



DTIE 11.02

REGULACIÓN Y CONTROL DE
INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

PATROCINA



EDITA



DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN DTIE

DTIE 11.02: Regulación y control de instalaciones de climatización

Autores:

José Manuel Bartolomé Martín.

Ingeniero Técnico Industrial, Ingeniero Consultor, vicepresidente de la agrupación Castilla y León.
Profesor de la Escuela Politécnica de la Universidad de Valladolid.

Miguel Angel Navas Martin.

Ingeniero Técnico Industrial, Ingeniero Consultor, Gestor energético Europeo.
Presidente de la agrupación Castilla y León, miembro del Comité Técnico de Atecyr.

RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR

Presidente: JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

Vicepresidente: RICARDO GARCÍA SAN JOSÉ

Vocales: Agustín Maillo Pérez
Alberto Viti Corsi
Alejandro Cabetas Hernández
Antonio García Laespada
Antonio Paniego Gomez
Antonio Vegas Casado
Arcadio García Lastra
Iñaki Morcillo Irastorza
Francisco Javier Rey Martínez
José Antonio Rodríguez Tarodo
Jose Fernandez Seara
Jose Luis Esteban
Jose Manuel Cejudo
José María Cano Marcos
Juan Travesí Cabetas
Manuel Sanchez Marin
Miguel Ángel Navas Martín
Paulino Pastor Pérez
Pedro Torrero Gras
Pedro Vicente Quiles
Rafael Úrculo Aramburu
Ramón Velázquez Vila
Victor M. Soto Francés

© ATECYR

Edita: ATECYR

Navaleno, 9
28033 Madrid

Producción y realización:

ATECYR

Maquetación e impresión:

GRÁFICAS ELISA, S.L.

ISBN: 978-84-95010-36-0

Dep. Legal: M-31336-2010

* Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.

PRESENTACIÓN

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.700 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines:

- El estudio de la problemática y de la ordenación, reglamentación y protección de las técnicas de calefacción, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, frío industrial, fontanería, uso racional de la energía y aquellas otras actividades relacionadas o anexas con las mismas, considerando su particular circunstancia de especialidades en la ingeniería del medio ambiente.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a dichas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre y el desarrollo de la misma.
- Fomentar el interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de cumplir mejor su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados como AENOR, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas; con el Ministerio de la Vivienda, con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora de Certificación Energética y del RITE, así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la normativa sobre la prevención de la Legionelosis. Colabora con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; con otras asociaciones, como la Asociación de Fabricantes Españoles de Climatización (AFEC), con la que se ha desarrollado un Plan de Calidad para las instalaciones de climatización que pronto será elevado a norma y con la Asociación de Fabricantes de Equipos y Generadores de Calor (FEGECA); con EUROVENT CERTIFICATION COMPANY; con el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales.

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), publicado en 1998, así como la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión de este mismo reglamento, en diciembre de 2003 y que ha sido aprobado y publicado el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, asociación europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y de ASHRAE, su homónima americana, con la participación destacada de algunos de sus socios en los órganos de gobierno de las mismas.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es haber promovido, el Congreso Mediterráneo de Climatización CLIMAMED, en el que participan las asociaciones de España, Portugal, Francia e Italia. La primera edición tuvo lugar en Lisboa en el año 2004, la segunda edición en España en 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edición en Lyon, Francia en abril de 2006, la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007 y la quinta ha tenido lugar en Lisboa, Portugal en abril de 2009. Está previsto que la siguiente edición se celebre en España en 2011.

En sus más de treinta y seis años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

ATECYR cuenta con un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio, de alguna forma heredado, evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de la actividad y como instrumentos que permiten la cercanía y el servicio al socio, y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, marcan las tendencias y la forma de hacer las cosas. Dicho Comité es el gran dinamizador de toda nuestra actividad

Uno de los cometidos del Comité Técnico de ATECYR, en el que viene trabajando desde hace años, es la elaboración de una extensa documentación técnica y la divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de la climatización y la refrigeración. Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

La colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DTIE) nace como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre el tema en cuestión para desarrollar su labor.

Se trata de ofrecer al técnico una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin tratar de condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

Esta colección de documentos pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, dirigidas a técnicos que trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación al patrocinador de este y los anteriores DTIE's, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

D. Juan José Quixano Burgos
Presidente de ATECYR

DTIE - DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN

SERIE 1: Instalaciones sanitarias

- *1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- *1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación
- *1.05 Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua

SERIE 2: Condiciones de diseño

- *2.01 Calidad del ambiente térmico
- *2.02 Calidad de aire interior
- *2.03 Acústica en instalaciones de aire

SERIE 3: Psicrometría

- *3.01 Psicrometría

SERIE 4: Tuberías

- *4 01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)

SERIE 5: Conductos

- *5.01 Cálculo de conductos

SERIE 6: Combustible

- *6.01 Combustión
- 6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo

- *7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema
- *7.03 Entrada de datos a los programas Lider y Calener VyP

SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición

- *8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización
- 8.02 Bomba de calor
- *8.03 Instalaciones Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria. (Edición revisada)
- 8.04 Energía Solar Térmica. Casos Prácticos

SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire

- *9.01 Tipos de sistemas
- *9.02 Aplicaciones a diferentes tipos de edificios

- *9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales
- *9.04 Sistema de suelo radiante

SERIE 10: Sistemas de calefacción

- 10.01 Tipos de sistemas
- 10.02 Aplicaciones para edificios residenciales
- *10.03 Calderas individuales
- *10.04 Piscinas cubiertas climatizadas con aire exterior como único medio deshidratante
- *10.05 Principios básicos de las calderas de condensación

SERIE 11: Control

- 11.01 Esquemas de control
- 11.02 Regulación y control de instalaciones de climatización

***SERIE 12: Aislamiento térmico**

SERIE 13: Difusión de aire

SERIE 14: Acumulación de energía térmica

SERIE 15: Salas de máquinas

SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento

SERIE 17: Varios

- 17.01 Análisis económico de sistemas
- *17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero

* Editadas

ÍNDICE

1. Introducción	9
2. Concepto de control	11
3. Sistemas de control	13
3.1 Control de lazo cerrado	13
3.2 Control de lazo abierto	13
3.3 Comportamiento estático y dinámico	15
3.4 Comportamiento de un lazo de control.....	21
4 Intercambio de información	23
5 Controladores básicos	25
5.1 Acción todo/nada	25
5.2 Acción proporcional (P)	29
5.3 Acción integral (I)	32
5.4 Acción proporcional-integral (PI)	35
5.5 Acción derivada (D)	41
5.6 Acción proporcional-derivada (PD)	43
5.7 Acción proporcional-integral-derivada (PID)	44
6 Limitaciones del control básico	47
7 Componentes de sistemas de control	49
7.1 Elementos de medida: conceptos básicos	49
7.1.1 Características estáticas	51
7.1.2 Características dinámicas.....	54
7.2 Tipos de sensores.....	55
7.2.1 Termopares.....	55
7.2.2 Termorresistencias	57
7.2.3 Termistores.....	59
7.2.4 Sensores de humedad.....	59
7.2.5 Sensores de presión	60
7.2.6 Sensores de flujo.....	60
7.2.7 Sensores de nivel	61
7.2.8 Sensores de calidad de aire.....	62
7.2.9 Otros tipos de sondas.....	64
7.2.10 Sensores todo/nada	64
7.3 Elementos finales: órganos de control	67
7.3.1 Elementos de control	69
7.3.2 Actuadores	84
7.4 Criterios de selección, instalación y ajuste	88
7.4.1 Selección.....	88
7.4.2 Instalación.....	90
7.4.3 Puesta en marcha: sintonizado.....	93
8 Gestión energética	95
9 Arquitectura de un sistema de control	99
9.1 Redes	100
9.2 Cableado.....	103

9.3 Buses	104
9.4 Sistemas Wireless.....	105
9.5 Ingeniería y puesta en servicio.....	107
9.6 Lista de funciones	108
9.6.1 Funciones I/O.....	108
9.6.2 Funciones de proceso.....	110
9.6.3 Funciones de gestión.....	111
9.6.4 Funciones de operador.....	111
10 Ejemplos de regulación.....	113
10.1 Regulación en función de las condiciones exteriores	114
10.2 Calderas de condensación y baja temperatura	117
10.3 Calderas en cascada.....	118
10.4 Grupos de frío	120
10.5 Climatizador de zona.....	122
10.6 Climatizador de aire primario	125
10.7 Climatizador todo aire exterior. Control avanzado.....	126
Bibliografía	131

1. INTRODUCCIÓN

Este DTIE no pretende ser un tratado de control; primero porque el control en sí mismo es una técnica que requiere una especialización tan amplia como la de climatización y segundo porque pensamos que el especialista de climatización, a quien va dirigido, no requiere ser a su vez especialista en control, aunque sí tener los conocimientos sobre el particular, que son aplicables a los sistemas de climatización y que le permitan; discernir entre las diferentes posibilidades, diseñar los sistemas hidráulicos teniendo en cuenta la dificultad de su control y seleccionar los elementos de campo en correspondencia, conocer la influencia de los parámetros de control sobre el sistema de climatización y viceversa, y desde luego, saber especificar y concretar los enlaces entre el sistema de control y el resto de sistemas que forman parte de una instalación de climatización, principalmente con el sistema eléctrico.

Con demasiada frecuencia se espera de un sistema de regulación más de lo que puede dar. Es normal que ante una instalación mal calculada o no equilibrada se argumente que: “el sistema de regulación se encargará de compensar las diferencias”.

Sentimos desilusionar a los que así piensan, a los que creen, quizá porque les conviene, que es absolutamente cierto lo de “edificio inteligente” y que por tanto es suficiente con sobredimensionar, incorporar un sistema de control automático, ponerlo en marcha aceptando los valores por defecto y listo.

Hay que aceptar que el calificativo de “inteligente” vende mucho y consecuentemente es muy utilizado como argumento por los comerciales de las marcas. Sin embargo, es más ajustado calificarles de “obedientes”, porque si se les da unas instrucciones concretas y posibles de llevar a cabo, lo harán; independientemente de que los resultados sean admisibles, contrarios a lo que se pretende o catastróficos.

En principio, para que un sistema de control sea eficiente, la instalación a la que se aplica debe disponer de los elementos necesarios y suficientes para ejercer ese control. Por otra parte, cuando la instalación esté a plena carga, con todos los elementos de control posicionados en su límite superior, tiene que ser capaz de cubrir las necesidades de una forma equilibrada, es decir, manteniendo los valores de diseño en todos y cada uno de los puntos controlados. Si esto no es así, el sistema de control no podrá aportar la potencia que falta, ni tampoco hacerla llegar adonde naturalmente no llega. Pensar que cuando se cierren los circuitos favorecidos, llegará la potencia no utilizada a los desfavorables, no solo no es cierto, sino que muy al contrario, el problema suele agravarse, como tendremos ocasión de ver.

En fin, los sistemas de regulación y control son una herramienta poderosísima para conseguir instalaciones que proporcionen el máximo confort con el consumo energético mínimo, solo se requiere saberla utilizar.

En este documento, por lo dicho al principio, daremos una visión general de los conceptos y equipos que se utilizan en la regulación de instalaciones de climatización, procurando pararnos más en su concepción funcional que en sus fundamentos teóricos o técnicos a los que procuraremos dedicarnos solamente lo necesario o conveniente para su mejor comprensión o manejo.

Nuestro propósito ha sido atender a la demanda que muy frecuentemente nos hacen los ingenieros que acuden a los cursos de climatización, de un texto que sirva de introducción y que recoja los principios básicos de esta técnica. Con ese ánimo hemos atacado este proyecto y con la ilusión de que nuestra pequeña aportación sirva de ayuda a todos aquellos, que cada vez en mayor número, se incorporan a este mundo apasionante de la climatización.

2. CONCEPTO DE CONTROL

Pablo abrió los ojos justo en el momento en el que el despertador iniciaba una danza macabra sobre la superficie de la mesilla. La aguja larga, parecía apremiarle a ponerse en pie, mientras le amenazaba con su pequeña saeta apuntándole directamente a la cabeza.

Paró el despertador, se tiró de la cama sin rechistar y se dirigió cansinamente hacia la ducha. Puso su mano izquierda bajo la cebolla y abrió maquinalmente el grifo. Una sensación fría llegó hasta su cerebro que se despertó de pronto y buscó entre sus circunvoluciones una sensación placentera, la comparó con la recibida y su mano derecha giró lentamente hacia la izquierda hasta que la sensación recibida se igualó con la almacenada. Para estar medio dormido había conseguido controlar fácilmente la ducha.

Un sistema de control imita exactamente este proceso y dispone de los mismos elementos que intervienen en él, incluso de un programador que avisará en el momento en que se deba empezar a actuar. La mano izquierda se sustituye por un sensor o sonda que mide continuamente la variable a controlar (X), en este caso la temperatura del agua, y su valor lo envía al cerebro del sistema, llamado **controlador o centralita**, donde es comparado con el valor que se quiere que alcance la variable, denominado **valor de consigna (X_s)**, que se habrá fijado previamente. En función de la diferencia entre medido y deseado, emite una **señal de maniobra** que envía al **órgano de regulación**, en este caso la válvula (mano derecha), dotado de un actuador (generalmente un motor o un mecanismo neumático).

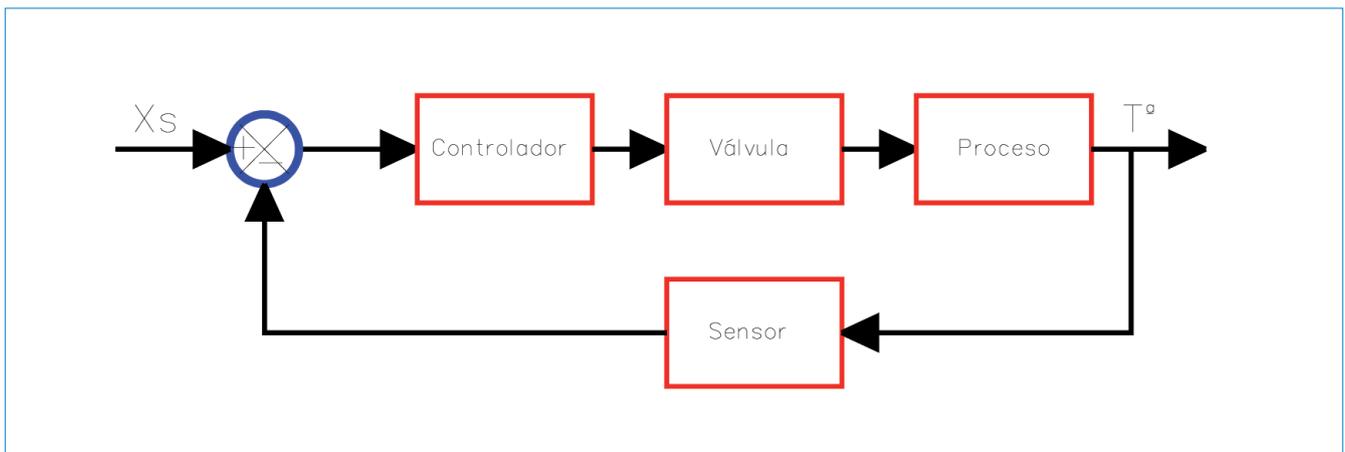


Figura 2.1: diagrama de bloques de un sistema de control

La apertura o cierre del órgano de regulación hace variar los parámetros del proceso, entre ellos la variable a controlar, cuyo nuevo valor es medido por el sensor y enviado de nuevo al controlador para volver a empezar. Al conjunto de estas operaciones se le llama **bucle de regulación**.

Los elementos que intervienen en el bucle se representan esquemáticamente como indica la figura 2.1. Aclaremos algunos conceptos:

Podemos definir un **sistema de control** como la combinación de elementos que, actuando sobre una planta o proceso, trata de fijar alguno de sus parámetros o de hacer que varíe, en el transcurso del tiempo, de una forma determinada que se predefine.

Proceso es una operación definida por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado determinado.

Lo llamamos **planta** cuando se trata de un dispositivo, elemento o parte de un sistema que se controla para que efectúe una operación particular, por ejemplo; una caldera de un sistema de calefacción. La planta puede incluir diferentes procesos.

Un **sistema**, de climatización en nuestro caso, es una combinación de elementos o componentes (calderas, enfriadoras, bombas, climatizadores...), que actúan conjuntamente para realizar una función determinada como es conseguir las condiciones higrotérmicas deseadas. Puede incluir varias plantas y multitud de procesos.

Los sistemas de climatización, que pretendemos controlar, son **dinámicos**, ya que sus parámetros (temperatura, caudal, etc.) varían continuamente. En el sistema de A.C.S. del ejemplo con el que hemos comenzado, la temperatura del agua fría de entrada, el consumo de agua caliente, el ensuciamiento del intercambiador, etc., no son constantes, sino que presentan una evolución con el tiempo que influye sobre el valor a controlar. La acción producida sobre el sistema por la evolución de estos parámetros, se conoce como **perturbación**.

Para representar esquemáticamente un sistema se utilizan los diagramas de bloques, en los que cada elemento o conjunto de elementos se simboliza con un bloque o rectángulo. Unas flechas indican el sentido de la información, que es único.

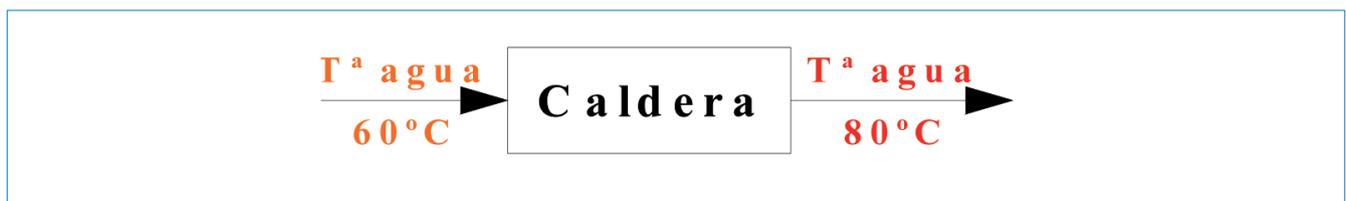


Figura 2.2: Diagrama de bloques de una planta

La estructura más simple de un sistema de control es la que indica la figura 2.3.



Figura 2.3: Diagrama de bloques de un sistema de control

Todo esto se conoce como control automático de procesos.

El control automático siempre está integrado por tres operaciones básicas:

- **Medida:** la medida de la variable a controlar se realiza mediante un **sensor**, a veces, combinado con un transmisor o un convertidor para adaptar la señal.
- **Decisión:** basándose en la medida, **el controlador** debe decidir qué hacer para mantener la variable en el valor deseado.
- **Acción:** como resultado de la decisión del controlador, el sistema debe emprender alguna acción. Normalmente la realiza el elemento final u **órgano de control**.

3. SISTEMAS DE CONTROL

3.1 Control de lazo cerrado

El ejemplo con el que hemos iniciado esta parte, es del tipo que se conoce como bucle o lazo cerrado. A esta forma de control, también se le puede llamar, sistema de control realimentado. En estos sistemas, se alimenta continuamente al controlador con la diferencia entre el valor de referencia o que queremos conseguir (*consigna*) y el de la señal de realimentación, que medimos en cada instante, es decir, con el *error o diferencia*. Dicho de otra forma, el controlador recibe continuamente información del efecto producido en la variable controlada, después de cada acción tomada y ejecutada por el órgano de control.

Un ejemplo de sistema de lazo cerrado es el control de la temperatura de una habitación de la forma de la figura 3.1.

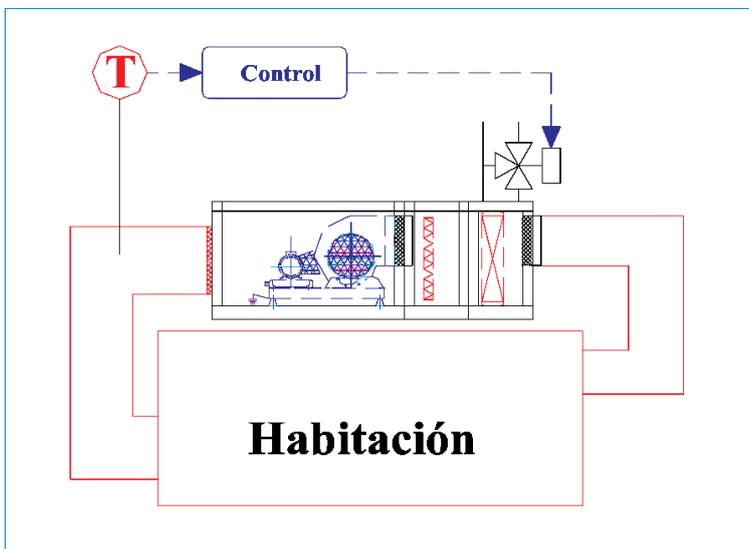


Figura 3.1: Sistema de lazo cerrado

A través de un sensor se mide la temperatura que hay en la habitación, tomándola directamente del ambiente o midiendo la del aire de retorno, que presumiblemente es la misma. Esta señal se compara con la consigna (X_s) y de acuerdo al error (E) obtenido, el controlador enviará la señal de salida adecuada al actuador de la válvula. La apertura o cierre de la válvula determinará una variación del caudal de agua a través de la batería y por tanto de su potencia, lo que a su vez tendrá consecuencias en las características térmicas del aire que pasa a su través.

Cuando la temperatura recibida del sensor sea igual a la de consigna, es decir, cuando el error sea nulo, la señal de salida del controlador hacia el actuador también será nula, o lo que es lo mismo, la válvula no se moverá mientras no se produzca una perturbación, que vuelva a originar diferencia o error.

3.2 Control de lazo abierto

Eran las nueve de la mañana cuando Pablo se sentaba tras la mesa de su despacho. Conectó el ordenador y entró en Internet dispuesto a navegar por las noticias del día. No se había descargado aún la página de entrada, cuando sonó el teléfono y la voz de Purita se le antojó algo tomada para esa hora de un miércoles:

- El Sr. Buendía de Cooling S.A. por la línea 2
- Sr. Buendía, que plac...
- Hace 15 días les encargamos un informe urgente y me gustaría saber ¿cuál es el concepto de urgencia para Uds.?
- Sr. Buendía, tiene Ud. que perdonar...
- Yo no tengo nada que perdonar, lo único que sé es que si no recibimos ¡¡ya!! ese informe, ¡¡ya!! no nos hace falta. Supongo que no necesito explicarle lo que viene a continuación... Buenos días.