

# Contenidos

1	Introducción.....	8
1.1	Descripción general del CAPEM.....	10
1.1.1	Circuito principal:.....	10
1.1.2	Circuito secundario de purificación:.....	13
1.1.3	Sistema de generación de pulsos.....	13
1.2	Objetivos.....	13
1.3	Metodología del trabajo.....	14
1.4	Organización del trabajo.....	14
2	Modelado.....	16
2.1	Simplificaciones al circuito:.....	16
2.2	Modelado del caudal:.....	17
2.2.1	Hipótesis.....	17
2.2.2	Conservación de momento.....	18
2.2.3	Conservación de la masa.....	19
2.2.4	Ecuaciones simplificadas:.....	19
2.2.4.1	Conservación de la masa.....	22
2.3	Modelado de la Presión en las líneas.....	22
2.3.1	Hipótesis.....	23
2.3.2	Ecuación de la presión.....	23
2.4	Modelado de la entalpía.....	24
2.4.1	Hipótesis.....	24
2.4.2	Ecuación general de conservación de la energía:.....	24
2.4.3	Modelado de la potencia lineal.....	25
2.4.3.1	Calefactor.....	25
2.4.3.2	Aero-enfriador.....	25
2.5	Modelado de la presión en el domo del recipiente de presión.....	26
2.5.1	Hipótesis.....	26
2.5.2	Modelo de equilibrio.....	27
2.5.2.1	Conservación de la energía.....	27
2.5.2.2	Equilibrio termodinámico.....	27
2.6	Propiedades de saturación:.....	28
3	Resolución de las ecuaciones.....	29
3.1	Métodos de resolución de las ecuaciones.....	29
3.2	Cálculo de los transitorios.....	30
3.2.1	Ecuaciones para el cálculo de caudal.....	31

3.2.2	Ecuación de conservación de la masa.....	31
3.2.3	Ecuación para el cálculo de entalpías .....	31
3.2.4	Ecuación para el cálculo de la presión en el recipiente de presión.....	32
3.2.5	Paso temporal .....	32
3.3	Cálculo del estado estacionario.....	32
3.3.1	Cálculo de los caudales estacionarios.....	33
3.3.2	Cálculo de las presiones estacionarias .....	34
3.3.3	Cálculo de las entalpías estacionarias.....	34
3.3.4	Esquema general del cálculo de los estacionarios .....	34
3.3.5	Obtención de los valores "semilla".....	37
3.3.5.1	Semilla de caudal .....	37
3.3.5.2	Semilla de presión en el recipiente .....	37
3.3.5.3	Semilla de entalpías .....	38
3.3.5.4	Semilla de presiones .....	40
3.4	Simulación de pulsos de caudal .....	40
3.4.1	Pulsos de ascenso.....	40
3.4.2	Pulsos de descenso.....	41
4	Diseño de los lazos de control con retroalimentación.....	43
4.1	Introducción al control.....	43
4.1.1	Conceptos básicos y terminología de control:.....	43
4.1.2	Modos de control con retroalimentación .....	44
4.1.2.1	Control de dos posiciones .....	45
4.1.2.2	Control proporcional.....	45
4.1.2.3	Control integral.....	46
4.1.2.4	Control derivativo .....	47
4.1.3	Ajuste de las constantes del controlador.....	48
4.1.3.1	Método de lazo abierto.....	49
4.1.3.2	Método de lazo cerrado.....	50
4.2	Descripción de los lazos de control.....	51
4.2.1	Control de caudal total .....	51
4.2.2	Control de presión diferencial .....	51
4.2.3	Control de presión del recipiente de presión.....	52
4.2.4	Control del grado de subenfriamiento: .....	52
4.2.5	Simplificaciones al modelo .....	52
4.3	Sintonización de los controladores.....	54
4.3.1	Control de caudal.....	54
4.3.1.1	Modelado del actuador.....	56
4.3.2	Control de la presión en el domo del recipiente de presión .....	57

4.3.3	Control del grado de subenfriamiento .....	62
4.3.4	Control de presión diferencial .....	67
4.4	Implementación de control de procesos mediante un PLC: .....	70
4.4.1	Introducción.....	70
4.4.2	Descripción general del bloque funcional PidSimpleReal.....	71
4.4.3	Aplicación al control de posición de una válvula:.....	72
4.4.3.1	Descripción de la válvula y su posicionador .....	72
4.4.4	Algoritmo de control utilizando el bloque PidSimpleReal .....	74
5	Análisis de costos y proyecto .....	76
5.1	Análisis de costos .....	76
5.1.1	Esquema temporal de actividades.....	76
5.1.2	Estimación del costo total del proyecto .....	77
6	Conclusiones y sugerencias .....	79