
ÍNDICE

Tema	Página
Capítulo 1. Introducción.	1
1.1. Antecedentes del experimento de Franck-Hertz.	1
1.2. Planteamiento del problema.	3
1.3. Objetivos y Metas.	4
1.4. Introducción al sistema de control de temperatura del experimento de Franck- Hertz.	5
Capítulo 2. El experimento de Franck-Hertz.	7
2.1. Modelo planetario.	7
2.2. El modelo de Bohr.	11
2.3. El arreglo básico experimental de Franck-Hertz.	15
2.3.1. Principio básico de funcionamiento.	19
Capítulo 3. Elementos sensores y transductores de temperatura.	23
3.1. Concepto de temperatura.	23
3.2. Medición de temperatura.	24
3.2.1. Escalas de temperatura.	24
3.3. Efectos de la transferencia de calor en la medición de temperatura.	25
3.4. Elementos que conforman un sistema de medición electrónico de temperatura.	27
3.5. Clasificación de los sensores de temperatura.	29
3.6. Termopares.	31
3.6.1. Características generales de los termopares.	31
3.6.2. Principio de operación.	32
3.6.3. Tipos de termopares.	34
3.6.4. Criterios de selección de un termopar.	35
3.6.5. Compensación de termopares.	38
3.7. Sistemas bimetálicos.	42
3.7.1. Principio de operación.	42
3.7.2. Características generales de los sistemas bimetálicos.	43
3.8. Termómetro de mercurio.	48
3.8.1 Principio de operación.	48

3.9. Termistores (materiales semiconductores).	50
3.9.1. Principio de funcionamiento.	51
3.9.2. Aplicaciones.	53
3.9.3. Características generales de los termistores.	54
3.10. Resistor dependiente de la temperatura (RTD).	58
3.10.1. Principio de operación.	59
3.10.2. Características generales de un RTD.	62
3.10.3. Circuitos acondicionadores de señal para los RTD.	66
Capítulo 4. Caracterización de la planta.	69
4.1. Sistemas térmicos.	69
4.2. Esquema básico de un sistema o planta de temperatura.	73
4.3. Respuesta del sistema a entradas escalón.	76
4.3.1. Sistemas de primer orden.	79
4.4. Respuesta del sistema a entradas variables.	81
4.5. Obtención del modelo matemático.	86
4.5.1. Reglas de Ziegler-Nichols	87
4.5.2. Caracterización del proceso.	88
4.5.3. Sistemas con retardo de transporte.	96
Capítulo 5. El controlador de temperatura.	97
5.1. Acoplamiento de las señales.	97
5.1.1. El optoacoplador.	107
5.1.2. Tipos de optoacopladores.	108
5.1.3. El triac, teoría y operación.	109
5.1.4. Circuitos driver para triacs.	113
5.2. Acondicionamiento de las señales.	116
5.2.1. Acondicionamiento de señal para salida de termopar.	116
5.2.2. Amplificadores diferenciales y de instrumentación.	117
5.2.3. Amplificadores monolíticos para termopar.	120
5.2.4. Caracterización experimental del sensor/transductor.	121
5.3. Etapa de salida (energía).	123
5.3.1. Circuito generador de tiempo proporcional.	124
5.3.2. Circuitos de aislamiento y conmutación.	130
5.4. Algoritmo de control.	131
5.4.1. Controlador PID.	131
5.4.2. Circuito controlador PID analógico.	133
5.4.3. Sintonización del controlador PID.	138
5.4.4. Resultados.	142

Conclusiones	144
Apéndice A. Glosario.	146
Apéndice B. Hojas de datos de componentes electrónicos.	153
Apéndice C. Archivos de fabricación	165
Bibliografía	168