

SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA PARA LOS AMBIENTES DE ACONDICIONAMIENTO PRIMARIO DE LA PLANTA DE ENVASE Y EMPAQUE DE LABORATORIOS BAGÓ DE BOLIVIA S.A.

TEMPERATURE CONTROL AND MONITORING FOR RECONDITIONING ENVIRONMENTS AT PACKING AND PACKAGING PLANT OF BAGÓ LABORATORY OF BOLIVIA S.A.

Jorge Alejandro Martínez Leyva (1)

Jaime Ricardo Peña Montaña (2)

RESUMEN

Las industrias, a medida que van pasando los años van creciendo tanto en producción como en personal, por tanto se presentan mayores necesidades que cubrir, además de que se requiere una mejor calidad en los productos que se estén produciendo, para ello se recurre a un área de la ingeniería denominada automatización.

Automatizar es el proceso en el cual mediante sistemas de control y tecnología informática de reducción de la necesidad de la intervención humana en un proceso determinado. Orientado hacia el área industrial, es el siguiente paso después de la mecanización.

El acondicionamiento primario son los ambientes donde se encuentran las máquinas que producen los blísteres que contienen las tabletas o cápsulas y dosificación en sobres de fármacos en polvo entre otros.

Para la detección de la temperatura en los ambientes de acondicionamiento primario se tiene el sensor de temperatura LM35, siendo la disposición uno por ambiente, es decir, uno en cada ambiente de blisteadado y otro en el ambiente de dosificado. Los cuales se encuentran en los ductos de suministro de aire, debido a que no puede existir nada dentro de los ambientes por normativa de planta.

Palabras clave: Acondicionamiento primario. Control de temperatura. Monitoreo de temperatura.

ABSTRACT

Industries, as the years go, grow both in production and personnel, thus increasing needs to cover, in addition to better quality for products being produced, for that is required an engineering area called automation.

Automation is the process by which control systems and information technology are used to reduce the need for human intervention in a determined process. The oriented industrial area is the next step after machining.

The reconditioning are the environments where the machines that produce blisters containing tablets or capsules and dosage of drugs on powder among others.

For detecting the temperature in the primary packaging environments we have the LM35 temperature sensor, the arrangement being one environment, i.e. one in each environment in Blistered and other in metered environment. Which are in the air supply ducts, because nothing can exist within the plant environments by law.

Páginas 9 a 22

Fecha de recepción: 23/03/15

Fecha de aprobación: 01/04/15

1. Ing. Electrónico. Titulado Universidad del Valle - La Paz.
I-aml@hotmail.com

2. Ing. Electrónico. Docente de la Facultad de Informática y Electrónica. Universidad del Valle - La Paz.
jamericaodpm@gmail.com

Keywords: Reconditioning. Temperature Control. Temperature monitoring.

INTRODUCCIÓN

El diseño e implementación de este sistema tiene por finalidad resolver la necesidad de controlar la temperatura de los ambientes de acondicionamiento primario dentro de la Planta de Envase y Empaque de Laboratorios Bagó de Bolivia S.A.

La arquitectura del sistema consta de las siguientes partes:

- La medición de los datos de temperatura por parte de los sensores.

El procesamiento de los datos en comparación a

- un valor de referencia efectuado por un microcontrolador.

La regulación del tiempo de encendido de los actuadores en función a las decisiones tomadas por

- el microcontrolador con relación a los datos medidos por los sensores.

El monitoreo de los estados del sistema para poder observar el estado de la temperatura en los ambientes de acondicionamiento primario y generar reportes de estado.

El acondicionamiento primario son los ambientes donde se encuentran las máquinas que producen los blísteres que contienen las tabletas o cápsulas y dosificación en sobres de fármacos en polvo entre otros.

La teoría de control para el sistema es la acción de control Proporcional Integral (P.I.) con lógica difusa, la cual busca asegurar un control más óptimo y estable acorde a las exigencias elevadas tales como precisión, velocidad y rango de error reducido al mínimo.

MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico encapsulado en un circuito de alto nivel de integración. Los microcontroladores se pueden adquirir comercialmente de diferentes casas fabricantes como: Freescale, Motorola, Intel, Philips, Microchip y Atmel (1). Microchip en particular es una empresa fabricante de dispositivos electrónicos, en sus líneas de producción se encuentran los microcontroladores PIC (Peripheral Interface Controller), los cuales se pueden adquirir en diferentes familias, algunas de ellas son: 12F, 16F, 18F, 24F, 30F, y 33F (1).

SENSORES

Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide da una señal de salida traducible que es función de la variable medida. Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero el término sensor tiene una definición más extensa; la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que por su naturaleza o tamaño no pueden ser percibidas directamente por los sentidos (2).

Desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, la clasificación de los sensores se da en función al parámetro variable, los cuales son:

- Resistencia
- Capacitancia
- Inductancia (2).

En función a la señal generada:

- Tensión
- Carga
- Corriente (2).

LCD

Las pantallas LCD tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico permitiendo representar información que genera cualquier equipo electrónico. La pantalla consta de una matriz de caracteres, distribuidos en una, dos, tres o cuatro líneas de 16 hasta 40 caracteres cada línea. El proceso de visualización es gobernado por un microcontrolador incorporado a la pantalla, siendo la Hitachi 44780 el modelo más utilizado (3).

Los LCD pueden ser gobernados de dos formas:

- Conexión con bus de 4 bits.
- Conexión con bus de 8 bits.

RELÉ DE ESTADO SÓLIDO (S.S.R.)

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida. Las diferentes partes que forman un SSR son:

Circuito de entrada.

- Aislamiento, está asegurado generalmente por un acoplamiento óptico con semiconductor.

Detector de cruce por cero (En algunos modelos): Un relé de estado sólido con función de paso por cero opera cuando la tensión de la carga (tensión alterna) se acerca o alcanza el punto cero. Los

relés con esta función tienen una buena inmunidad a los parásitos de entrada y producen unas bajas radiaciones parásitas al conmutar tensiones bajas.

- Los relés de estado sólido con la función de detección de cruce por cero son adecuados para cargas resistivas, capacitivas y cargas inductivas con un factor de potencia entre 0.7 y 1.

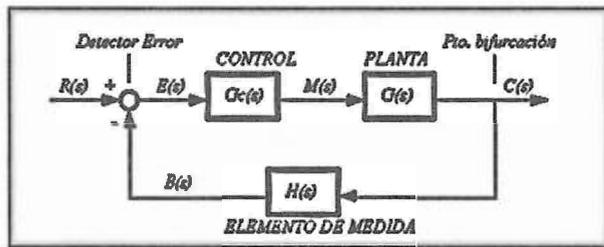
Circuito de salida, Salida CA con tiristores antiparalelos o triacs, salida CC con transistor bipolar o MOS FET, salida CA-CC con transistor MOS FET (ya que tiene igual ganancia en directo que en inverso).

Protección frente a transitorios, (En algunos modelos): Los más frecuentemente utilizados son redes RC, diodos, etc. (4).

ACCIONES DE CONTROL

La estructura básica de un sistema de control es:

Figura Nº 1. Estructura básica de un sistema de control



Fuente: (5).

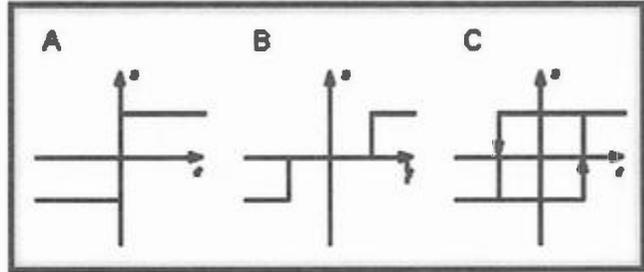
El control es el elemento encargado de “procesar” la señal de error y “generar” una señal encargada de disminuir el valor de señal de error, con el objetivo de lograr la máxima precisión posible del sistema de control. El procedimiento mediante el cual el controlador genera la señal de control se denomina acción de control (5).

Control ON/OFF

Conocido como todo o nada, el actuador tiene solo dos posiciones o estados de operación. Si la señal de error es positiva, el controlador envía al actuador a una de las dos posiciones, si es negativa el controlador envía al actuador a la posición contraria de la señal positiva

(6).

Figura Nº 2. a) Características de un control on off ideal y modificaciones, b) zona muerta, c) con histéresis



Fuente: (7)

Control proporcional

El controlador proporcional genera a la salida una señal de control que es proporcional a la señal de error. De este modo:

Ecuación Nº 1. Relación del control proporcional con relación al tiempo y a la transformada de Laplace

$$m(t)=k \cdot e(t) \rightarrow M(s)=k \cdot E(s)$$

Fuente: (5)

Con lo cual, la función de transferencia del control proporcional es:

Ecuación Nº 2. Función de transferencia del control proporcional

$$G_c(s)=(M(s))/E(s)=k$$

Fuente: (5)

Donde:

- e (t): señal de error.
- m (t): señal de control.
- k: sensibilidad proporcional o ganancia proporcional.

Cuanto mayor es la ganancia del control proporcional, mayor es la señal de control generada para un mismo valor de señal de error. De este modo, se puede decir que para una señal de control determinada cuanto mayor es la ganancia del control proporcional, menor

es la señal de error actuante. En conclusión, el aumento de la ganancia del control proporcional permite reducir el error en estado estacionario. Al error cometido se le denomina error de corrimiento.

Para poder eliminar un error estacionario, es necesario que la función de transferencia en lazo abierto contenga algún elemento integrador (polo en $s=0$), siendo el sistema estable, y el control proporcional no añade al sistema ningún elemento integrador. Este hecho permite deducir una conclusión importante de un control proporcional: el control proporcional no permite eliminar un error estacionario.

Control integral

La acción de control integral genera una señal de control proporcional a la integral de la señal de error:

Ecuación N° 3. Relación del control integral en el tiempo y en función a la transformada de Laplace

$$m(t) = k_i * \int_0^t e(t) * dt \rightarrow M(s) = \frac{K_i}{s} * E(s)$$

Fuente: (5)

La característica más importante de este tipo de control es que la acción correctora se efectúa mediante la integral del error, ello permite decir que el control integral proporciona una señal de control que es función de la propia 'historia' de la señal de error, permitiendo obtener una señal de control diferente de cero aunque la señal de error sea cero. El control integral permite obtener error estacionario nulo en un sistema de control mediante la introducción de un elemento integrador en la función de transferencia de lazo abierto.

Sin embargo, la acción de control integral empeora de un modo substancial la estabilidad relativa del sistema, aumentando el sobre impulso de la respuesta transitoria, pudiéndose obtener, inclusive, un sistema inestable, debido a que al incorporar un polo en lazo abierto en el origen se desplaza el lugar geométrico de raíces del sistema hacia el semiplano derecho de S . Por esta razón, en la práctica, la acción integral suele acompañarse por otras acciones de control.

Control proporcional integral

La acción de control proporcional integral (PI) genera una señal resultante de la combinación de la acción proporcional y la acción integral conjuntamente.

Ecuación N° 4. Relación del control proporcional integral en función al tiempo y a la transformada de Laplace

$$m(t) = (k * e(t)) + \left(k_i * \int_0^t e(t) * dt \right) \rightarrow M(s) = (k * E(s)) + \left(\frac{K_i}{s} * E(s) \right)$$

Fuente: (5)

LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa trata de adaptar y modelar expresiones humanas tales como "Hace mucho calor", "No es muy alto", etc. La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de cualidad para las inferencias humanas tales como "mucho", "muy" y "un poco".

Trabaja con conjuntos difusos, los cuales poseen diferentes operaciones como la unión, intersección y complemento. Para cada conjunto difuso existe asociada una función de pertenencia para sus elementos con la finalidad de evaluar en qué medida el elemento forma parte del conjunto. Siendo las más típicas la trapezoidal, lineal y la curva. Emplea reglas heurísticas trabajando en función a un antecedente y un consecuente (IF-THEN o en español SI- ENTONCES), como por ejemplo:

- *Si hace muchísimo frío ENTONCES se aumenta drásticamente la temperatura.*
- *Si se va a llegar un poco tarde ENTONCES se aumenta levemente la velocidad.*

El precursor y descubridor de esta tendencia fue un profesor de la Universidad de California, Lofti Zadeh, y su principal desarrollo se encuentra en Japón con las siguientes aplicaciones:

- Sistemas de control de acondicionadores de aire.
- Sistemas de foco automático en cámaras fotográficas.
- Electrodomésticos familiares (frigoríficos, lavadoras, etc.).
- Optimización de sistemas de control industriales.
- Sistemas de escritura.
- Mejora en la eficiencia del uso de combustible en motores.

- Sistemas expertos del conocimiento (simular el comportamiento de un experto humano).
- Tecnología informática.

Modificadores lingüísticos de valores difusos

Una frase que involucra variables lingüísticas y valores difusos está compuesta por la concatenación de varios términos atómicos. Dichos términos pueden clasificarse en:

- **Variables lingüísticas:** Son variables cuyos valores son conjuntos difusos como velocidad, altura, presión, etc.
- **Términos primarios:** Son etiquetas de los subconjuntos difusos especificados del universo de discurso. Por ejemplo “lento” “mediano” y “rápido”, o bien “pequeño” y “grande”.
- **Términos conectivos:** Antecediendo la palabra “no” o conectando los términos mediante las palabras “y” u “o”.
- **Términos modificadores:** Antecediendo las frases “muy”, “más o menos”, etc.
- **Llaves, corchetes y paréntesis** (7).

Un término primario sirve para nombrar o etiquetar un conjunto difuso. Usualmente describe la palabra que es usada por el experto para expresar su opinión acerca del valor de la característica de un objeto o variable. Los términos conectivos ejecutan operaciones de complemento, unión e intersección y los modificadores lingüísticos son usados para producir, a partir de un conjunto difuso A, otro conjunto difuso B, a través de un proceso de intensificación, ensanche, estrechamiento, dilatación, concentración, etc. del conjunto difuso A.

Reglas difusas

Una regla difusa es una oración condicional de proposiciones difusas expresada por:

IF <proposición difusa> THEN <proposición difusa>

Las proposiciones difusas pueden ser de dos tipos:

- **Proposiciones difusas atómicas:** La forma de una proposición difusa atómica es: “x es A”, donde x es una variable lingüística y A es un valor lingüístico de x. (7)
- **Proposiciones difusas compuestas:** En el caso de una proposición difusa compuesta, se usa las conecti-

vas “AND” (Y), “OR” (O) y “NOT” (no) para concatenar un conjunto de proposiciones difusas atómicas y así efectuar operaciones de intersección difusa, unión difusa y complemento difuso, respectivamente. Un ejemplo de proposición difusa compuesta es: x es o Sx es M. Las proposiciones difusas compuestas deben entenderse como relaciones difusas (7).

Tabla N°1. Controladores convencionales vs controladores difusos

CONTROLADORES CONVENCIONALES	CONTROLADORES DIFUSOS
Son sintetizados en base a modelos matemáticos de los objetos o procesos bajo control	Basado en el conocimiento de un experto que sabe cómo controlar la planta en lazo abierto para alcanzar las especificaciones deseadas
Toma técnicas fijas para el modelado matemático de los sistemas de control	Posee la capacidad de capturar el conocimiento impreciso de personal humano

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Controlador proporcional integral difuso

Para un controlador proporcional integral difuso se tiene:

Ecuación N°. 5 Relación para un control P.I. difuso

$$u(t) = f(K_p * e(t), K_i \int_0^t e(s)ds)$$

Fuente: (7)

Donde e (t) es el error entre la referencia y la salida de la planta; Kp y Ki son ganancias constantes y f (·, ·) es una relación difusa cuya salida es la señal de control a ser aplicada a la planta. El controlador difuso debe ser diseñado de forma que cuando el error sea grande, la señal de control también sea grande y, cuando el error sea pequeño o cero, la señal de control sea pequeña o cero, considerando además el efecto de reset automático introducido por el término integral difuso. En este sentido, la acción integral se diseña de forma que actúe sobre un error diferente de cero incrementando la acción de control cuando el error es positivo y disminuyéndola cuando el error es negativo, de tal forma que se garantice un asentamiento rápido y suave de la salida sobre la referencia.

CONVERSORES ANÁLOGOS DIGITALES (A.D.C)

Los microcontroladores PIC pueden incorporar un módulo de conversión de señal analógica a señal digital, estos módulos efectúan un muestreo y retención

(Sample & Hold) mediante un capacitor y después utiliza el módulo ADC, este es del tipo de aproximaciones sucesivas (8).

El convertidor de aproximaciones sucesivas se utiliza en aplicaciones donde se requiere altas velocidades de conversión. Se basa en realizar sucesivas comparaciones de forma ascendente o descendente hasta encontrar un valor digital que iguale la tensión entregada por la tensión de entrada.

Durante la fase que se toma la muestra el interruptor se cierra y el condensador se carga a la tensión de entrada (el tiempo que el interruptor permanece cerrado es fundamental para la correcta carga del condensador). Una vez abierto el interruptor, el condensador mantendrá (teóricamente) la tensión de entrada mientras el módulo A/D realiza la conversión.

El módulo de conversión se caracteriza por parámetros como los siguientes:

- Rango de entrada.
- Número de bits.
- Resolución.
- Tensión de fondo de escala.
- Tiempo de conversión.
- Error de conversión.

El módulo que utiliza los PIC de gama media tiene un número de bits de 10, por lo que su resolución es:

Ecuación Nº 6. Cálculo de la resolución del ADC

$$\text{resolución} = \frac{V_{in}}{2^n - 1}$$

Fuente: (8)

Siendo V_{in} la tensión de entrada y N el número de bits del convertidor. Es decir, para la tensión máxima de entrada (5V) la resolución es de 0,0048 V (4,8 mV) por LSB. La resolución sí cambia si se modifica la tensión de fondo de escala, es decir, la tensión de referencia. Los PIC permiten cambiar la tensión de referencia en un valor absoluto (de 0 a +V ref) o en un margen (de -Vref a +V ref).

NORMA RS-232

La norma RS232 es la más habitual en la comunicación serie. Básicamente comunica un equipo terminal de datos (DTE o Data Terminal Equipment) y el equipo de comunicación de datos (DCE o Data Communications Equipment). Las características eléctricas de la señal en esta norma establecen que la longitud má-

xima entre el DTE y el DCE no debe ser superior a los 15 metros y la velocidad máxima de transmisión es de 20.000 bps. Los niveles Lógicos no son compatibles TTL, deben situarse dentro de los siguientes rangos:

- 1 lógico entre -3V y -15V
- 0 lógico entre +3V y +15V

Se utilizan conectores de 25 patillas (DB 25) o de 9 patillas (DB 9) siendo asignado el conector macho al DTE y el conector hembra al DCE.

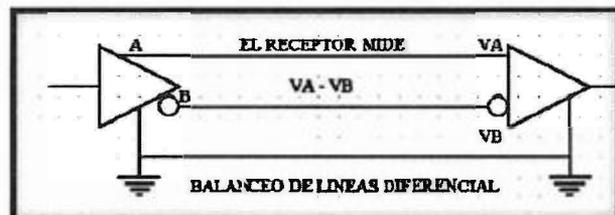
Para una comunicación full dúplex desde el USART del PIC, se debe conectar un mínimo número de señales, TXD y RXD así como la masa (GND). Los PIC utilizan señal TTL en el módulo USART por lo que se debe utilizar un conversor de nivel a RS232, como el MAX232.

NORMA RS-485

Cuando se necesita transmitir a largas distancias o con más altas velocidades que RS-232, RS-485 es la alternativa. Utilizando enlaces con RS-485 no hay limitación para la conexión de solo dos dispositivos. Dependiendo de la distancia, velocidad de transmisión y los circuitos integrados se pueden conectar hasta 32 nodos con un simple par de cables.

La razón por la que RS-485 puede transmitir a largas distancias, es porque utiliza el balanceo de líneas. Cada señal tiene dedicados un par de cables, sobre uno de ellos se encontrará un voltaje y en el otro se estará su complemento, de esta forma, el receptor responde a la diferencia entre voltajes. La ventaja de las líneas balanceadas es su inmunidad al ruido.

Figura Nº 3. Balance de líneas



Fuente: (9)

En cuanto a las líneas balanceadas, designa a estas dos líneas como A y B. En el controlador TX, una entrada alta TTL causa que la línea A sea más positiva (+) que la línea B, mientras que un bajo en lógica TTL causa que la línea B sea más positiva(+) que la línea A. Por otra parte, en el controlador de recepción RX, si la entrada A es más positiva que la entrada B, la salida lógica TTL será "1" y si la entrada B es más(+) que la entrada A, la salida lógica TTL será un "0".

Las interfaces típicas RS-485 utilizan una fuente de +5 Volts, pero los niveles lógicos de los transmisores y receptores no operan a niveles estándares de +5V o voltajes lógicos CMOS. Para una salida válida, la diferencia entre las salidas A y B debe ser al menos +1.5V. Si la interface está perfectamente balanceada, las salidas estarán desfasadas igualmente a un medio de la fuente de Voltaje.

En el receptor RS-485, la diferencia de voltaje entre las entradas A y B necesita ser 0.2V. Si A es al menos 0.2V más positiva que B, el receptor lo interpreta como un 1 lógico y si B es al menos 0.2v más positivo que A, el receptor lo toma como un 0 lógico. Si la diferencia entre A y B es menor a 0.2v, el nivel lógico es indefinido. Si esto ocurre habría un error en la transmisión y

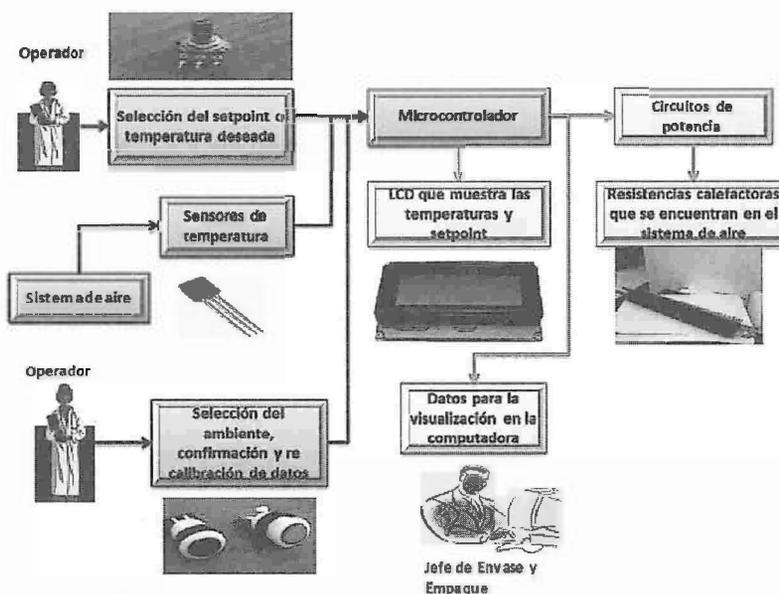
recepción de la información.

INGENIERÍA DEL PROYECTO

A continuación se presenta el diagrama de la solución propuesta, el cual muestra la relación que existe entre los sensores, la botonera de selección de ambientes y recalibración de los datos seleccionados por el usuario con el microcontrolador que es el que controla el tiempo de funcionamiento de las resistencias calefactoras de aire a través de los relés de estado sólido.

Además, el microcontrolador genera los datos para la transmisión de los mismos hacia la PC con el objetivo de generar reportes de temperatura de los ambientes de acondicionamiento primario de la planta de Envase y Empaque de Laboratorios Bagó de Bolivia S.A.

Figura N° 4. Diagrama de la solución propuesta



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Medición de la temperatura en los ambientes

Para la detección de la temperatura en los ambientes de acondicionamiento primario se tiene el sensor de temperatura LM35, siendo la disposición uno por ambiente, es decir, uno en cada ambiente de blísteadado y otro en el ambiente de dosificado. Los cuales se encuentran en los duetos de suministro de aire, debido a que no puede existir nada dentro de los ambientes por normativa de planta.

La selección del sensor LM35 se debe a que el requerimiento del sistema no demanda un sensor de mayor rango de trabajo, ya que éste trabaja entre -55° y 150°

centígrados. Además, cuenta con una respuesta lineal con una resolución de 10 mil voltios por cada grado centígrado.

La ecuación que relaciona la temperatura con el voltaje es la siguiente:

Ecuación N° 9. Cálculo del voltaje en función a la temperatura

$$\text{Voltaje de salida (V)} = \text{temperatura}(\text{°C}) * 0,01$$

Fuente: Elaboración propia. 2014.

La relación entre el voltaje de salida y la resistencia viene dado por:

Ecuación N° 9. Cálculo del voltaje de salida con relación al cambio de resistencia

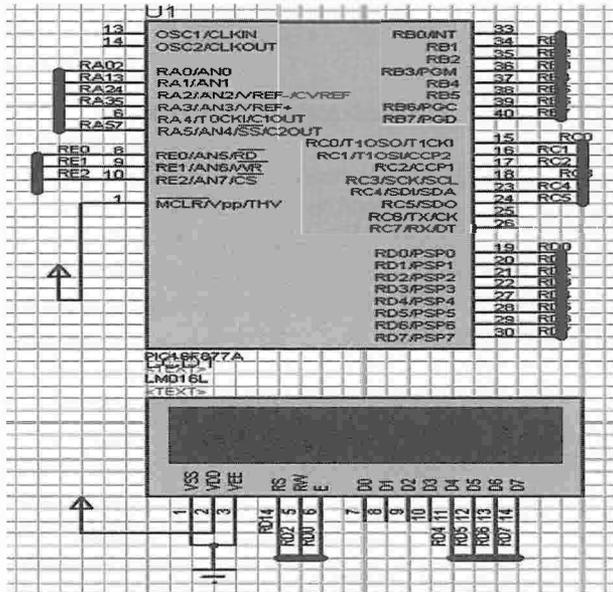
$$\text{Voltaje_sal(V)} = \frac{(\text{Potenciómetro } (\Omega) * 5V)}{(1000\Omega)}$$

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Visualización de los datos

Para la visualización de los datos se emplea un LCD de 16x2, en el cual, según el algoritmo de programación, el despliegue de datos no es simultáneo, sino un ambiente a la vez, mostrando el setpoint y la temperatura del ambiente.

Figura N° 8. Circuito para la visualización de los datos



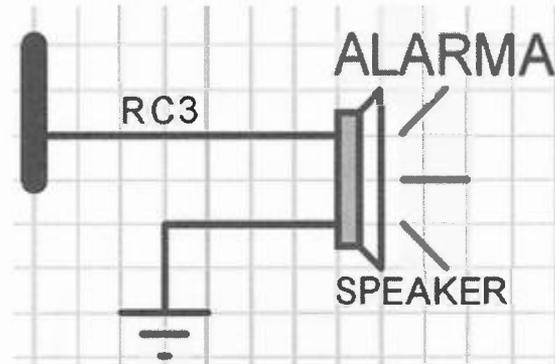
Fuente: Elaboración propia en ISIS 7.8.2014.

Alarma por exceso en el rango de temperatura

Los rangos de trabajo del sistema son desde 8° C hasta 25° C, en caso de excederse los mismos, mediante el pin C3 del puerto C del microcontrolador, se activa un piezoeléctrico, el cual no deja de sonar hasta que el exceso sea corregido, es decir, que el rango de temperaturas este en los valores permitidos.

El circuito es el siguiente:

Figura N° 9. Circuito para la alarma para el exceso de temperatura

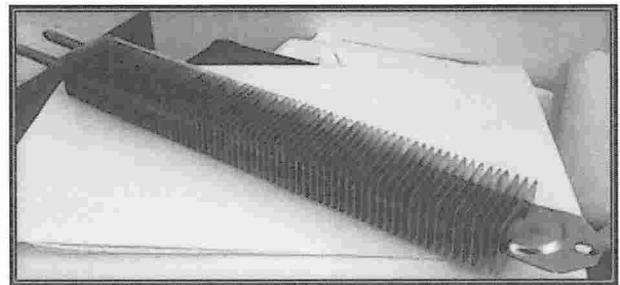


Fuente: Elaboración propia en ISIS Vers. 7.8.2014.

Accionamiento de las resistencias de calor

Para accionar las resistencias de calor que están ubicadas en los ductos de suministro de aire a los ambientes se tiene los siguientes pasos:

Figura N° 10. Resistencia calentadora de aire



Fuente: Material de mantenimiento Laboratorios Bagó de Bolivia. 2014.

Las características de las resistencias de calor son:

- Potencia de 1500 Watt
- Voltaje de funcionamiento 220 Voltios C.A.

El cálculo de la corriente de consumo de esta resistencia viene dado por:

Ecuación N° 10. Cálculo de la corriente de consumo de la resistencia de calor

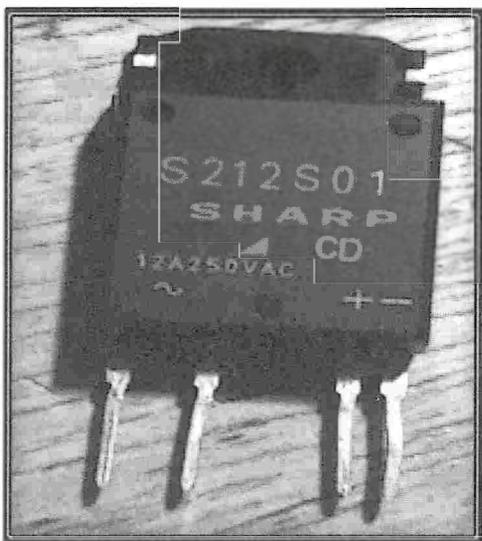
$$I_{\text{Corriente}} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje}} = \frac{1500 \text{ Watt}}{220 \text{ Voltios}} = 6.82 \text{ Amperios}$$

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Por tanto, el relé de estado sólido a emplearse es el S212S01 del fabricante Sharp cuyas características son:

- Voltaje de salida de 250 Voltios C.A.
- Corriente de salida de 12 Amperios C.A.
- Corriente de disparo mínima de 16 mili Amperios y máxima de 20 mili amperios C.C.

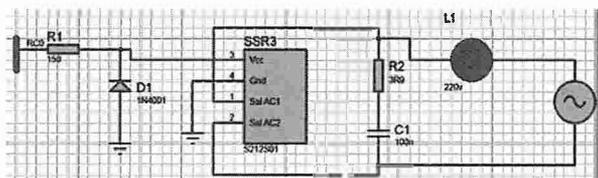
Figura N° 11. Relé de estado sólido



Fuente: Material de mantenimiento Laboratorios Bagó de Bolivia. 2014.

El circuito es el siguiente:

Figura N° 12. Circuito para el accionamiento de las resistencias de calor



Fuente: Elaboración propia en ISIS Vers. 7.8.2014.

Cálculos para el controlador difuso empleando MAT LAB

Variables del sistema

Aplicando el criterio de Mamdani se tiene:

Definiendo los valores de referencia para los errores: (error)

- GN → GRANDE NEGATIVO.
- MN → MEDIANO NEGATIVO.
- PN → PEQUEÑO NEGATIVO.
- CE → CERO.

- PP → PEQUEÑO POSITIVO.
- MP → MEDIANO POSITIVO.
- GP → GRANDE POSITIVO.

Variables a utilizar en la emulación en Matlab

Para las ganancias se tiene: (tiempo de encendido)

- CE → CERO.
- P1 → PEQUEÑO.
- M1 → MEDIANO.
- G1 → GRANDE.

Funciones de membrecía

Para definir los rangos de los valores de las funciones de membrecía para el error como para las ganancias se tiene la siguiente función de transferencia.

Ecuación N° 11. Función de transferencia para el control P.I.

$$\text{tiempo de encendido} = \left(\frac{\text{error} * 100}{\text{error_max}} \right) * 100\text{m}$$

Fuente: Elaboración propia. 2014.

La variable error_max, tomando como 25 debido a que es el máximo valor posible en el setpoint, y el error como la resta entre los dos límites de temperatura superior e inferior (25 y 8 °C respectivamente), da un error máximo de 17, reemplazando en la función de transferencia se tiene:

Ecuación N° 12. Valor máximo para el tiempo de encendido

$$\text{tiempo de encendido} = \left(\frac{17 * 100}{25} \right) * 100\text{m} = 6.8 \text{ segundos} \cong 7 \text{ segundos}$$

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Siendo este valor el límite máximo para las ganancias. El valor mínimo será de 0 cuando el valor de la temperatura leída en el ambiente por el sensor sea igual o superior al setpoint. Para el error, por tanto, el límite máximo será de 17 y el mínimo de 0, por tanto las funciones de membrecía tienen los siguientes rangos:

- Error {0, 17}
- Tiempo de encendido {0, 7}

Reglas difusas

Por tanto las reglas que rigen el controlador son:

if error → CE then tiempo de encendido → CE
if error → PP then tiempo de encendido → P1 if

error→MP then tiempo de encendido →M1
if error→GP then tiempo de encendido →G1

Valores de las variables

Para la función de error los valores más representativos son:

Tabla N° 2

VARIABLE	VALOR
CE	0
PP	< 5
MP	8.5
GP	17

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Para la función de tiempo de encendido se tiene:

Tabla N° 3

VARIABLE	VALOR
CE	0
P1	2
M1	3.4
G1	6.8

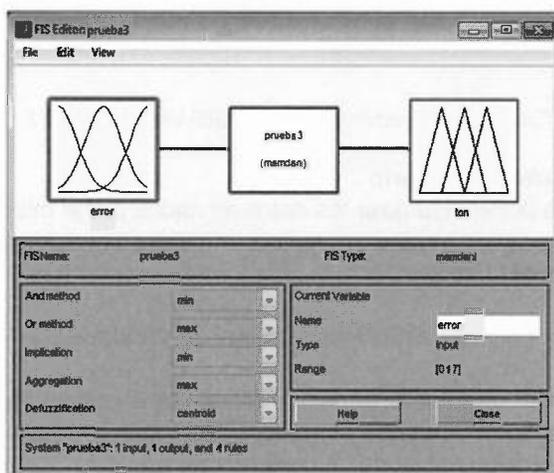
Fuente: Elaboración propia. 2014.

Emulación en MATLAB

Para crear un controlador difuso en Matlab se tiene los siguientes pasos:

- Para acceder al toolbox fuzzy se debe escribir la palabra **fuzzy** en la línea de comandos y luego presionar **enter**. En el caso de encontrar un error, por no hallarse cargado el toolbox se debe agregar el CD de instalación de Matlab. El menú al cual se debería acceder es el siguiente.

Figura N° 13. Menú para controladores difusos



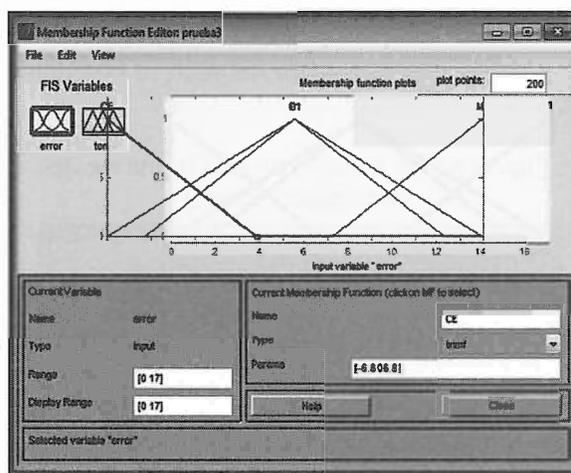
Fuente: Elaboración propia en Matlab 2010. 2014.

- Para elegir el tipo de modelo a usar, Sugeno o Mamdani, se debe acceder al menú File/New FIS/Mamdani o Sugeno.

- Para agregar alguna variable, ya sea de entrada o de salida, se debe seleccionar el menú Edit/Add Variable/Input u Output.

- Las funciones de pertenencia, tanto para las variables de entrada como para las de salida, se modifican en un menú especial Membership Function Editor que aparece al hacer doble clic en la variable de interés.

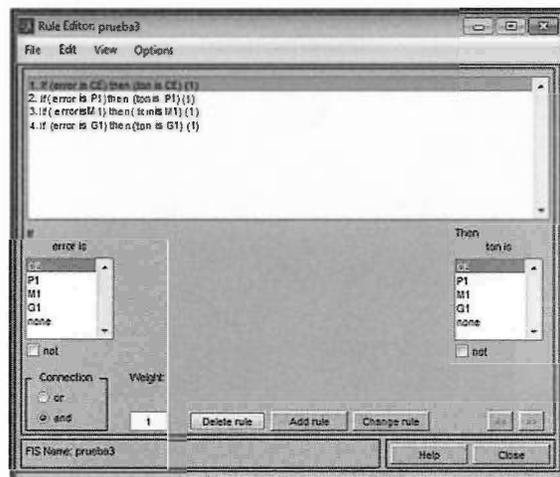
Figura N° 14. Ventana para la edición de las funciones de membrecía



Fuente: Elaboración propia en Matlab 2010. 2014.

- Para poder modificar las reglas del modelo se debe acceder al Rule Editor, haciendo doble clic sobre el modelo o en la opción Edit/ Rules.

Figura N° 15. Editor de reglas difusas



Fuente: Elaboración propia en Matlab 2010. 2014.

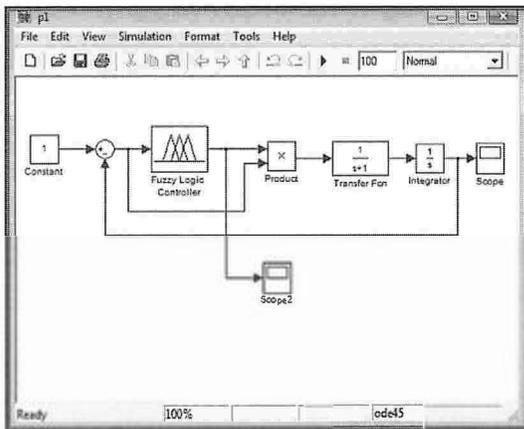
- Para poder implementar el controlador es necesario guardar el trabajo realizado, con el menú File/export to/Disk guardando así el trabajo. Luego, es necesario importar el archivo al workspace, para que luego Matlab lo pueda reconocer y pueda ser implementado en Simulink, para eso se debe acceder al menú File/export to/workspace.

- Si se desea trabajar con un modelo ya guardado se debe importar desde el menú fuzzy primero, y luego exportarlo al workspace.

- Luego de esta etapa, se debe cargar el controlador en Simulink, lo cual se hace dentro de un bloque llamado fuzzy logic Controller.

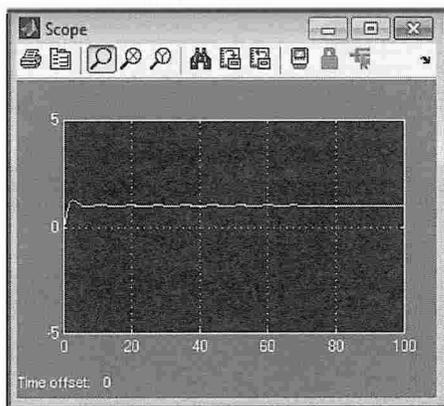
- Se hace doble clic en el bloque Fuzzy Logic Controller, y se escribe el nombre del archivo con que se guardó el controlador.

Figura N° 16. Emulación con Simulink del controlador difuso



Fuente: Elaboración propia en Matlab 2010. 2014.

Figura N° 17. Respuesta del controlador implementado

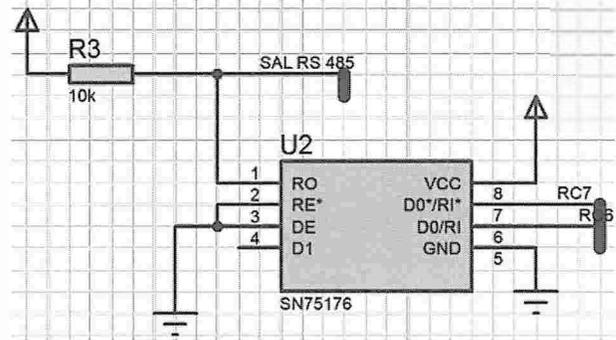


Fuente: Elaboración propia en Matlab 2010. 2014.

Comunicación con la computadora

Para efectuar el monitoreo desde una PC, se tiene el integrado SN75176, el cual convierte la lógica T.T.L. que emplea el microcontrolador a los niveles de tensión que trabaja la norma RS 485.

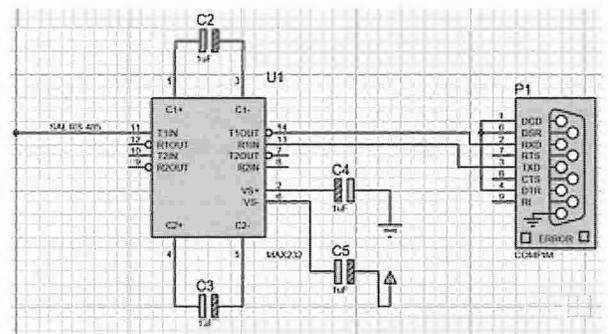
Figura N° 18. Circuito para la transmisión de datos para la norma RS 485



Fuente: Elaboración propia en ISIS Ver. 7.8.2014.

Para la comunicación de la computadora se empleó el integrado MAX 232, el cual convierte los niveles de voltaje de trabajo de la norma RS 485, a los niveles de trabajo de una computadora mediante la norma RS 232.

Figura N° 19. Circuito para la conexión del MAX 232 para la comunicación con la PC



Fuente: Elaboración propia en ISIS Vers. 7.8.2014.

Interfaz de usuario

Para poder visualizar los datos enviados por el microcontrolador mediante Hyperterminal se tiene los siguientes pasos:

- Abrir el programa Hyperterminal de Windows.
- Crear una nueva conexión mediante la opción New Connection, coloque el nombre de la nueva conexión y seleccione el icono de preferencia.

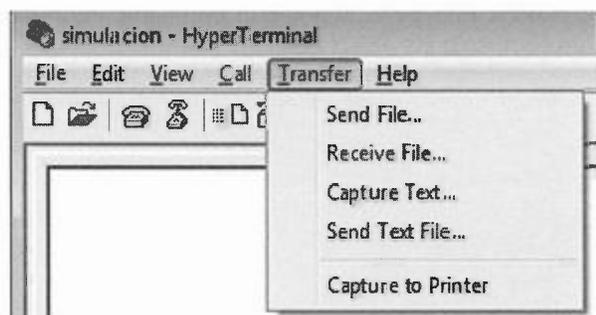
- En la opción Connect Using escoger el puerto COM disponible del puerto serial generado con el cable USB Serial DB9.
- Luego aparecerá la parte de configuración del puerto serial el cual debe ser configurado de la siguiente forma.
- Velocidad en baudios 9600 en la opción bits por segundo.
 - En la opción bits de datos seleccionar 8.
 - En paridad escoger ninguno.
 - En bits de parada escoger 1.
 - En control de flujo escoger la opción Hardware.

• Una vez terminado de configurar los parámetros de lectura del puerto serial en la ventana File/Properties / Settings /ASCII Setup seleccionar en el sector de ASCII receiving la primera opción con la finalidad de garantizar los saltos de línea una vez enviado un paquete de datos desde el microcontrolador hacia la computadora.

Captura de datos

Para efectuar la captura de datos a través de Hyperterminal se accede al menú Transfer y se selecciona la opción Capture Text, el cual permite generar el archivo de texto a exportar a Microsoft Excel.

Figura N° 20. Forma de capturar los datos mediante Hyperterminal



Fuente: Elaboración Propia. 2014.

Es importante resaltar que el archivo de texto se genera cuando se termine la captura de los datos. Para concluir la captura y generar el archivo de texto nuevamente hay que acceder al menú Transfer en Capture Text, se selecciona la opción stop y automáticamente se genera el archivo de texto resultante de la recepción de datos del Hyperterminal.

Visualización de los datos en Excel

Para obtener el reporte de datos se empleó la progra-

mación en Macros que dispone Excel, utilizando botones del menú de Active X, los cuales emplean como lenguaje el Visual Basic para su programación.

Se cuenta con dos botones para realizar las tareas correspondientes tanto de importación de los datos del archivo de texto y para la obtención del gráfico, los cuales son:

- Generar Tabla de datos.
- Graficar.

Figura N° 21. Vista de un modelo de reporte del sistema

DATA	SP BA (C)	SP BB(C)	SP DO(C)	Temp BA(C)	Temp BB(C)	Temp DO(C)	Alarma
1	0	0	0	25.41	26.39	27.37	BA, BB, DO
2	0	0	0	25.41	26.39	27.37	BA, BB, DO
3	0	0	0	25.41	26.39	27.37	BA, BB, DO
4	0	0	0	25.41	26.39	27.37	BA, BB, DO
5	0	0	0	25.41	26.39	27.37	BA, BB, DO
6	0	0	0	34	14	15	BA

Fuente: Elaboración propia en Excel 2010. 2014.

CONCLUSIONES

- El sensor LM35 con su rango de detección de temperatura es de -55 a 150 °C y su salida lineal, satisface las condiciones de trabajo en los ambientes de acondicionamiento primario.
- Los pulsadores empleados dan a lugar a una selección de ambientes y confirmación de manera óptima por su tamaño, además de la separación por colores permite al operador trabajar sin confusiones. Su robustez asegura una larga vida de funcionamiento.
- El empleo del potenciómetro para la selección del setpoint reduce el hardware del sistema, a comparación del empleo de un teclado matricial.
- El LCD de 16x2 trabaja en función al algoritmo de programación de visualización mostrando en la parte superior los setpoints y en la parte inferior las temperaturas.
- El circuito para la alarma del sistema empleando un zumbador piezoeléctrico resulta ser efectivo debido a que el sonido emitido por el mismo puede alertar a va-

rias personas cercanas al sistema.

- El empleo de relés de estado sólido (S.S.R.) garantiza mayor tiempo de vida del sistema además de un funcionamiento silencioso y veloz, y no susceptible a fallas mecánicas como en el caso de los relés electro-mecánicos.

- Empleando el protocolo RS 485 se cuenta con mejores prestaciones para evitar el tema de atenuación, ruido y distancia que al emplear la norma RS 232, además de que está preparada para el entorno industrial.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia en especial a mis padres (Jorge Martínez y Verónica Leyva), por todo su apoyo y ánimo en cada decisión tomada en este ciclo universitario.

A mi tutor Ing. Jaime Ricardo Peña Montaña por guiarme, aconsejarme y respaldarme en el transcurso de la elaboración de este proyecto de grado.

A la Universidad Privada del Valle, la cual me dio la oportunidad de tener una formación académica durante estos 5 años de estudios.

A Laboratorios Bagó de Bolivia en especial al Dr. Oscar Poma, Dra. Carolina España y al Tec. Sup. Víctor Vásquez por su apoyo, confianza y respaldo en todo momento.

A mis amigos, en especial Sergio Vásquez., Cristhian Vásquez y Christian Cárdenas. Por su lealtad, apoyo e inolvidables momentos que me permitieron vivir a su lado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) CLAVIJO MENDOZA JR. Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje. C Colombia; 2011.

(2) PALLAS ARENY R. Sensores y Acondicionadores de señal. Marcombo; 2009.

(3) PALACIOS E, REMIRO F, LOPEZ L. Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos. México DF: Alfaomega; 2004.

(4) OMRON Electronics S.A. Relés de estado sólido. ; 2003.

(5) GOMARIZ S, BIEL D, MATAS J, REYES M. Teoría de control diseño electrónico. AlfaOmega; 1998.

(6) MALONEY T.J. Electronica Industrial. México DF: Prentice Hall; 1983.

(7) AMÉSTEGUI M. Control y regulación industrial. La Paz; 2005.

(8) GARCIA BREIJO E. Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC. México DF: AlfaOmega; 2008.

(9) LOPEZ PEREZ E. Ingeniería en microcontroladores Protocolo Rs 485. ; 2005.

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2015 Jorge Alejandro Martínez Leyva; Jaime Ricardo Peña Montaña.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)