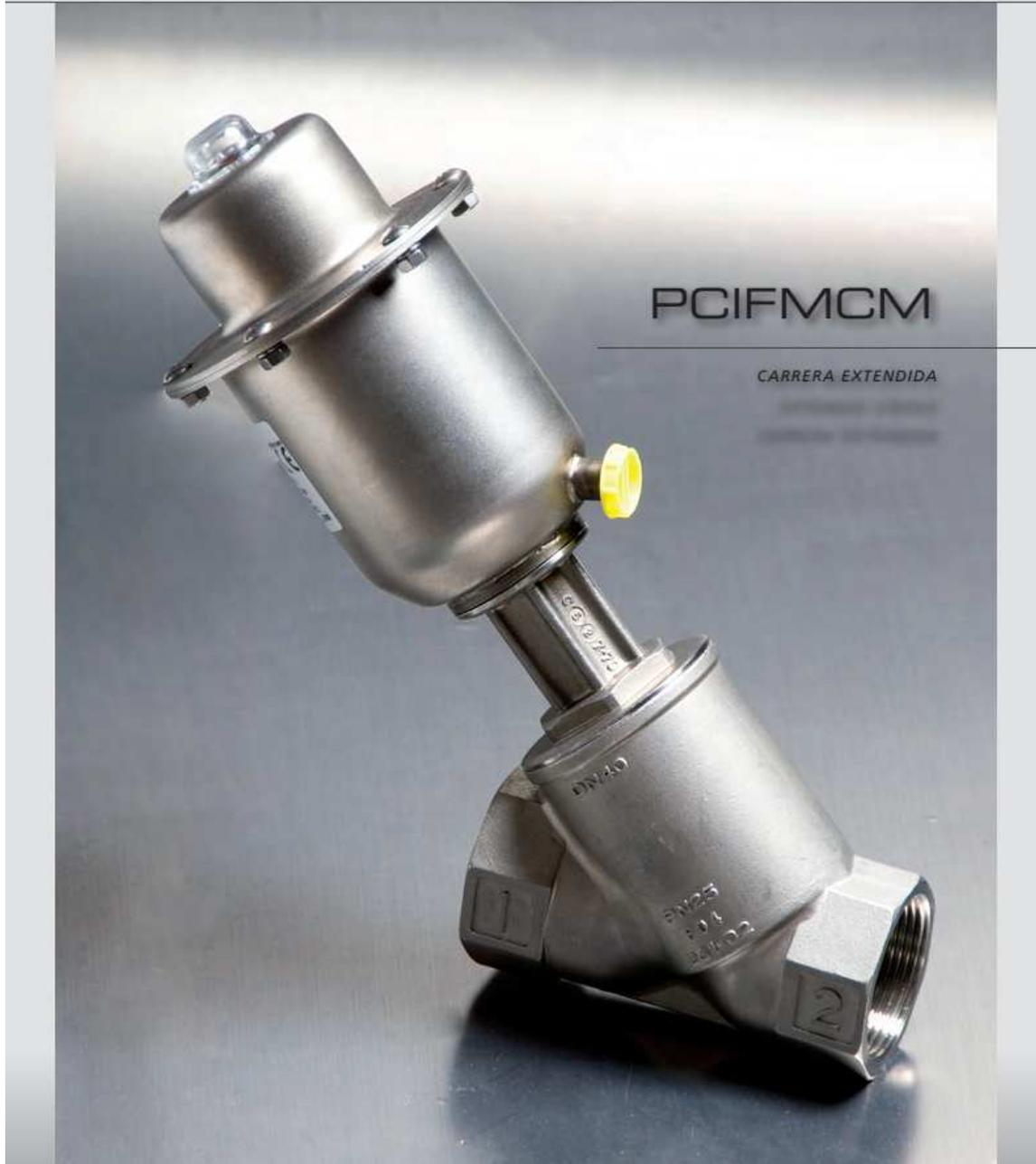
Viton® is a registered trademark of E.I. DuPont Company.

## Anexo F

Válvula Proporcional – PRO.COM



VÁLVULA DE INTERCEPTACIÓN A FLUJO LIBRE - ACTUADOR ON-OFF EN AISI304



VÁLVULA DE INTERCEPTACIÓN A FLUJO LIBRE - ACTUADOR ON-OFF EN AISI304

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Carrera extendida
- Asiento inclinado con elevado coeficiente de flujo
- Elevadas presiones diferenciales de trabajo
- Resistencia a corrosión, abrasión, desgaste, oxidación
- Bajo consumo de aire
- Actuador rotacional en AISI304 (360°)
- Indicador visual protegido
- Obturador auto-centrante con cierre en PTFE/IC755 (Teflon-grafito)
- Paquete en PTFE/IC755 y FKM con muelle de compensación
- Sistema de seguridad SpringSafe (muelle pre-comprimida)
- Completa gama de accesorios
- Conforme a la directiva PED 97/23/CE



PCIFMCM

DATOS TÉCNICOS

DN	Kv	Dp	PN	Actuador	Carrera (mm)	
15	1/2"	6,3	18	40	ø50	8
15	1/2"	6,3	35	40	ø70	10
20	3/4"	10,7	14	40	ø50	12
20	3/4"	10,7	25	40	ø70	14
25	1"	20,4	9	40	ø50	12
25	1"	20,4	20	40	ø70	20
32	1" 1/4	29,5	13	25	ø70	20
32	1" 1/4	29,5	22,5	25	ø100	25
40	1" 1/2	46,0	8	25	ø70	20
40	1" 1/2	46,0	20	25	ø100	25
50	2"	62,0	5,5	16	ø70	20
50	2"	62,0	14	16	ø100	25
65	2" 1/2	107,0	6,5	16	ø100	25

Los datos técnicos son indicativos: el constructor se reserva la facultad de modificar los datos en cualquier momento sin alguna obligación de preaviso.

**MATERIALES**

• <b>Cuerpo:</b>	PCIFM	AISI316L
• <b>Bonnet:</b>	PCIFM	AISI316L
• <b>Junta del cuerpo:</b>	PCIFM	PTFE+FKM
• <b>Junta del Obturador:</b>		PTFE/C755
• <b>Árbol+Obturador:</b>		AISI316
• <b>V-Pack:</b>		PTFE/C755+FKM
• <b>Piston:</b>		Al AW6082 Anodizado
• <b>Junta del Piston:</b>		PUR
• <b>Actuador:</b>		AISI304

**CARACTERISTICAS TECNICAS**

• <b>Diametro Nominal (DN):</b>	15 - 20 - 25 - 32 - 40 - 50 - 65
• <b>Diametro Actuador (ø):</b>	50 - 70 - 100
• <b>Conexión Alimentación:</b>	ø50-70-100 G 1/8"
• <b>Fluido Alimentación:</b>	AIRE - GAS NEUTROS
• <b>Presione Alimentación:</b>	5-10 bar
• <b>Temperatura Fluido:</b>	-10°C / +190°C
• <b>Maxima Viscosidad:</b>	620 mm <sup>2</sup> /s
• <b>Temperatura Externa:</b>	-10°C / +100°C
• <b>Extremos:</b>	ROSCADOS FF ISO228 G ROSCADOS FF NPT SOLDAR SW ISO65 SOLDAR BW ISO4200 BRIDAS UNI PN16 DIN 2278 BRIDAS UNI PN40 DIN 2278 BRIDAS ANSI 150 BRIDAS ANSI 300

**ACCESORIOS Y OPCIONES**

- *Electroválvula*
- *Limitador de carrera regulable*
- *Aplicación de carrera*
- *Box portasensores*
- *Obturador Equiporcentual*
- *Aplicación para Vacío*
- *Aplicación para Oxygen*
- *Conexiones Clamp*
- *Junta Obturador en EPDM - FKM*
- *Version normalmente cerrada y doble-efecto*