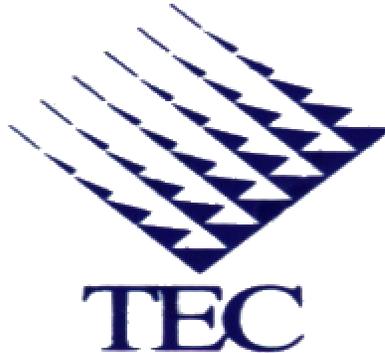


INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



“Estudio teórico-práctico de desempeño de las válvulas PID marcas BÜRKERT y SAMSON”

“Análisis de modo de fallas y efectos para los equipos de control de fluidos PID marca BÜRKERT”

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Empresa: Equipos Neumáticos S.A

Asesor en la Empresa: Ing Gustavo Chavarría G.

Profesor Guía: Ing Osvaldo Guerrero

Realizado por: Silvia Vindas García

Alajuela, Junio 2004



AGRADECIMIENTO

A la empresa Equipos Neumáticos S.A, por confiar en mi persona y darme la oportunidad de unirme a su personal.

Al Ing Gustavo Chavarría por creer en mi, apoyarme y darme el honor de desarrollarme como profesional a su lado.

Al Ing Osvaldo Guerrero por ser más que un profesor; por ser un mentor, un guía y en especial un amigo en todos mis años de carrera.

Al personal del taller de electrónica de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, por brindarme su valiosísima ayuda y tiempo.

A mis compañeros de carrera, por el apoyo y los buenos momentos compartidos a lo largo de nuestra amistad.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica y en especial a la carrera de Mantenimiento Industrial, por hacerme parte de su gran legado y proveerme una excelente educación superior.



DEDICATORIA

Le debo este trabajo a mi familia, pero en especial a mi madre que siempre me apoyó y cuidó, que siempre me llenó con su incondicional amor y me brindó la gran bendición de mis estudios universitarios.

A mi hermana, por ser siempre un modelo a seguir, por apoyarme, ayudarme y escucharme en los momentos donde las fuerzas disminuyen.

A Efrain, por estar siempre ahí cuando lo necesitaba, por hacerme sentir una mujer capaz, profesional y querida.

En especial, a Dios, por darme salud y fortaleza para seguir adelante; por mostrarme el camino correcto hacia mi superación personal y profesional.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL PROYECTO Y SU IMPORTANCIA.....	21
1.2 HISTORIA DE LA EMPRESA.....	23
1.2.1 Breve Reseña Histórica.....	23
1.2.2 Actividad Comercial.....	24
1.2.3 Estado de las condiciones de seguridad e higiene ocupacional.....	25
1.2.4 División departamental.....	26
1.2.4.1 Departamento administrativo.....	26
1.2.4.2 Departamento FESTO.....	26
1.2.4.3 Departamento de Proyectos.....	26
1.2.4.4 Departamento KAESER.....	27
1.2.4.5 Departamento BÜRKERT.....	28
1.3 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA.....	29
1.4 DIVISIÓN DE AREAS EN COPROLE.....	30
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	32
1.6 ALCANCES DEL PROYECTO.....	34

2. OBJETIVOS

2.1 PROYECTO INDUSTRIAL.....	36
2.1.1 Objetivo General.....	36
2.1.2 Objetivos Específicos.....	36
2.2 PROYECTO ADMINISTRATIVO.....	37
2.2.1 Objetivo General.....	37
2.2.2 Objetivos Específicos.....	37

3. MARCO TEÓRICO: PROYECTO INDUSTRIAL

3.1 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL DE FLUIDOS.....	39
3.1.1 Válvulas de control.....	39
3.1.2 Partes de la válvula de control.....	40
3.1.2.1 Partes internas de la válvula, obturador y asiento.....	44
3.1.2.2 Materiales.....	45
3.1.3 Categorías de válvulas.....	46
3.1.3.1 Válvulas de globo.....	46



3.1.3.2	Válvulas de bola.....	50
3.1.3.3	Válvulas de diafragma.....	53
3.1.3.4	Válvula en “Y”.....	55
3.1.3.5	Válvulas de retención de elevación.....	56
3.1.3.6	Válvulas de retención (check) y de desahogo (alivio).....	57
3.1.3.7	Válvulas de retención (check).....	58
3.1.4	<i>Pérdida de presión debido a válvulas.....</i>	58
3.1.5	<i>Controladores: Proporcional (P), Integral (I), Diferencial (D), Proporcional-Integral (PI), Proporcional-Integral-Diferencial (PID).....</i>	60
3.1.5.1	Control Proporcional.....	60
3.1.5.2	Control Integral puro.....	61
3.1.5.3	Control derivativo puro.....	61
3.1.5.4	Acción de Controladores Compuestos.....	62
3.1.5.5	Acción PI.....	62
3.1.5.6	Acción PID.....	63
3.1.5.7	Análisis de estabilidad de sistemas realimentados.....	64
3.1.5.8	Estabilización con control P.....	64
3.1.5.9	Des-estabilización con control PI.....	65
3.1.5.10	Reactor con control P.....	67

4. MARCO TEÓRICO: PROYECTO ADMINISTRATIVO

4.1	GENERALIDADES.....	70
4.1.1	<i>Definición</i>	70
4.1.2	<i>Finalidad.....</i>	70
4.1.3	<i>Factores y Aspectos que determinan un AMFE.....</i>	71
4.1.4	<i>Tipos de FMEA.....</i>	72
4.1.5	<i>Partes que conforman el documento FMEA.....</i>	72
4.2	ANÁLISIS DE EFECTOS Y MODOS DE FALLAS (FMEA).....	74
4.2.1	<i>¿Qué es un Modo de Falla?.....</i>	74
4.2.2	<i>¿Por qué Analizar Modos de Falla?.....</i>	75
4.2.3	<i>Categorías de Modos de Falla.....</i>	76
4.2.3.1	Capacidad cayente.....	76
4.2.3.2	Aumento en Actuación Deseada (o Aumento en Tensión Aplicada)	79
4.2.4	<i>¿Cuánto Detalle?</i>	82
4.2.5	<i>Causalidad.....</i>	83



4.2.5.1	Error humano.....	83
4.2.5.2	Probabilidad.....	84
4.2.5.3	Consecuencias.....	84
4.2.6	<i>Efectos de falla.....</i>	85
4.2.7	<i>Evidencia de falla.....</i>	85
4.2.8	<i>Seguridad y los Riesgos Medioambientales.....</i>	86
4.2.9	<i>Daño secundario y Efectos de la Producción.....</i>	87
4.2.10	<i>Las fuentes de Información sobre los Modos y Efectos.....</i>	87
4.2.10.1	El fabricante o vendedor del equipo.....	88
4.2.10.2	Listas genéricas de modos de falla.	88
4.2.10.3	Otros usuarios del mismo equipo.....	89
4.2.10.4	Archivos historiales técnicos.....	89
4.2.10.5	Las personas que operan y mantienen el equipo.....	90
4.2.11	<i>¿Como realizar el FMEA?.....</i>	90

5. METODOLOGÍA

5.1	PROYECTO INDUSTRIAL.....	98
5.1.1	<i>Tipo de investigación.....</i>	98
5.1.2	<i>Variables involucradas.....</i>	98
5.1.3	<i>Recolección de información técnica.....</i>	99
5.1.4	<i>Técnicas y procedimiento.....</i>	100
5.1.4.1	Medición de parámetros en estudio.....	100
5.1.4.2	Tiempos de cierre y apertura de válvulas PID de marca Bürkert y SAMSON.....	101
5.1.4.3	Consumo de aire comprimido.....	102
5.1.4.4	Consumo de energía.....	102
5.1.4.5	Capacidad de modulación.....	102
5.1.5	<i>Evaluación física de válvulas.....</i>	103
5.1.5.1	Construcción.....	103
5.1.5.2	Materiales.....	104
5.1.5.3	Diseño.....	104
5.2	PROYECTO ADMINISTRATIVO	
5.2.1	<i>Tipo de análisis.....</i>	105
5.2.2	<i>Identificación de problema.....</i>	105



5.2.2.1	Sistema y lugar de análisis.....	105
5.2.2.2	Limites físicos y de análisis	106
5.2.2.3	Modo de análisis.....	107
5.2.2.4	Recolección de información de referencia.....	108
5.2.3	<i>Análisis efectivo del problema.....</i>	108
5.2.3.1	Reconocimiento de partes y subpartes.....	108
5.2.3.2	Identificación de los modos de fallas.....	108
5.2.3.3	Identificación de los efectos de fallas.....	109
5.2.3.4	Identificación de las causas de fallas.....	109
6. ANALISIS DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VALVULAS BÜRKERT Y SAMSON		
6.1	VALVULA BÜRKERT EN EL PASTEURIZADOR P2.....	111
6.1.1	<i>Proceso general: Primer evento.....</i>	113
6.1.2	<i>Detalle del último evento.....</i>	115
6.2	VALVULA SAMSON EN EL PASTEURIZADOR U4.....	126
6.2.1	<i>Primer evento: proceso general.....</i>	127
6.2.2	<i>Detalle del penúltimo evento.....</i>	130
6.3	ANALISIS DE EVENTOS EN PERIODOS DE SEÑAL SOSTENIDA.....	135
7.MODELO DE COMPORTAMIENTO PROPUESTO		
7.1	PRIMERA ETAPA DE PRUEBA.....	143
7.2	SEGUNDA ETAPA DE PRUEBA.....	146
7.3	TERCERA ETAPA DE PRUEBA.....	147
7.4	CUARTA ETAPA DE PRUEBA.....	150
8.PROCEDIMIENTO DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS		
8.1	ANALISIS EFECTIVO.....	156
9.CONCLUSIONES		
9.1	PROYECTO INDUSTRIAL.....	165
9.2	PROYECTO ADMINISTRATIVO.....	167
10. RECOMENDACIONES		
10.1	PROYECTO INDUSTRIAL.....	169
10.2	PROYECTO ADMINISTRATIVO.....	171



11. BIBLIOGRAFIA.....	173
APENDICES.....	174
ANEXOS.....	192



INDICE DE APENDICES

APENDICE 1. CURVA DE COMPORTAMIENTO PROPUESTA.....	175
APENDICE 2. ENCUESTA DE SATISFACCIÓN AL CLIENTE.....	176
APÉNDICE 3. DIAGNOSTICO DE LAS VÁLVULAS PID BURKERT EN LA EMPRESA DOSPINOS S.A.....	182
APÉNDICE 4. FOTOS DE PARTES Y SUBPARTES.....	183
APÉNDICE 5. FORMATO DE FMEA.....	191



INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MANUAL TÉCNICO CONTROL PID BÜRKERT.....	193
ANEXO 2. MANUAL TÉCNICO CONTROL PID SAMSON.....	194
ANEXO 3. MANUAL TÉCNICO VALVULA BÜRKERT.....	195
ANEXO 4. MANUAL TÉCNICO VALVULA SAMSON.....	196
ANEXO 5. MANUAL DE DESMONTAJE PARA VALVULA BÜRKERT	197
ANEXO 6. FICHA TECNICA DE ELECTROVALVULAS DEL CONTROL PID BURKERT	198
ANEXO 7. VARIABLES DE ANALISIS	199
ANEXO 8. GRAFICAS DE COMPORTAMIENTO	202

INDICE GRAFICAS

GRAFICA 6.1.1 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA DE LA PID BURKERT EN FUNCION DEL TIEMPO TOTAL DE LA PRUEBA.....	112
GRAFICA 6.1.2 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA Y DE ENTRADA EN FUNCION DEL TIEMPO DE PRUEBA EN EL ULTIMO EVENTO.....	116
GRAFICA 6.1.3 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA Y DE ENTRADA EN FUNCION DEL TIEMPO DE PRUEBA EN EL ULTIMO EVENTO CON SETPOINT CORREGIDO.....	118
GRAFICA 6.1.4 - DETALLE DEL ULTIMO EVENTO: AMORTIGUACION DE CHOQUE TERMICO.....	121
GRAFICA 6.1.5 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA, DE ENTRADA Y PORCENTAJE DE ERROR EN FUNCION DEL TIEMPO DE PRUEBA EN EL ULTIMO EVENTO: CAMBIO DE PRODUCTO.....	123
GRAFICA 6.1.6 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA, DE ENTRADA EN FUNCION DEL TIEMPO DE PRUEBA EN EL ULTIMO EVENTO: DETALLE CAMBIO DE PRODUCTO.....	124
GRAFICA 6.2.1 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA DE LA PID SAMSON EN FUNCION DEL TIEMPO TOTAL DE LA PRUEBA.....	127
GRAFICA 6.2.2 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA Y DE ENTRADA DE LA VLAVULA SAMSON EN FUNCION DEL TIEMPO DE PRUEBA EN EL PENULTIMO EVENTO.....	130
GRAFICA 6.2.3 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA, DE ENTRADA Y PORCENTAJE DE APERTURA EN FUNCION DEL TIEMPO DE PRUEBA EN EL DETALLE DEL PENULTIMO EVENTO.....	132
GRAFICA 6.2.4 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA Y DE ENTRADA EN FUNCION DEL TIEMPO DE PRUEBA EN EL DETALLE DEL PENULTIMO EVENTO.....	134



GRAFICA 6.3.1 - RELACION DE LA SEÑAL DE SALIDA DE LA PID BURKERT Y SAMSON EN FUNCION DEL TIEMPO TOTAL DE LA PRUEBA.....	135
GRAFICA 7.1.1 - PRIMERA ETAPA PROPUESTA PARA RUTINA DE COMPORTAMIENTO DE LAS VÁLVULAS PID.....	145
GRAFICA 7.2.1 - SEGUNDA ETAPA PROPUESTA PARA RUTINA DE COMPORTAMIENTO DE LAS VÁLVULAS PID.....	147
GRAFICA 7.3.1 - TERCERA ETAPA PROPUESTA PARA RUTINA DE COMPORTAMIENTO DE LAS VÁLVULAS PID.....	149
GRAFICA 7.4.1 - CUARTA ETAPA PROPUESTA PARA RUTINA DE COMPORTAMIENTO DE LAS VÁLVULAS PID.....	151



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.1 – ORGANIGRAMA EQUIPOS NEUMATICOS	29
FIGURA 3.1.1 – ACTUADOR DE UNA VALVULA DE CONTROL	40
FIGURA 3.1.2 – TIPOS DE CONEXIONES DEL CUERPO A LA TUBERIA	42
FIGURA 3.1.3 – PARTES INTERNAS DE LA VALVULA	45
FIGURA 3.1.4 – VALVULA DE GLOBO	47
FIGURA 3.1.5 – DIFERENTES TIPOS DE ASIEN TO	47
FIGURA 3.1.6 – VALVULA DE BOLA	50
FIGURA 3.1.7 – VALVULA DE DIAFRAGMA	53
FIGURA 3.1.8 – VALVULA EN “Y”	55
FIGURA 3.1.9 – VALVULA DE RETENCION	56
FIGURA 3.1.10 – PERDIDAS DE PRESION EN UNA TUBERIA	59
FIGURA 7.1.1-DISEÑO PROPUESTO DEL CIRCUITO DE RECIRCULACIÓN PARA EL BANCO DE PRUEBAS	152
FIGURA 8.1.1 – ESQUEMA DE PARTES SUBPARTES DE UNA VALVULA.....	158
FIGURA 8.1.2 – CUERPO MECANICO DE LA VALVULA BURKERT	159
FIGURA 8.1.3 – RELACION MECANICA ENTRE EL VASTAGO Y EL ASIEN TO	162



INDICE TABLAS

TABLA 6.3.1 - PORCENTAJES DE ERROR ENTRE LAS SEÑALES DE MODULACIÓN SOSTENIDA.....137

TABLA 6.3.2 - COSTOS DE ADQUISICIÓN DE LAS VÁLVULAS PID MARCA BÜRKERT Y SAMSOM 141



RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se realizó en la empresa Equipos Neumáticos S.A ubicada en la Urbanización las Ciruelas en Alajuela, con el propósito de desarrollar un proyecto de diseño en ingeniería y otro en la aplicación de la administración del mantenimiento industrial. El mismo se desarrolló como necesidad directa del Departamento BÜRKERT, el cual es el responsable de la venta, distribución, mantenimiento y soporte técnico de esta marca, que maneja todo lo concerniente a equipo para el control de fluidos: instrumentación, válvulas proporcionales, todo o nada y electroválvulas.

Los temas de práctica profesional se componen de los siguientes proyectos:

- A. Estudio teórico-práctico de desempeño de las válvulas PID marcas BÜRKERT y SAMSON
- B. Análisis de modo de fallas y efectos para los equipos de control de fluidos PID marca BÜRKERT

A continuación se detallaran su respectivos contenidos.

A. Estudio teórico-práctico de desempeño de las válvulas PID marcas BÜRKERT y SAMSON

Este proyecto se fundamentó en establecer las fortalezas y debilidades de las válvulas PID marca Bürkert con respecto a sus similares marca SAMSON, utilizando como referencia el equipo instalado en la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos en el Coyol de Alajuela.



Consistió en realizar un estudio teórico-práctico de desempeño y eficiencia de los principales parámetros presentes en las válvulas PID BÜRKERT y SAMSOM, basándose en información de mediciones en operación real de una empresa cliente que trabaja con las marcas en análisis. Apoyado, además, en la recopilación de información técnica de las marcas y en evaluaciones de las facilidades de mantenimiento por medio de la opinión de los operarios directos. Una vez evaluada la información, se propone y diseña un modelo de prueba el cual debe permitir, a nivel departamental, realizar rutinas de comportamiento para la investigación del equipo.

De esta manera se buscó la mejora continua y el conocimiento más a fondo de las capacidades de la válvula BÜRKERT. Además ofrece al cliente, de Equipos Neumáticos S.A, una visión real y concreta de los alcances en las distintas aplicaciones de los componentes de la válvula PID contra los sistemas convencionales.

B. Análisis de modo de fallas y efectos para los equipos de control de fluidos PID marca BÜRKERT

Este proyecto administrativo, consistió en la creación de un procedimiento de modo de fallas y efectos para los equipos de control de fluidos PID, que permita por medio de la medición e interpretación de variables y parámetros eléctricos y/o mecánicos, detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total.

Para lograr el manejo de la información se presenta el método que se utilizó para llevar a cabo el procedimiento, el cual incluye el reconocimiento de partes y subpartes, identificación de los modos, efectos, causas y sus respectivas acciones proactivas.



El proyecto generó un documento que almacena la información recopilada a través de discusiones y análisis minucioso del equipo, además es complementado con el aporte técnico de los operarios de la planta Dos Pinos en el Coyol de Alajuela.

Todo esto con el fin de establecer una herramienta fiable que ayude al cliente de Equipos Neumáticos S.A a discernir las posibles fallas de las que puede ser víctima la válvula, de esta manera podrá conocer, reparar y descartar, dependiendo de la gravedad de la falla, sin necesidad de demoras costosas. Además provee a la empresa vendedora una herramienta muy útil para delimitar los aspectos relacionados a la garantía del producto.

Los proyectos presentan como uno de sus aportes recomendaciones, las cuales servirán de base para estudios posteriores en el área de mejoras al equipo, así como de posibles implementaciones administrativas que permitan agudizar en forma positiva el manejo correcto de las válvulas, tanto dentro como fuera de Equipos Neumáticos S.A.



SUMMARIZE EXECUTIVE

The present project was carried out in the company Equipos Neumáticos S.A located in the Urbanization Las Ciruelas in Alajuela, with the purpose of developing a design project in engineering and another in the application of the administration of the industrial maintenance. The same one was developed as direct necessity of the Departamento BÜRKERT, which is the responsible for the sale, distribution, maintenance and technical support of this mark that it manages all the concerning one to team for the control of fluids: instrumentation, proportional valves, everything or anything and electrovalves.

The topics of professional practice are composed of the following projects:

A. theoretical-practical Study of acting of the valves PID marks BÜRKERT and SAMSON

B. Analysis in way of flaws and effects for the teams of control of flowing PID BÜRKERT marks

Next their respective contents were detailed.

A. Theoretical-practical study of acting of the valves PID marks BÜRKERT and SAMSON

This project was based in establishing the strengths and weaknesses of the valves PID Bürkert it marks with regard to its similar ones SAMSON it marks, using like reference the equipment installed in the Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos in the Coyol of Alajuela.



It consisted on carrying out a theoretical-practical study of acting and efficiency of the main present parameters in the valves PID BÜRKERT and SAMSOM, being based on information of mensures in a company client's real operation that she/he works with the marks in analysis. Leaning, also, in the summary of technical information of the marks and in evaluations of the maintenance facilities by means of the opinion of the direct operatives. Once evaluated the information, intends and a test model designs which should allow, at departmental level, to carry out behavior routines for the investigation of the team.

This way it was more thoroughly looked for the continuous improvement and the knowledge of the capacities of the valve BÜRKERT. She/he also offers to the client, of Equipos Nuemáticos S.A, a real and concrete vision of the reaches in the different applications of the components of the valve PID against the conventional systems.

B. Analysis in way of flaws and effects for the equipment of control of flowing PID BÜRKERT marks

This administrative project, consisted on the creation of a procedure in way of flaws and effects for the teams of control of flowing PID that it allows by means of the mensuration and interpretation of variables and parameters electric mechanical y/o, to detect and to eliminate problems in a systematic and total way.

To achieve the handling of the information the method it is presented that was used to carry out the procedure, which includes the recognition of parts and subparts, identification in the ways, effects, causes and their respective ones works proactives.



The project generated a document that stores the information gathered through discussions and meticulous analysis of the equipment, it is also supplemented with the technical contribution of the operatives of the plant Dos Pinos in the Coyol of Alajuela.

All this with the purpose of a reliable tool that she/he helps the client of Equipos Neumáticos S.A to discern the possible flaws of those that can be victim the valve, this way settling down will be able to know, to repair and to discard, depending on the graveness of the flaw, without necessity of expensive delays. It also provides the company salesperson a very useful tool to define the aspects related to the guarantee of the product.

The projects present like one of their contributions recommendations, which will serve as base for later studies in the area of improvements to the team, as well as of possible administrative implementations that allow to make worse in positive form the correct handling of the valves, so much inside as outside of Equipos Nuemáticos S.A.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL PROYECTO Y SU IMPORTANCIA

En la actualidad la cantidad de empresas que brindan servicios específicos a las industrias costarricenses han aumentado de manera considerable, esto debido a la política de terciarización que prevalece en las últimas décadas como una estrategia económica para reducir costos internos fijos.

Este incremento permite el surgimiento de los PYMES así como la carrera por la optimización de procesos, mejoras constantes de servicios y productos. Es con esta última consigna que surge la necesidad en la empresa Equipos Neumáticos S.A de probar y conocer los aspectos de principal influencia en el desempeño de los productos distribuidos tanto por ellos como por las empresas que representan la competencia.

Además de la constante búsqueda de mejoras, surge un motivo importante que establece en gran medida el orden de prioridad en la realización de objetivos: la rentabilidad del producto. Es una idea simple de entender pero compleja de desarrollar, ya que se presentan ciertos conceptos complementarios en el transcurso del proceso de investigación que aumentan el campo de análisis, como lo son: la calidad del producto, la competencia, las políticas económicas internas de cada empresa a la cual se le da el servicio, entre otras.

El proyecto en Equipos Neumáticos S.A radica **en establecer las fortalezas y debilidades de las válvulas PID marca Bürkert con respecto a sus similares en el mercado.** Con este fin se requiere realizar un estudio del desempeño y eficiencia de los principales parámetros presentes en dichas válvulas, basándose



en información de mediciones en operación real de una empresa cliente que trabaja con las marcas en análisis. Además se recopilará información técnica de las marcas a analizar y se evaluarán las facilidades de mantenimiento por medio de la opinión de los operarios directos.

Se pretende que este estudio arroje una idea del comportamiento que deben reflejar las válvulas en la prueba de laboratorio que se realizará posteriormente. De esta manera se generaría una teoría-desempeño que permita evaluar nuevas mejoras y resultados, para obtener cifras y documentación fiable, de primera mano, que permita una estructura de calidad optima y un protocolo de uso apropiado para el buen desempeño de la válvula. Por otra parte se persigue, conocer con más detalle el proceso de funcionamiento del controlador y su relación íntima con la carrera de apertura de la válvula. Todo esto con el fin de ofrecer al cliente una visión real y concreta de los alcances en las distintas aplicaciones de los componentes de la válvula PID contra los sistemas convencionales.

Además de enriquecer el conocimiento teórico-práctico del funcionamiento real de la válvulas PID, se busca generar (a corto plazo) una base de datos con información actualizada de manera periódica con el fin de poder establecer un estudio verídico del TCO (total cost operation); de este modo se pretende desplegar un cuadro comparativo al cliente con los aspectos más significativos de operación tales como: valor de inversión inicial, tiempo de recuperación de la inversión, gasto de operación actual, ahorro energético debido al cambio en el sistema, entre otros.



Cabe señalar que en la actualidad, a medida que se posea un claro panorama de las distintas aplicaciones, facilidades de disponibilidad y operación de las válvulas PID, se podrá predecir el resultado demostrado en la empresa, además permitirá también obtener una justificación financiera concreta de la inversión y un ahorro justificado en el proceso.

1.2 DESCRIPCION DE LA EMPRESA : EQUIPOS NEUMÁTICOS S.A.

1.2.1 Breve Reseña Histórica

La empresa Equipos Neumáticos S.A., fue fundada en febrero del año 1997, por el actual gerente, Ing. Juan Carlos González Pérez y se encuentra ubicada en la ciudad de Alajuela, específicamente de la entrada del Colegio Marista, 100 Este, 200 Sur, y 25 Este, cuarta casa a mano derecha, color blanco, de dos plantas.

La creación de la misma se originó por el retiro del anterior propietario, el que fundamentalmente por problemas de carácter financiero, tomó la decisión de dejarla.

Esta coyuntura le permitió al Ing. González Pérez, darle continuidad a la compañía con la razón social correcta convirtiéndose este en su gerente-propietario actual.

A pesar de ser una compañía reciente, esta cuenta con el respaldo de la casa matriz FESTO PNEUMATIC KG, ubicada en Esslingen, Alemania Federal, la cual posee sucursales en el ámbito mundial, y reconocimiento por la calidad de sus productos y servicio.



Además, es importante mencionar que Equipos Neumáticos tiene la representación de FESTO PNEUMATIC, no solo en el ámbito nacional, sino también para las empresas de Nicaragua y Panamá.

1.2.2 Actividad Comercial

La empresa se dedica a la comercialización de repuestos y componentes (acoples, mangueras, unidades de mantenimiento, válvulas, electroválvulas, pistones, unidades de avance lineal, reguladores de velocidad, entre otros.), para máquinas que requieren aire comprimido (neumáticas) y que se utilizan en procesos industriales de fabricación de productos de tipo alimenticios, fabriles, industriales, farmacéuticos, textiles, entre otros.

Es decir que, el mercado meta definido por la compañía es toda aquella empresa o industria que se dedique a la elaboración de productos por medio de la utilización de máquinas neumáticas o de aire comprimido.

A partir de octubre del año 1999 después de un estudio y análisis de mercado, en un plano de crecimiento y expansión, se toma la decisión de ofrecer un servicio adicional a todos los clientes o usuarios, organizando el Departamento de Didáctica, cuyo objetivo fundamental es el de brindar capacitación y entrenamiento en las áreas de la neumática y la electroneumática, al personal de mantenimiento y otros departamentos de las industrias, que por la naturaleza de la labor que desarrollan, así lo requieren.

Se inicia esta etapa, conformando los diferentes contenidos programáticos de cada uno de los cursos que se impartirán, el equipamiento, la construcción de una aula-laboratorio, la adquisición de mobiliario, el material didáctico, los modelos seccionados, entre otras tareas.

1.2.3 Estado de las condiciones de seguridad e higiene ocupacional

En este apartado la Empresa vela porque se cumpla lo estipulado en el Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social e Instituto Nacional de Seguros, aplicando todo lo concerniente a la normativa para casos de incendio y temblores.

En referencia al equipo de protección personal, por la naturaleza del tipo de acción, se brindan las instrucciones pertinentes que cada ejercicio práctico debe contemplar, con el propósito de prevenir situaciones que puedan ocasionar accidentes personales.

En virtud de lo anterior, en cada acción formativa se hace el énfasis en los diferentes riesgos que pueda ocasionar la utilización del aire comprimido, no sólo durante la realización de las prácticas, sino también en la aplicación del conocimiento en cada puesto de trabajo.

A continuación la misión y la visión de la empresa :

Visión

“Ser la empresa de mayores ventas en su medio, en el ámbito nacional y centroamericano, manteniendo su servicio y calidad”.

Misión

“Proveer al sector industrial de productos para maquinarias de aire comprimido de alta calidad y gran rendimiento, que permitan la eficiencia en sus procesos de elaboración, con el fin de obtener la mayor rentabilidad y satisfacción por parte de sus socios y empleados”.



1.2.4 División departamental

1.2.4.1 Departamento administrativo

A esta sección le corresponde controlar, reportar y analizar el desempeño financiero y administrativo de la empresa. Este departamento incluye el establecimiento de sistemas de control interno para proteger los activos de la compañía, así como la generación de reportes financieros internos y externos; así como también de la implementación y el desarrollo de sistemas de administración organizacional.

1.2.4.2 Departamento FESTO

Este departamento se divide en dos jefaturas primordiales:

a. *Implementos de neumática y control:* Se encarga de la venta de repuestos y accesorios neumáticos como: mangueras, válvulas, sensores, mangueras, entre otros. Además provee el soporte técnico correspondiente según sea la aplicación desarrollada por el cliente.

b. *FESTO didáctica:* Esta jefatura imparte cursos de capacitación a los empleados de Equipos Neumáticos S.A, abarcando conceptos de neumática, electroneumática y control de PLC. Se encarga de mantener un nivel alto y actualizado de enseñanza de las distintas técnicas presentes en la industria. Además imparte cursos libres a miembros de empresas, instituciones, y corporaciones relacionadas de una y otra forma con los productos FESTO.

1.2.4.3 Departamento de Proyectos

Se encarga del diseño, comunicación, construcción y control de máquinas que produzcan una solución a la medida de las necesidades del cliente. Otras de



sus funciones son promover proyectos de control, cuya constitución básica son PLC marca FESTO y brindar soporte técnico y mantenimiento.

Misión

“Mejorar el enlace interdepartamental a través de productos y servicios efectivos, a la medida de la necesidad”

Visión

“Convertirse en el primer suplidor de soluciones totales en Costa Rica y mantenerse como líder en el mercado”

Valores

Calidad

Servicio al cliente

Compromiso con Equipos Neumáticos S.A

Innovación

Responsabilidad social y ambiental

1.2.4.4 Departamento KAESER

Este departamento de encarga de efectuar la venta de equipo y repuestos de compresores, sopladores, secadores y accesorios, necesarios para obtener una adecuada calidad de aire comprimido de acuerdo a su respectiva aplicación. Además brinda el servicio de reparación y mantenimiento de los antes mencionados componentes y también realizar el diseño de líneas de trasiego de aire comprimido.



1.2.4.5 Departamento BÜRKERT

En noviembre de 2001 nace con la idea de diseñar proyectos de control de fluidos e instrumentación. Se encarga de realizar diseños e instalaciones de soluciones en el trasiego de fluidos así como también brindar soporte técnico, líneas de ventas, taller de servicio y refracciones.

Misión

“La misión del Departamento BÜRKERT es suplir al mercado costarricense con productos de alta calidad y gran rendimiento, que permitan mejorar sus procesos productivos por medio de soluciones efectivas”

Visión

“Ser el líder en el mercado costarricense de control de fluidos “

Valores

Respeto hacía Equipos Neumáticos S.A

Respeto hacía el cliente

Calidad

Compromiso ambiental y social

Seguridad

Política de calidad

El Departamento BÜRKERT está dedicado a mejorar los sistemas de control de fluidos mediante la venta de productos de alta calidad, seguros y efectivos, asegurando el cumplimiento regulatorio de la empresa fabricante.



1.3 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

Equipos Neumáticos S.A está dirigida por una gerencia general que coordina, organiza y regula los aspectos organizacionales de todos los departamentos, además está supeditada a las directrices establecidas por las casas fabricantes FESTO, KAESER y BÜRKERT y debe presentar informes periódicos sobre la mercadería colocada, las cifras de venta y los planes innovadores para mejorar el servicio.

La empresa está dividida en cinco departamentos que dependen directamente de la gerencia general, uno de ellos es el Departamento BÜRKERT el cual es responsable de la realización de este proyecto y a su vez el principal beneficiado. Este se encargará de realizar o estudiar las recomendaciones que se obtengan.

En la página siguiente se presenta la Figura 1.1.1 la cual despliega el organigrama de la compañía. Con este esquema se observa la ubicación del departamento donde se desarrollará el proyecto y su relación con el resto de sus similares.



1.4 DIVISIÓN DE AREAS EN COPROLE

En la realización del proyecto, se contará con la colaboración técnica del departamento de mantenimiento de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, la cual es cliente de Equipos Neumáticos S.A. Dos Pinos es una empresa que ha trabajado con una cantidad considerable de válvulas PID de varias marcas, por más de tres años. Además cuenta con equipo de monitoreo, el cual permite observar y tomar datos sobre el comportamiento de las válvulas en condiciones de operación real, esto ayuda al buen desempeño del estudio a realizar.

Ahora bien, es importante definir el contexto físico-productivo, en el cual opera el equipo. Las líneas de producción de Dos Pinos se encuentra dividida en tres grandes áreas que definen el orden de su proceso:

Area 1: Esta zona se encarga de la recepción, estandarización y envasado de la leche. También maneja productos intermedios, como la crema que es extraída de la leche cruda, esto se produce con el fin de llevar al porcentaje estándar de grasa (predefinido por el proceso 2 %) la leche. La crema obtenida es reutilizada en la elaboración de otros productos. Los camiones de suministro de leche abastecen la empresa las 24 horas del día, por ende esta área se mantiene en constante trabajo. Además la temperatura de la leche debe bajarse a 3 grados Celsius, para poder almacenarse en los depósitos y este almacenaje no debe ser prolongado, pues la calidad y contextura del líquido se puede ver afectado. Es por estas razones que los equipos en esta área soportan largas tandas de trabajo.

Area 2: Es aquí donde los helados y el yogurt son procesados. Por ser un proceso que no posee presión externa ya que el proceso es controlado por la misma empresa y las cantidades a producir se encuentran previamente establecidas por producción, las tandas de trabajo de los pasteurizadores son cortas y variables.



Cortas ya que las cantidades son menores y variables porque el horario de producción está previamente definido, en forma intermitente, dependiendo de los requerimientos de la empresa.

Area 3: Aquí se procesan los productos de larga duración (UHT) como lo son jugos, refrescos de sabores, etc. Esta área trabaja bajo el mismo principio del área 2: tandas cortas y variables por ser un proceso controlado.

En estas áreas se cuenta con todo tipo de equipo: pasteurizadores, homogeneizadores, sistemas de lavado y esterilizado, equipo de almacenamiento y distribución de producto y servicios, entre otros. Cada equipo posee componentes que ayudan o facilitan la realización de su proceso, entre ellos se encuentran las válvulas de nuestro interés.

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente las industrias costarricenses se encuentran bombardeadas por toda clase de productos y servicios genéricos que impiden esclarecer el camino a la verdadera solución a los problemas típicos presentes en procesos industriales. Es difícil el proceder a la escogencia de un equipo o accesorio determinado, si no se posee una idea clara y real de su funcionamiento, del beneficio directo que obtendrá de él y de su situación con el resto de productos que forman la competencia. De esta manera el cliente corre el riesgo de adquirir equipo que no satisfaga su necesidad inmediata eficientemente, que su valor sea muy alto y su calidad deficiente.

La adquisición de equipos de control de fluidos no es la excepción a este problema. Si bien es cierto, las empresas de servicios y distribución aseguran que sus productos son los más eficaces y de mejor calidad en el mercado. Sin embargo no existe un estudio real, al alcance del cliente, que respalde la mejora de los principales parámetros económicos y de funcionamiento de los productos, y como así confirmar lo establecido por el distribuidor mediante datos significativos donde se relacionen los productos de la competencia con los suyos

Con el desarrollo de este proyecto se buscará dar solución a esta problemática, por medio de un análisis detallado del rendimiento en operación, costo económico y calidad de válvulas PID de las marcas más comunes y cotizadas en el mercado industrial. Brindando al cliente varios valores agregados únicos en este tipo de mercado: confianza y seguridad respaldadas por resultados reales; con el fin de poder conocer y manejar el equipo de forma adecuada y obtener de la válvula su mayor rendimiento y la solución exacta de acuerdo a sus requerimientos.



Otro beneficio que se busca consiste en proporcionar una base de datos fiable para la retroalimentación e implementación del análisis de costo total de operación por parte del Departamento BÜRKERT permitiendo realizar cambios fundamentados, en vías de mejorar el servicio y el producto, aceptar los pro y contra del equipo, conocer más a fondo la competencia y contribuir de forma acertada en la búsqueda de la solución adecuada para el cliente.

De no efectuarse el proyecto, se limitará la implementación de soluciones a la medida de las necesidades principales del cliente, lo cual significa una pérdida estratégica de crecimiento empresarial por parte de Equipos Neumáticos S.A, siguiendo con la valoración poco fundamentada por parte del Departamento de Bürkert, acerca del desempeño de las válvulas PID con respecto a los sistemas convencionales. También se perderá la base fundamental para la implementación del sistema de presentación de costos TCO, el cual justificaría de forma clara y concisa la inversión por parte de la empresa cliente.

Por último se obtendrá recomendaciones y conclusiones que orienten el desarrollo del departamento y aporte al crecimiento interno y externo de la empresa. De esta manera se expresa la necesidad de contar con un estudio teórico-práctico detallado y verídico del desempeño de las válvulas PID en operación normal.



1.6 ALCANCES DEL PROYECTO

Con este proyecto se busca realizar un estudio de desempeño operacional teórico-práctico de los principales parámetros operacionales de las más importantes y utilizadas marcas de válvulas PID en las compañías costarricenses. Además se obtendrá un reconocimiento real de las principales fallas, ventajas y desventajas de éstas, para así brindar información verídica y eficiente de su funcionamiento y a la vez contribuir, con una visión clara, en la escogencia de una solución correcta a la necesidad requerida por la empresa.

Para efectos del proyecto se delimitará el campo de análisis hacia las válvulas colocadas en la empresa insignia Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos S.A, con esto se pretende obtener información técnica y testimonios fiables de operarios o ingenieros que han trabajado con los distintos tipos de válvulas por más de tres años.

La recopilación de información en esta empresa se efectuará en el área de pasteurización donde se encuentran las distintas marcas de válvulas en estudio efectuando una determinada función en el proceso.

Es importante mencionar que las mediciones de datos característicos representados en gráficas de comportamiento se efectuarán por medio del equipo y software de la empresa Dos Pinos que permite el monitoreo de variables significativas de las válvulas en operación, tales como la señal de entrada, porcentaje de error y tiempos de apertura de la válvula y la señal de salida. Se analizarán los valores de consumo en servicios básicos, funcionamiento y costos iniciales de adquisición de cada una de las válvulas analizadas, así como también su relación con el proceso al cual asiste.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS



2. OBJETIVOS

2.1 PROYECTO INDUSTRIAL

2.1.1 Objetivo General

- ◆ Realizar un estudio de desempeño teórico-práctico de los principales parámetros operacionales de las válvulas PID marca BÜRKERT en función de la marca convencional SAMSOM por medio de pruebas de monitoreo de comportamiento e información técnica de la compañía Dos Pinos S.A Alajuela, de manera que permita desarrollar alternativas para fortalecer el servicio con calidad y eficiencia.

2.1.2 Objetivos Específicos

- ◆ Identificar los parámetros principales de medición en las válvulas de marca BÜRKERT y SAMSOM.
- ◆ Determinar la importancia de las válvulas con controlador PID en los procesos de producción.
- ◆ Reconocer el principio de funcionamiento de las válvulas PID así como su efecto en la aplicación correspondiente al proceso al cual asiste.
- ◆ Establecer y redactar la información técnica de las diferentes válvulas PID ubicadas en la planta.
- ◆ Obtener la medición y el estudio de parámetros característicos de operación presentes en las válvulas analizadas.



- ◆ Elaborar recomendaciones ante posibles cambios en el diseño del equipo, que favorezcan el desempeño operacional de este.

2.2 PROYECTO ADMINISTRATIVO

2.2.1 *Objetivo General*

- ◆ Establecer un análisis de modo de fallas y efectos para los equipos de control de fluidos PID, que permita por medio de la medición e interpretación de variables y parámetros eléctricos y/o mecánicos, detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total.

2.2.2 *Objetivos Específicos*

- ◆ Realizar un estudio detallado del principio de funcionamiento de cada una de las piezas críticas del equipo y entender el aporte de estas en la aplicación a la cual asiste.
- ◆ Reconocer y evaluar los modos de falla potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- ◆ Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- ◆ Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- ◆ Analizar la confiabilidad del sistema y documentar el proceso por medio de un formato establecido.



CAPITULO III

MARCO TEÓRICO: PROYECTO INDUSTRIAL

3. MARCO TEÓRICO: PROYECTO INDUSTRIAL

3.1 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL DE FLUIDOS

3.1.1 Válvulas de control.

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta mas de 20000 lb/in² (140 Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500 °F (815 °C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

La palabra flujo expresa el movimiento de un fluido, pero también significa para nosotros la cantidad total de fluido que ha pasado por una sección de terminada de un conducto. Caudal es el flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de fluido que circula por una sección determinada del conducto en la unidad de tiempo.

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varia continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

3.1.2 Partes de la válvula de control.

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

Actuador o parte motriz: el actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuaciones. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la figura 3.1.1. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lbs/pulg² en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 lbs/pulg², produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

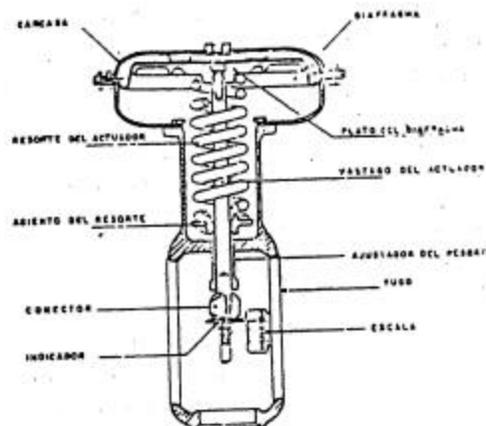


Figura 3.1.1 Actuador de una válvula de control.



Cuerpo de la válvula: este esta provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

El cuerpo de la válvula debe resistir la temperatura y la presión del fluido sin pérdidas, tener un tamaño adecuado para el caudal que debe controlar y ser resistente a la erosión o a la corrosión producida por el fluido.

Cabe señalar los puntos siguientes:

1. Las conexiones roscadas se utilizan hasta 2" , ver figura 3.1.2
2. Las bridas pueden ser planas, con resalte, machihembradas, o machihembradas con junta de anillo.
3. Las conexiones soldadas pueden ser con encaje o con soldadura a tope. Las primeras se emplean para tamaños de válvulas hasta 2" y las segundas desde 2 ½" hasta tamaños mayores.

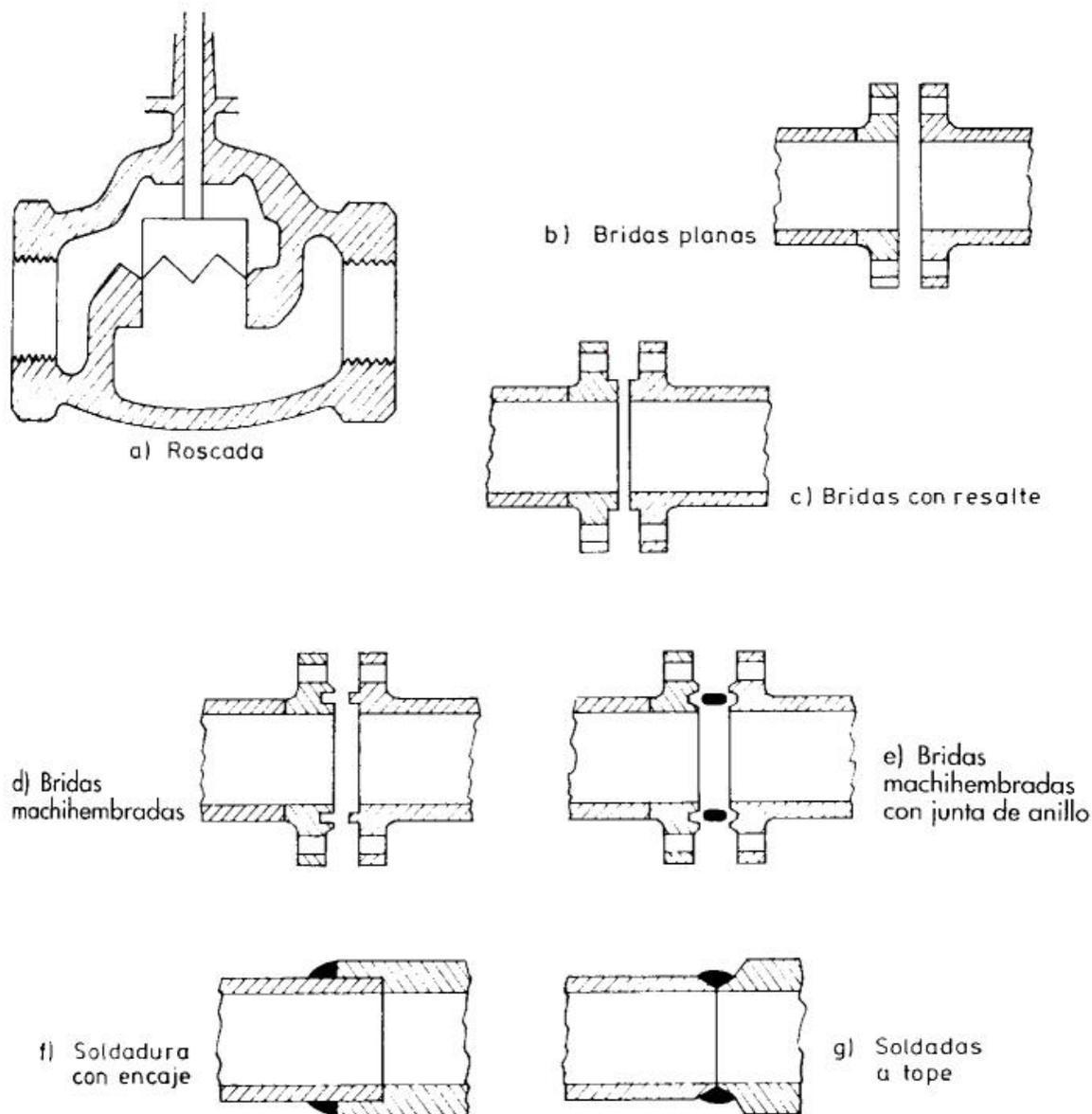


Fig. 8.3 Tipos de conexiones del cuerpo a la tubería.

Figura 3.1.2

El cuerpo suele ser de hierro, acero y acero inoxidable y en casos especiales los materiales pueden ser de Money, hastelloy B o C entre otros.



Todos los tipos de accesorios de hierro fundido y hierro dúctil y cuerpos de válvulas para agua, drenaje y otros usos se producen en la Fundición de Hierro. Además, se fabrica fundición especial para diversas aplicaciones.

Los accesorios de tuberías se vacían en moldes estáticos, en diámetros de 4" a 64" y de 100mm a 1600mm. Varias naves de producción equipadas con maquinaria para fabricar moldes proporcionan los medios de producción. Un taller de modelos está completamente equipado para la fabricación de modelos de madera y de metal.

El proceso de vaciado se inicia con modelos fabricados de acuerdo con la configuración del objeto deseado. La arena de molde mezclada con arcilla o aglutinantes químicos se compacta alrededor del modelo con equipo especial de apisonado. El modelo se dibuja dejando una cavidad con la forma del modelo. Se insertan núcleos moldeados para la forma interna. Dos mitades de molde se cierran y se vierte hierro fundido dentro de la cavidad del molde. Después de que haya tomado lugar la solidificación, la pieza vaciada se separa de la arena, se limpia y se maquina según se requiera.

El hierro para los accesorios puede ser fundido en frío en tres hornos de inducción de 22 toneladas métricas sin núcleo o puede entregarse líquido a la fundición.

Este hierro se controla químicamente para satisfacer los varios niveles de resistencia que exigen las normas actuales de fabricación.

Tapa de la válvula: la tapa de la válvula de control tiene por objeto unir el cuerpo de la válvula al servomotor. A su vez desliza el vástago del obturador accionado por el motor. Este vástago dispone generalmente de un índice que señala en una escala de posición de apertura o de cierre de la válvula.



Para que el fluido no escape a través de la tapa es necesario disponer de una caja de empaquetadura entre la tapa y el vástago. La empaquetadura ideal debe ser elástica, tener un bajo coeficiente de rozamiento, ser químicamente inerte y ser un aislante eléctrico, con el fin de no formar un puente galvanico con el vástago que dé lugar a una corrosión de las partes de la válvula. La empaquetadura que se utiliza normalmente es de teflón cuya temperatura máxima de servicio es de 220° C. A temperaturas superiores o inferiores a este valor, es necesario emplear otro material o bien alejar la empaquetadura del cuerpo de la válvula para que se establezca así un gradiente de temperaturas entre el fluido y la estopa , trabajando esta última satisfactoriamente.

La empaquetadura normal no proporciona un sello perfecto para el fluido, esta suele ser de aros de teflón que es autolubricante y no necesita engrase. Cuando el fluido y las condiciones de servicio no permiten el empleo aislado de teflón se utiliza grafito en forma de filamento, laminado y cinta. En el caso de fluidos corrosivos, tóxicos, radiactivos, o muy valiosos hay que asegurar un cierre total en la estopada. La estanqueidad lograda es tan perfecta que las posibles fugas sólo pueden detectarse con un espectrómetro de masas.

3.1.2.1 Partes internas de la válvula, obturador y asiento (Ver figura. 3.1.3)

Como partes internas de la válvula se consideran generalmente las piezas metálicas internas desmontables que están en contacto directo con el fluido. Estas piezas son el vástago, la empaquetadura, el collarín de lubricación en la empaquetadura, los anillos de guía del vástago, el obturador y el asiento o los asientos.

Hay que señalar que el obturador y el asiento constituyen el “Corazón de la Válvula” al controlar el caudal gracias al orificio de paso variable que forman al variar su posición relativa, y que además tienen la misión de cerrar el paso del fluido.



Figura 3.1.3

3.1.2.2 Materiales

El obturador y los asientos se fabrican normalmente en acero inoxidable porque este material es muy resistente a la corrosión y a la erosión del fluido.

Cuando la velocidad del fluido es baja, pueden utilizarse PVC, fluorocarbonos y otros materiales blandos, solos o reforzados con fibras de vidrio o grafito.

El obturador determina la característica de caudal de la válvula; es decir, la relación que existe entre la posición del obturador y el caudal de paso del fluido

3.1.3 Categorías de válvulas (Las más usadas por Equipos Neumáticos S.A.).

Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal; por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes con el paso de los años, conforme se han desarrollado nuevos materiales.

Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, de globo, de bola, de mariposa, válvulas de apriete, de diafragma, de macho, de retención y de desahogo (alivio).

Seria imposible mencionar todas las características de cada tipo de válvula que se fabrica y no se ha intentado hacerlo. Más bien se presenta una descripción general de cada tipo en un formato general, se dan recomendaciones para servicio, aplicaciones, ventajas, desventajas y otra información útil para el lector.

3.1.3.1 Válvulas de globo

Una válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería, figura. 3.1.4.

Puede ser de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente. Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto, se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas. El cierre estanco se logra con obturadores provistos de una arandela de teflón. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento.

Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.



Figura 3.1.4 Válvula de globo.

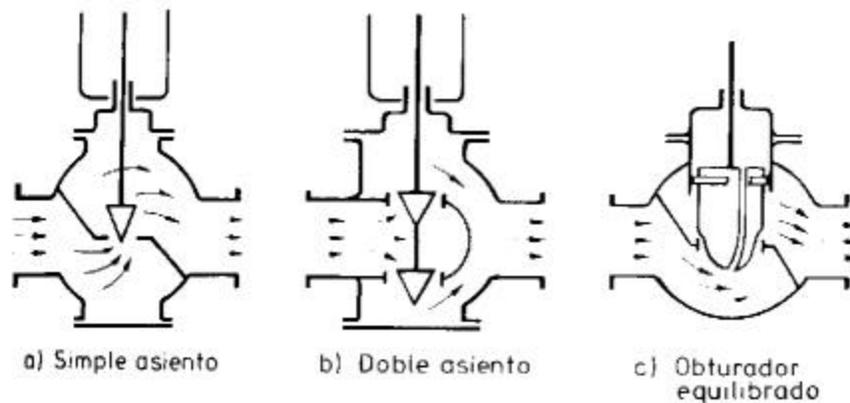


Figura 3.1.5 Diferentes tipos de asiento

A) Recomendada para

Estrangulación o regulación de circulación.

Para accionamiento frecuente.

Para corte positivo de gases o aire.



Cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación.

B) Aplicaciones

Servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos, pastas semilíquidas.

C) Ventajas

Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento.

Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete.

Control preciso de la circulación.

Disponible con orificios múltiples.

D) Desventajas

Gran caída de presión.

Costo relativo elevado.

E) Variaciones

Normal (estándar), en "Y", en ángulo, de tres vías.

F) Materiales

Cuerpo: bronce, hierro, hierro fundido, acero forjado, Monel, acero inoxidable, plásticos.

Componentes: diversos.



G) Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento

Instalar de modo que la presión este debajo del disco, excepto en servicio con vapor a alta temperatura.

H) Registro en lubricación.

Hay que abrir ligeramente la válvula para expulsar los cuerpos extraños del asiento.

Apretar la tuerca de la empaquetadura, para corregir de inmediato las fugas por la empaquetadura.

I) Especificaciones para el pedido

Tipo de conexiones de extremo.

Tipo de disco.

Tipo de asiento.

Tipo de vástago.

Tipo de empaquetadura o sello del vástago.

Tipo de bonete.

Capacidad nominal para presión.

Capacidad nominal para temperatura.

3.1.3.2 Válvulas de bola

Las válvulas de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto, figura. 3.1.6.

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola. La válvula tiene un corte adecuado que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre hermético se logra mediante un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula esta cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

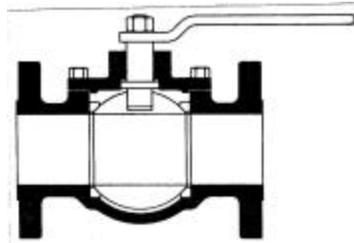


Figura 3.1.6 Válvula de bola.

A) Recomendada para

Para servicio de conducción y corte, sin estrangulación.

Cuando se requiere apertura rápida.

Para temperaturas moderadas.

Cuando se necesita resistencia mínima a la circulación.



B) Aplicaciones

Servicio general, altas temperaturas, pastas semilíquidas.

C) Ventajas

Bajo costo.

Alta capacidad.

Corte bidireccional.

Circulación en línea recta.

Pocas fugas.

Se limpia por si sola.

Poco mantenimiento.

No requiere lubricación.

Tamaño compacto.

Cierre hermético con baja torsión (par).

D) Desventajas

Características deficientes para estrangulación.

Alta torsión para accionarla.

Susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras.

Propensa a la cavitación.



E) Variaciones

Entrada por la parte superior, cuerpo o entrada de extremo divididos (partidos), tres vías, Venturi, orificio de tamaño total, orificio de tamaño reducido.

F) Materiales

Cuerpo: hierro fundido, hierro dúctil, bronce, latón, aluminio, aceros al carbono, aceros inoxidable, titanio, tántalo, zirconio; plásticos de polipropileno y PVC.

Asiento: TFE, TFE con llenador, Nylon, Buna-N, neopreno.

G) Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento

Dejar suficiente espacio para accionar una manija larga.

H) Especificaciones para el pedido

Temperatura de operación.

Tipo de orificio en la bola.

Material para el asiento.

Material para el cuerpo.

Presión de funcionamiento.

Orificio completo o reducido.

Entrada superior o entrada lateral.

3.1.3.3 Válvulas de diafragma

Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación, figura. 3.1.7.

En esta válvula, el obturador una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido. La válvula se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o plástico para trabajar con fluidos agresivos.

Tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos, conteniendo sólidos en suspensión.



Figura 3.1.7 Válvula de diafragma.

A) Recomendada para

Servicio con apertura total o cierre total.

Para servicio de estrangulación.

Para servicio con bajas presiones de operación.



B) Aplicaciones

Fluidos corrosivos, materiales pegajosos o viscosos, pastas semilíquidas fibrosas, lodos, alimentos, productos farmacéuticos.

C) Ventajas

Bajo costo.

No tienen empaquetaduras.

No hay posibilidad de fugas por el vástago.

Inmune a los problemas de obstrucción, corrosión o formación de gomas en los productos que circulan.

D) Desventajas

Diafragma susceptible de desgaste.

Elevada torsión al cerrar con la tubería llena.

E) Variaciones

Tipo con vertedero y tipo en línea recta.

Materiales

Metálicos, plásticos macizos, con camisa, en gran variedad de cada uno.

F) Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento

Lubricar a intervalos periódicos.

No utilizar barras, llaves ni herramientas para cerrarla.

G) Especificaciones para el pedido

Material del cuerpo.

Material del diafragma.

Conexiones de extremo.

Tipo del vástago.

Tipo del bonete.

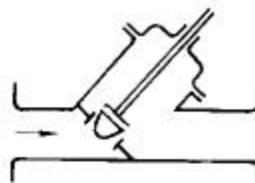
Tipo de accionamiento.

Presión de funcionamiento.

Temperatura de funcionamiento.

3.1.3.4 Válvula en “Y”

Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de auto drenaje cuando esta instalada inclinada con un cierto ángulo. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.



i) Válvula en Y

Figura 3.1.8

3.1.3.5 Válvulas de retención de elevación

Una válvula de retención de elevación es similar a la válvula de globo, excepto que el disco se eleva con la presión normal de la tubería y se cierra por gravedad y la circulación inversa.

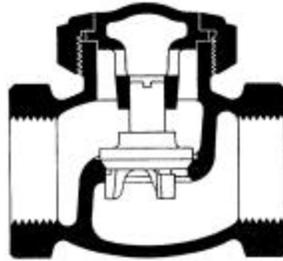


Figura 3.1.9 Válvula de retención (tipo de elevación).

A) Recomendada para

Cuando hay cambios frecuentes de circulación en la tubería.

Para uso con válvulas de globo y angulares.

Para uso cuando la caída de presión a través de la válvula no es problema.

B) Aplicaciones

Tuberías para vapor de agua, aire, gas, agua y vapores con altas velocidades de circulación.

C) Ventajas

Recorrido mínimo del disco a la posición de apertura total.

Acción rápida.



D) Variaciones

Tres tipos de cuerpos: horizontal, angular, vertical.

Tipos con bola (esfera), pistón, bajo carga de resorte, retención para vapor.

E) Materiales

Cuerpo: bronce, hierro, hierro fundido, acero forjado, Monel, acero inoxidable, PVC, Penton, grafito impenetrable, camisa de TFE.

Componentes: diversos.

F) Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento

La presión de la tubería debe estar debajo del asiento.

La válvula horizontal se instala en tuberías horizontales.

La válvula vertical se utiliza en tubos verticales con circulación ascendente, desde debajo del asiento.

Si hay fugas de la circulación inversa, examinar disco y asiento.

3.1.3.6 Válvulas de retención (check) y de desahogo (alivio)

Hay dos categorías de válvulas y son para uso específico, más bien que para servicio general: válvulas de retención (check) y válvulas de desahogo (alivio). Al contrario de los otros tipos descritos, son válvulas de accionamiento automático, funcionan sin controles externos y dependen para su funcionamiento, de sentido de circulación o de las presiones en el sistema de tubería. Como ambos tipos se utilizan en combinación con válvulas de control de circulación, la



selección de la válvula, con frecuencia, se hace sobre la base de las condiciones para seleccionar la válvula de control de circulación.

3.1.3.7 Válvulas de retención (check)

La válvula de retención, figura 3.1.9, esta destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra.

Hay tres tipos básicos de válvulas de retención: 1) válvulas de retención de columpio, 2) de elevación y 3) de mariposa.

3.1.4 Pérdida de presión debido a válvulas

Cuando un flujo se desplaza uniformemente por una tubería recta larga y de diámetro constate ,la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro adopta una forma característica .cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial ,altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia ,causando una pérdida de energía mayor que la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta ya que las válvulas en una línea de tubería alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión adicional.

La pérdida de presión total producida por una válvula consiste en :

1. La pérdida de presión dentro de la válvula .
2. La pérdida de presión en la tubería de entrada es mayor de la que se produce normalmente si no existe válvula en la línea, este efecto es pequeño .

3. La pérdida de presión en la tubería de salida es superior a la que se produce normalmente si no hubiera válvula en la línea, este efecto puede ser muy grande .

Desde el punto de vista experimental es difícil medir las 3 caídas por separado .sin embargo, su efecto combinado en la cantidad deseada puede medirse exactamente con métodos bien conocidos .

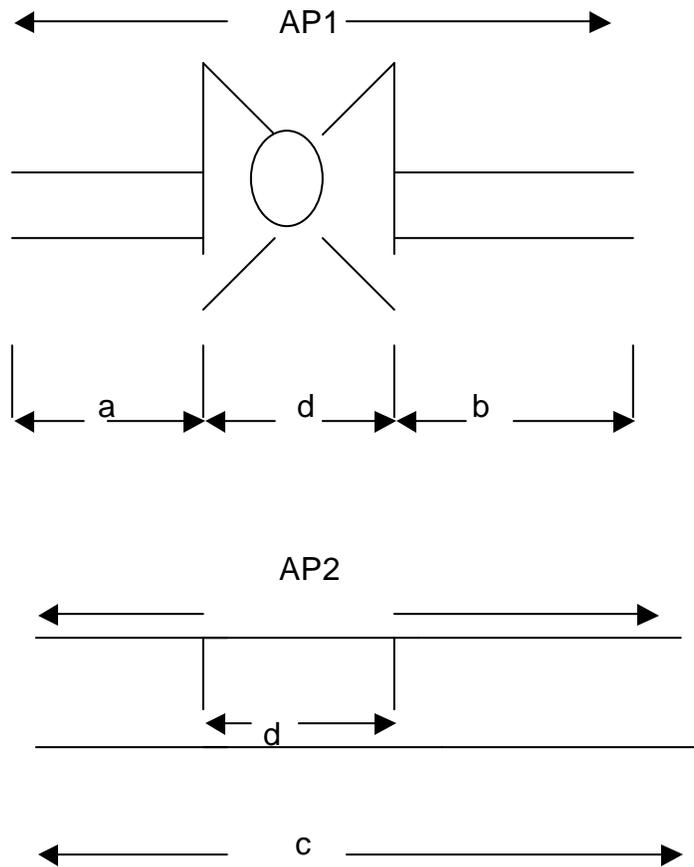


Figura 3.1.10

La figura 3.1.10 muestra 2 tramos de tubería del mismo diámetro y longitud el tramo superior contiene una válvula de globo. si las pérdidas de presión $\Delta P1$ y



Δp_2 se miden entre los puntos indicados, se encuentra que ΔP_1 es mayor que ΔP_2 .

En realidad, es la pérdida debida a la válvula de longitud "d" es ΔP_1 menos la pérdida en un tramo de la tubería con longitud "a + b".

Muchos experimentos han demostrado que la pérdida de presión debidos a válvulas es proporcional a la velocidad elevada a un exponente constante. Cuando la caída de presión se grafica contra la velocidad en coordenadas logarítmicas, la curva resultante es por tanto una línea recta .

Esta relación entre pérdidas de presión y velocidad es válida para válvulas de retención, sólo si hay flujo suficiente para mantener el obturador abierto, el punto de desviación de línea recta en las curvas obtenidas en los ensayos.

3.1.5 Controladores: Proporcional (P), Integral (I), Diferencial (D), Proporcional-Integral (PI), Proporcional-Integral-Diferencial (PID).

Las gráficas de comportamiento en una válvula PID, se encuentran justificadas matemáticamente, de tal manera que todas las variantes agregadas a un controlador se derivan de manipulación de ciertas ecuaciones y polinomios que ocasionan respuestas determinadas dependiendo de lo requerido. Es importante, entonces conocer las variantes más importantes para definir la operación de una válvula con control PID.

3.1.5.1 Control Proporcional: $G_c = K_c$

1. No Incrementa el Orden del Modelo E/S del Sistema
2. Tiene un desplazamiento (offset) permanente
3. Si proceso primer orden, medidor y actuador ideales, entonces:

- a. Desplazamiento (offset) para cambio en Referencia = $1/[1+K_pK_c]$
 - b. Desplazamiento (offset) para cambio en Perturbación: = $-K_d/[1+K_pK_c]$
 - c. Si proceso integrador puro, no hay desplazamiento (offset) para la referencia
4. Si proceso segundo orden, medidor y actuador ideales, entonces:
- a. Aún existe desplazamiento (offset)

3.1.5.2 Control Integral puro:

$$G_C = \frac{K_C}{\tau_I s}$$

1. Incrementa el orden del Modelo E/S del Sistema
2. No tiene desplazamiento (offset)

3.1.5.3 Control DERIVATIVO puro:

$$G_C = K_C \tau_D s$$

En este caso, la acción de control, relativa al error, en el campo transformado será:

$$G_c = K_c \tau_D s .$$

Nuevamente, suponiendo que el sistema de medición y de actuación final son ideales ($G_M=1$; $G_F=1$), la respuesta del bucle cerrado para un proceso de primer orden será:

$$\bar{y}(s) = \frac{\frac{K_p}{\tau_p s + 1} K_c \tau_D s}{1 + \frac{K_p}{\tau_p s + 1} K_c \tau_D s} \bar{y}_{REF} = \frac{K_p K_c \tau_D s}{(\tau_p + K_p K_c \tau_D) s + 1} \bar{y}_{REF}$$

entonces:

1. No cambia el orden de la respuesta dinámica
2. La constante de tiempo del bucle cerrado ($\tau_p + K_p K_c \tau_D$) es MAYOR que la constante de tiempo del proceso en bucle abierto (τ_p)... La respuesta en bucle cerrado es más lenta que la del proceso original.

Naturalmente, si se considera un proceso de segundo orden que está subamortiguado, la acción de un control D podría ser útil para sobreamortiguarlo. La capacidad de incrementar la amortiguación y decrementar la rapidez de la respuesta se utiliza para generar sistemas más *robustos* que los existentes sin control.

3.1.5.4 Acción de Controladores Compuestos

Se utilizan controladores P, PI y PID pero no se utilizan controles I ni D ni PD ni ID.

3.1.5.5 Acción PI:

1. Incrementa el orden de la respuesta
2. No presenta desplazamiento (offset)
3. Al incrementar la ganancia del controlador, K_c la respuesta es más rápida pero más oscilatoria. Valores muy altos de K_c pueden desestabilizar la respuesta.

4. Al contrario, al disminuir τ_i , el tiempo integral, a K_C constante, la respuesta es más rápida pero más oscilatoria (mayores sobre pasos y tasas de decaimiento).

5.
$$G_c = K_c \times \left(1 + \frac{1}{\tau_i \times s} \right)$$

3.1.5.6 Acción PID:

En síntesis, las características dinámicas son las mismas que para PI. Existen, sin embargo, beneficios: PI rápido significa K_C grande; pero hay riesgo de inestabilidades porque crece el sobre paso! Si hay acción derivativa, por otra parte, el sobre paso queda casi constante al incrementar K_C (dentro de límites razonables), es decir, se acelera la respuesta pero no se incrementa la amplitud de oscilación.

Estos bucles de control presentan las características dinámicas anotadas y se debe enfatizar que la *presencia de:*

Sensores

Actuadores

Controladores

¡cambia las características dinámicas respecto del proceso sin control!

Se ha visto que: para un proceso primer orden (i.e. No Oscilatorio) con un controlador PI puede adquirir características oscilatorias.



También, un proceso de segundo orden, oscilatorio pero estable, puede inestabilizarse con un control PI.

Será importante entender la estabilidad de procesos controlados antes de poder diseñar controladores concretos.

3.1.5.7 Análisis de estabilidad de sistemas realimentados

Estable: Se dice de un sistema que cumple la condición *BIBO* (bounded input, bounded output): En mayor detalle, es un sistema que, frente a una excitación acotada, produce una respuesta acotada. La excitación puede ser un cambio de referencia o una perturbación. El sistema no debe "dispararse" es decir, no debe *tender* a infinito sino que mantenerse acotado.

Acotada: Variable que se mantiene dentro de límites (escalón unitario, senoide, diente de sierra, pero NO una Rampa). No-Acotado significa, simplemente, que es muy grande porque en ingeniería real no existe infinito (los tanques se rebalsan, las bombas tienen un caudal máximo, los hornos se funden, entre otros.)

Es sabido que si la función de transferencia de un modelo tiene polos en el semiplano complejo derecho (parte real positiva) genera soluciones exponenciales de exponente positivo por el tiempo, que tiende a infinito. Tal función de transferencia corresponde así, a un modelo de un sistema inestable.

La localización de polos entrega sólo un primer criterio de análisis de estabilidad: Si una función de transferencia tiene algún polo con parte real > 0 , el modelo es inestable.

3.1.5.8 ESTABILIZACIÓN con control P

Dado un proceso de respuesta

$$\bar{y}(s) = \frac{10}{s-1} \bar{m}(s) + \frac{5}{s-1} \bar{d}(s)$$

que es claramente inestable (¿por qué?), introduzca un controlador de realimentación negativa de tipo P (con sensor y actuador ideales, i.e. $G_M=G_F=1$) y obtendrá la respuesta de bucle cerrado:

$$\bar{y}(s) = \frac{10K_C}{s-(1-10K_C)} \bar{m}(s) + \frac{5}{s-(1-10K_C)} \bar{d}(s) \text{ de donde las F. de T.}$$

$$G_{REF} = \frac{10K_C}{s-(1-10K_C)} \quad \text{y} \quad G_{PERTURB} = \frac{5}{s-(1-10K_C)}$$

Ambas funciones de transferencia tienen un polo común NEGATIVO si es que $K_C > 0,1$ (y vice versa), es decir, el control P puede estabilizar sistemas inestables, si la ganancia del controlador se elige adecuadamente (porque "desplaza" polos).

3.1.5.9 DES-ESTABILIZACIÓN con control PI

Un sistema cuya función de transferencia:

$$G_P(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 2}$$

es un segundo orden con dos polos complejos de parte real negativa, es decir, oscilatorio pero estable. $P_{1,2} = -1 \pm j$, introduzca un control PI de realimentación negativa, con $G_M=G_F=1$ para obtener la respuesta dinámica a cambios en la referencia según:

$$\bar{y}(s) = \frac{G_p(s)G_c(s)}{1+G_p(s)G_c(s)} = G_{RRF}(s) y_{RRF}^-(s)$$

es decir

$$G_{RRF} = \frac{G_p(s)G_c(s)}{1+G_p(s)G_c(s)} = \frac{\left(\frac{1}{s^2+2s+2}\right)K_c\left(\frac{\tau_I s+1}{\tau_I s}\right)}{1+\left(\frac{1}{s^2+2s+2}\right)K_c\left(\frac{\tau_I s+1}{\tau_I s}\right)} = \frac{K_c(\tau_I s+1)/\tau_I}{s^3+2s^2+(2+K_c)s+K_c/\tau_I}$$

Finalmente, la ecuación característica es: $s^3 + 2s^2 + (2 + K_C)s + K_C/\tau_I$

Luego, como el controlador PI tiene **dos** parámetros que se deben elegir y dado que los polos dependen de K_C y de τ_I el comportamiento dinámico será una función de los dos valores elegidos. Elija, por ejemplo, $K_C=100$ y $\tau_I =0,1$ para poder encontrar los polos de la función de transferencia del bucle cerrado por controlador PI (es decir, las raíces de la ecuación característica):

$$s^3+2s^2+(2+100)s+100/0,1 = 0$$

que resultan ser:

$$p_1=-7,185$$

$$p_{2,3}=2,59 \pm 11,5j$$

de modo que existen 2 polos con parte real 0.

Así, el proceso sin control (el llamado "bucle abierto") es estable mientras que el sistema controlado ("bucle cerrado") PI resulta inestable (con los parámetros seleccionados para el controlador).

Para generalizar esta metodología de análisis de estabilidad, recuerde que la estabilidad, desde el punto de vista de la localización de polos, se analiza mediante la Ecuación Característica que hemos visto que es siempre la misma, tanto para el problema servo como para el problema de regulación. Además, la



ecuación característica es siempre (para bucles cerrados de realimentación negativa):

$$1+G_P G_F G_C G_M = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n$$

que resultará en un polinomio en s de grado "n". Existe, naturalmente, la posibilidad de que "n" sea un número tan grande como para que el cálculo de los polos de la función de transferencia (las raíces de la ecuación característica) sea excesivamente tedioso.

El cálculo de raíces, por otra parte, sólo tiene por objetivo indagar sobre la respuesta dinámica, es decir, bastaría saber si es que existen polos inestables (parte real positiva) y conocer sólo el valor de ellos.

Para el análisis de estabilidad no es estrictamente necesario conocer la localización de cada polo, *basta saber si algún polo tiene parte real negativa.*

3.1.5.10 Reactor con control P

En un reactor se mezclan A y R. las reacciones serán:



El caudal de salida será F y se manipula (proporcionalmente) el caudal de A que será "m", de modo que el caudal de R será $F-m$. La respuesta de interés será



la concentración de C (es decir, se mide C para manipular m). Según Douglas, la FT del proceso es:

$$G_p = \frac{2,98(s + 2,25)}{(s + 1,45)(s + 2,85)^2(s + 4,35)} \text{ asi que la ec. carac. sera}$$
$$1 + \frac{2,98(s + 2,25)}{(s + 1,45)(s + 2,85)^2(s + 4,35)} K_c = 0$$

porque se supuso actuador y sensor ideales. Cuando $K_C=0$, los polos son simples de determinar. Pero, cuando K_C adquiere diversos valores se necesita un método iterativo de determinación de ceros. Falta aquí el Diagrama Localización ceros en campo complejo y tabla valores de polos y ganancia K_C .

Se observa que el sistema es estable para ganancias hasta 50. En algún valor entre 50 y 100, el gráfico cruza hacia el semiplano derecho y el sistema en bucle cerrado será inestable. Además, para cualquier valor de $K_C > 0$, pero menor que el valor crítico, la respuesta del sistema será oscilatoria sobre amortiguada (oscilación de amplitud decreciente).

Finalmente, para ganancias mayores que la crítica, la inestabilidad corresponde a polos complejos conjugados de modo que la desestabilización será una oscilación de amplitud creciente. Este método (localización de polos o de raíces) podría servir para el diseño de controladores, porque el diseño requiere saber:

- 1.- ¿Qué tipo de controlador se debe usar para una aplicación particular?
- 2.- ¿Cómo se seleccionan los valores de los parámetros del controlador?
- 3.- ¿Qué criterios de eficiencia debieran usarse para sintonizar los parámetros del controlador?



CAPÍTULO IV

MARCO TEÓRICO:

PROYECTO ADMINISTRATIVO



4. MARCO TEÓRICO: PROYECTO ADMINISTRATIVO

4.1 GENERALIDADES

4.1.1 Definición

–Es una metodología de trabajo en grupo muy estricta para evaluar un sistema, un diseño, un proceso o un servicio en cuanto a las formas en las que ocurren los fallos.

–Es un análisis inductivo que detalla sistemáticamente, componente a componente, todos los posibles modos de fallo e identifica el efecto resultante de los mismos sobre un sistema.

4.1.2 Finalidad

El FMEA busca que los criterios de valoración de modo del sistema sean efectivos para responder con éxito ante una petición operacional cuando está sometido a condiciones específicas. La efectividad del sistema es función dependiente de un diseño adecuado, cumplimiento de medidas, seguridad, fiabilidad, calidad, productividad y mantenimiento.

Un AMFE es desarrollado con el fin de tener un grado de alta fiabilidad, es decir, la probabilidad de que un sistema ejecute de forma satisfactoria sus funciones, durante un periodo de vida determinado y condiciones operativas específicas.



4.1.3 Factores y Aspectos que determinan un AMFE

Aspectos

Con el fin de llegar a conclusiones válidas, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

No todos los problemas son importantes y hay que categorizar los fallos.

Se necesita conocer el cliente, para determinar las consecuencias del fallo.

Es necesario conocer la función a la que se destina el elemento que puede fallar para determinar el modo de fallo.

Factores

Ocurrencia: frecuencia con la que aparece el fallo.

Severidad: la seriedad del fallo producido.

Detectabilidad: si es fácil o difícil detectar el fallo.

La complicación del análisis dependerá de la complejidad del problema analizado, la que a su vez, dependerá de:

La seguridad

Los efectos del paro

El acceso

La planificación de reparaciones.

4.1.4 Tipos de FMEA

Se pueden distinguir tres tipos de AMFE según el tipo de proceso para el que se aplique:

AMFE de diseño o desarrollo, aplicado a procesos de diseño de nuevos productos o sistemas. Por ejemplo: válvulas, compresores, PLC, etc.

AMFE de procesos, aplicado a procesos de fabricación de un producto. Por ejemplo: la pasteurización de la leche o los helados.

AMFE de sistemas, aplicado a todos los procesos de la vida de un sistema. Por ejemplo: sistemas de lubricación, o tratamiento de aguas, etc.

4.1.5 Partes que conforman el documento FMEA

Nombre de equipo

En este apartado se coloca el nombre de la parte. En caso de que se repita un nombre se debe especificar con números y letras. Ejemplo: cuerpo de la válvula

Función

Se identifica la función de la parte que se analiza. Esta define la función principal en el sistema. Ejemplo: Asegura el cierre hermético de la válvula

Modo de falla

Es un análisis de todos los modos de falla que puede tener el componente que se está analizando.

Se ponen todas las malas funciones que puede dar el componente. Ejemplo: falta de hermeticidad en el orificio de la válvula.

Efectos de falla

Se colocan todos los posibles efectos que pueden generarse por el modo de falla.

Se refiere a la consecuencia que el tipo de falla tiene sobre la operación, función o estado de la parte o del sistema. Ejemplo: fugas de flujo en el cierre hacia la tubería.

Causas de la falla

En este apartado se coloca el proceso físico o químico, defectos de diseño, de calidad, mala uso de la pieza u otros procesos, que constituyan la razón fundamental de la falla o que pueden iniciar el proceso físico de deterioro que precede a la falla. Ejemplo: Desgaste en el sello del asiento

Acciones Proactivas

En esta columna es donde se dan las acciones a seguir para corregir las fallas. Dependiendo del grado de la falla, así será la acción a tomar.

Tipo 1 : Mantenimiento Preventivo.

Estos controles previenen la causa o el modo de falla de que ocurra o reduce su ocurrencia. Ejemplo: Revisión de rastros de suciedad o condensado, si es vapor, en línea principal de trasiego de fluido.

Tipo 2 : Mantenimiento correctivo.

Estos controles detectan la causa del modo de falla y guían hacia una acción correctiva. Ejemplo: Cambio de asiento.



Tipo 3 : Mantenimiento predictivo

Estos controles detectan el modo de falla antes de que el equipo o sistema caiga. Ejemplo: Instalación de un medidor de flujo que dispare una alarma cuando el nivel de flujo no es el indicado.

4.2 ANÁLISIS DE EFECTOS Y MODOS DE FALLAS (FMEA)

4.2.1 ¿Qué es un Modo de Falla?

Un modo de falla podría definirse como cualquier evento que es probable causa para que falle un recurso (sistema o proceso). Sin embargo es mucho más preciso distinguir entre una falla funcional, un estado fallado, y un modo de falla, un evento que podría causar un estado fallado. Esta distinción lleva a la siguiente definición más precisa de un modo de falla:

Un modo de falla es algún evento
qué causa una falta funcional

La mejor manera de mostrar la conexión y la distinción entre los estados fallados y los eventos que podrían causarlos, es en listar fallas funcionales primero, para grabar los modos de falle que podrían causar cada falla funcional.

Una descripción de un modo de falla debe consistir en un nombre y un verbo. La descripción debe contener bastante detalle para que sea posible seleccionar una estrategia de dirección de falla apropiada, pero no tanto detalle que se gasten cantidades excesivas de tiempo en el propio proceso del análisis

Por ejemplo, un término como falla en acople no proporciona ninguna pista acerca de lo que podría hacerse para anticiparse o prevenir la fallas. Sin embargo, si nosotros decimos falla en acople debido a fatiga, entonces sería más fácil de identificar una posible tarea proactiva.

4.2.2 ¿Por qué Analizar Modos de Falla?

Una sola máquina puede fallar por docenas de razones. Un grupo de máquinas o sistema como una línea de la producción, puede fallar por centenares de razones. Para una planta entera, el número de razones puede ser miles y miles.

El temor de los gerentes es pensar en el tiempo y el esfuerzo que probablemente se ve involucrado en identificar éstos modos de falla. Muchos deciden que este tipo de análisis es simplemente demasiado trabajo, y abandonan la idea completamente. Estos gerentes pasan por alto el hecho que en una base diaria, del mantenimiento, se maneja realmente al nivel de modo de falla. Por ejemplo:

Se levantan órdenes o demandas de trabajo para cubrir modos de falla específicos

El mantenimiento diario es hacer planes para tratar con modos de falla específicos

Entre las tareas industriales, las personas de mantenimiento realizan reuniones todos los días. Las reuniones normalmente consisten en discusiones sobre lo que ha fallado, lo que lo causó (a quién culpar), lo que está haciéndose para repararlo y en ocasiones, lo que puede hacerse para detenerlo. Para abreviar, la reunión entera es una discusión sobre modos de fallo.



Tristemente en demasiados casos que se discuten modos de fallas, se hace después de que han ocurrido. Tratar con fallas después de que han pasado es, por supuesto, mantenimiento reactivo (mantenimiento correctivo).

Una dirección proactiva, por otro lado, trata con eventos antes de que ocurran o por lo menos, decidiendo cómo deben repartirse si fueran a ocurrir.

4.2.3 Categorías de Modos de Falla

Algunas personas consideran mantenimiento como hacer todo para tratar el deterioro. Igualmente algunos creen que la especificación del FMEA va sólo enfocado a tratar con modos de fallo causados por deterioro y deben ignorar otras categorías de modos de fallo, como errores humanos y fallas del plan. Esto es infortunado, porque a menudo ese deterioro causa una proporción sorprendentemente pequeña de fallas. En los casos donde sólo se restringe el análisis al deterioro pueden llevar a una estrategia de mantenimiento incompleta.

Los modos de fallo pueden ser clasificados en uno de tres siguientes grupos:

Cuando la capacidad se cae debajo de la actuación deseada

Cuando la actuación deseada sube de la capacidad inicial

Cuando el recurso no es capaz de hacer lo que se quiere de salida

4.2.3.1 Capacidad cayente

La primera categoría de modos de falla cubre situaciones donde se desea a capacidad anterior, pero el recurso no lo permite:



Las cinco causas principales de reducción de la capacidad son:

deterioro

fallas de lubricación

suciedad

desmontaje

“capacidad reducida” errores humanos.

Deterioro

Cualquier recurso físico que tenga una función de contacto con el mundo real está sujeto a una variedad de tensiones. Estas tensiones causan que el recurso se deteriore bajando su capacidad, o en otras palabras, su resistencia. Esta última disminuye tanto que el recurso ya no puede entregar la actuación deseada y por consiguiente, falla.

El deterioro cubre toda forma de “desgaste” como lo son fatiga, corrosión, la abrasión, erosión, la evaporación, degradación de aislamiento, entre otros. Estos modo de de falla deben ser incluidos, por supuesto, en una lista de modos de falla pues son bastante probables.

Falla de la lubricación

La lubricación es asociada con dos tipos de modos de falla. El primero por falta de lubricante y el segundo por falla del propio lubricante.

La segunda categoría de fallas asociada con deterioro del propio lubricante. Es causado por fenómenos como oxidación de la base de aceite y disminución de aditivos. En algunos casos el deterioro del aceite puede ser agravado por la



presencia de lodo, agua o de otro contaminante. También el lubricante no puede hacer su trabajo, simplemente porque el lubricante se ha usado mal. Si se considera que todos estos modos de fallas son probables en el contexto bajo consideración, entonces ellos deben grabarse y sujetarse al análisis (Esto también aplica al aceite del transformado, y el aceite hidráulico).

Suciedad

Suciedad o el polvo es una causa muy común de falla. Interfiere directamente con máquinas causándoles bloqueo. La suciedad también puede causar problemas de calidad de producto, entrando en los mecanismos sujetos de la máquina o las herramientas, entrando directamente en los productos como la comida, farmacéuticos o aceite de artefactos. Como resultado, deben listarse fallas causadas por suciedad en el FMEA siempre que sea probable, que ellos interfieran con una función significativa del recurso.

Desmontaje

Si los componentes se caen de las máquinas, los ensambles se caen de las máquinas en parte o enteras, las consecuencias normalmente son muy serias, así que los modos de falla pertinentes deben listarse. Estos normalmente son la falla de soldaduras, juntas soldadas o remaches debido a fatiga o corrosión, o la falla de conexiones eléctricas o montajes de tuberías que también pueden fallar debido a fatiga o corrosión.

Error humano que reduce capacidad

El subconjunto final de la “capacidad cayente” son aquellos causados por error humano. Estos se refieren a errores que reducen la capacidad del proceso a



la magnitud, que es incapaz de funcionar como requiere el usuario.

Si se conocen modos de fallo de este tipo, deben grabarse en el FMEA para que puedan tomarse decisiones de dirección de falla apropiadas en el proceso

4.2.3.2 Aumento en Actuación Deseada (o Aumento en Tensión Aplicada)

La segunda categoría de modos de falla ocurre cuando la actuación está sobre la capacidad del recurso cuando se pone en servicio.

Esto causa que el recurso pueda fallar en una de dos maneras:

que la actuación deseada sube hasta que el recurso ya no puede entrenarlo, o

el aumento en el deterioro por causas de tensión para acelerar a tal magnitud que el recurso queda inestable y es inútil.

Ocurre por cuatro razones, las primeras tres incluyen algún tipo de error humano:

1. Sostenido, carga excesiva en forma deliberada
2. Sostenido carga excesiva en forma involuntaria
3. Súbito. carga excesiva en forma involuntaria
4. Material o proceso incorrecto

1. Sostenido, carga excesiva en forma deliberada

En muchas industrias, los usuarios ceden ante la tentación de acelerar equipo para contestar a un aumento en la demanda de los productos. En otros casos, las personas usan recursos existentes para procesar un producto con características diferentes como unidades más grandes, más pesadas, clasifica según tamaño o las normas de calidad más altas. Las personas hacen esto en la creencia que sacaran más de sus medios sin aumentar en inversión. Esto incluso puede ser verdad en periodos cortos. Sin embargo, esta solución lleva multas a largo plazo en términos de fiabilidad reducida y/o disponibilidad, sobre todo cuando las tensiones aumentadas empiezan a exceder la habilidad del recurso de resistirlos. Este fenómeno causa algunas de las disputas más feroces entre el mantenimiento y las personas de producción y ocurre porque se está considerando el problema desde dos puntos de vista diferentes.)

Las dos opciones de solución son modificar el recurso para mejorar su capacidad inherente, o bajar nuestras expectativas y operar la máquina dentro de sus capacidades.

2. Sostenido, carga excesiva en forma involuntaria

En muchas industrias que trabajan en líneas de producción ocurre el problema que una máquina en el proceso debe cubrir la producción proveniente de varias máquinas, son los llamados “cuellos de botella”, un ejemplo común es una máquina para etiquetar, que debe etiquetar las botellas que vienen de cuatro máquinas de llenado, lo que ocasiona que la etiquetadora trabaje con carga excesiva.

Claramente, si en una planta está sucediendo modos de falla de este tipo, ellos deben grabarse en el FMEA para que puedan repartirse apropiadamente.

3. Súbito, carga excesiva en forma involuntaria

Muchos fallas sedan súbitamente, normalmente causadas a su vez por:

funcionamiento incorrecto (por ejemplo. si una máquina se pone en marcha atrás mientras se esta avanzando).

ensamblaje incorrecto.

daño externo por ejemplo, si un relámpago golpea una instalación eléctrica pobremente protegida.

Si cualquiera de éstos modos de falla pueden ser bastante probable en el contexto bajo consideración, ellos deben incorporarse en el FMEA.

4. Materiales o proceso incorrecto

Los procesos industriales sufren a menudo fallas funcionales causados por materiales del proceso que están fuera de especificación, en los términos de tales variables como consistencia, dureza o pH. Igualmente a menudo las plantas padecen de materiales inadecuados o incompatibles.

En ambos casos, las máquinas fallan porque ellos no pueden manejar el material que esta fuera de especificación Y esto puede verse como un aumento en la tensión aplicada.



Incapacidad inicial

Cuando la capacidad inicial no es suficiente se debe realizar mantenimiento para renovar la capacidad.

Esta incapacidad es producto de un problema, normalmente es porque algún elemento del sistema presenta poca capacidad o es inadecuado en el proceso, sin embargo estos eslabones débiles perturbaron el funcionamiento de la cadena entera. El primer paso hacia la rectificación de problemas de esta naturaleza es listarlos como modos de falla en un FMEA.

4.2.4 ¿Cuánto Detalle?

Es necesario que los modos de falla sean descritos en bastante detalle, de manera que sea posible seleccionar una estrategia apropiada, pero no en tanto detalle, que se gastan cantidades excesivas de tiempo en el propio proceso del análisis.

En la practica, puede ser sorprendentemente difícil de encontrar un nivel apropiado de detalle. Sin embargo, es importante hacerlo, porque la profundidad del nivel de detalle afecta la validez del FMEA y la cantidad de tiempo para hacerlo. Muy poco detalle y/o muy pocos modos de falla, hacen que sea superficial y a veces se convierten en análisis peligrosos. Demasiados modos de falta y/o demasiadas causas en detalle, hacen que el análisis tome más tiempo del que necesita. En casos extremos, el detalle excesivo puede causar que el proceso tome dos o incluso tres veces más tiempo que el necesario, lo cual se conoce como un fenómeno de parálisis del análisis.



Esto significa que es esencial encontrar el equilibrio correcto. Algunos de los factores importantes que necesitan ser tomados en cuenta se discuten en los párrafos siguientes.

4.2.5 Causalidad

Pueden definirse las causas de cualquier falla funcional a casi cualquier nivel de detalle, y los niveles diferentes son apropiados en situaciones diferentes. Al extremo, que a veces es bastante, para resumir las causas de una falla funcional en una declaración, como “la máquina falla”. Por otro lado, nosotros podemos necesitar considerar lo que sale mal al nivel molecular y/o explorar las esquinas remotas de la manipulación de los operadores y de mantenimiento para definir las causas raíz, llamada causa de falla.

Los dos problemas más importantes de preocupación son “las causas raíz” y “el error humano”. Ellos se discuten a continuación:

El termino “la causa raíz” se usa a menudo en relación con el análisis de fallas. Implica que si se taladra bastante, es posible llegar a un examen final y el nivel absoluto de causalidad. De hecho, éste raramente es el caso.

Obviamente para poder detener a un nivel apropiado, las personas que hacen el análisis necesitan ser conscientes del rango de falla, dirección, política, opciones. entre otros aspectos.

4.2.5.1 Error humano

Anteriormente se mencionó este problema y como si se considera una causa probable de falla se debe tener en cuenta en el análisis.



4.2.5.2 Probabilidad

Los modos de falla diferentes ocurren a frecuencias distintas. Algunos pueden ocurrir regularmente, en intervalos medidos en meses, semanas o incluso días. Otros pueden ser extremadamente improbables que ocurran. Al preparar un FMEA, deben tomarse decisiones continuamente acerca de qué modos de falla pueden o no ocurrir. Esto significa que nosotros no intentamos listar cada posibilidad de falla sin tener en cuenta su probabilidad.

Deben grabarse sólo modos de fallo que podrían esperarse razonablemente que ocurran en el contexto en cuestión. Una lista probablemente debe contener los siguientes modos de falta:

Fallas que han ocurrido antes en los mismos o similares recursos.

Falla modos que ya son asunto de rutinas de mantenimiento.

Cualquier otro modo de falla que no ha ocurrido todavía pero que es considerado en las posibilidades reales.

4.2.5.3 Consecuencias

Si es probable que las consecuencias sean de hecho muy severas, entonces probablemente deben listarse posibilidades de falla y deben sujetarse para llevar más allá el respectivo análisis.



4.2.6 Efectos de falla

El siguiente paso es el proceso de vincular lo que pasa cuando cada modo de falla ocurre, estos son conocidos como efectos de falla.

*Los efectos de falla describen lo que pasa
cuando un modo de falla ocurre*

Una descripción de efectos de falla debe incluir toda la información que necesite apoyar para la evaluación de las consecuencias de falla. Específicamente, al describir los efectos de una falla, lo siguiente debe grabarse:

Qué evidencia hay que la falla ha ocurrido.

De qué maneras genera una amenaza a la seguridad o el ambiente.

De qué maneras afecta la producción o funcionamientos.

Qué daño físico es causado por la falla.

Qué debe hacerse para reparar la falla.

4.2.7 Evidencia de falla

Deben describirse efectos de falla en cierto modo que habilite que el equipo que hace el análisis, para decidir si la falla se pondrá en evidencia en la operación bajo las circunstancias normales. Por ejemplo, la descripción debe declarar si la falla se advierte por luces o alarmas y si la advertencia se da en un tablero local, en un cuarto del mando central, o ambos.

De esta manera la descripción debe declarar si la falla se acompaña fue precedida por, efectos físicos obvios como ruidos, disparos, humos, escapando olores de vapor extraños o charcos de líquido en el suelo. También debe declarar si la máquina apago como resultado del falla.

La descripción de un efecto de fallo normalmente suma entre veinte y sesenta palabras.

4.2.8 Seguridad y los Riesgos Medioambientales

El plan de la planta industrial moderna ha evolucionado al punto que sólo una proporción pequeña de modos de falla presenta una amenaza directa a la seguridad o el ambiente. Sin embargo, si hay posibilidad de que alguien pueda salir dañado o bien morir como resultado directo de la falla a una norma medioambiental o regulación, el efecto de la falla debe describir cómo es que esto podría pasar. Los ejemplos incluyen:

- riesgo aumentado de fuego o explosiones
- el escape de químicos (gases, líquidos o sólidos)
- electrocución
- objetos cayentes
- estallidos depresión (sobre todo los sistemas hidráulicos)
- exposición a materiales muy calientes o fundido
- la desintegración de componentes
- accidentes del vehículo o descarrilamientos
- exposición a bordes afilados
- niveles del ruido aumentados
- el derrumbamiento de estructuras
- el crecimiento de bacterias
- el ingreso de Suciedad en comida o los productos farmacéuticos
- inundación.

Se nota que, no sólo hay que preocuparse por las posibles amenazas al



propio personal, sino también sobre las amenazas a la seguridad de clientes y la comunidad en conjunto. Esto puede requerir alguna investigación por el equipo que hace el análisis en el medioambiental y normas de seguridad que gobiernan el proceso bajo la revisión.

4.2.9 Daño secundario y Efectos de la Producción

Las descripciones de efecto de falta también deben ayudar con decisiones operacionales y las consecuencia de falla no-operacionales. Para hacer esto, se debe indicar cómo la producción es afectada, y por cuánto tiempo. Esto normalmente es dado por la cantidad de tiempo fuera de servicio asociada con cada falla.

Además del tiempo fuera de servicio, debe listarse cualquier otra manera en la que la falla podría tener un efecto significativo en la capacidad operacional del recurso. Las posibilidades incluyen:

- cómo la calidad del producto o el servicio del cliente es afectado, y en ese caso si cualquier multa financiera está envuelta.
- si cualquier otro equipo o la actividad también tiene que detener (o reduce la velocidad).
- si la falla lleva a un aumento en costos de operación globales además del costo directo de reparación, como costos de energía más altos.
- qué daño secundario es causado por la falla.

4.2.10 Las fuentes de Información sobre los Modos y Efectos

Las fuentes mas comunes de información son descritas a continuación, incluyendo sus principales ventajas y desventajas.

4.2.10.1 El fabricante o vendedor del equipo

Al llevar a cabo un FMEA, la fuente de información que normalmente desea importar primero es el fabricante. Es especialmente así en el caso de equipo nuevo. En algunas industrias, esto ha alcanzado un punto donde se piden rutinariamente a fabricantes o a vendedores que proporcionen un FMEA comprensivo parte del contrato de suministro de equipo. Esto implica que los fabricantes saben todo lo que se necesita ser conocido sobre como los equipos pueden fallar y lo que pasa cuando esto ocurre.

Los fabricantes también tienen acceso a información sobre el contexto de operación del equipo, normas deseadas de la actuación, consecuencias de falla y las habilidades de los operadores o del usuario de mantenimiento. Más a menudo los fabricantes no saben nada sobre estos problemas. Como resultado, un FMEA elaborado por estos fabricantes, es normalmente genérico y a menudo muy especulativo

La minoría de fabricantes de equipo que pueden producir un informe satisfactorio están en una de dos categorías:

- 1- Están envueltos manteniendo el equipo a lo largo de su vida útil.
- 2- Ellos pagan para llevar a cabo estudios de fiabilidad formales en prototipos

4.2.10.2 Listas genéricas de modos de falla

Una lista de modo de fallas, consiste en una lista genérica donde se han guardado fallas. Estas listas se tienen como otro método de agilización para esta parte del programa de mantenimiento desarrollado en el proceso. Las listas



genéricas de modos de fallas deben revisarse con detenimiento, para evitar que el FMEA quede cargado de fallas que no tienen interés, por las siguientes razones:

El nivel de análisis puede ser impropio

El contexto de operación puede ser diferente

Las normas de la actuación pueden diferir

Estos tres puntos significan que una lista genérica de modos de falla sólo debe usarse para complementar un FMEA y nunca ser usada como una lista definitiva.

4.2.10.3 Otros usuarios del mismo equipo

Otros usuarios son una fuente obvia y muy valiosa de información sobre lo que puede resultar mal con los recursos normalmente usados. Esto se hace a menudo a través de las asociaciones de industria, a través de los cuerpos regulador (como en aviación civil) o entre las ramas diferentes de la misma organización. Sin embargo, se debe tener en cuenta los comentarios anteriores sobre los peligros de datos genéricos al considerar estas fuentes de información.

4.2.10.4 Archivos históricos técnicos

Los archivos históricos técnicos también pueden ser una valiosa fuente de información. Sin embargo, deben tratarse con cautela por las razones siguientes:

Están a menudo incompletos

La mayoría de las veces, describen lo que fue hecho para reparar la falla en lugar de lo que lo causó



Ellos no describen fallas que no han ocurrido todavía

Describen en muchas ocasiones modos de falla que realmente son el efecto de alguna otra falla.

Estos inconvenientes significan, que los archivos de historiales técnicos sólo deben de usarse como una fuente suplementaria de información al preparar un FMEA, nunca como una sola fuente.

4.2.10.5 Las personas que operan y mantienen el equipo

En casi todos los casos las mejoras fuentes de información para preparar un FMEA las constituyen las personas que operan y mantienen el equipo día a día. Ellos tienden a saber más sobre cómo trabaja el equipo, lo que sale mal con él, cuánta importancia tiene cada falla y lo que debe hacerse para arreglado y si ellos no saben, ellos son los apropiados para averiguarlo.

La mejor manera de aprovechar su conocimiento es trabajar con ellos formalmente en la preparación del FMEA. La manera más eficaz de hacerlo es mediante la guía de un facilitador adecuadamente especializado, por medio de una serie de reuniones.

4.2.11 *¿Como realizar el FMEA?*

Para hacer un FM EA se requiere los siguiente aspectos:

Un equipo que incluya ingenieros, técnicos, operadores, un facilitador y cualquier otro que se considere apropiado por el grupo, siempre con el compromiso de mejorar la capacidad de producción para satisfacer las necesidades de la empresa



Diagramas esquemáticos y de bloque de cada sistema mecánico o eléctrico.

Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.

Especificaciones funcionales de cada módulo.

Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.

Para el producto/diseño y proceso de los FMEAs se deben seguir diez pasos:

Paso 1: Revisión del proceso

Para asegurarse de que todos en el equipo FMEA tienen el mismo conocimiento del proceso en el que se está trabajando, el equipo debe revisar el plano, o un dibujo ingenieril, del producto si están realizando un FMEA sobre este, o un detallado cuadro de flujo de la operación, si están realizando un FMEA en un proceso.

- Con el plano ó cuadro de flujo en mano, los miembros del equipo se deben familiarizar con el producto o proceso.

- Si el FMEA es aplicado en un producto, el equipo debe ver físicamente el producto o un prototipo del mismo.

- Si el FMEA es aplicado a un proceso, el equipo debe físicamente caminar a través del proceso tal y cómo este se lleva a cabo.

Paso 2: Lluvia de ideas sobre los potenciales modos de fallo

Una vez que todos en el equipo entienden el proceso, o producto, los miembros pueden comenzar a pensar sobre los modos de falla potenciales que pueden afectar el proceso de manufactura o la calidad del producto. Una sesión de lluvia de ideas pondrá todas esas opiniones sobre la mesa. Los miembros del equipo deben presentarse a esta sesión con una lista de sus ideas. Una vez terminada esta actividad deben ser ordenadas por categorías. El equipo debe escoger las mejores categorías para agruparlas, ya que existen muchas y diferentes formas de llevar esto a cabo.

Se podrían agrupar por el tipo de fallo, eléctrico, mecánico, usuario, en donde ocurrió la falla. Al realizar esto se permite que el proceso de FMEA se efectúe con mayor facilidad. Cuando los modos de falla han sido agrupados y combinados, sería apropiado, que fueran transferidos a la hoja FMEA.

Paso 3: Lista potencial de los efectos de cada modo de fallo.

Con los modos de fallo listados en la hoja FMEA, el equipo los revisa e identifica los efectos potenciales de la falla si ocurriera.

Este paso debe ser completo, ya que esta información alimentará la asignación de los rangos de riesgo para cada fallo. Es de ayuda pensar en este paso como un proceso de “si y entonces” : si ocurre el fallo, entonces cuales son las consecuencias.

Paso 4: Asignar un rango de gravedad para cada efecto.

El rango de gravedad es una estimación de cuán serio podría ser el efecto en caso de que el fallo ocurriera.

Como cada fallo puede tener varios efectos diferentes, y cada efecto puede tener un rango de gravedad diferente, es el efecto, y no el fallo, lo que se mide. Por consiguiente cada efecto se le da su propio rango de gravedad, aún si existen varios efectos para un mismo fallo.

Paso 5: Asignar un rango de ocurrencia para cada modo de fallo.

La mejor manera para determinar un rango de ocurrencia es usar datos actuales del proceso. Esto puede estar en la forma de datos de fallas o incluso en los datos de capacidad del proceso.

Cuando los datos de fallas actuales no están disponibles, el equipo debe estimar cuán seguido un modo de falta puede ocurrir; esto se logra pensando en las causas potenciales de la falla. Si estas últimas han sido identificadas para todos los modos de fallo, el rango de ocurrencia puede ser asignado, aún sin los datos del fallo.

Paso 6: Asignar un rango de detección para cada modo de fallo y/o efecto.

El rango de detección se puede ver como la capacidad que se tiene de detectar una falla o el efecto que causa este. Se comienza este paso identificando los controles disponibles que pueden detectar una falla o el efecto de este. Si no hay controles disponibles, la probabilidad de detección será baja, y el artículo



deberá recibir un alto rango, de un 9 o 10. Los controles disponibles deben ser listados primero para todos los modos de falla, o los efectos de las fallas y luego el rango de detección es asignado.

Paso 7: Calcular el número de prioridad de riesgo para cada efecto

Esté número de prioridad de riesgo (GOD) es fácilmente calculado, con sólo multiplicar los rangos de gravedad ocurrencia y detección para todos los artículos analizados

$$\text{GOD} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección.}$$

El número de prioridad de riesgo total debe ser calculado sumando todos los números de prioridad de riesgo. Este número por si solo no significa nada, porque cada FMEA posee un diferente número de modos de falla y efectos. Sin embargo, servirá como una medida para comparar el GOD total revisado contra el GOD original una vez que la acciones recomendadas han sido aplicadas.

Paso 8: Priorizar los modos de falla para tomar acciones.

Ahora, los modos de falla puedan ser priorizados en orden del número de prioridad de riesgo más alto al más bajo. Un diagrama de Pareto, ayuda a visualizar las diferencias entre los diferentes rangos.

El equipo deberá decidir ahora cuáles son los artículos en los que deberá trabajar. Usualmente, es de ayuda poner un límite mínimo, en donde cualquier modo de fallo con un GOD por encima de este límite deberá ser atendido; y los que estén por debajo, serán atendidos posteriormente.

Paso 9: Tomar acciones para eliminar o reducir los modos de fallo de alto riesgo.

Idealmente, los modos de fallo deben ser eliminados por completo, cuando esto se alcanza el nuevo número de prioridad de riesgo es cero, ya que el rango de ocurrencia se vuelve cero.

Mientras que la eliminación total de los modos de fallo es ideal, no siempre se puede alcanzar en todos los casos. Cuando esto sucede, se puede volver a los rangos de gravedad, ocurrencia y detección que el equipo asignó a cada artículo y pensar en formas para reducir los rangos en una, dos o en las tres categorías.

A menudo, el camino más fácil para mejorar un proceso o producto es incrementando la detectabilidad de un fallo, ya que esto reduce el rango de detección.

Reducir la gravedad es importante, especialmente en situaciones que pueden ocasionar lesiones.

Sin embargo, la mejor oportunidad para el mejoramiento yace en la reducción de la frecuencia de un fallo. Después de todo, si es improbable que un fallo ocurra, hay una menor necesidad para las medidas de detección.

Paso 10: Calcular el GOD obtenido a medida que los modos de fallo son reducidos o eliminados.

Una vez que las acciones han sido tomadas para mejorar el producto o proceso, nuevos rangos de gravedad, ocurrencia, y detección deben ser determinados y un nuevo GOD calculado.



Para los modos de falla en donde se tomaron acciones, debe existir una significativa reducción en el GOD. Si no es así, significa que la acción no redujo la gravedad, probabilidad de ocurrencia, o detectabilidad.

Es decisión del equipo FMEA y de la compañía, decidir cuán lejos el equipo debe llegar con las mejoras.

Siempre van existir modos de fallo potenciales que podrían ocurrir. La pregunta que debe hacerse la compañía es cuánto riesgo relativo está dispuesto a tomar el equipo. Esa respuesta dependerá de la industria y de la seriedad del fallo.



CAPÍTULO V

METODOLOGÍA



5. METODOLOGÍA

5.1 PROYECTO INDUSTRIAL

5.1.1 Tipo de investigación

Se efectuará una investigación de análisis sistemático ya que se plantea un estudio basado en datos de fabricante e información técnica proporcionada por operarios, así como también en resultados arrojados por el proceso al cual asisten las válvulas.

Además se contará con un monitoreo constante, a lo largo de una semana, de la señal de salida, para así poder relacionar sus valores nominales con los prácticos y obtener resultados que permitan determinar los factores externos que afectan el buen funcionamiento de las válvulas.

5.1.2 Variables involucradas

Puede decirse que una variable es una característica, fenómeno, valor o relación que puede cambiar su magnitud dependiendo de las condiciones a las que esté sujeta.

Tomando esta definición como punto de partida, se pueden establecer variables determinantes que aporten información cuantiosa al estudio. Siguiendo esta línea de escogencia se pueden definir como variables: el consumo de aire comprimido, el consumo de energía, la capacidad de modulación, el tiempo de puesta en línea o adecuación al proceso luego de haberse detenido este, el tiempo de respuesta a una señal análoga, señal de entrada y salida, porcentaje de



error, los costos de adquisición y operación, construcción, diseño, mantenimiento, repuestos y soporte técnico.

5.1.3 Recolección de información técnica

Se contará con fichas técnicas proporcionadas por el fabricante de cada una de las marcas en análisis, BÜRKERT y SAMSOM. Además, se harán consultas y entrevistas a los operarios directos para establecer parámetros de análisis en base al mantenimiento, repuestos, soporte técnico y costos de operación. Se consultará también páginas de internet y revistas técnicas.

Es importante destacar que, producto del monitoreo del comportamiento de las válvulas en el proceso que asisten, se obtendrán graficas relacionando las distintas variables de control de proceso, como por ejemplo: el porcentaje de error del sistema y la válvula, tiempos de apertura, señal de entrada que recibe la válvula y señal de salida que otorga la válvula, el resultado del comportamiento lógico de apertura y su relación con las variantes que puede presentar el sistema en proceso, cambio de presión, temperatura, paradas inesperadas, cambios productivos en el proceso o variaciones de entrada. Esta información se obtendrá en los días de prueba, del 4 al 7 de mayo, y se efectuará en la empresa Dos Pinos. De estos datos tan fundamentales se generaría la teoría de resultados y comportamiento que se requiere para obtener un patrón fiable del posible comportamiento de las válvulas en futuras pruebas de laboratorio.

Además se buscara cumplir la uniformidad de condiciones, pues el líquido trasegado será el mismo, vapor, con la misma temperatura, presión y aplicación, lo único distinto es la ubicación de la válvula ya que estarán en distintos pasteurizadores físicamente. Si bien es cierto, las válvulas asisten procesos donde las condiciones del fluido correspondiente varían, pues la temperatura del jugo no



será la misma requerida por la pasteurización de la leche, pero de igual manera, se obtendrá del análisis, datos que darán un idea clara de los parámetros operacionales y de comportamiento de cada válvula, como lo son tiempos de apertura, uniformidad de señal de salida, porcentaje de error, entre otros.

5.1.4 Técnicas y procedimientos

5.1.4.1 Medición de parámetros en estudio

Se iniciará el análisis realizando el monitoreo de las variables involucradas. El proceso consistirá en establecer una unión lógica entre los datos arrojados por el comportamiento de las válvulas y los establecidos por el proceso al cual asiste. Además se contará con una visualización gráfica que permita, con facilidad la interpretación de los datos. Esto gracias al sistema computacional de la empresa Dos Pinos, el cual posee la facultad de obtener directamente en el monitor del operario las variables de respuesta de las válvulas en análisis. Las válvulas en estudio corresponderán a las marcas analizadas y asistirán procesos similares en condiciones de producto y servicio.

El procedimiento se inicia con la selección y ubicación de las válvulas correspondientes de las marcas a analizar, las cuales trabajan en función de un mismo proceso y en condiciones de fluido similares pero en distintas máquinas, En este caso se utilizarán las válvulas de los pasteurizadores de helados. Luego se seleccionan las variables a monitorear tales como variable integral, diferencial, proporcional, porcentaje de apertura, setpoint, que corresponde a la señal o valor consigna que se desea siga la válvula, y señal de salida.

Una vez identificadas las variables, se procede a “logear” o “log in” estos parámetros, es decir, se agregan al sistema informático para que este proceda a



iniciar el monitoreo y recolección de información en la base de datos de la empresa. Después de finalizado el tiempo de prueba se recopilarán los datos y se iniciará el período de discusión y análisis por parte del practicante, con la asistencia del equipo del taller de electrónica de la empresa Dos Pinos.

5.1.4.2 Tiempos de cierre y apertura de válvulas PID de marca BÜRKERT y SAMSON.

Por medio de una rutina de comportamiento, representada por una gráfica previamente definida por el tipo de proceso en el cual se desempeñan las válvulas, se evaluarán los tiempos de respuesta de las válvulas analizadas, así como también los porcentajes de error correspondientes en el proceso. Esta gráfica será obtenida en el tiempo de prueba designado en trabajo conjunto por las partes involucradas, Dos Pinos y practicante.

Esta curva de reacción relacionará el tiempo de duración de la prueba versus la señal (temperatura en este caso) que representa el porcentaje de apertura de la válvula. Además permite comparar el porcentaje de apertura con el tiempo que dura esta en realizarse.

La curva contemplará comportamientos comunes y extremos que representen la operación normal a la cual se someten las válvulas en la empresa. Para realizar todo lo anterior se recurrirá a información técnica de la compañía Dos Pinos en el Coyol de Alajuela, con el fin de presentar una base fidedigna y real de la situación funcional del equipo.

5.1.4.3 Consumo de aire

El fabricante preestablece los valores de caudal propios para garantizar el óptimo funcionamiento del equipo en la ficha técnica de cada válvula. Se analizarán estos datos de catálogo, ver anexos del 1 al 4, y se compararán, para después enfrentar las cifras teóricas de cada válvula y determinar cual presenta un ahorro significativo en este apartado.

5.1.4.4 Consumo de energía

Al igual que en el punto anterior, se cuenta con los datos establecidos por el fabricante los cuales permiten corroborar y garantizar el correcto procedimiento del análisis. Con base a lo anterior se pondrá especial atención en la cantidad de potencia que consume el equipo correspondiente a cada válvula.

5.1.4.5 Capacidad de modulación

Para concretar este punto es preciso, hacer actuar la válvula por un período largo, una semana aproximadamente, que es la duración de la prueba. Llevándola a extremos rápidamente, obligándola a mantener la señal por un tiempo determinado para luego disminuirla escalonadamente hasta detenerse a modular rangos pequeños repentinamente. Es importante establecer que este comportamiento es definido por el proceso en el cual las válvulas actúan y esta sujeto a las variaciones ordinarias y extraordinarias de éste.

La rutina de comportamiento representada en la curva, ver anexo 8, ayudará a definir, por ejemplo, las partes de la prueba en las cuales se modularon distintos rangos ya sean grandes o pequeños, o donde las modulaciones eran



drásticas produciendo aperturas o cierres rápidos. Pero además de ser la base de la organización de la prueba experimental, esta curva representará la importancia que posee la buena capacidad de modulación en la definición y optimización del proceso productivo del cual forma parte la válvula. Se le llama a esta curva de mejor ajuste u operativa que representa la respuesta real de la válvula, de este modo se establecerá el rango de error y se procederá al análisis justificativo del resultado final.

Es importante recalcar que la curva es justificada matemáticamente, con el fin de poder usar acertadamente las habilidades PID, proporcional, integral y diferencial, del PLC que, en el caso de la Dos Pinos, es el encargado de emitir las órdenes necesarias para llevar a cabo el proceso requerido por la empresa a los controladores de las distintas marcas de válvulas modulares en estudio.

La herramienta fundamental para la realización de esta prueba es el sistema computacional con que cuenta la empresa, pues realiza funciones de cálculo el porcentaje de error que existe entre la respuesta de la válvula y lo requerido por el PLC, además es capaz de determinar el comportamiento de la señal de entrada y de salida, así como también establecer los tiempos de cierre y apertura de las válvulas.

5.1.5 Evaluación físicas de válvulas

5.1.5.1 Construcción

Se evaluarán los principios de diseño ingenieril relacionados, con tamaño del orificio, tipo y tamaño de actuador, forma del asiento, puertos de conexión, tipo de función, normalmente cerrada o abierta, mecanismos de sello hermético y disipación de calor, sentido del paso de caudal.



5.1.5.2 Materiales

Es preciso analizar los tipos de materiales utilizados, en los sellos y empaquetaduras, en el asiento, el cuerpo de la válvula, la cámara del actuador y material de las juntas, para así justificar los rangos operacionales de presión y temperatura, además de entender como estos influyen en la escogencia de la válvula para una determinada aplicación.

5.1.5.3 Diseño

En este apartado se buscará establecer relación entre aspectos físicos como peso, forma y tamaño con las facilidades de montaje, mantenimiento, ubicación y conexiones de servicios básicos necesarios para el buen funcionamiento de la válvula en aplicaciones dadas. Además, en el caso de los controladores PID, establecer sus facilidades de programación y cómo esta se ve reflejada en la calidad de ajustes de la modulación de la válvula.

5.2 PROYECTO ADMINISTRATIVO

5.2.1 Tipo de análisis

En nuestro caso, por ser el análisis aplicado a un producto que se encuentra involucrado en diversidad de sistemas, se ubicará en el tipo 3, pero al mismo tiempo se considera como un componente de alta complejidad e importancia tal que, el solo hecho de su mal funcionamiento produciría una demora en la determinación de la falla y de igual manera de la acción proactiva necesaria. Con el fin de ofrecer una herramienta que agilice este proceso se hace necesaria la evaluación de manera individual.

Es por estas razones que el análisis se puede también ubicar en el tipo 1, pues se persigue conocer y entender el equipo para así introducir mejoras en su diseño y desempeño. En resumen se aplicarán ambos tipos: 1 y 3.

5.2.2 Identificación del problema

5.2.2.1 Sistema y lugar de análisis

Se ubicará el análisis en el pasteurizador de leche standard de la Cooperativa de productores de leche Dos Pinos y en el laboratorio del Departamento BÜRKERT. En el caso del pasteurizador, se evaluará las posibles fallas de la válvula provocadas por imprevistos en las líneas de servicio del sistema o por deficiencias en el manejo y montaje de la válvula. Y se contará con el aporte de información técnica por parte de los operarios directos.



En el laboratorio del Departamento BÜRKERT se observará el desempeño de la válvula, en condiciones extremas de falla sometiendo el equipo a pruebas simples pero comunes, falta de servicios como electricidad y aire. Se efectuará un despiece y una discusión departamental sobre la importancia del componente, así como también de su repercusión en el sistema y su mejor remedio.

5.2.2.2 Límites físicos y de análisis

Es importante recalcar que por ser un análisis de un componente que usualmente se encuentra relacionado con variedad de procesos y sistemas, es difícil ubicar el FMEA en un lugar físico propiamente dicho. Si bien es cierto, se tomarán como datos de referencia la experiencia en operación de la válvula acoplada a un sistema de pasteurizado, pero no se evaluará el proceso en su totalidad, solamente la válvula y las fallas frecuentes si a esta se le priva de los servicios necesarios para su buen funcionamiento o propios de la línea de trabajo.

Se puede definir entonces que la variedad de aplicaciones de la válvula impide definir un sistema propio de análisis de operación en planta. Es por este motivo, que la válvula se tomará como un sistema y las pruebas realizadas en el departamento, corroboraran los datos técnicos del fabricante y contribuirán como un proceso de análisis operativo que permita una cierta tolerancia en el estudio, para así establecer los parámetros técnicos, valores máximos y mínimos de servicio: temperatura, presión de pilotaje, entre otros, necesarios para generar un documento fiable.

5.2.2.3 Modo de análisis

Se establecerá un orden apropiado para definir el sentido del análisis de manera que el formato revele una orientación cronológica con respecto a la sucesión de eventos a partir del modo de falla.

Primero, se determinará la parte de la válvula en la cual se da la falla, luego la subparte y su función principal en el sistema. Después, el modo de falla dará el como, la falla de una pieza o parte, se manifiesta inmediatamente. El efecto de falla permitirá determinar la consecuencia del tipo de falla tiene sobre la operación, función o estado de la subparte. Para cada causa de falla se asignará alguna protección, medida de seguridad o procedimiento, que minimice la peligrosidad y consecuencias de dicha falla. Se dará un estudio sistemático para evitar el omitir valores que pueden afectar el FMEA. Y se efectuarán bloques funcionales para entender las relaciones entre los componentes.

Al efectuar el análisis, cada falla individual se considerará como una ocurrencia independiente, sin relación a otras fallas en el sistema, excepto por los subsecuentes efectos que pudiese producir. De esta manera facilita, en gran forma, la determinación de un nivel de jerarquía apropiado para clasificar la severidad de la falla entre despreciable, marginal, crítico o catastrófico.

Luego se procederá a una documentación de resultados en forma de tabulación sistemática que proveerá una referencia directa entre las partes y el sistema.



5.2.2.4 Recolección de información de referencia

Se recurriría a información técnica actualizada procedente de catálogos de fabricante, páginas de internet y revistas técnicas, donde se establezcan parámetros limitantes que sustenten la causa de la falla y la aplicación de las acciones proactivas. Además se tomarán en cuenta los datos recopilados, si existen, por los operarios directos de la válvula en el proceso determinado anteriormente.

5.2.3 Análisis efectivo del problema

5.2.3.1 Reconocimiento de partes y subpartes

Se establecerá un orden bipolar en la definición de partes, es decir primero se analizarán las partes mecánicas y posteriormente las eléctricas. En cada una de estas categorías se listarán las subpartes correspondientes, todo esto dependiendo de la localización y función en el sistema, además con el fin de ilustrar mejor cada parte y subparte se tomarán fotos.

Para este análisis, antes, se debe efectuar un desarme minucioso de la válvula, para así reconocer los componentes críticos y sus subpartes. Esto también ayuda a descubrir posibles causas de fallas y definir acciones proactivas.

5.2.3.2 Identificación de los modos de falla

Para determinar los modos de fallo se utilizará la experiencia operativa por parte de los técnicos de la sección de pateurizado de la empresa Dos Pinos. Complementándose con lo obtenido en la discusión departamental y en las pruebas de laboratorio en el departamento BÜRKERT.



5.2.3.3 Identificación de efectos de falla

Se describirán los efectos inmediatos, la situación de fracaso y los efectos anticipados del fracaso en otros equipos. Los efectos estarán determinados por cada nivel de jerarquía previamente establecidos por la discusión departamental.

5.2.3.4 Identificación de las causas de fallas

Se efectuará una lista de las posibles causas de falla para cada componente la cual debe ser consistente con la descripción del equipo. Se considerarán funcionamientos defectuosos, procesos químicos o físicos, defectos de diseño, mala aplicación de la pieza o mal montaje, que pudieran afectar al deterioro físico previo a la falla.

Con cada causa se asignará un remedio o protección con el fin de reducir la posibilidad y mitigar las consecuencias de una falla. La acción proactiva se realizará para una causa de fallo específica o colectiva, dependiendo de cual sea el caso. Además esta acción puede incorporarse en un programa de mantenimiento preventivo, convirtiéndose en un gran aporte o base para implementar un procedimiento base de revisión de equipo periódicamente.



CAPÍTULO VI

ANALISIS DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO REAL DE LAS VALVULAS BÜRKERT Y SAMSOM



6. ANALISIS DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VALVULAS BÜRKERT Y SAMSOM

6.1 VALVULA BÜRKERT EN EL PASTEURIZADOR P2

La PID BÜRKERT se localiza en el área 1 en el pasteurizador P2 el cual maneja leche cruda y posee largas horas de operación. La temperatura de pasteurización es de 76 grados Celsius y posee un gradiente de ± 1 grados Celsius. La válvula maneja el ingreso de vapor al intercambiador de calor del pasteurizador, su diámetro es de 25 mm y posee un $K_{vs}=14.5 \text{ in}^3/\text{h}$. Las variables introducidas al sistema computacional para ser utilizadas en el análisis, se muestran en el anexo 7 entre ellas las más relevantes son la señal de entrada y salida, el porcentaje de error, valor y porcentaje de apertura. Con estos datos se facilita el conocimiento del tiempo de apertura de la válvula. El tiempo de prueba fue de tres días: del 4 al 7 de mayo del presente año.

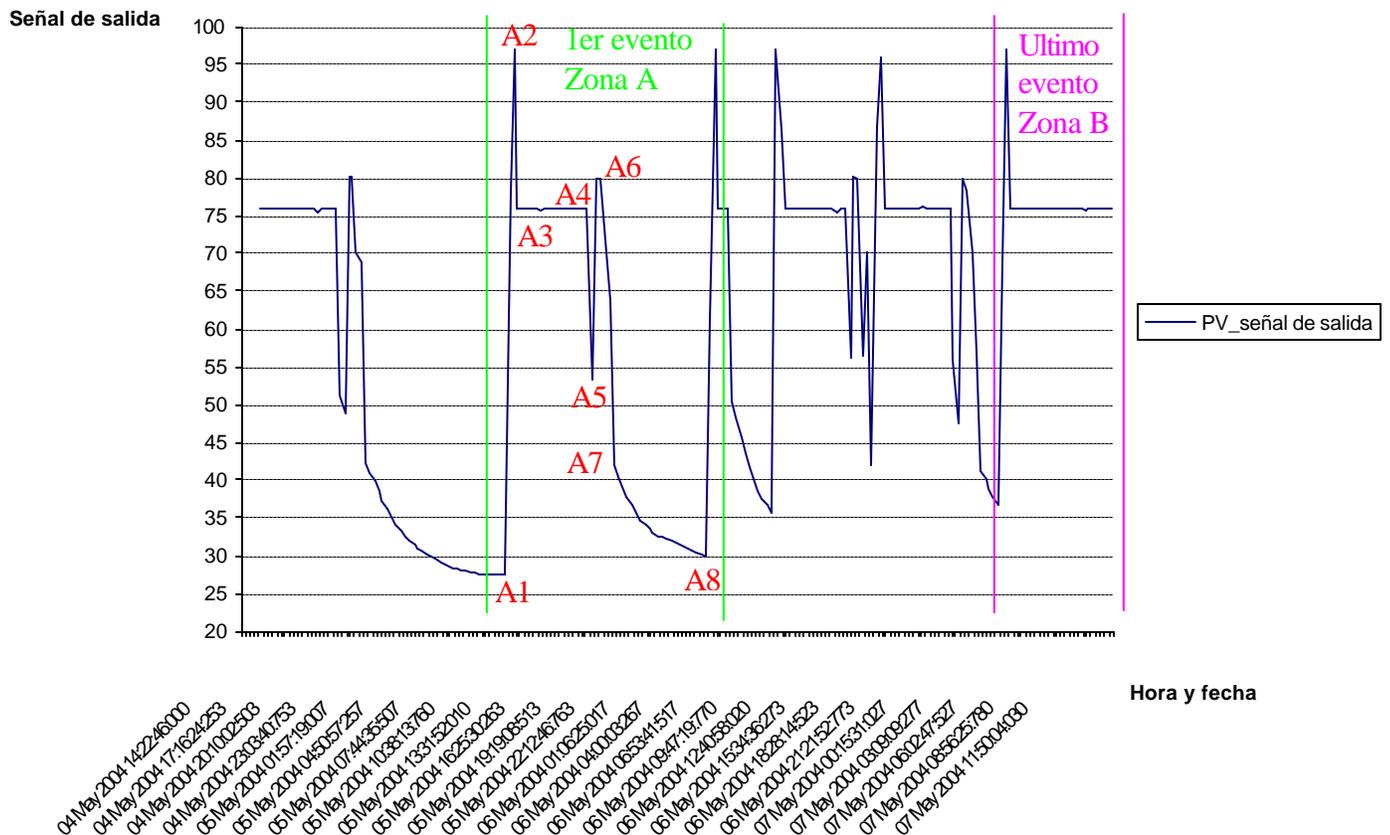
La grafica 6.1.1 muestra el comportamiento del proceso al cual asiste la válvula, en función de la temperatura a lo largo de todo el tiempo de prueba. En el eje dependiente (Y) se presenta la señal de salida o PV que es la designación dada por la empresa, esta señal es tomada como temperatura del sistema y es la respuesta de la apertura o cierre de la válvula.

Es importante definir el comportamiento de la grafica, pues se puede observar que el proceso es cíclico pero el periodo de pasteurizado varía dependiendo de la cantidad de leche que se procese en ese momento; el periodo más largo es de 16 h. Por otra parte, el sistema obedece a una rutina ya establecida por la empresa, pero también, esta sujeto a fenómenos físicos de equilibrio térmico, los cuales son parte del proceso y deben ser contemplados en

el análisis. En la grafica 6.1.1, se establecen las etapas donde se presentan los procesos de pasteurización en el tiempo de prueba completo.

Grafica 6.1.1

Relación de señal de salida de la válvula PID BÜRKERT en función del tiempo total de prueba



La grafica 6.1.1, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización de leche cruda, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de salida de la válvula.



6.1.1 Proceso general: Primer evento

La operación consiste en cuatro partes fundamentales: esterilización, pasteurización, lavado y apagado del equipo. Una parte de la grafica 6.1.1 representa el primer evento completo que se registró en el tiempo de prueba, se encuentra contenido entre líneas verdes y fue denominado zona A.

Intervalo A1-A2

Inicia con el proceso de esterilización. Al principio el equipo se encuentra apagado y por ello a temperatura ambiente 29 °C. Una vez puesto en marcha se eleva la temperatura del proceso, por medio de la apertura de la válvula, la cual tarda 43 minutos. Esta duración busca evitar un choque térmico fuerte que afecte físicamente el proceso. Abre hasta 97 °C aproximadamente para esterilizarlo. Una vez alcanzada la temperatura se mantiene 15 minutos.

Intervalo A2-A3

Se efectúa un cierre de la válvula con el fin de bajar la temperatura hasta 79 °C para amortiguar el choque térmico, el proceso exige una duración aproximadamente de 9 minutos para que el sistema estabilice. Luego continua bajando poco a poco hasta llegar a la temperatura de pasteurización.

Intervalo A3-A4

Cuando inicia la pasteurización, la temperatura debe ser constante. Para lograr esto la válvula debe modular su carrera para dejar pasar el vapor suficiente sin causar daño en el proceso esto lo consigue manteniendo la señal de salida lo más cerca posible del "setpoint" o señal de entrada. El proceso dura



aproximadamente 5 h, en este proceso de pasteurización específicamente. Cabe destacar que en este periodo se produce una perturbación ocasionada por el cambio de producto, la cual se analizará más adelante.

Intervalo A4-A5-A6

Una vez terminada la pasteurización, se procede a lavar el equipo, con el fin de eliminar residuos y preparar el sistema para el ingreso de producto en otro eventual ciclo de pasteurización. El lavado se realiza cerrando la válvula hasta el punto de alcanzar la temperatura de 53 °C aproximadamente (4 a 5), luego se introduce agua caliente al pasteurizador lo que provoca el aumento de la temperatura hasta 79 °C (5 a 6) Con la válvula cerrada hasta cierto punto, se desaloja el agua caliente.

Intervalo A6-A7

Una vez libre de agua el sistema, la válvula procede a cerrarse paulatinamente, hasta llegar a 40 °C que es donde se efectúa el cierre total, esto le toma una hora y 49 minutos. Esta temperatura depende de las condiciones de pasteurización para ese ciclo específicamente, ya que es afectado por la cantidad de producto que se procese, es decir, si la cantidad es poca, la temperatura a la cual cerrará la válvula será mayor pues el próximo ciclo inicia rápidamente.

Intervalo A7-A8

En este punto se apaga el equipo y el mismo, poco a poco, estabiliza hasta tomar la temperatura ambiente, que en este caso es de 29 °C. Este fenómeno es normal en cualquier equipo que detenga su funcionamiento por prolongado tiempo, ya que es un principio de transferencia de calor y termodinámica, que el



cuerpo de mayor temperatura pierda calor al intercambiar y tratar de equilibrar el sistema con el medio que lo rodea. Es por esta razón que se observa un descenso cóncavo, pues el sistema no es forzado a llegar a esas condiciones, si no que, naturalmente, trabaja un proceso isobárico al disipar el calor.

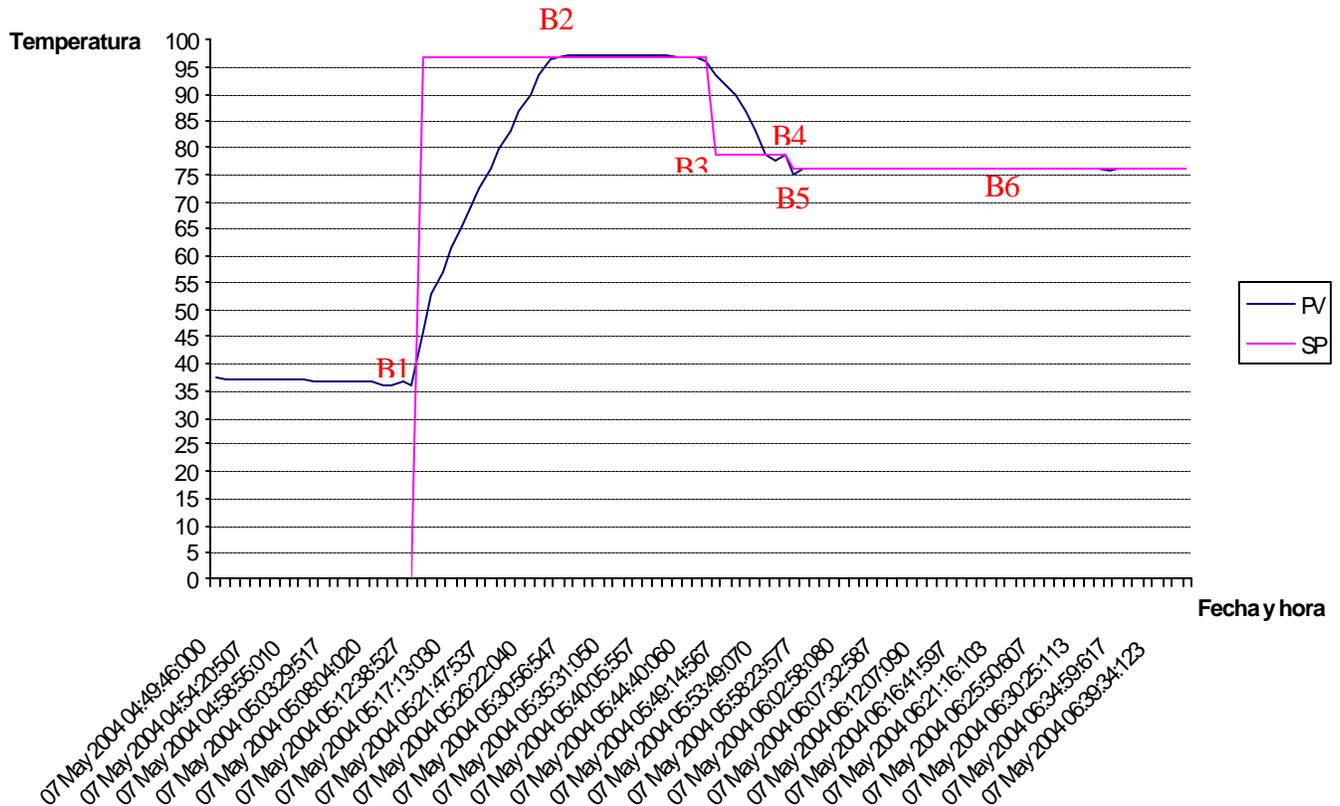
La duración de este intervalo se encuentra íntimamente ligado a las condiciones del proceso, pues será más corto o largo, dependiendo de la cantidad de producto, leche, con la que se cuente en esa tanta de pasteurización y del tiempo para iniciar otro ciclo.

6.1.2 Detalle del último evento

En cada evento se repite la rutina de trabajo del equipo, pero se analizará con determinación el comportamiento del sistema en el último evento que la prueba registró. En la grafica 6.1.1 se observa este evento, contenido en líneas magenta y denominado zona B, con relación al espacio cronológico de la prueba. Sin embargo la grafica 6.1.2 presenta el detalle del último evento.

Grafica 6.1.2

Relación de señal de salida y señal de entrada en función del tiempo de prueba en el último evento



La grafica 6.1.2, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el último evento, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de salida de la válvula y SP la señal de entrada o setpoint.

En este caso, se observa la señal de entrada, PV y la señal de salida, SP aumentado o efectuando un zoom para poder notar las perturbaciones del sistema y el comportamiento de la válvula. También se puede consultar el anexo 8 que posee la misma grafica tomada de la plataforma de información de la empresa Dos Pinos.



Como se dijo anteriormente, PV es la salida de la válvula, es decir lo que se obtiene. SP es el “setpoint” o señal de entrada. También se conoce como lo que se quiere o el dato teórico y lo define la empresa dependiendo del proceso. Es alrededor del setpoint que la válvula debe encontrarse, la diferencia entre el SP y PV es el porcentaje de error.

Ahora bien, se explicó que el sistema al encenderse se lleva desde la temperatura ambiente, que el proceso posee en el evento específico, hasta una temperatura de 97 °C para esterilización. Hay que recordar que los eventos no son totalmente iguales en duración ni en parámetros, sin embargo deben mantener un margen definido de variación suficiente para no atentar con el proceso, este margen lo da el setpoint. Claro está, que existen partes del evento que requieren menos variación que otras, por su delicadeza. Este es el caso del punto B6, ver grafica 6.1.2, ya que, en este instante se lleva a cabo el equilibrio del sistema para la pasteurización y existe producto procesándose. En el punto B1, se da el caso contrario, ya que no se requiere una restricción significativa en la temperatura de inicio, pues el producto todavía no ha entrado al sistema y por ende el peligro de afectar su calidad no se presenta.

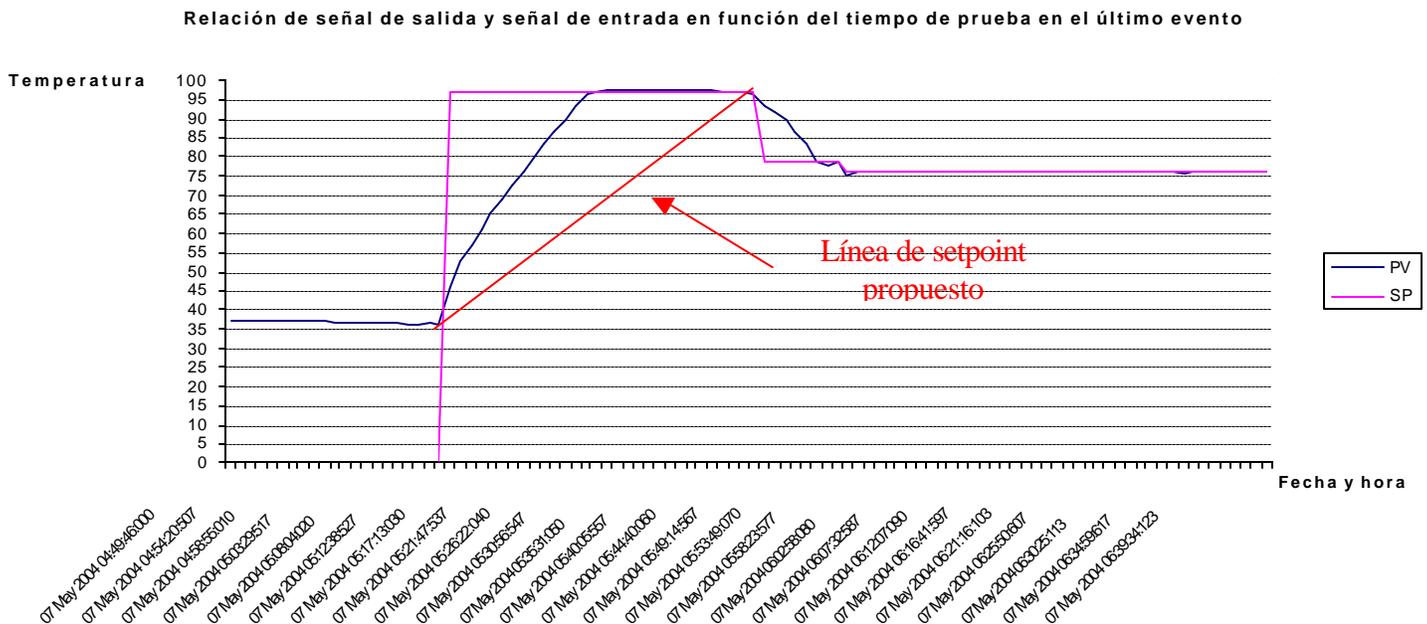
Intervalo B1-B2

La válvula trabaja en tiempo real, es decir, cada milisegundo, cada instante en el tiempo, presenta una variación en su comportamiento, por esto al seguir el setpoint, cuando este está representando un pulso o compartiendo dos puntos distintos en un mismo tiempo, es imposible. Este caso se evidencia en el intervalo de B1 a B2, donde el color magenta muestra el setpoint y la línea azul la respuesta de la válvula. Sin embargo, lo que se observa entre los puntos, es la curva de apertura de la válvula más cercana posible, bajo las directrices dadas al control PID del PLC de la empresa. Para poder acercar la curva de comportamiento B1-

B2 al setpoint aún más, se deben manipular los valores K_p , K_d , K_i , ver marco teórico, que corresponden a los coeficientes de acción proporcional, diferencial e integral del controlador, en pocas palabras, afinar la acción PID, contemplando, claro está, las implicaciones operacionales y matemáticas que esto conlleva.

La manera idónea de representar el setpoint en tiempo real, es contemplar los puntos máximos, mínimos y el tiempo en el que se quiere llegar a estos. Al analizar la grafica 6.1.3, se establece, a manera aproximada, la forma correcta que debe llevar el setpoint, para que este y el comportamiento de la válvula real posean un porcentaje de error menor. Además se respetará el concepto de tiempo real.

Grafica 6.1.3



La grafica 6.1.3, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el último evento con el setpoint propuesto en tiempo real, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de salida y Sp la señal de entrada o set point



El tiempo de apertura de la válvula entre los puntos B1 y B2, corresponde a 17 minutos, aproximadamente, lo cual muestra que el proceso maneja tiempos largos, esto expone a la válvula a mantener el porcentaje de apertura por bastante tiempo. Este fenómeno, produce modulaciones pequeñas y sostenidas por largos tiempos, esto revela la capacidad de precisión de paso por parte de la válvula, pues prácticamente no existen distorsiones en su comportamiento, ver grafica 6.1.2, línea azul, se mantiene una línea uniforme en todo el transcurso del tiempo.

La capacidad de paso de la válvula BÜRKERT es de 10...80 mm, ver anexo 3 esto quiere decir que posee la capacidad de abrir o cerrar 10 mm mínimo o 80 mm máximo en cada cambio de señal. Esta característica es muy importante pues le permite modular rangos realmente pequeños, como es el caso del intervalo B1-B2 de la grafica 6.1.2.

Punto B2

Si se continúa con el análisis de la grafica 6.1.2, se muestra que el proceso de esterilización dura 15 minutos, el punto B2, y en todo este tiempo la válvula mantiene su porcentaje de apertura prácticamente constante, sin variaciones significativas. El porcentaje de error en esta parte del evento es aproximadamente de 0.09 %, lo que establece gran precisión en la respuesta a señales que deben ser mantenidas por lapsos relativamente largos.

Intervalo B3-B4

Una vez más, entre estos dos puntos, se repite el incidente de la parte B1-B2 en el manejo del setpoint: se comparten dos puntos en el mismo instante. No obstante, en ambos casos, es contemplado este fenómeno en el setpoint, ya que se aumenta el valor constante de este, B3-B4, de manera que cuando PV consiga



estabilizar se encuentre dentro del tiempo permitido del proceso, es decir, si el proceso necesita solamente tres minutos para mantener la señal sin afectar el sistema, el setpoint, contemplando el comportamiento de la válvula, es programado con una duración de ocho minutos. Sin embargo, aunque el procedimiento es válido el porcentaje de error es grande: 4 %, esto se evitaría si se trazara un setpoint que contemple la pendiente del tiempo real presente en el comportamiento de la válvula, de esta manera el error disminuirá, si se mantienen condiciones similares a las establecidas en esta prueba: igual presión, igual flujo, igual temperatura, aumentando la calidad y precisión del proceso.

Intervalo B4-B5

En esta parte, se produce un escalón que, como se mencionó anteriormente, es utilizado para amortiguar el choque térmico en el sistema. La gráfica 6.1.4 muestra el detalle de esta parte del último evento.



entregado por la válvula, pues contemplando el fenómeno de tiempo real que se explicó anteriormente, el SP esta “sobrediseñado” con una duración de 7 minutos, mientras que el PV posee un tiempo de 5 minutos.

Una vez transcurrido este tiempo se da un pequeño descenso de B4-2 a B4-3 donde la temperatura es 76 °C requerida para pasteurizar. Esta se mantiene en espera del producto, como se observa en el punto B5.

Además de presentar el comportamiento con respecto al setpoint discutido en la grafica 5.1.3, posee una pequeña diferencia entre B4-1 y B4-2, pues produce un 1.5 % de error, antes de encontrar la estabilidad, sin embargo el tiempo que la válvula necesitó para estabilizar fue corto, para este tipo de proceso: 1 minuto. Como siempre estabiliza y no fluctúa más una vez alcanzada la temperatura deseada, si no hasta que se produce el siguiente cambio en el sistema, la variación no es significativa. Cabe destacar que la duración de la señal estabilizada es mayor 20 segundos que lo establecido por el setpoint con un porcentaje de error de 1.4 %, sin embargo como el proceso maneja tiempos muy altos, esta pequeña variación es despreciable. Esta distorsión puede ser producto del flujo, algún cambio en los servicios que abastecen al proceso o en el sistema. Si se deseara, disminuir el tiempo de distorsión, se debería contemplar en la estabilización del setpoint o variar las directrices del control PID para disminuir el porcentaje de error.

Al llegar a la temperatura de 76 °C, se manifiesta una variación entre B4-3 y B5 similar a la dada entre B4-1 y B4-2, pero de igual manera presenta parecidas características que la hacen poco significativa por el tipo de sistema. Luego, busca la constancia en la temperatura con el fin de mantener el proceso listo para el ingreso del producto. Es importante resaltar la poca variación de señal que presenta la válvula al mantener la apertura constante por prolongado tiempo. En

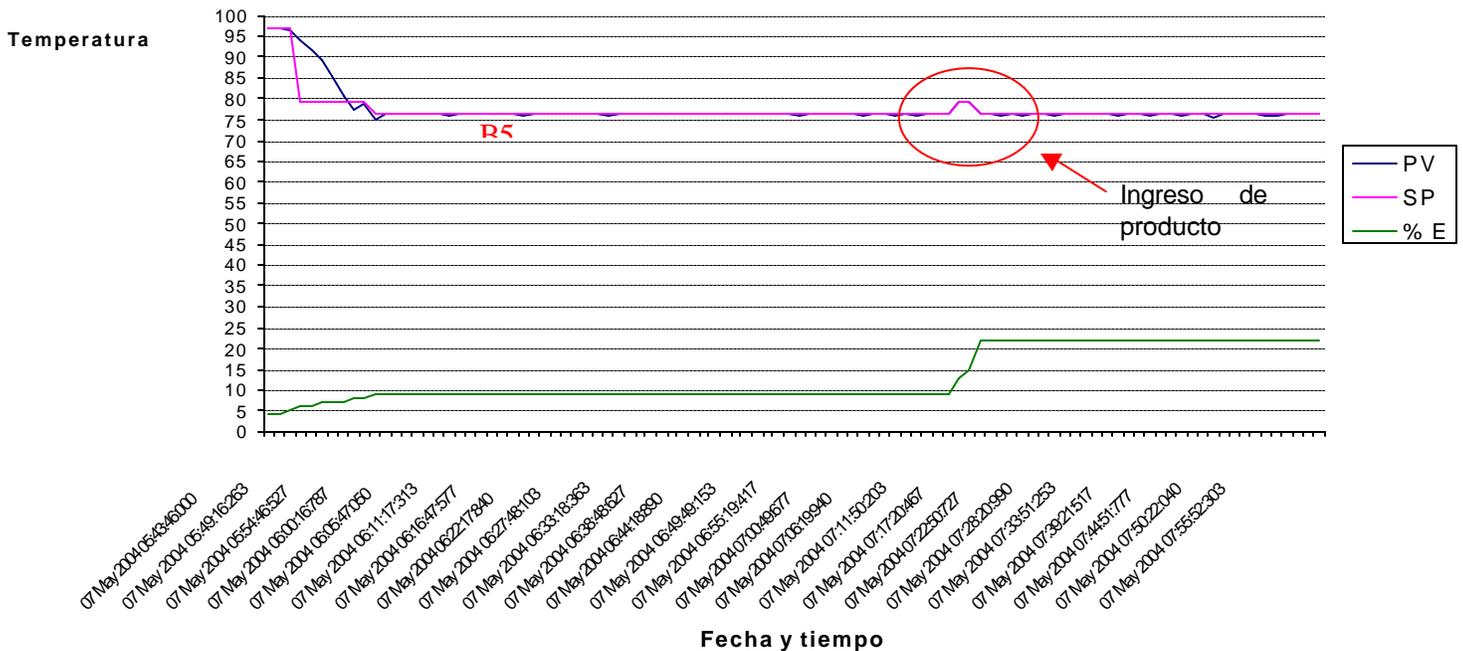
este último evento no alcanzó la prueba para observar el final del proceso, pero en el último momento se poseía un tiempo de 46 minutos. También se puede observar con más resolución este caso consultando el anexo 8.

Punto B5

Al estabilizar la temperatura del sistema a 76 °C, se inicia el ingreso de producto al pasteurizador. La grafica 6.1.5 muestra el lugar en el tiempo de prueba donde se ubica la variación en el último evento.

Grafica 6.1.5

Relación entre la señal de salida, la señal de entrada y el porcentaje de error en función del tiempo de prueba en el último evento: cambio de producto

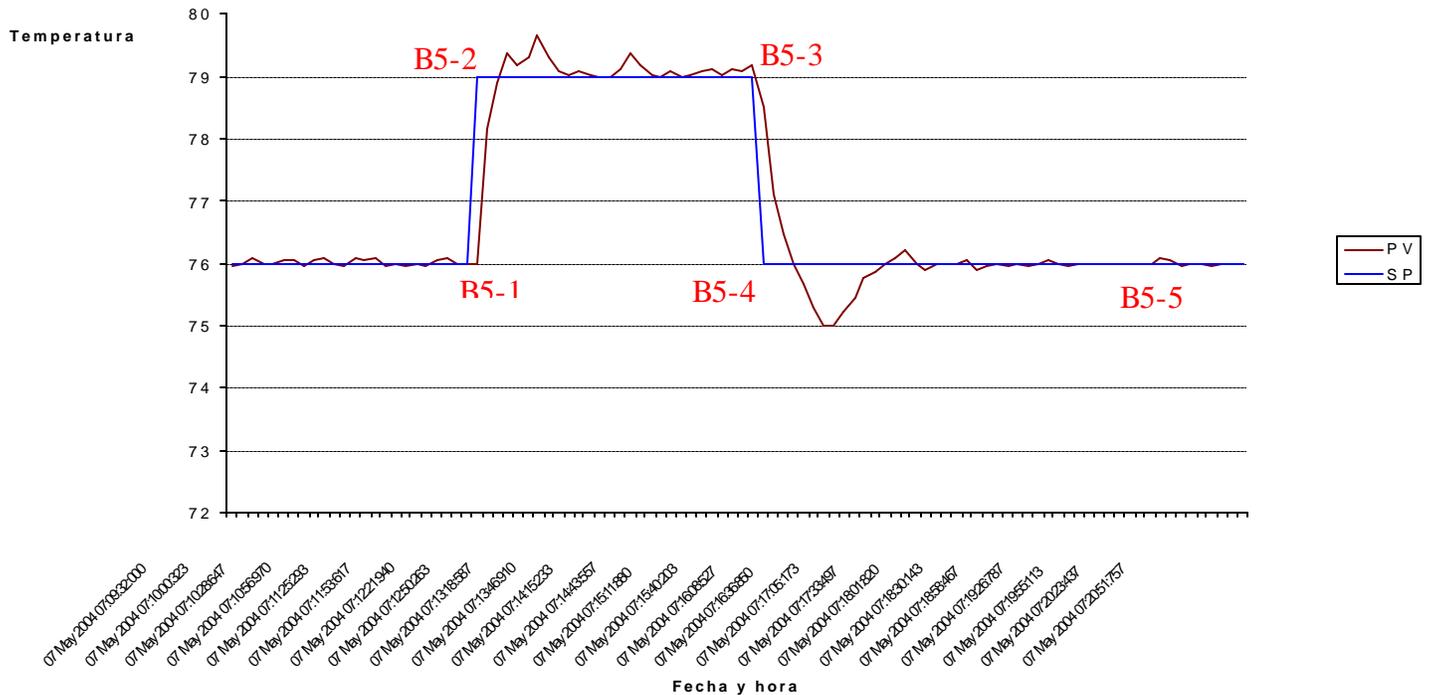


La grafica 6.1.5, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el último evento en el cambio de producto, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de salida, SP señal de entrada y %E el porcentaje de error entre PV y SP.

El círculo indica la perturbación. Si bien es cierto, no se observa una variación significativa entre el SP y PV, pero se debe tomar en cuenta la resolución del programa. Para notar el comportamiento más acertadamente, se consulta la figura del anexo 8 Si se analiza con el “zoom” realizado y tomado del software de la empresa Dos Pinos, se nota la variación con más claridad, además por características del programa, se pueden mostrar varias graficas en un mismo plano sin alterar sus respectivas escalas. Gracias a esta ventaja el porcentaje de error muestra su variación de igual manera, línea verde. La grafica 6.1.6 despliega el comportamiento en la perturbación de ingreso de producto.

Grafica 6.1.6

Relación de señal de salida y señal de entrada en función del tiempo de prueba en el último evento: detalle cambio de producto



La grafica 6.1.6, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el último evento en el detalle de cambio de producto, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de entrada y SP el setpoint.



El producto ingresa a 3 °C, del deposito de almacenamiento; para que la temperatura de pasteurizado no baje, pues puede atentar con la calidad del proceso, se toman los tres grados de más que debe manejar el sistema para mantener el equilibrio. Si la temperatura de pasteurización es de 76 °C y el producto ingresa a 3 °C, el sistema descenderá alejándose de los parámetros establecidos. Para evitar esto, en el setpoint contempla esta perturbación y se eleva, como se observa en el intervalo B5-1-B5-2, en el momento del ingreso de producto, a 79 °C por una duración de 3 minutos (B5-2-B5-3) luego, una vez terminado el ingreso vuelve a su valor de pasteurización (B5-3-B5-4) y lo mantiene hasta que termine el ciclo de proceso (B5-4-B5-5).

Es importante analizar, las desviaciones de la señal de salida PV con respecto al setpoint SP. Si bien no son relevantes, dadas las circunstancias del sistema, son suficientes para observar la capacidad de apertura y cierre de la válvula. El fabricante, anexo 6, establece que, las electroválvulas encargadas de airar o desairar la cámara del actuador de la válvula PID, poseen un tiempo de apertura de 23 milisegundos y de cierre de 21 milisegundos (el retraso se debe al tiempo que consume la transformación de la señal análoga en señal neumática), esta claro que los tiempos son realmente cortos, lo que le permite una reacción bastante rápida, casi inmediatamente buscar la auto corrección. Si se observa la perturbación entre B5-4 y B5-5 y como el proceso es de tiempos largos, consigue la corrección en 2 minutos con un porcentaje de error de 1.5 %, un tiempo y error aceptables por parte de la aplicación, pues se mantienen dentro de los rangos de porcentaje de error establecidos por la empresa (± 5 %) y de tiempo pues puede ser todo el tiempo que dure la pasteurización. Situación similar se presenta entre B5-2 y B5-3, pues su valor de error es de 1 % y el tiempo dentro de lo establecido por el setpoint: 3 minutos, es todavía aceptado.



6.2 VALVULA SAMSON EN EL PASTEURIZADOR U4

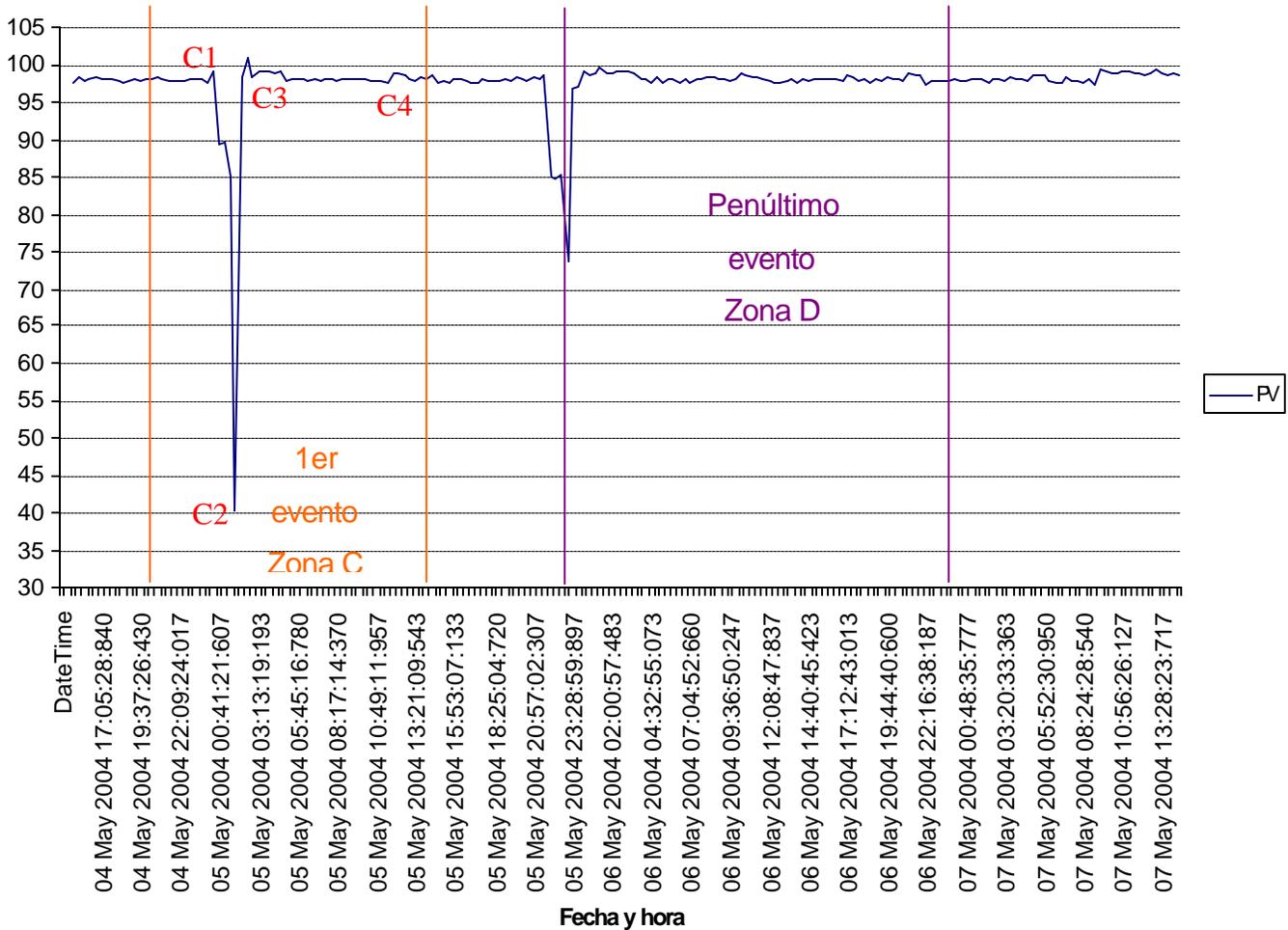
La PID SAMSOM se localiza en el área 3 en el pasteurizador U4, el cual maneja jugos y trabaja tandas cortas y variables. La temperatura de pasteurización es de 98 grados Celsius y posee un gradiente de ± 1 grados Celsius. La válvula maneja el ingreso de vapor al intercambiador de calor del pasteurizador, su diámetro es de 40 mm y posee un $K_{VS}=16 \text{ in}^3/\text{h}$. Las variables logeadas se muestran en el anexo 7 y corresponden, de igual manera que la válvula BÜRKERT, a datos de comportamiento de señal y físicos por parte del equipo, además el tiempo de prueba fue el mismo.

La grafica 6.2.1, muestra el proceso en el cual se desarrolla la operación de la válvula a lo largo de todo el periodo de prueba. Es importante mencionar que, a pesar de que el proceso de pasteurización es distinto debido al tipo de fluido tratado, los principios de desempeño de las válvulas son iguales, es decir, deben seguir la rutina preestablecida por la empresa, modular pequeños rangos, mantener la señal largos lapsos y procurar que el porcentaje de error entre la señal de salida y entrada o setpoint, no sea más alto de lo definido por el programa. Todo esto permite el análisis de estas válvulas en operación real, con el fin de generar un criterio y teoría de comportamiento fiable, para el proceso de definición del modelo propuesto en el capítulo VII.

Grafica 6.2.1

Relación entre la señal de salida de la válvula SAMSOM en función del tiempo de prueba total

Temperatura



La grafica 6.2.1, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización de jugos por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de entrada.

6.2.1 Primer evento: proceso general

Como en el caso anterior, pasteurizador P2, el sistema se compone de varias etapas: esterilizado, pasteurizado, lavado y apagado. No obstante, los



tiempos en los cuales se efectúan estas, varían considerablemente, pues existen componentes que requieren un tratamiento especial y diferente en el proceso. Lo anterior se observa en el caso del lavado, que no solo es a una temperatura distinta, si no que se utilizan químicos y sustancias especiales para lograr total eliminación de cualquier residuo del producto.

Además de esto, las tandas de pasteurización son cortas, lo que no implica que el equipo se apague cada vez que termina la tanda, al contrario, permanece listo para el siguiente ingreso de producto. Todos estos factores contribuyen a que no se den las condiciones de igual manera en ambos procesos.

Una parte de la grafica 6.2.1 muestra el primer evento registrado en la prueba, el cual se denomina zona C y se encuentra contenido entre líneas anaranjadas. En base a este, se analiza el proceso de pasteurización completo.

Intervalo C1-C2

Al inicio, el sistema se encuentra a la temperatura de pasteurización, 98 °C; una vez terminado el ingreso de producto se procede a iniciar el lavado del equipo. Esto se lleva a cabo por medio de sustancias que son inyectadas al pasteurizador; pero antes, se cierra la válvula poco a poco hasta que la temperatura desciende a 40 °C, que en este caso, corresponde al valor que alcanzó el sistema antes de iniciar otro ciclo de pasteurización. Cabe resaltar que el setpoint en este punto establece una temperatura de 0 °C, sin embargo la disipación de calor no es tan rápida para lograr este parámetro en el tiempo requerido, el cual es de 22 minutos.



Intervalo C2-C3

Aquí se presenta la etapa de esterilización, ya que se da una apertura de la válvula hasta alcanzar una temperatura de 99 °C, para eliminar residuos de sustancias del lavado y asegurar la buena calidad del producto. El tiempo que tarda la válvula en alcanzar la temperatura es de 21 minutos. Esta temperatura la mantiene el setpoint alrededor de 3 horas y 45 minutos, pues prevé el ingreso del producto en este intervalo y con él, el incremento de un grado con el cual trata de compensar la perturbación ocasionada por la temperatura propia del fluido al ingresar, la cual es de 26 C.

Intervalo C3-C4

Entre estos puntos se normaliza la temperatura para proceder a la pasteurización. Se debe recordar que aquí, ya hay producto en el sistema, por ende la temperatura corresponde a 98 °C. La pasteurización tarda, en el caso del primer evento, aproximadamente 6 horas y 40 minutos, antes que ingrese más producto al sistema. En el punto C4, se observa, una elevación de temperatura, ocasionada por este último fenómeno. En el anexo 8 se evidencia con más claridad, la variación y además la frecuencia con la cual este se presenta en todo el proceso. Cada elevación es ingreso de producto.

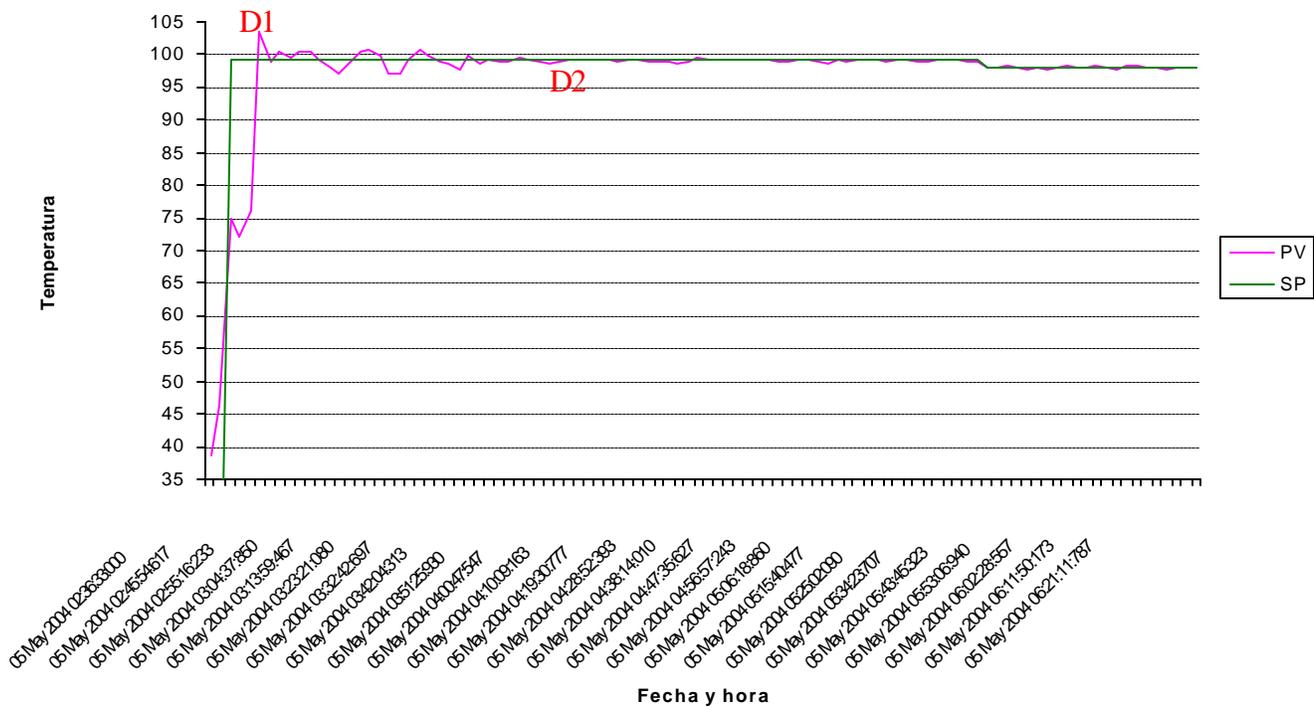
Igual que en el caso de P2, la duración del proceso de pasteurización depende de la cantidad de producto que se trate, así como también de las condiciones operativas, previamente designadas por producción, con las cuales se desea que opere el sistema.

6.2.2 Detalle del penúltimo evento

El penúltimo evento, se observa en la grafica 6.2.1. Si bien es cierto, no es el último registrado, pero corresponde al acontecimiento más relevante ocurrido en la ultima parte del tiempo de prueba, por lo tanto merece ser analizado. En esta grafica, se encuentra contenido entre líneas moradas y se denomina zona D. Con esto se busca ubicarlo en el tiempo total de la prueba. La grafica 6.2.2 muestra el detalle de esta parte en análisis.

Grafica 6.2.2

Relación entre la señal de salida y de entrada de la válvula SAMSOM en función del tiempo de prueba en el penúltimo evento



La grafica 6.2.2, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el penúltimo evento, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de entrada y SP el setpoint.

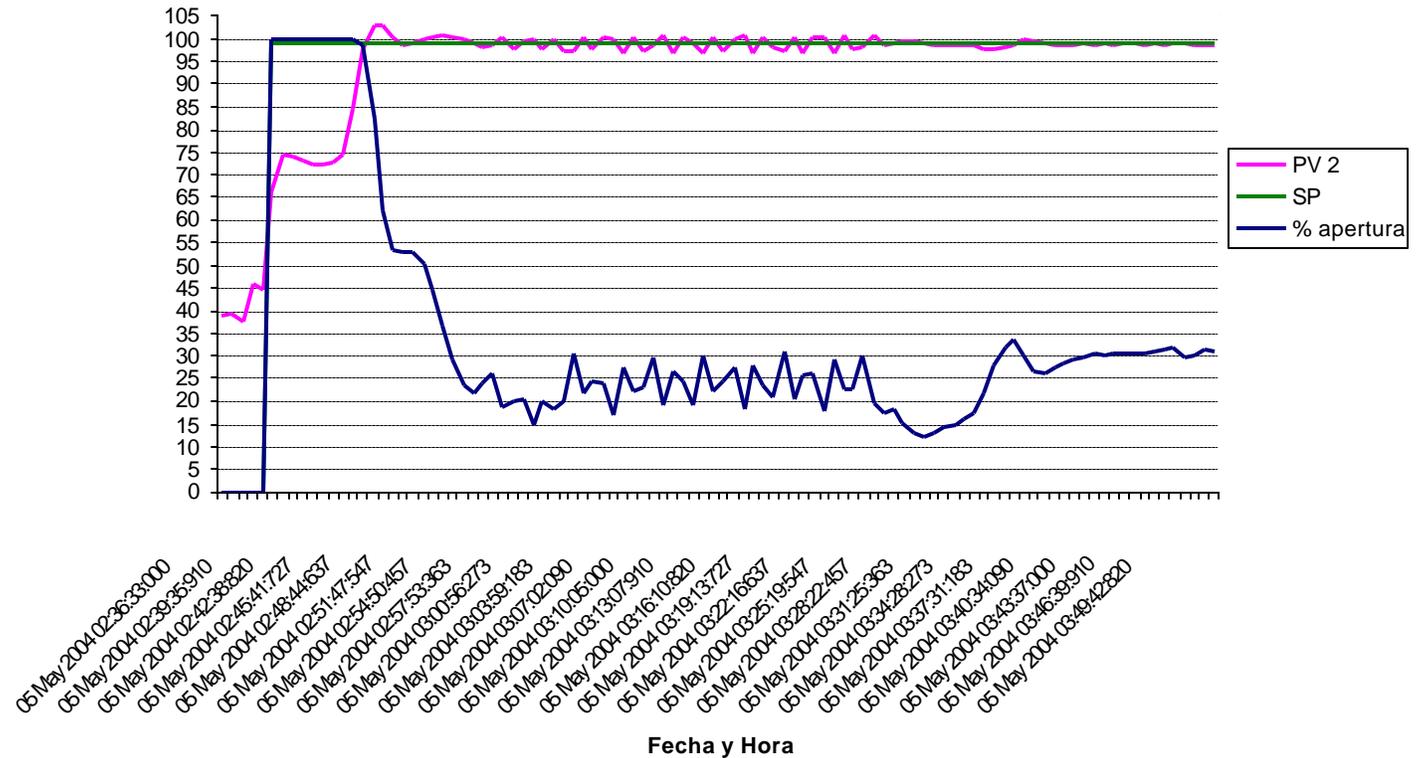


En esta grafica se evidencia un fenómeno, entre D1 y D2, bastante peculiar en la operación del sistema, pues existe la presencia de una perturbación en la señal de salida PV, la cual ocasiona un desfase prolongado con respecto al setpoint o SP y por lo tanto un aumento en el porcentaje de error. Este evento se puede apreciar de mejor manera en el anexo 8, donde claramente se muestra una señal errática y fuera de lo normal en el comportamiento del proceso. En esta figura se grafican los valores del SP, en color morado; PV, en rojo y el flujo con el cual se trabaja, de color verde. Es claro que este último se encuentra sometido a algún fenómeno perturbador, el cual puede ser externo al sistema de pasteurizado: una bomba cavitando, una válvula remota con problemas de cierre y apertura, deformaciones en las líneas de trasiego, entre otras; o interno: ingreso de producto que produce variaciones en el flujo por la diferencia de densidades, daños físicos en las tuberías del pasteurizador, entre otras.

La grafica 6.2.3 contiene el “zoom” realizado a la perturbación contenida entre el intervalo D1-D2, además posee el porcentaje de apertura de la válvula en ese instante.

Grafica 6.2.3

Relación entre la señal de entrada, de salida y porcentaje de apertura de la válvula PID SAMSOM en función del tiempo de prueba en el detalle del penúltimo evento



La grafica 6.2.3, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el penúltimo evento en detalle, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de entrada, SP el setpoint y % apertura, es el porcentaje de apertura de la válvula.

Esta variación en la señal posee una duración de 41 minutos, un tiempo elevado, que corresponde al ingreso del producto, lo que establece una de las causas del comportamiento oscilante del sistema: respuesta al cambio de densidad. Sin embargo, puede que no sea la única causa de la perturbación.

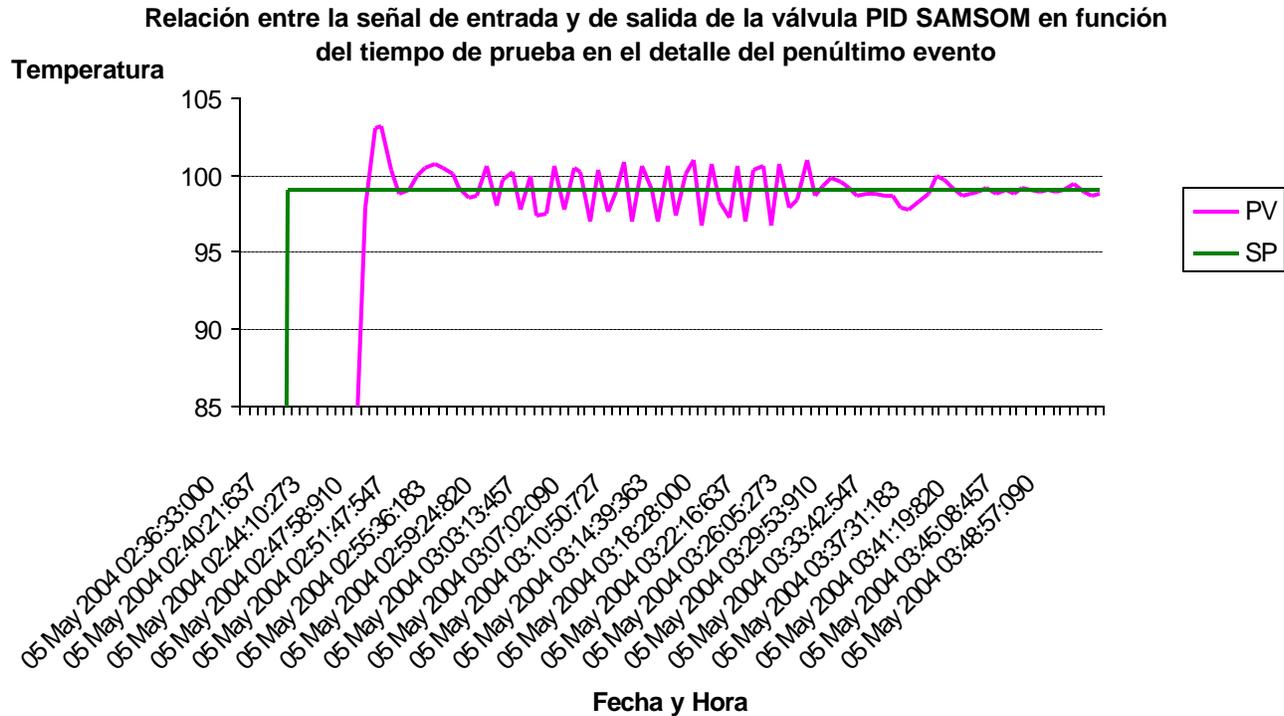


El porcentaje de apertura depende del tipo de proceso que asista la válvula, este decidirá cuanto abrirá o cerrará con él fin de mantener las condiciones deseadas por el setpoint, de esta manera, el hecho que la válvula abra sin estar contemplado en el SP, evento que se puede observar en la grafica 6.2.3, demuestra que la válvula trata de equilibrar el sistema, esta es la reacción normal de cualquier válvula ante este tipo de fenómeno. Los motivos que explican este tipo de comportamiento son variados, pues puede hablarse de una descalibración debido al cambio de densidades en el sistema al ingresar el producto, el cual se corrige una vez alcanzado el equilibrio del proceso; otra razón puede ser la reacción propia de la válvula a agentes externos que afecten su comportamiento: bombas cavitando, defectos en la línea de trasiego, entre otros.

Debido a estas razones, antes de señalar la causa específica por la cual se da este comportamiento, se debe inspeccionar físicamente el sistema en total: accesorios, tuberías y el pasteurizador con sus respectivos componentes. En la grafica 6.2.4 se logra apreciar mejor la perturbación

Un parámetro de interés para el análisis, es el porcentaje de error entre la señal de entrada y salida; independientemente del comportamiento del sistema, la válvula debe verse obligada a permanecer lo más cerca del setpoint, para así evitar variaciones peligrosas en el proceso. El error promedio presentado a lo largo de la perturbación es de 1.3 %, si bien es cierto, se encuentra entre lo permitido por la empresa: 5 %, lo que nos permite observar que la válvula cumple con los parámetros de la aplicación, a pesar de la ocurrencia de un fenómeno peculiar en el proceso.

Grafica 6.2.4



La grafica 6.1.6, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el penúltimo evento en detalle de cambio de producto, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV es la señal de entrada y SP el setpoint.

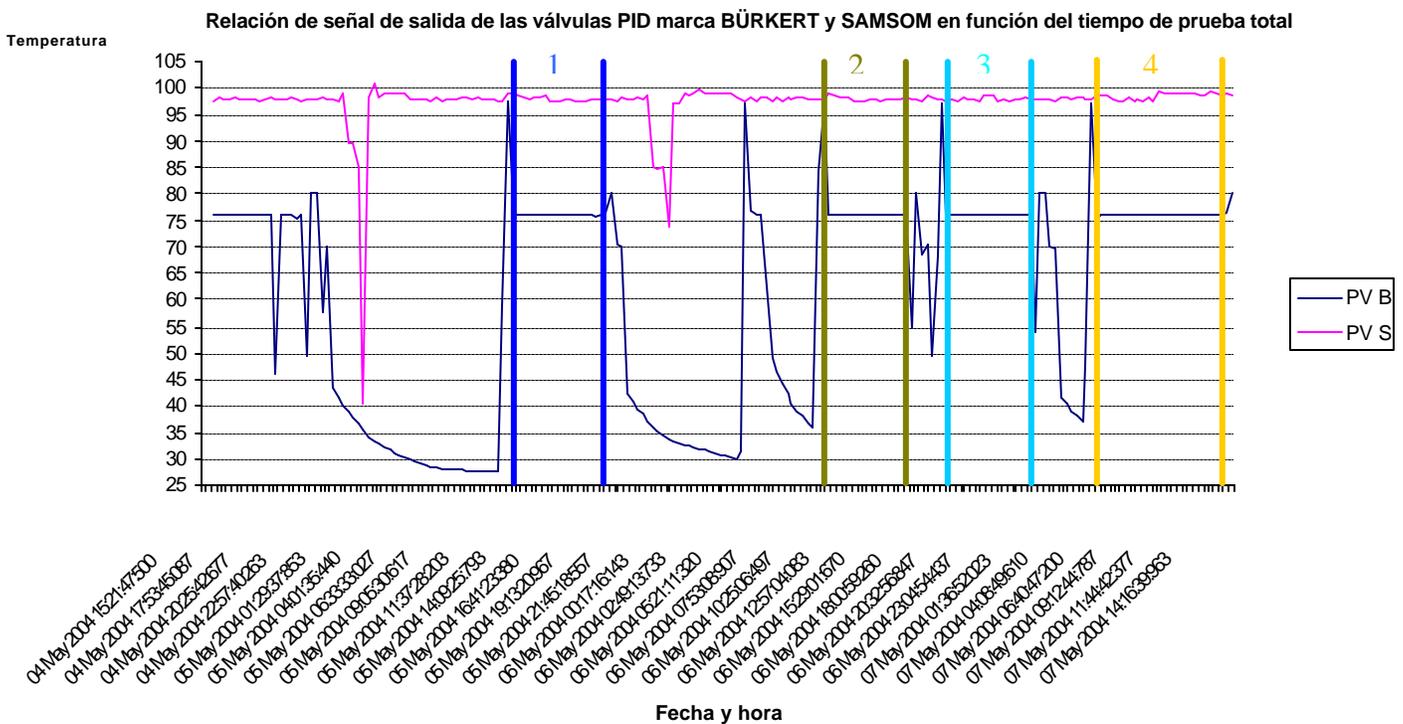
Lo rescatable de esta discusión no es el hecho que la válvula se mantenga entre los rangos de operación aceptables, lo cual sin lugar a dudas es positivo; si no evaluar cuan grandes son los rangos operacionales de la válvula. La siguiente sección ilustra, con un ejemplo práctico, los resultados del análisis referente a este aspecto.

6.3 ANALISIS DE EVENTOS EN PERIODOS DE SEÑAL SOSTENIDA

El comportamiento de cualquier válvula se ve definida por la capacidad que tenga esta de modular y mantener rangos determinados por el setpoint, procurando hacerlo con el menor error y variación posible. Por este motivo, es importante analizar los periodos donde ambas válvulas efectúan la misma acción: modulaciones sostenidas de señal. De esta manera se observará si las válvulas se encuentran entre los parámetros de tolerancia establecidos por el proceso y si es así, cuan cerca se encuentran de los límites del setpoint.

La grafica 6.3.1 muestra las curvas de comportamiento de las dos válvulas ubicadas en los pasteurizadores P2 y U4, en el periodo total de prueba.

Grafica 6.3.1





La grafica 6.1.6, muestra el comportamiento del sistema de pasteurización en el último evento en el detalle de cambio de producto, por medio de la relación entre la temperatura en grados Celsius y el tiempo en día, hora, minutos, segundos y milisegundos. Donde PV B es la señal de entrada de la válvula BÜRKERT y PV S es la señal de entrada de la válvula SAMSON.

La grafica se encuentra dividida en cuatro partes, las cuales representan los momentos en que ambas válvulas trabajan con señal sostenida por tiempo significativo, es decir: en producción. Es en estos lapsos que se considera importante analizar sus variables más relevante: tiempo de apertura y porcentaje de error. Este ultimo es considerado para el grado de tolerancia que la empresa permite en el proceso y cada válvula posee su cifra correspondiente según con el sistema al cual asiste.

El error se basa en el dato otorgado por el PV menos el SP, basándose en un grado de tolerancia. Como el sistema establece, que para completar el grado, debe haber medio grado hacía abajo y medio grado hacía arriba de tolerancia con respecto al setpoint, entonces, si alguno de los valores de error de cualquiera de las dos válvulas sobre pasa el 50 %, quiere decir que no trabaja bajo las limitantes y por ende posee un comportamiento poco preciso. Las alarmas propuestas por producción, están por encima de los valores operativos del proceso de pasteurización, de manera que se cuenta con 2 °C o 4 °C de “gracia” sin que el producto se vea afectado en forma negativa. No obstante, en el ámbito de análisis individual por válvula, se considera el grado como una variación normal en el funcionamiento de una válvula precisa, esto deja entrever ciertos aspectos que merecen estudio.

La tabla 6.3.1 establece los porcentajes de error, mínimos y máximos, registrados en las cuatros partes del proceso, para cada válvula en análisis. Como se explicó anteriormente, si el valor es mayor a 50 % la respuesta de la válvula no cumple con lo establecido por el sistema, en este caso de los datos que cada

válvula presenta, el porcentaje mayor registrado por la PID BÜRKERT, en la parte 1, es de 5.16 %, lo que quiere decir que en la primera tanda completa de producción el desvío más significativo que presentó la válvula fue de 0.0516 grados Celsius, con respecto al setpoint. El valor mínimo de error registrado es 0.29 %, es decir; 0.0029 grados Celsius de variación en función del SP. Diferencias pequeñas si se retoman los parámetros con los cuales se compara el funcionamiento de la válvula:

primero: 1 grado Celsius es lo que se espera sea el máximo valor en el cual una válvula precisa debe oscilar, según el proceso.

segundo: 4 y 2 grados Celsius son los límites establecidos por producción antes que la calidad de los productos se vea afectada.

Tabla 6.3.1
Porcentajes de error entre las señales de modulación sostenida

Numero de parte	Válvula PID			
	BÜRKERT		SAMSOM	
	% error mínimo	% error máximo	% error mínimo	% error máximo
1	0,29	5,16	0,58	58,46
2	0,29	14,30	0,58	43,19
3	0,29	9,44	4,28	46,40
4	0,29	14,30	4,28	57,30
	Promedio			
	0,29	10,80	2,43	51,34



La válvula PID SAMSON, despliega en la parte 1, un error máximo corresponde a 58,46 %, es decir, se produce una variación de 0.5846 grados Celsius con respecto al setpoint. En este caso, sobrepasa el rango predeterminado, pues el ± 0.5 grado que la válvula debe mantener, no es respetado. Sin embargo, este comportamiento no establece que el proceso es afectado o que la válvula presenta problemas operativos, solamente evalúa la prueba de “fineza” o precisión con la cual trabaja cada una.

Al observar los valores promedios, de cada error, se manifiesta el tipo de fineza de la señal de respuesta de cada válvula. La PID BÜRKERT, posee un valor mínimo de 0.0029 grados de variación y un valor máximo de 0.11 grados, sin embargo la PID SAMSON posee un dato mínimo de 0,243 grados y máximo de 0.513 grados. Esto muestra que la modulación de la válvula BÜRKERT es 84 veces más precisa que la SAMSOM en el valor mínimo y 4,7 veces en el rango máximo. No afectan negativamente la aplicación, pero presenta claramente la superioridad de la válvula BÜRKERT en modulación de rangos sostenidos de señal en lapsos largos con respecto a la SAMSON.

Esta llamada “fineza” de respuesta es causa directa de características propias de la válvula en construcción, control electrónico y tecnología neumática. Los anexos 3 y 4 muestran las fichas técnicas de cada una de las válvulas, así como sus respectivos principios de funcionamiento y características de controladores PID.

Un motivo importante en el comportamiento de la válvula, es la capacidad de retroalimentación de señal que posee el control PID, gracias a un micro procesador que permite crear un lazo cerrado de comparación continua entre el setpoint y la señal de salida, este envía el resultado al controlador de posición. Si existe alguna diferencia entre estas posiciones, el sistema electroneumático



realiza la corrección necesaria para alcanzar la posición real; con esto evita variaciones prolongadas y significativas de señal.

Al consultar el anexo 2 se observa que el principio de funcionamiento del control PID SAMSON, es mecánico asistido por una electrónica y electroneumática básica lo que genera un cierto retraso en el viaje de la señal. Además posee electroválvulas con tiempos de respuesta altos: para el diafragma o accionamiento de menor área, 120 cm^2 , el tiempo de apertura y cierre corresponde a 0,5 segundos. En el caso de la válvula BÜRKERT las electroválvulas son estándar, lo que provoca que el tiempo de apertura y cierre sea el mismo: 23 y 21 milisegundos correspondientemente, para cualquier diámetro, ver anexo 6. Esto le otorga una ventaja significativa en el tiempo de respuesta sobre la válvula SAMSON ya que es 2174 % más rápida en la apertura.

La válvula SAMSON utiliza un diafragma; el menor de ellos, 120 cm^2 , necesita de un suministro de aire en la válvula de entrada de 142 NI/min y en la de salida de 233 NI/min pues debe ser capaz de accionar la apertura de la válvula, la cual por su construcción y principio de funcionamiento, ver anexo 4, es robusta (la más pequeña de $\frac{1}{2}$ " la cual posee un peso de 5 kilos, sin accionamiento o diafragma) El consumo de aire de la PID BÜRKERT es, en la válvula de entrada de 23 NI/min y en la de salida de 25 NI/min, ver anexo 1. Este hecho puede ser insignificante para el cliente que posea una o dos válvulas, pero en plantas donde poseen una cantidad considerable, como es el caso de la Dos Pinos que posee 12 válvulas y con miras a adquirir más, el consumo de aire es un factor importante para tomar en cuenta.

Otro aspecto que influye en el comportamiento positivo de la válvula, es la construcción de esta, ya que el principio de funcionamiento determina la forma y el diseño del cuerpo de la válvula. Estos a su vez contribuyen como un todo en la



buena función de la válvula en la aplicación que asista. La válvula SAMSON, es accionada por un diafragma que al contraerse desplaza un vástago, el cual se encuentra unido a un obturador encargado de cortar el paso del flujo a través de la válvula. El abastecer el diafragma de aire representa una pérdida de tiempo de respuesta, más aún si el diafragma es muy grande, además el cuerpo de la válvula corresponde a una de globo y una característica de este tipo, es la disminución del diámetro interno, lo que provoca que el flujo que circula a través de la válvula no sea el mismo que el de la tubería. Este caso se puede ilustrar con un ejemplo claro: se tiene una tubería de 1" la cual posee y necesita manejar un caudal efectivo de agua o $K_v = 14 \text{ m}^3/\text{h}$, una válvula SAMSOM de 1" puede transportar $8,26 \text{ m}^3/\text{h}$, casi la mitad de lo realmente requerido. Esto se debe a que el orificio no es real, no es el mismo que el del puerto de conexión. Para cumplir con este ejemplo se necesitaría una SAMSOM de 1 ½" o 2" ver anexo 4, las cuales manejan un $K_{v_{\max}} = 21 \text{ m}^3/\text{h}$, además de el sobrediseño presente en la válvula, se debe sumar el peso: 12 kilogramos y el tamaño con accionamiento de 120 cm^2 : Altura 290 mm y longitud 200 mm. Aspectos que hacen a la válvula muy grande, lo que dificulta el mantenimiento.

La PID BÜRKERT posee orificio real, el diámetro interno es el mismo que el de las conexiones, proporcionándole la capacidad de trasegar el caudal necesario sin aumentar su tamaño. Esta válvula es más liviana, pues una de 2" tiene un peso de 8 kilogramos, una altura de 254 mm y una longitud de 307 mm. Una desventaja de esta válvula es la limitante de diámetros, pues su diámetro mayor es de 2". La SAMSOM, por su parte, alcanza hasta 10".

Ambas válvulas poseen piezas de recambio de materiales de calidad, sin embargo en Costa Rica, la marca SAMSOM no se encuentra representada, por lo tanto su mantenimiento, venta de repuestos y soporte técnico es nulo.

El costo de adquisición es un factor de peso en el momento de evaluar la viabilidad de pago en la escogencia de una válvula. La tabla 6.3.2 muestra los precios con los cuales se venderían las dos válvulas en Costa Rica.

Tabla 6.3.2
Costos de adquisición de las válvulas PID marca BÜRKERT y SAMSOM

Costo	BÜRKERT	SAMSOM
Fabrica	1012 euros	1692 euros
Valor en dólares al cambio actual	\$ 1214	\$ 2030
Puesta en puerto, flete, documentos, impuestos 40 %	\$ 485,6	\$ 812
Utilidad 15 %	\$ 182	\$ 306
Total costo de adquisición	\$ 1955	\$ 3269

Fuente: Neumática y Control S.A, Panamá



CAPÍTULO VII

MODELO DE COMPORTAMIENTO PROPUESTO



7. MODELO DE COMPORTAMIENTO PROPUESTO

Debido a lo analizado y discutido de las curvas de comportamiento obtenidas en la prueba realizada en la empresa Dos Pinos, se observa un patrón establecido que caracteriza ciertas partes del comportamiento de las válvulas PID en operación normal. Esta clase de eventos se encuentran íntimamente ligados a la naturaleza del proceso al cual asisten las válvulas, ya que dependiendo de la precisión que se requiere en el resultado del sistema, así deberá ser, la respuesta de los componentes que lo conforman. De esta manera es importante definir que es lo que se quiere que hagan dichos componentes, para qué y porqué hacerlo, y para así obtener la justificación fidedigna de la rutina a realizar y cumpliendo con una prueba basada en operación real.

Las válvulas en operación presentaron cuatro tipos de comportamientos relevantes y repetitivos, cada uno de ellos define en cierta manera la influencia del proceso sobre el accionar de la válvula.

7.1 PRIMERA ETAPA DE PRUEBA

Esta corresponde a la apertura y cierre en forma de pulsos repetitivos que se presentan, después de que el sistema ha sido detenido o la válvula ha sido aislada para ser sometida a alguna clase de mantenimiento o recalibración, es decir, este fenómeno se presenta cuando por algún motivo la válvula debe seguir el setpoint de manera drástica para provocar una proporcionalidad entre la señal de entrada con la de salida. La válvula lo que busca es recuperar el equilibrio de condiciones del sistema.

Para ilustrar este fenómeno se puede tomar como ejemplo el caso de los pasteurizadores en los cuales se efectuó la prueba de comportamiento en



operación real: para el proceso de pasteurización de la leche se debe elevar su temperatura a 76 C para garantizar la eliminación de bacterias y maximizar su calidad de consumo. Para la realización de este proceso se utiliza un intercambiador de calor, el cual recibe agua caliente o vapor y agua fría; con estos elementos se logra que la temperatura de calentamiento de la leche sea la adecuada. El proceso es muy delicado, pues el producto es de consumo humano y de elevado costo, por ello el control de los limitantes y factores que lo dominan es muy fino y preciso. Cuando el producto, leche, sea introducido al pasteurizador, la temperatura debe ser la requerida, por eso cuando el sistema es puesto en marcha nuevamente, luego de una parada, sea cual sea el caso, las válvulas encargadas del ingreso de vapor deben abrir y cerrar rápida y repetidamente para alcanzar el equilibrio necesario en el sistema. Este comportamiento se le llamó puesta en línea o precalentamiento. Debido a que se poseen varios pasteurizadores en la línea de producción, no todos funcionan a la vez o todo el tiempo, por esta razón, en esta planta, es frecuente que este fenómeno se presente ya que el trabajo es alternado entre líneas.

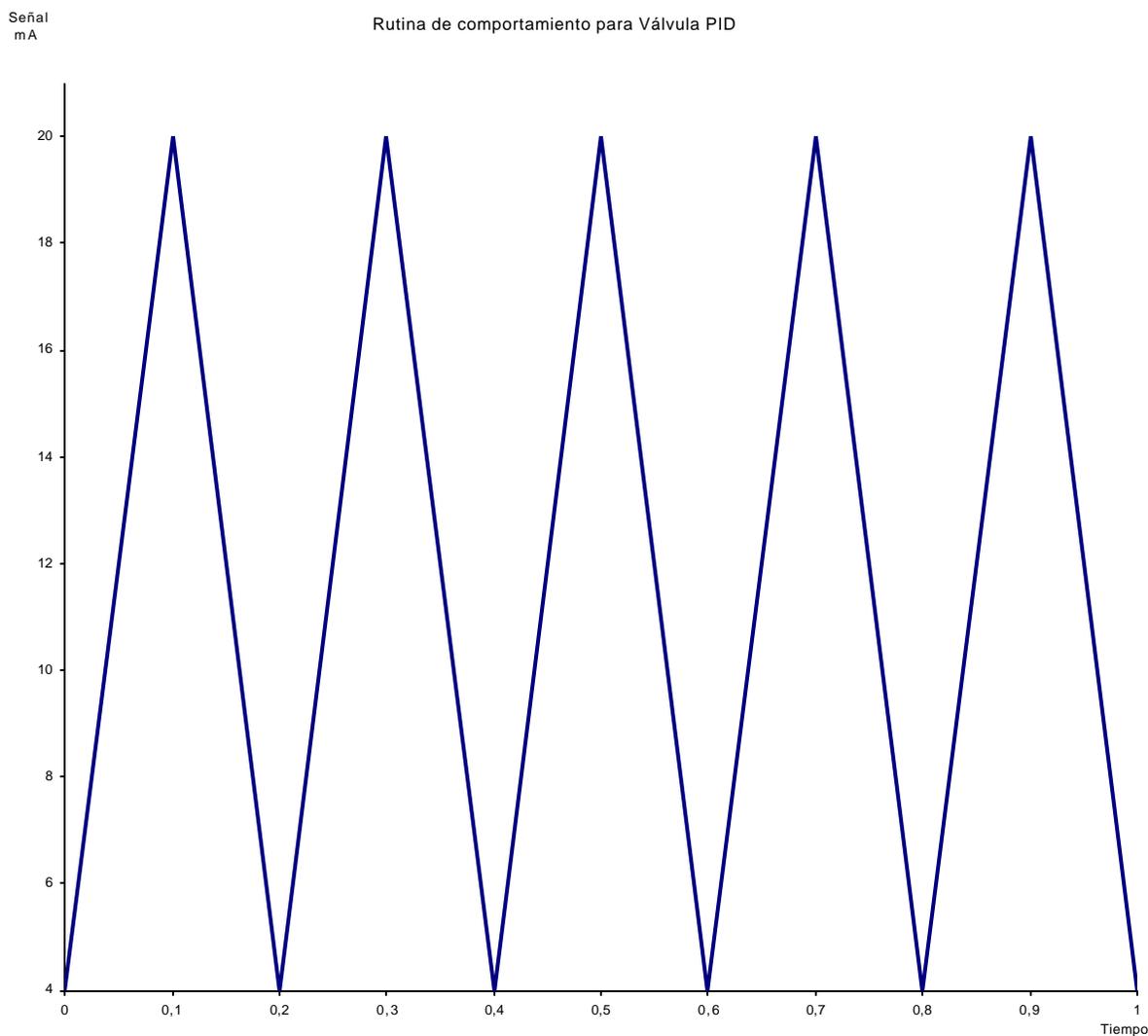
En este caso las aperturas y cierres drásticos son pruebas de condiciones reales, a las cuales se someten las válvulas en estudio, por este motivo está es la primera etapa de prueba propuesta, con la cual se observará la precisión y rapidez de apertura o cierre de la válvula.

Con el fin de ilustrar fácil y coherentemente esta característica se graficará el porcentaje de apertura contra el tiempo que durará la prueba, ver apéndice 1. Este tiempo de duración de la prueba es tentativo, se propone un minuto que es lo mínimo que se recomienda para que se observe una variación significativa, pero puede ser más tiempo. En realidad lo que interesa es la capacidad de hacer la apertura y el cierre completamente, así como el tiempo que esta acción le tome.

La grafica 7.1.1 muestra la curva de comportamiento propuesta para observar este fenómeno.

Grafica 7.1.1

Primera etapa propuesta para rutina de comportamiento de las válvulas PID



La grafica 7.1.1 representa la primera etapa de prueba propuesta y relaciona la señal de la válvula en miliAmperios en función del tiempo en segundo.



7.2 SEGUNDA ETAPA DE PRUEBA

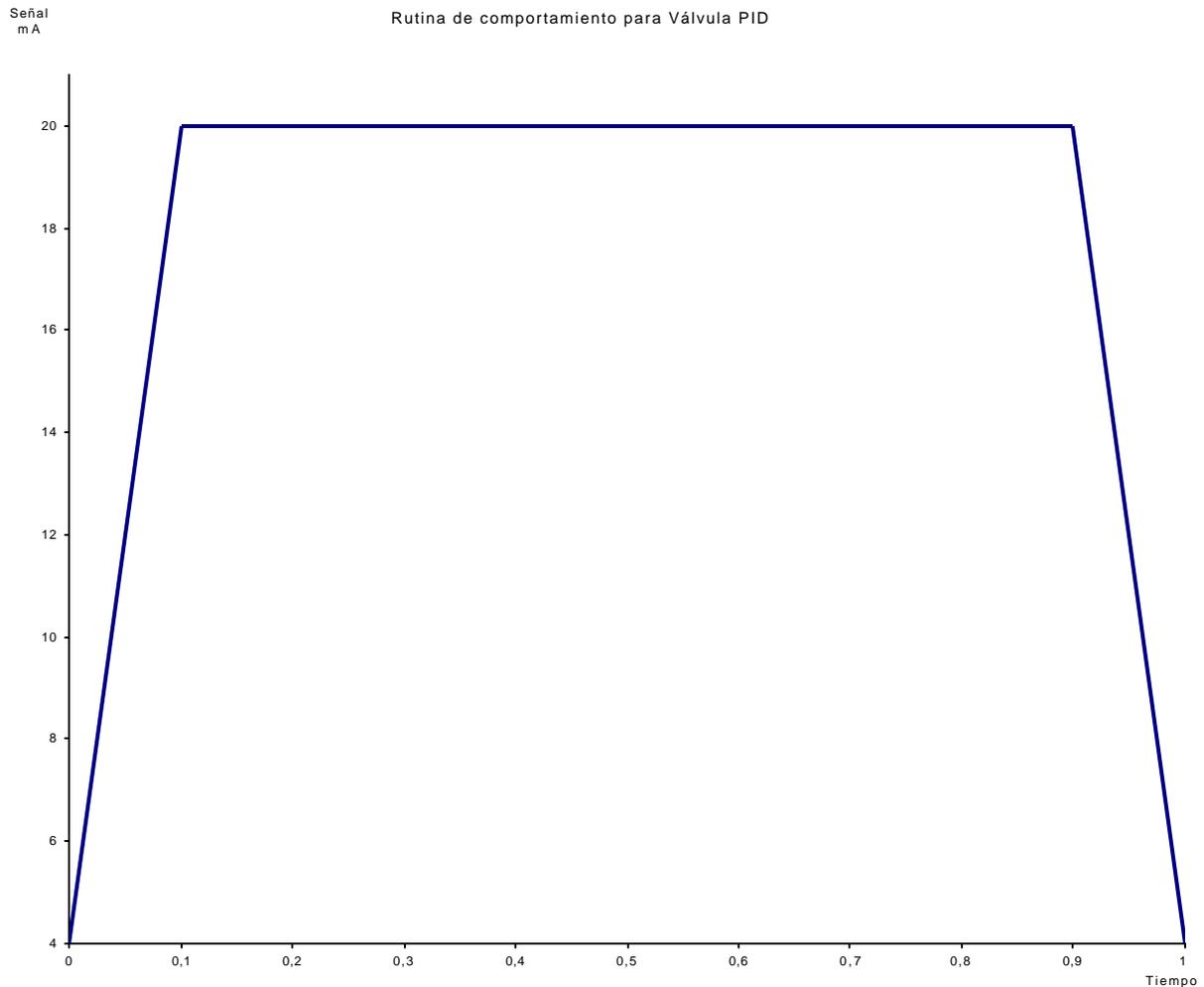
Cuando la válvula busca alcanzar el equilibrio dependiendo de las condiciones del proceso, la apertura o cierre de la carrera de la válvula debe ser mantenida por algún tiempo, este tiempo lo determina la aplicación en la cual se actúa. Esta condición se presenta, por ejemplo, cuando algún parámetro del proceso es variado, presión o temperatura, o simplemente cuando el proceso requiere mantener por un tiempo el flujo completo o el caso contrario, corte completo.

Si volvemos al ejemplo de los paturizadores de la Dos Pinos, este comportamiento se observa cada vez que el sistema esta en “stand by” o en espera de la carga de suministro, pues la válvula espera el ingreso del flujo a procesar, una vez iniciado el trasiego de fluido continua la modulación, según sea el caso, aumentado o disminuyendo. La válvula puede encontrarse totalmente abierta o totalmente cerrada esto depende de cómo lo requiera el proceso. Esta apertura o cierre se produce rápidamente, como si fuera un pulso.

En el modelo propuesto se grafica con las mismas variables de la etapa uno y manteniendo un minuto de prueba como mínimo. La grafica 7.2.1 muestra la curva propuesta para determinar el comportamiento de las válvulas a este caso.

Grafica 7.2.1

Segunda etapa propuesta para rutina de comportamiento de las válvulas PID



La grafica 7.1.2 representa la segunda etapa de prueba propuesta y relaciona la señal de la válvula en miliAperios en función del tiempo en segundo.

7.3 TERCERA ETAPA DE PRUEBA

Esta se basa en un comportamiento lógico y característico de los sistemas modulantes: modulación de tiempos pequeños de apertura o cierre. Cuando la



aplicación requiere de una apertura controlada, pues el control de la señal o respuesta de salida de la válvula debe ser preciso o debe conservar un patrón definido, debido a la fineza del proceso.

Continuando con el ejemplo anterior, este fenómeno se presenta durante todo el tiempo de operación, cuando se requiere que la temperatura del pasteurizador aumente en forma escalonada en ciertos rangos controlados, son definidos por la programación del proceso, transmitidos al PLC y a través de este a los controladores de las válvulas.

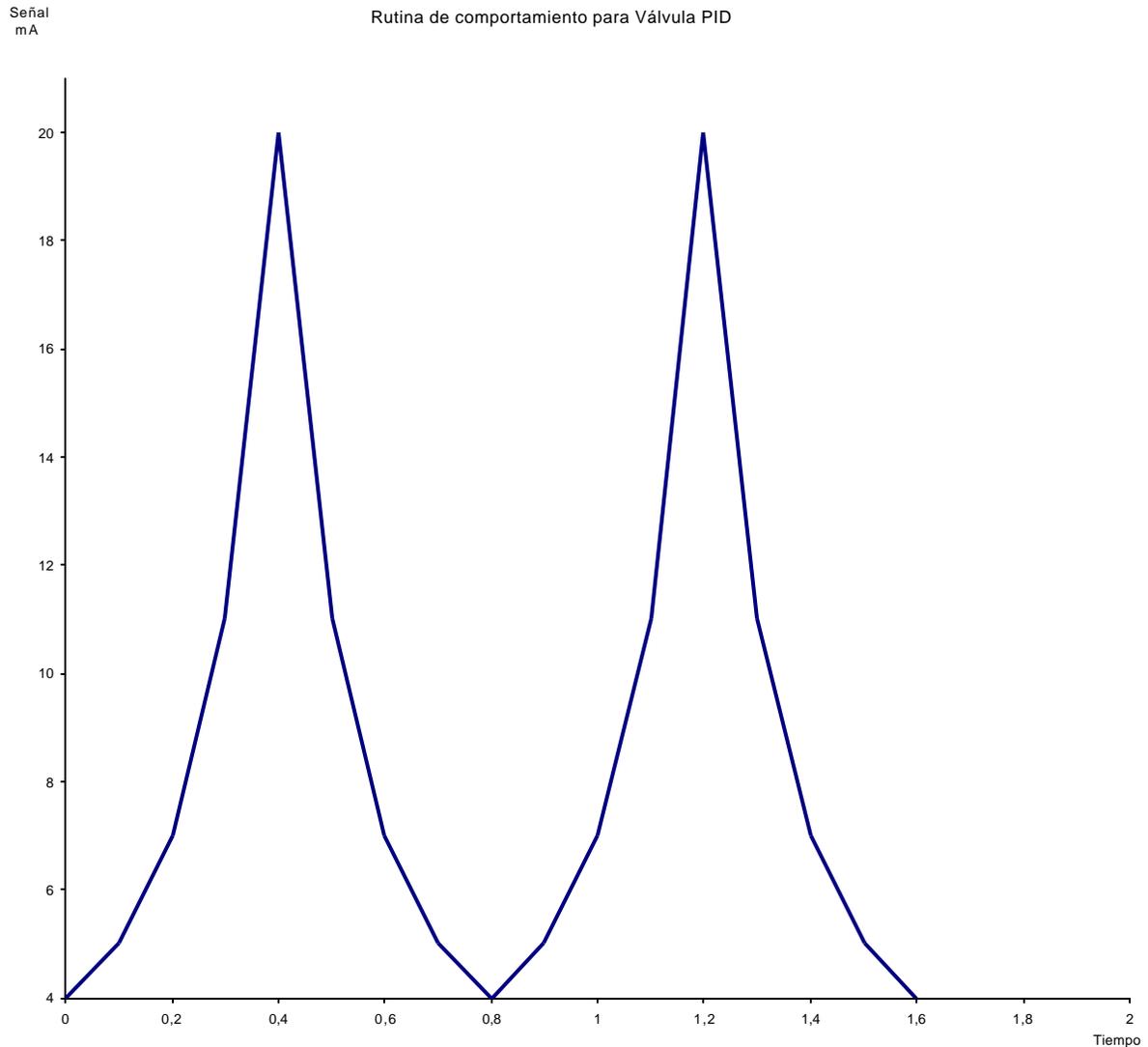
Es importante ubicar realmente donde ocurre este caso: sabemos que la temperatura a la cual debe ser pasteurizada la leche no debe ser mayor de 76.5 C ni menor de 75.5 C, esto otorga medio grado de gradiente de temperatura de tolerancia, con este margen tan reducido se debe obtener una modulación bastante acertada y para realizarla el cuerpo de la válvula, el tamaño, tipo y diseño del actuador, el controlador y el posicionador de la válvula, deben estar en capacidad para efectuar esta acción, sin ser ninguno de ellos, obstáculos o trabas para alcanzar una modulación de aperturas pequeñas perfecta.

Es por esta razón que es determinante incluir este fenómeno dentro del modelo propuesto de prueba, pues puede revelar deficiencias en alguna de las válvulas en estudio. Para efectos de prueba, se utilizan rangos de apertura y cierre total, es decir, la modulación de rangos pequeños se dará hasta alcanzar la apertura total para luego iniciar el cierre en pequeños rangos hasta el cierre total. Este procedimiento se repetirá una vez más, para completar dos minutos de prueba aproximadamente, que representa el tiempo mínimo para observar un cambio significativo. En el caso de la Dos Pinos no se modula por tanto tiempo, ni a apertura y cierre total, pues el proceso no lo posee en términos más drásticos.

La grafica 7.3.1 muestra la curva propuesta para determinar el comportamiento de las válvulas a este caso.

Grafica 7.3.1

Tercera etapa propuesta para rutina de comportamiento de las válvulas PID



La grafica 7.1.3 representa la tercera etapa de prueba propuesta y relaciona la señal de la válvula en miliAperios en función del tiempo en segundo.



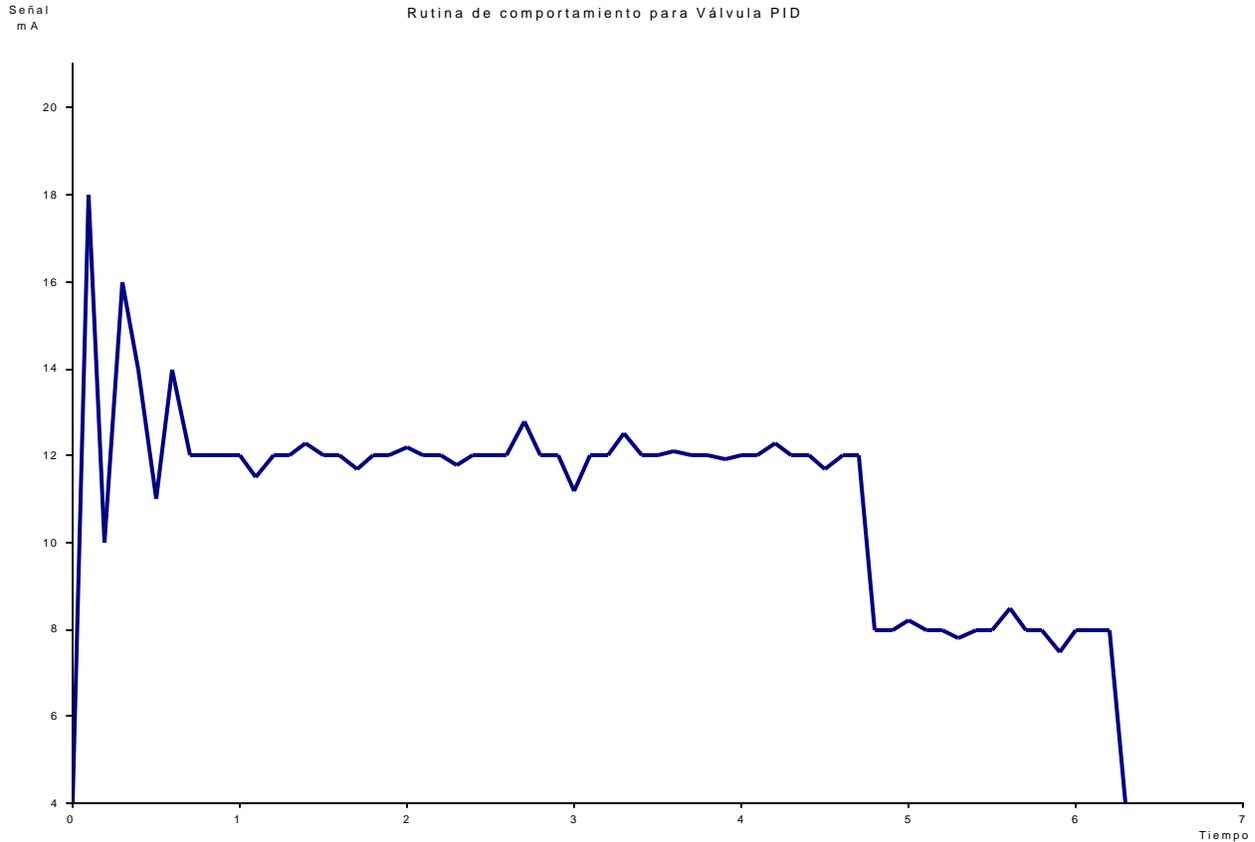
7.4 CUARTA ETAPA DE PRUEBA

Consiste en el alcance del equilibrio del sistema por medio de la apertura y cierre de la válvula. Cuando la válvula permanece cerrada y en el proceso se produce un desnivel, la válvula abre hasta que alcanza cierto punto, luego cierra y repite el proceso hasta llegar al porcentaje de apertura que se necesita para equilibrar el sistema. Una vez equilibrada mantiene constante la apertura, solamente modulando pequeños rangos para conservar la mitad de la apertura. Este caso se puede ejemplificar, continuando con los pasteurizadores, pues es el comportamiento que se presenta cuando la válvula se encuentra cerrada por requerimientos del proceso y de repente, la señal de entrada obliga a la válvula a abrir para buscar la estabilidad de temperaturas y mantener la apertura, se necesita que los flujos sigan entrando al intercambiador para conseguir el equilibrio del sistema.

En la propuesta se pretende, realizar este comportamiento, provocando la apertura hasta un 75 %, luego estabilizarla hasta un 50 % de apertura con modulaciones pequeñas y bajar hasta un 25 % modular otra vez, para así terminar la prueba. De esta manera se podrá observar la estabilidad que posean las válvulas en sus accionamientos neumáticos y en sus controles ante modulaciones pequeñas con respecto a un porcentaje de apertura determinado.

Grafica 7.4.1

Cuarta etapa propuesta para rutina de comportamiento de las válvulas PID



La grafica 7.1.4 representa la cuarta etapa de prueba propuesta y relaciona la señal de la válvula en miliAmperios en función del tiempo en segundos.

De esta manera se apreciarán las características de las válvulas en situaciones extremas y realizando comportamientos basados en operación real. Será entonces más simple analizar el resultado de la respuesta de la válvula si se somete a una rutina que enfrente sus cualidades contra situaciones que en las empresas nacionales se presentan.

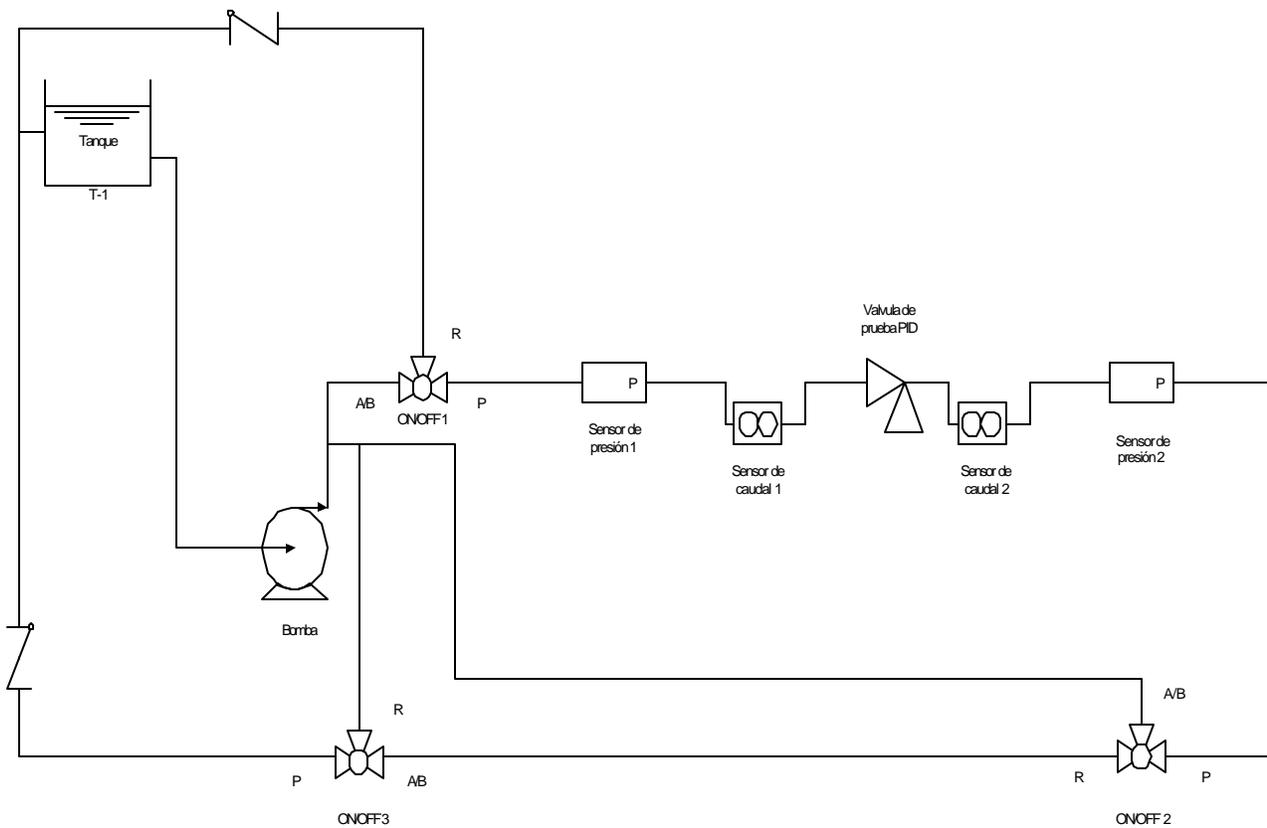
Para elaborar esta prueba se necesita, además de la rutina antes presentada, un sistema de recirculación y el equipo necesario para recopilar y

almacenar la información que esta despliegue. Para esto se tratará de escoger los componentes según necesidad y alcance por parte del ejecutor de la prueba.

El circuito de recirculación propuesto se muestra en la figura 7.1.1, con su respectiva simbología y sus componentes.

Figura 7.1.1

Diseño propuesto del circuito de recirculación para el banco de pruebas





Notas:

1. La convención establecida para las válvulas ON/OFF obedece al siguiente orden: P (entrada) A/B (salida 1) R (salida 2)
2. La dirección del flujo puede redireccionarse en ambos sentidos siempre y cuando se conserve el punto común: P
3. Las válvulas propuestas son de la marca BÜRKERT 3/2 vías, orificio de 13 mm, cuerpo de latón, asiento de nitrilo, con conexión de rosca G1 y consumo de 11 Watts por parte de la bobina.
4. La bomba propuesta es marca SAER, trabaja con 120 V, con una velocidad de 3450 rpm y entrega una caudal de 0.6 m³/h.
5. La tubería y accesorios recomendados son de PVC con un diámetro de 13 mm (1/2")
6. La válvula PID de prueba BÜRKERT recomendada posee un diámetro de 13 mm (1/2"), K_v = 3.8 m³/h, con accionamiento E (80), conexión de rosca, control PID 1067.
7. La válvula PID SAMSOM de prueba recomendada, posee un diámetro 15 mm (1/2"), K_v = 3,3 m³/h, con accionamiento 271 de 120 cm², con conexión de rosca y control PID 3277.
8. Las distancias del banco de pruebas, las determina el ejecutor dependiendo de el espacio físico disponible.
9. Los caudalímetros recomendados corresponden a la marca BÜRKERT con sensor inductivo, libremente programable, máxima temperatura permisible del fluido 100 C, de 12-30 V de alimentación y salidas análogas de 4...20 mA con relays.
10. Los sensores de presión pertenecen a la maraca BÜRKERT con alimentación de 12-30 V, salida de transistor NPN y PNP con colector abierto y 4...20 mA, temperatura máxima del fluido 100 C y con conector 2511.



11. Para la alimentación de la parte neumática de las válvulas se necesitará un pulmón de aire con reguladores a la entrada, un compresor capaz de mantener la presión en 5-6 bar y que entregue aire seco y sin lubricar; accesorios FESTO para uniones y manguera de 6 mm.

Para asistir electrónicamente a este banco de pruebas se necesitará:

1. PLC con entradas análogas y digitales, salidas digitales
2. Una computadora
3. Cableado de red
4. Software previamente definido



CAPÍTULO VIII

PROCEDIMIENTO DE MODO Y EFECTOS DE FALLAS



8. PROCEDIMIENTO DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS

8.1 ANALISIS EFECTIVO

El documento posee la información recopilada a través de discusiones y análisis minucioso del equipo, y es complementado con la información recopilada de los operarios de la planta Dos Pinos en el Coyol de Alajuela. Lo que se busca es establecer un documento fiable que ayude al cliente de Equipos Neumáticos S.A a discernir las posibles fallas de las que puede ser víctima la válvula, así podrá conocer, reparar y descartar, dependiendo de la gravedad de la falla, sin necesidad de demoras costosas, proporcionando a la empresa vendedora una herramienta muy útil para delimitar los aspectos de garantía del producto.

Ahora bien, se asignaron dos etapas para el proceso de desarrollo del análisis:

1. Recopilación de información
2. Discusión y análisis departamental

Para la primera se realizaron varias visitas a la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, las cuales permitieron la discusión y aplicación de entrevistas, ver apéndice 2, a los operarios directos de las válvulas PID marca Bürkert. También, se accedió a los catálogos de fabricante y al sistema computacional de la empresa para obtener los parámetros de funcionamiento reales y teóricos en el área de pasteurizado. Por medio de este último punto se pudo crear un bosquejo que relaciona la falla más común, con el efecto que hizo posible la detección, la posible causa y su respectivo remedio, ver apéndice 3.



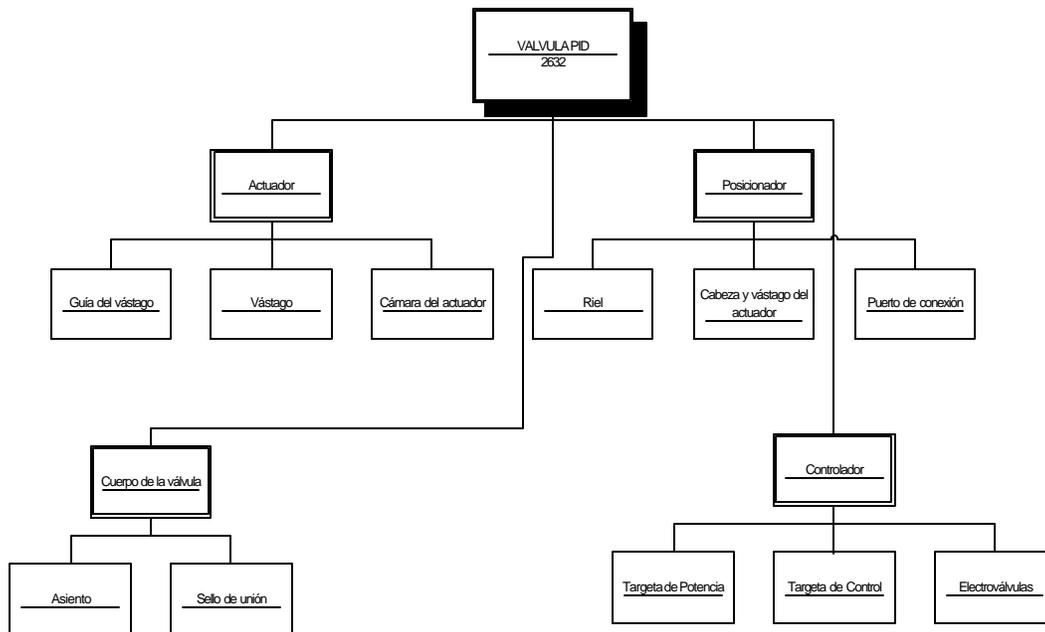
Al analizar los resultados arrojados por el estudio realizado en la cooperativa, se determinaron dos partes fundamentales que afectan la efectividad del equipo: el controlador PID y el montaje mecánico de la válvula. Es decir, las fallas hasta ahora presentadas por las válvulas instaladas en esta empresa, son producto de un mal montaje inicial o mantenimiento, seguido por un mal manejo del controlador PID de la válvula. Este último debido al descuido o falta de capacitación del encargado del área o del personal de limpieza, pues abren el controlador en una área donde la humedad es grande y la precipitación de agua, debido a la limpieza permanente, es considerable, exponiendo directamente los componentes electrónicos a las condiciones dañinas imperantes. A esto se le debe sumar la mala programación realizada por el encargado, no el técnico a cargo de las válvulas, provocando modulaciones erráticas y descalibración de la válvula.

Tomando esta muestra como base se procedió a dividir el equipo en dos partes predominantes: la eléctrica que abarca el controlador y el potenciómetro, y la mecánica que se refiere al resto de la válvula, ver anexo apéndice 4. Luego se complemento el estudio de la empresa con información técnica de sitios de internet, revistas, catálogos y documentos operativos de la empresa fabricante.

Una vez orientado el estudio sobre las partes especiales de la válvula PID marca Bürkert, se procedió a la etapa dos en la cual se propiciaron reuniones de discusión y análisis sobre los posibles modos de fallas, sus efectos respectivos, las causas y las acciones proactivas. Para el estudio de los efectos se ideó una escala de severidad que facilitará la definición de prioridades con respecto a reparaciones o llamadas a soporte técnico Bürkert, ver apéndice 5. Se procuró también crear un banco de apoyo técnico simple, el cual permitió recrear posibles fallas y documentar los resultados.

Se procedió a efectuar un reconocimiento de partes del equipo, cada una de ellas con sus respectivas subpartes y la descripción de su función. También se creó un esquema de relación que determina la unión de cada componente con el proceso al cual se asiste, ver figura 8.1.1, esto con el fin de profundizar en la labor e importancia de cada componente y reducir el error por omisión en el análisis.

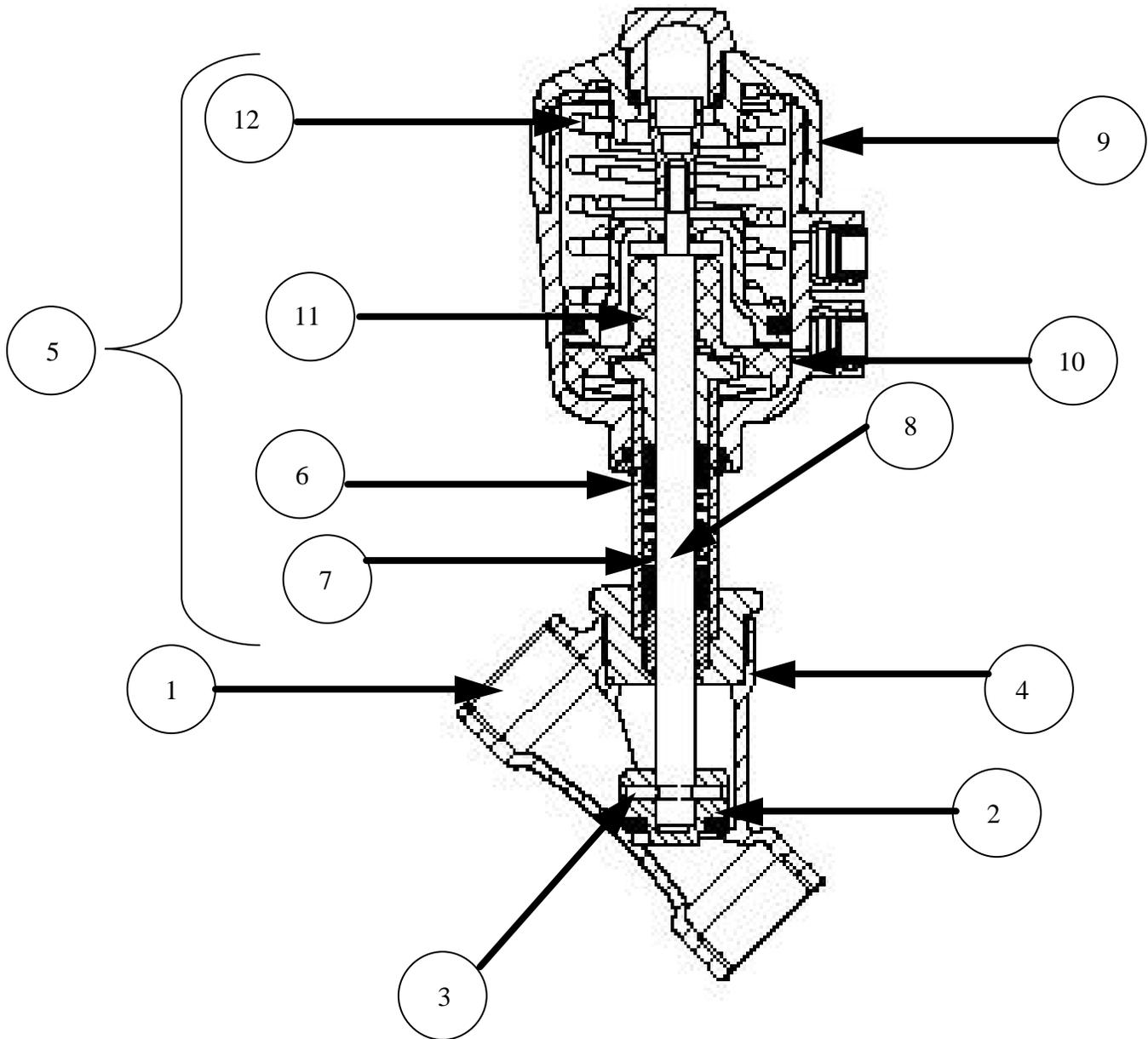
Figura 8.1.1
Esquema de partes y subpartes



Una vez definido el orden de las partes y su cantidad, se realizó el estudio de causa y efecto, el cual consiste en determinar el camino que una falla puede seguir y el efecto no solo en el proceso, sino en otros componentes que pueden producir fallas secundarias. Este estudio permitió separar las fallas, de tal manera que la detección de la más grave facilite el conocimiento de las pequeñas que la produjeron y viceversa. En este caso se utilizó la figura 8.1.2 que representa el cuerpo mecánico de la válvula, para encontrar el camino a seguir por la falla

dependiendo donde se presente, ofreciendo un aporte visual muy útil en el reconocimiento y localización de las partes y subpartes.

Figura 8.1.2
Cuerpo mecánico de la válvula PID marca BÜRKERT





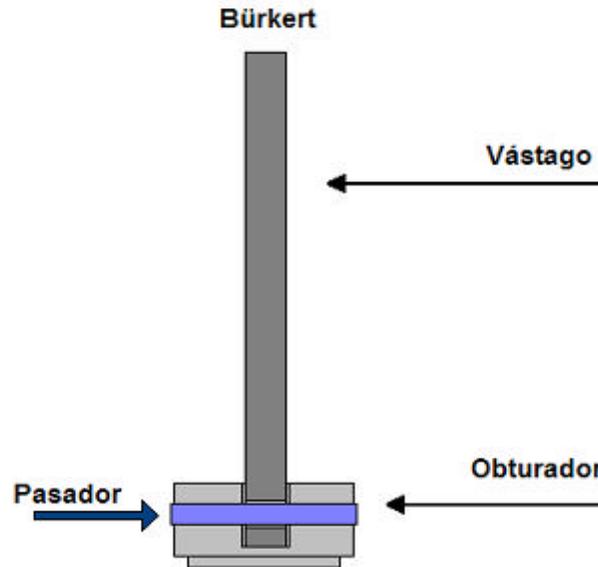
1. Parte: Cuerpo de la válvula
2. Subparte: Asiento u obturador
3. Componente de subparte: Pasador
4. Subparte: Sello de unión
5. Parte: Actuador
6. Subparte: Guía del vástago
7. Componente de subparte:
Empaquetaduras
8. Subparte: Vástago
9. Subparte: Cámara del actuador
10. Componente de subparte:
Empaquetaduras del émbolo
11. Componente de subparte: Émbolo
12. Componente de subparte: Muelle o
resorte de retorno

La figura 8.1.2, muestra el cuerpo mecánico en corte transversal, de la válvula 2000 marca BÜRKERT, con sus respectivas partes rotuladas. Ver anexo 3.

La figura 8.1.3 muestra en detalle la relación mecánica que existe entre dos partes de la válvula: cuerpo y actuador y por ende de sus subpartes: asiento y vástago respectivamente. De esta manera se observa que si el vástago sufre algún problema, por ejemplo: doblado por mal montaje, toda la válvula sufrirá las consecuencias, algunas serán pequeñas, otras grandes, pero es un modo de fallo significativo que afecta el cierre de la válvula, pues el asiento no se sentará de forma correcta, produciendo desgaste en el cuerpo de la válvula y evitando el buen cierre; provocando así fugas. Además las empaquetaduras de la cámara del actuador, específicamente las del émbolo, se gastarán más rápido y eventualmente se darán fugas de aire de una cámara a otra. Como se puede notar el modo de falla es uno, vástago doblado, los efectos y acciones de remedio pueden ser muchas, pero el camino de la falla afecta a otros componentes, provocando otros modos de fallas. Es por este motivo que es importante de organizar esta clase de modos de fallas, para encontrar la causa raíz y determinar cuando deja de ser un modo, para convertirse en una causa en el modo de falla de otra parte del equipo.

Figura 8.1.3

Relación mecánica entre vástago y asiento



Posteriormente, se definieron los procedimientos de remedio a la falla. En este proceso se presentó un complemento entre la experiencia de los técnicos de la cooperativa de productores de leche y por parte del personal del departamento Bürkert, pues ambos poseen sus respectivos protocolos de reparación, cada uno previamente establecido y delimitado según las características de cada empresa a la cual pertenecen. Debido a esto se tomaron las acciones correctivas de cada uno de ellos, se estudiaron y analizaron con el fin de obtener un mejor resultado en el complemento de ambas que en su individualidad. Una vez establecido el protocolo correctivo, se pasó a definir las acciones preventivas, con el fin de disminuir la frecuencia de ocurrencia de fallas y disminuir el tiempo de paro del proceso al cual asiste la válvula.



Finalmente, los resultados se tabularon en un documento o manual, que explica por medio de cada ítem, anteriormente explicado, la posible ubicación, efecto, causa y acción proactiva, del modo de falla. Aportando también, una escala de severidad que ayuda al operario a ubicarse con rapidez en el protocolo a seguir determinado si la celeridad que se le de a la reparación de la falla afectará, de manera considerable, al equipo o al proceso. Así pues, se genera un documento útil en la detección de fallas y fácil de utilizar por parte del personal de la empresa a la cual Equipos Neumáticos S.A presta el servicio.



CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

9.1 PROYECTO INDUSTRIAL

- ◆ El comportamiento de las válvulas es determinado por el proceso al cual asiste.
- ◆ Los fenómenos físicos influyen en el comportamiento de la señal de salida de las válvulas.
- ◆ Para disminuir el porcentaje de error entre el setpoint y la señal de salida, se manipulan las propiedades del control PID.
- ◆ El setpoint contemplado en tiempo real se manifiesta de dos formas: alargando su tiempo de estabilización o trazando las pendientes necesarias en el proceso.
- ◆ Si el setpoint es concebido en pendientes, el valor del error es menor.
- ◆ El setpoint debe contemplar los cambios propios del proceso.
- ◆ Variaciones externas e internas al sistema generan perturbaciones en el comportamiento del proceso.
- ◆ La válvula PID SAMSON actúa de manera normal ante perturbaciones no contempladas en el setpoint.
- ◆ La válvula PID SAMSON conserva los valores de error dentro de los límites de operación, al presentarse una variación prolongada.
- ◆ La válvula PID BÜRKERT es 84 veces más precisa en modulaciones de lapsos sostenidos que la válvula SAMSOM.
- ◆ La válvula PID BÜRKERT es 2174 % más rápida en la apertura que la PID SAMSON.
- ◆ El consumo de aire de la PID SAMSOM es mayor 119 NI/min que la válvula BÜRKERT.

- ◆ La rápida respuesta de la válvula BÜRKERT es consecuencia de la constante comparación y corrección de la señal de salida con el setpoint, por parte del control PID.
- ◆ La válvula SAMSOM posee un control PID con electrónica y electroneumática básicas.
- ◆ El control PID de la válvula SAMSOM posee un principio de funcionamiento mecánico que retrasa el viaje de la señal.
- ◆ El control PID de la válvula BÜRKERT posee un principio de funcionamiento basado en un micropocesor y electrónica avanzada, lo que disminuye el tiempo con que viaja la señal.
- ◆ La válvula BÜRKERT cuenta con un orificio interno real, lo que le permite poseer un Kv (caudal efectivo) mayor que la SAMSOM.
- ◆ El peso de la válvula SAMSOM más pequeña es 150 % mayor que su homologa BÜRKERT.
- ◆ La válvula SAMSOM posee más variedad y cantidad de diámetros que la PID BÜRKERT.
- ◆ El soporte técnico y los repuestos de las válvulas SAMSOM, son inexistentes en Costa Rica.
- ◆ El costo de adquisición de las válvulas PID BÜRKERT es menor un 170% que las válvulas SAMSOM.
- ◆ La válvula PID SAMSOM realiza su trabajo bien, pero no con la precisión y rapidez de la PID BURKERT.



9.2 PROYECTO ADMINISTRATIVO

- ◆ Es determinante para definir las posibles fallas entender el funcionamiento de las piezas críticas del equipo.
- ◆ La elaboración de un documento tipo FMEA necesita de una discusión entre técnicos y jefes y una recopilación de datos técnicos.
- ◆ La empresa Dos Pinos no posee un procedimiento de determinación de fallas.
- ◆ Los distintos efectos de fallas presentados en el equipo son producto de un mismo modo de falla.
- ◆ La confiabilidad por parte de los operarios hacía la válvula PID marca BÜRKERT en la empresa Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, es alta.
- ◆ Las principales fallas del equipo se producen por mal uso, descuido del personal y mal montaje en la puesta en marcha de este.
- ◆ La empresa Dos Pinos no recurre al manual de instalación y mantenimiento.
- ◆ Las calibraciones establecidas por personal no autorizado son inadecuadas.



CAPÍTULO X

RECOMENDACIONES



10. RECOMENDACIONES

10.1 PROYECTO INDUSTRIAL

- ◆ Se debe realizar una inspección visual del sistema, cada vez que una variación fuera de lo normal se presente en el comportamiento del proceso.
- ◆ Realizar la prueba de comportamiento propuesta en este trabajo para comprobar lo establecido.
- ◆ Extender el rango de diámetros, con el fin de alcanzar todo tipo de aplicaciones.
- ◆ Realizar un inventario de todas las válvulas instaladas en las empresas costarricenses, para contar con la suficiente cantidad de repuestos para las válvulas PID BÜRKERT.
- ◆ Fabricar con metales livianos y resistentes la cámara del actuador, para aplicaciones en temperaturas extremas.
- ◆ Utilizar la válvula PID BÜRKERT en aplicaciones donde la precisión en el sistema sea un factor determinante en la calidad del producto.
- ◆ Crear un protocolo de armado a nivel departamental, para evitar errores de omisión en el momento de preparar la válvula BÜRKERT para una aplicación.
- ◆ Para la ejecución de la prueba propuesta es preciso mantener iguales condiciones de operación: temperatura, presión del fluido, alimentación de aire y electricidad.
- ◆ La ubicación física de ambas válvulas de prueba (SAMSOM y BÜRKERT) en el modelo propuesto debe ser la misma, así como también los puertos de conexión entre la válvula y la tubería.
- ◆ Para efectos de facilidad y simplificación en el proceso de montaje en el banco de pruebas propuesto, se recomienda utilizar válvulas con puertos de conexión roscadas.



- ◆ El aire comprimido de alimentación hacia las válvulas debe ser seco y no lubricado, para obtener un óptimo funcionamiento.
- ◆ Para garantizar el buen desempeño en determinada aplicación de la válvula PID BÜRKERT, es importante revisar, la calidad del fluido a trasegar, las sobrepresiones en las líneas, realizar un correcto procedimiento de montaje y mantener 24 VCD en la alimentación eléctrica.
- ◆ Al adquirir la válvula, asegurarse de poseer el set de repuestos, para cambiar empaquetaduras y sellos cuando se presenten fugas, luego del tiempo normal de operación del equipo.

10.2 PROYECTO ADMINISTRATIVO

- ◆ Capacitar al personal a cargo, en el uso y conocimiento del principio de funcionamiento de las partes críticas de las válvulas.
- ◆ Crear un protocolo de limpieza acertado en los equipos donde se encuentren las válvulas PID marca BÜRKERT y su respectivo controlador, de esta manera se evita las fallas por humedad en los componentes electrónicos.
- ◆ Establecer un orden organizacional respectivo en el cual el personal de área y limpieza, eviten interactuar con los componentes electrónicos de la válvula sin un permiso previo.
- ◆ Seguir el procedimiento de instalación al pie de la letra, además que este lo realice solo personal capacitado.
- ◆ Evaluar con detenimiento el área donde se instalará el equipo tomando en cuenta la humedad del área, el tipo de personal, la temperatura y tomar acciones con respecto.
- ◆ En ambientes con alta concentración de precipitación de fluidos o humedad se recomienda separar el controlador y ubicarlo en un panel de control previamente definido.
- ◆ Dependiendo del área en la que se encuentre es preferible cubrir el potenciómetro, con silicón o cinta adherible de hule para evitar la entrada de humedad o suciedad en el puerto de conexión.
- ◆ Contar con una charla o manual base sobre los cuidados mínimos que deben tener en el manejo y operación de la válvula.
- ◆ Crear un rubro en el contrato de garantía en el cual se establezca la obligación del cliente de utilizar el manual de instalación y mantenimiento de la válvula. En el caso contrario se anularía la garantía.



CAPÍTULO XI

BIBLIOGRAFÍA



11. BIBLIOGRAFIA

Molina, Carlos. **Análisis de efectos y modos de falla (FMEA)**. Editorial Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica, 2002.

DE PRADA, César. Diseño de controladores PID [en línea] España, agosto 1998 [citado 23 abril 2004] Disponible World Wide Web: [http:// www.ISA-Valladolid.es](http://www.ISA-Valladolid.es)

Moraga, Alfonso. Control de porcesos [en línea] , Febrero 2002 [citado 23 abril 2004] Disponible World Wide Web: [http:// www.procesosvirtuales.com](http://www.procesosvirtuales.com)

Ollero, Fdez.-Camacho. **Control e Instrumentación de procesos químicos**. Editorial Síntesis, 1997.

Ogata, **Ingeniería de control moderna**. Editorial Prentice Hall Inter. 4ª edición, 2003.

Rojas, Juan. **Folleto de válvulas**. Editorial del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica, 2001.



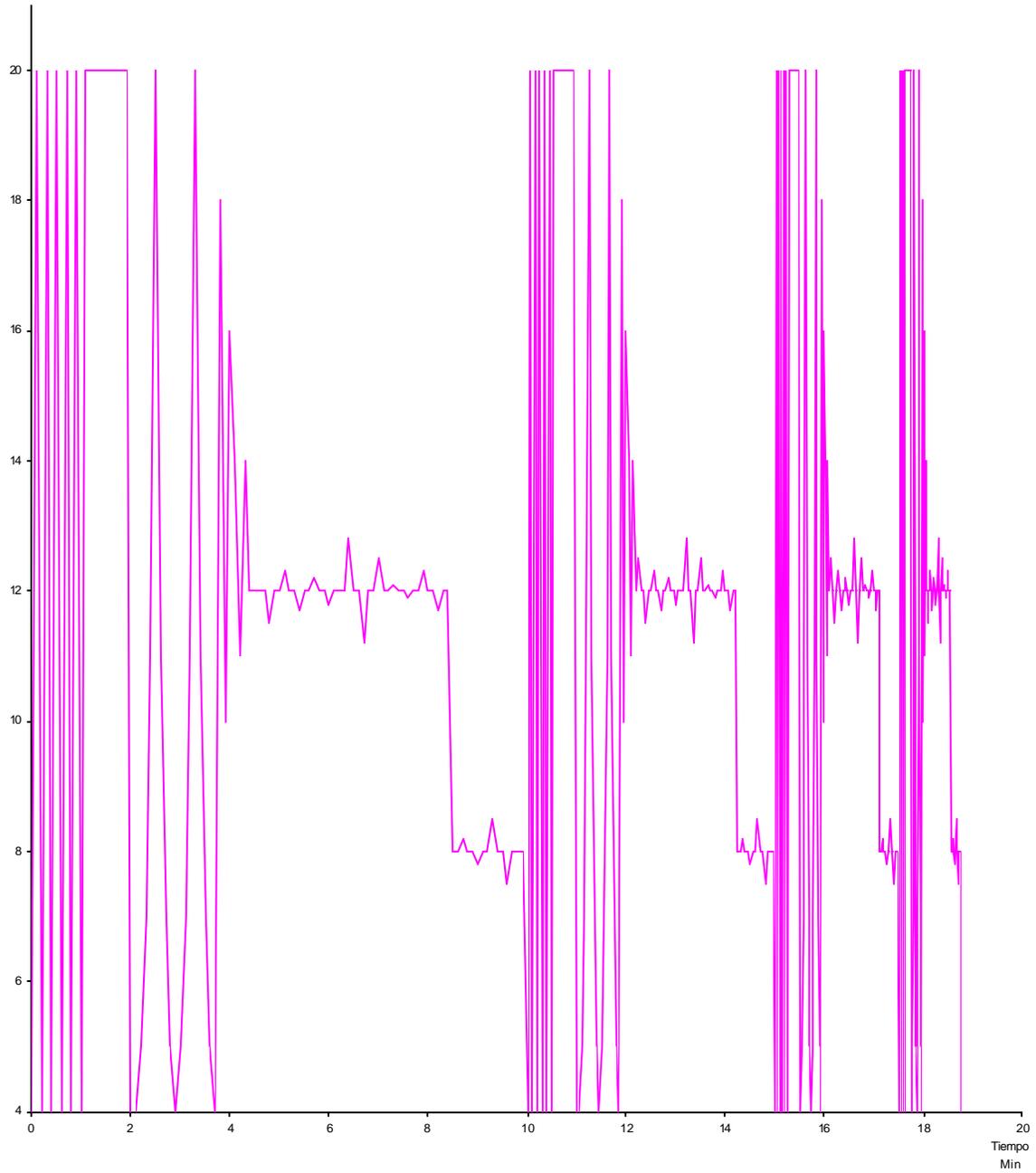
APENDICES



APÉNDICE 1: CURVA DE COMPORTAMIENTO PROPUESTA

Señal
mA

Rutina de comportamiento para Válvula PID





APÉNDICE 2: ENCUESTA DE SATISFACCIÓN AL CLIENTE

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
Escuela de electromecánica
práctica de especialidad
ENCUESTA DE SATISFACCIÓN AL CLIENTE

Introducción: La encuesta que se presenta pertenece al proyecto de práctica de especialidad “Estudio de desempeño de las válvulas PID marca BÜRKERT” para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial. Se pretende conocer la posición, del operario directo en el área de mantenimiento de la empresa, con respecto a nuestro producto.

Esta encuesta es CONFIDENCIAL y NO debe escribir su nombre en ningún lugar, además no es un examen así que no existen respuestas correctas o incorrectas.

A. Información General

1. Nombre de la empresa: _____
2. Actividad que realiza esta : _____
3. Departamento en el cual labora el entrevistado: _____
4. Puesto del entrevistado: _____
5. Años de laborar en la empresa: _____

Instrucciones: Favor marcar con una X en la casilla que se adecue a su respuesta.

B. Producto

1. Materiales: La válvula PID marca BÜRKERT esta confeccionada con materiales que satisfacen la necesidad a la cual atienden.

- | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Totalmente de acuerdo | <input type="checkbox"/> | En desacuerdo | <input type="checkbox"/> | Niacuerdo/Ni desacuerdo |
| <input type="checkbox"/> | De acuerdo | <input type="checkbox"/> | Totalmente en desacuerdo | | |

Porqué? _____

2. Peso y forma: La forma y el peso de la válvula PID marca BÜRKERT facilita su manipulación

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Niacuerdo/Ni descauerdo
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____

3. Función: La válvula PID marca BÜRKERT es fácilmente adaptable a variedad de aplicaciones

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Ni acuerdo/Ni
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____

4. Diseño: La válvula PID marca BÜRKERT posee un diseño compacto y manejable

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Niacuerdo/Ni descauerdo
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____

C. INSTALACION

1. Procedimiento de montaje: La válvula PID marca BÜRKERT posee un procedimiento de montaje claro.

Totalmente de acuerdo En desacuerdo Ni acuerdo/Ni desacuerdo
 De acuerdo Totalmente en desacuerdo

Porqué? _____

La válvula PID marca BÜRKERT posee un procedimiento de montaje simple y fácil de efectuar.

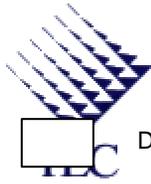
Totalmente de acuerdo En desacuerdo Ni acuerdo/Ni desacuerdo
 De acuerdo Totalmente en desacuerdo

Porqué? _____

D. USO

1. Programación: La válvula PID marca BÜRKERT posee un software y hardware adecuado y eficaz para trabajar en situaciones donde la modulación de pequeños a grandes rangos sea necesaria

Totalmente de acuerdo En desacuerdo Ni acuerdo/Ni desacuerdo
Totalmente en desacuerdo



De acuerdo

Porqué? _____

2. Fallas: Son frecuentes las fallas en las válvulas PID BÜRKERT

- Totalmente de acuerdo
 En desacuerdo
 Ni acuerdo/Ni desacuerdo
 De acuerdo
 Totalmente en desacuerdo

Porqué? _____

Instrucción: Complete el siguiente cuadro, para cada una de las fallas, anote la(s) causa(s) y remedio(s)

Orden de Frecuencia	Falla	Causas	Remedios

E. Mantenimiento

1. Mantenimiento: Las válvulas PID BÜRKERT poseen muchas piezas de reemplazo

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Niacuerdo/Ni desacuerdo
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____

El procedimiento de mantenimiento de las válvulas PID BÜRKERT es fácil y simple

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Niacuerdo/Ni desacuerdo
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____

Es frecuente el mantenimiento de las válvulas PID BÜRKERT

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Niacuerdo/Ni desacuerdo
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____

2. Repuestos: Los repuestos de las válvulas PID BÜRKERT son accesibles y abundantes

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Niacuerdo/Ni descauerdo
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____

3. Soporte Técnico: El soporte técnico de las válvulas PID BÜRKERT es efectivo y oportuno

<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo	<input type="checkbox"/>	En desacuerdo	<input type="checkbox"/>	Niacuerdo/Ni descauerdo
<input type="checkbox"/>	De acuerdo	<input type="checkbox"/>	Totalmente en desacuerdo		

Porqué? _____



APÉNDICE 3: DIAGNOSTICO DE LAS VÁLVULAS PID BÜRKERT EN LA EMPRESA DOS PINOS S.A

1. Modo de falla más frecuente
 - Mal montaje
 - Fallo en la tarjeta del controlador
 - Falla en el posicionador

2. Causa de fallas
 - No aplicar la opción AUTOTUNE para determinar posibles fallas de montaje o programación
 - Controlador abierto en ambientes húmedos o con posible precipitación de fluido
 - Descuido al lavar máquina por parte del encargado
 - Apertura del controlador por personal no autorizado
 - Falta de hermeticidad en el sello del asiento

3. Efecto de fallo
 - Modulación no es la correcta
 - Apertura de válvula es deficiente
 - No abre ni cierra

4. Acciones proactivas
 - Revisión de programa
 - Revisión de servicios básicos: aire comprimido y electricidad
 - Cambio de posicionador
 - Cambio de sello del asiento

Calificación de operario directo: Muy bueno, compacta, poco mantenimiento, facilidad de montaje, pocas conexiones neumáticas, pocas piezas de recambio, facilidad de ajustes en la programación electrónica.

APENDICE 4: FOTOS DE PARTES Y SUBPARTES



Foto 1: Parte mecánica: Cuerpo de la válvula



Foto 2 : Subparte: Asiento



Foto 3: Subparte: Sello de unión



Foto 4: Subparte: Guía del vástago



Foto 5: Subparte: Vástago



Foto 6: Subparte: Cámara del actuador

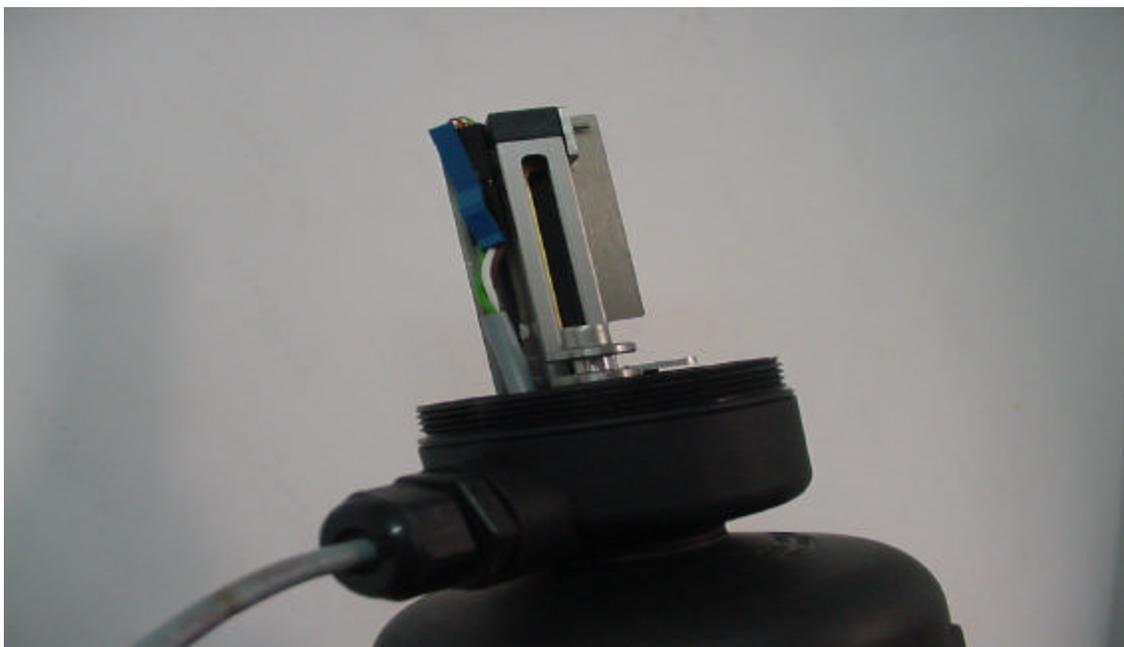


Foto 7: Parte eléctrica: Posicionador



Foto 8: Subparte: Cabeza y vástago del actuador



Foto 9: Subpartes: Puerto de conexión y riel



Foto 10: Parte eléctrica: Controlador

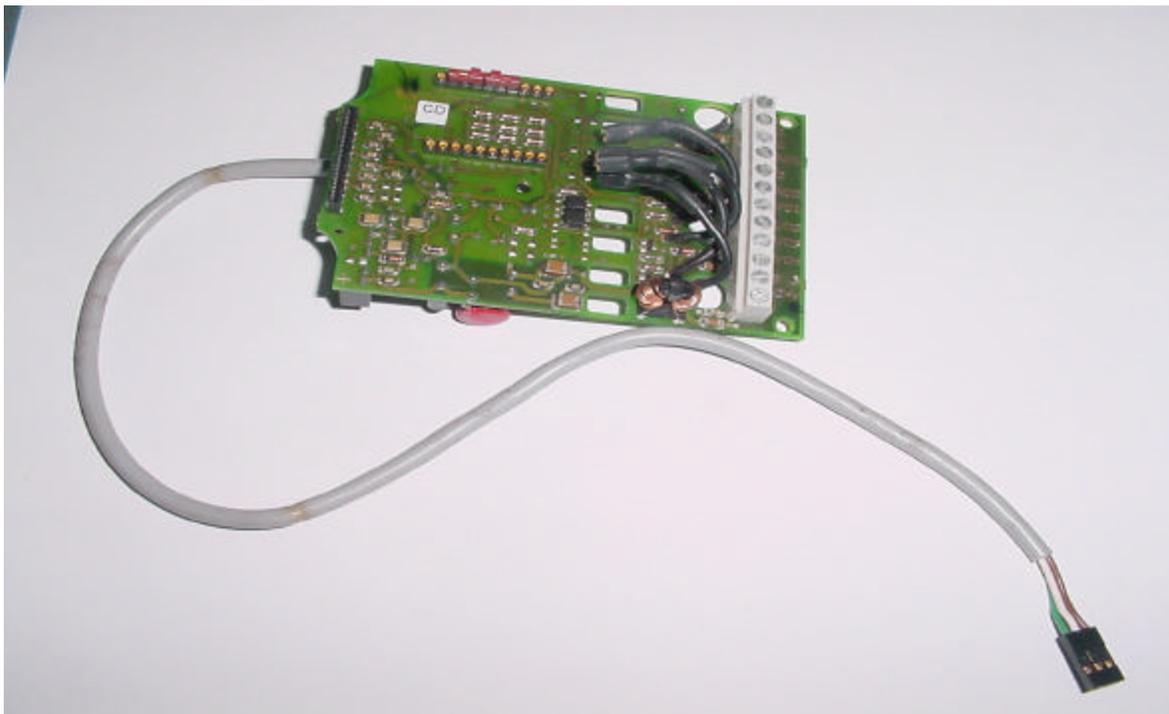


Foto 11: Subparte: Tarjeta de potencia



Foto 12: Subparte: Tarjeta de control



Foto 13: Subparte: Electroválvulas



Foto 14: Válvula PID BÜRKERT



APENDICE 5

FORMATO DE FMEA

MODO DE FALLAS Y ANALISIS DE EFECTOS DE LAS VÁLVULAS PID BÜRKERT

Fecha:	Empresa:	Sistema:	Página:	Equipo:	Analista:			
			1 de 4					
Parte	Subparte	Función	Modo de falla	Efecto de falla	Causas de falla	Acciones Proactivas	Severidad	
Cuerpo de la válvula	Asiento	Asegura el cierre hermético de la válvula	Falta de hermeticidad en el orificio de la	Fugas de flujo en el cierre hacia la tubería	1, Desgaste en el sello del asiento 2, Obstrucción en el orificio interno 3, Vástago torcido	1, Cambio de asiento 2, Revisión de línea principal de trasiego del fluido 3, Revisión de la calidad del fluido trasegado	Crítico	
			La válvula abre pero no cierra	Funcionamiento incorrecto	1, Resorte en la cámara del actuador 2, Presión de fluido mayor a 16 bar 3, Obstrucción en el asiento	4, Revisión de muelle	Crítico	
	Sello de unión	Evita fugas hacia el actuador y posicionador de la válvula. Garantiza hermeticidad	Sello incompleto y desgastado	1, Función errática en el cierre y la apertura de la válvula 2, Humedad presente en el posicionador	1, Mal montaje 2, Final de vida útil de sello	1, Cambio del sello 2, Revisión de montaje 3, Revisión de la temperatura del sistema	Marginal	
Actuador	Guía del vástago	Conduce la carrera del vástago hacia el cuerpo de la válvula. Disipa	1, Empaquetaduras de recambio en mal estado 2, Desgaste o deformación de empaquetaduras 3, Rotura de resorte disipador	1, Exceso de temperatura en la cámara del actuador y el vástago 2, Falta de hermeticidad 3, Cierre lento de la válvula 4, Aumento de temperatura en la guía del actuador	1, Final de vida útil de las empaquetaduras 2, Mal montaje 3, Temperatura del sistema mayor de 180 °C o menor a -10 °C 4, Vástago del actuador torcido 5, Golpe de ariete excesivo	1, Cambio de empaquetadura 2, Revisión de montaje 3, Revisión de la temperatura en el sistema 4, Revisión de vástago 5, Analizar sobrepresiones en la línea principal y	Crítico	
							Marginal	
								Catastrófico
	Actuador	Transmite la posición del émbolo al asiento	Vástago Torcido	1, La válvula cierra pero no abre 2, Desgaste en las empaquetaduras de la guía del vástago y del émbolo 3, Cierre incompleto del asiento 4, Desgaste en las uniones de la cámara del actuador y la guía del vástago 5, Rotura del émbolo del actuador 6, Fisura o quebradura en el muelle o resorte de la cámara del	1, Impacto muy fuerte en el cierre debido a obstrucción del asiento por parte de material considerablemente 2, Mal montaje o errores en reparación 3, Golpe de ariete excesivo	1, Cambio de válvula 2, Revisión de calidad del flujo del sistema de trabajo 3, Revisión de procedimiento de montaje y 4, Analizar accesorios en línea de trasiego de flujo 5, Analizar sobrepresiones en la línea principal y	Crítico	
						Marginal		
							Marginal	
							Despreciable	
							Catastrófico	
							Catastrófico	

MODO DE FALLAS Y ANALISIS DE EFECTOS DE LAS VÁLVULAS PID BÜRKERT

Fecha:					Página:	2 de 4	
Empresa:					Equipo:		
Sistema:					Analista:		
Parte	Subparte	Función	Modo de falla	Efecto de falla	Causas de falla	Acciones Proactivas	Severidad
Actuador	Cámara del actuador	Contiene el émbolo, el vástago y el muelle o resorte del pistón de simple efecto. Se encarga de contener el aire para que el émbolo realice su carrera	1, Carrera incompleta del vástago	1, No se da un cierre completo y hermético	1, Obstrucción entre el contacto del émbolo y el vástago	1, Cambio de empaquetaduras 2, Optimización del servicio de aire según lo requerido por el fabricante (aire seco y no lubricado)	Crítico
			2, Empaquetadura del émbolo desgastada	1, Sello errático 2, Modulación incorrecta 3, Fugas de aire por la unión del posicionador y las roscas de la cámara	1, Carrera del actuador mayor a 5 millones de 2, Mal montaje 3, Mala calidad de aire 4, Vástago torcido 5, Alta temperatura en la cámara	3, Revisar el procedimiento de montaje 4, Revisión de empaquetaduras de la guía del vástago	Crítico
Posicionador	Riel	Trasdutor que convierte la señal	Desacople entre la cabeza del vástago del posicionador y la guía del riel	No se da cierre o apertura de la válvula	1, Golpe de ariete excesivo 2, Mal montaje 3, Vástago del actuador torcido	1, Revisión corección de la unión 2, Revisión de montaje 3, Revisión de vástago 4, Analizar sobre presiones en la línea principal v ramales	Marginal
	Cabeza y vástago del actuador	Extensión del vástago, que permite	Desgaste del vástago	Sello errático	1, Vástago torcido 2, Mal montaje	1, Cambio de vástago y cabeza 2, Revisión de montaje 3, Revisión de vástago	Crítico
	Puerto de conexión	Produce el enlace electrónico entre el controlador y el posicionador. Por él viaja la información del programa de funcionamiento de la válvula	Corrosión presente en el adaptador	Modulación incorrecta Inconcordancia entre el programa y el funcionamiento de la válvula	1, Humedad en el posicionador 2, Mal montaje o errores en reparación	1, Cambio de posicionador 2, Revisión de procedimiento de montaje y reparación 3, Procurar no instalar la válvula en lugares donde se encuentre en contacto con extremas temperaturas	Marginal Crítico
			Cable del puerto de conexión comido o fundido	No se da cierre o apertura de la válvula	1, Altas temperaturas dentro de la cámara del posicionador		

MODO DE FALLAS Y ANALISIS DE EFECTOS DE LAS VÁLVULAS PID BÜRKERT

Fecha:					Página:	3 de 4			
Empresa:					Equipo:				
Sistema:					Analista:				
Parte	Subparte	Función	Modo de falla	Efecto de falla	Causas de falla	Acciones Proactivas	Severidad		
Controlador	Tarjeta de potencia	Procesa la información proveniente de la señal de entrada, gobierna la apertura y cierre de las electroválvulas y provee de la electricidad necesaria para el buen funcionamiento del controlador	1, No enciende el led verde en la carátula del controlador	No se produce ni cierre ni apertura por parte de la válvula	1, No hay electricidad o no es la suficiente para alimentar el sistema	1, Verificar si la fuente entrega 24 VCD 2, Revisar los bornes de conexión 3, Comprobar el buen estado de los conductores 4, Procurar que el trasmisor de señal no se encuentre a más de 15 m del controlador	Crítico		
			2, Se aplica AUTOTUNE y produce INT ERROR	No produce modulación alguna	Aparato defectuoso	5, Cambio de controlador, no es posible el reemplazo		Catastrófico	
			3, No descarga aire por las electroválvulas	No produce modulación alguna	1, No hay conexión entre las electroválvulas y la tarjeta	6, Confirmar la buena conexión de electroválvulas y tarjeta			Marginal
					2, Obstrucción en la cámara de alimentación de aire	7, Revisión de orificios de alimentación de aire de las electroválvulas			
						8, Revisión de calidad de aire de alimentación			
	Tarjeta de control	Genera el despliegue visual de la información procesada por la tarjeta de potencia	1, Se aplica AUTOTUNE y se	La válvula no genera ningún tipo de apertura o cierre	Excedido el alcance de medición del potenciómetro	1, Girar el eje del potenciómetro en 180° con respecto al eje del accionamiento	Marginal		
			AUTOTUNE y se produce ERR2	La válvula no genera ningún tipo de apertura o cierre	1, No esta conectado el aire comprimido 2, Volumen del accionamiento es demasiado grande Tiempo de apertura > 30 segundos 3, Volumen del accionamiento es demasiado pequeño Tiempo de apertura > 0,5 segundos 4, La fricción en el accionamiento es muy grande	2, Verificar el suministro de aire 3, Aplicar el controlador con válvulas en paralelo 4, El accionamiento utilizado no es el adecuado para el funcionamiento con el controlador		Marginal	
			Modulación incorrecta	Comportamiento de la válvula no es el esperado	Problemas de programación	1, Revisión de programa existente 2, Revisión de programa en el momento del montaje	Marginal		

MODO DE FALLAS Y ANALISIS DE EFECTOS DE LAS VÁLVULAS PID BÜRKERT

Fecha:					Página:	4 de 4		
Empresa:					Equipo:			
Sistema:					Analista:			
Parte	Subparte	Función	Modo de falla	Efecto de falla	Causas de falla	Acciones Proactivas	Severidad	
Controlador	Tarjeta de Control		3, Se aplica AUTOTUNE y se	La válvula no genera ningún tipo de apertura o cierre	Volumen del accionamiento es demasiado grande Tiempo de apertura > 30 segundos	5, Aplicar el controlador con válvulas en paralelo	Marginal	
			4, Se aplica AUTOTUNE y se	La válvula no genera ningún tipo de apertura o cierre	1, No esta conectado el aire comprimido 2, Volumen del accionamiento es demasiado grande Tiempo de apertura > 30 segundos 3, Volumen del accionamiento es demasiado pequeño Tiempo de apertura > 0,5 segundos 4, La fricción en el accionamiento es muy grande 5, El accionamiento manual de las válvulas no se halla en posición	6, Verificar el suministro de aire 7, Aplicar el controlador con válvulas en paralelo 8, El accionamiento utilizado no es el adecuado para el funcionamiento con el controlador 8, Verificar el accionamiento manual	Marginal	
			5, Se aplica AUTOTUNE y se	La válvula no genera ningún tipo de apertura o cierre	Volumen del accionamiento es demasiado grande Tiempo de apertura > 30 segundos	1, Aplicar el controlador con válvulas en paralelo	Marginal	
			6, No despliega información visual	La válvula no genera ningún tipo de apertura o cierre	1, Daños en el circuito lógico 2, Daños en los componentes integrados 3, La banda transportadora de información	1, Cambio de tarjeta de control 2, Cambio de banda transportadora	Crítico	
			Realizan la regulación de entrada y salida de aire a la cámara del actuador	Se abre la bobina de la electroválvula Fuga de aire en el acople entre el controlador y roscas de conexión de la cámara del actuador	No se da descarga ni carga de aire Válvula no reacciona Despliega error en la pantalla y válvula no actúa	1, Sobrecarga en la fuente de alimentación 2, Error en la señal 1, Falta o mal estado de empaque en el orificio del controlador 2, Error en el procedimiento del	1, Cambio de electroválvula 2, Revisión de sistema de alimentación 3, Colocar empaque en perfecto estado 4, Revisar montaje de equipo	Marginal Marginal
			Electroválvulas					



ANEXOS



ANEXO 1

Manual Técnico Control

PID BÜRKERT



ANEXO 2

Manual Técnico Control

PID SAMSON



ANEXO 3

Manual Técnico Válvula

BÜRKERT



ANEXO 4

Manual Técnico Válvula

SAMSON



ANEXO 5

Manual de Desmontaje para Válvula BÜRKERT



ANEXO 6

Ficha Técnica de

Electroválvulas del

control PID BÜRKERT



ANEXO 7

VARIABLES EN ANÁLISIS



VARIABLES A LOGEAR EN EL CONTROL PID DEL PASTEURIZADOR 2
TEMPERATURA DE PASTEURIZACION VALVULA
(DN25, KVS:14.5, BÜRKERT)

PRESION DE VAPOR TOMAR LA VARIABLE LOGEADA 301-24-02

LOS SIGUIENTES REGISTROS PERTENECEN AL PLC506A.

PD30:1.SP
TC021_04_04.SP
PD30:1.KP
TC021_04_04.KP
PD30:1.KI
TC021_04_04.KI
PD30:1.KD
TC021_04_04.KD
PD30:1.PV
TC021_04_04.PV
PD30:1.ERR
TC021_04_04.ERR
PD30:1.OUT
TC021_04_04.OUT
PD30:1.SO
TC021_04_04.SO

EQUIPO ESTERIL U4 VARIABLES A LOGEAR

(DN40, Kvs:16, Samson)

PRESION DE ALIMENTACION DE VAPOR VARIABLE LOGEADA 303-24-01

LOS SIGUIENTES REGISTROS PERTENECEN AL PLC508A

PD30:0.SP
TC074_03_05.SP
PD30:0.KP
TC074_03_05.KP
PD30:0.KI
TC074_03_05.KI
PD30:0.KD
TC074_03_05.KD
PD30:0.SO
TC074_03_05.SO
PD30:0.PV
TC074_03_05.PV
PD30:0.ERR
TC074_03_05.ERR
PD30:0.OUT
TC074_03_05.OUT



ANEXO 8

Graficas de

Comportamiento

