

# Diseño de un termómetro para animales de trabajo

José Rodolfo Martínez y Cárdenas

rodolfomyc@hotmail.com

Jaime Díaz Altamirano

diaz\_aj@engineer.com

Fidel Diego Nava

fdiego@ipn.mx

CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca, Horno 1003, 71230 Santa Cruz Xoxocotlán, Oax.  
Tel. y Fax 52-951-5170610



## RESUMEN

*Para monitorear la temperatura corporal de animales de tiro mientras trabajan arrastrando un apero, lo cual, con otros parámetros, permite evaluar el desempeño de los mismos, se desarrolló un sistema inalámbrico de teletermometría. Dicho sistema está constituido por dos equipos: el primero contiene al sensor, un acondicionador de señal, un CAD, un microcontrolador y un transmisor de RF (radio frecuencia). En éste el sensor toma la temperatura de la oreja del animal, y entrega una señal eléctrica proporcional, la cual es digitalizada, procesada y transmitida vía RF. Un segundo equipo, que contiene, un receptor de RF, un microcontrolador, y una pantalla de cristal líquido (LCD), recibe y procesa la información enviada por el transmisor, para finalmente desplegar el dato en el LCD.*

## PALABRAS CLAVE:

Termómetro, telemetría, radiofrecuencia, microcontroladores, PIC's.

## ABSTRACT

*In order to measure the animals body temperature during the ploughing, which along with other parameters allows to evaluate their performance, an inalámbric telethermometry system was developed. This system is composed of two components: The first one contents a temperature sensor, a signal conditioner, an ADC, a microcontroller, and an RF transmitter. In this stage, the sensor measures the temperature on the animal's outer ear pavilion, and delivers a proportional electric signal, which is digitalized, manipulated and sent via RF to the second section of the system. The second stage contains an RF receiver, a microcontroller, and a Liquid Crystal Display (LCD). In this section, the information sent by the RF transmitter is received and manipulated, and it's finally displayed on the LCD module.*

## KEYWORDS

Thermometer, telemetry, radiofrequency, microcontrollers, PIC's .

## INTRODUCCIÓN

Uno de los sectores económicos de México que más necesitan de tecnologías propias, es la agricultura en los estados del sureste del país, en donde aún se aplican con éxito relativo los arados de madera de tracción animal, desarrollados por los egipcios en la antigüedad y los europeos durante la edad media, que no permiten un aprovechamiento máximo de la potencia de los animales de trabajo.

La renovación de las técnicas de labranza de estos campesinos no significa que se deba planear la introducción de tractores y maquinaria pesada, pues la economía y orografía del estado no lo permiten; es por ello que en el CIIDIR-Oaxaca, se realizó el proyecto “Desarrollo y evaluación de un apero de tracción animal para labranza de conservación”, el cuál tiene como objetivos el mejoramiento de la técnica de labranza de los campesinos, para elevar la eficiencia de los animales de trabajo, y al mismo tiempo, permitir la conservación de la fertilidad y utilidad del suelo de siembra. Para tal efecto se necesitan evaluar las labranzas con el arado de madera y el apero diseñado, con el fin de comparar la respuesta de los animales de trabajo. En ambos casos se debe vigilar que el esfuerzo realizado por los animales de tiro al arrastrar el artefacto sea moderado, y no les provoque agotamiento excesivo o lesiones cardiovasculares. Para ello, se hacen necesarios el monitoreo y la vigilancia de las principales variables fisiológicas de los animales en plena actividad, tales como: ritmo cardiaco, ritmo respiratorio y temperatura corporal.

Para lograr estas mediciones no se pueden emplear las técnicas convencionales utilizadas por los veterinarios, puesto que éstas exigen que el animal se encuentre estático. Tampoco se deben usar para mediciones continuas porque se puede alterar el comportamiento del animal. Pero no existe en el mercado nacional un instrumento adecuado a las necesidades que plantea la medición de dichas variables; en respuesta a esa falta de instrumentación, se diseñó un sistema de telemetría de temperatura.

El prototipo diseñado tiene la finalidad de monitorear a distancia la temperatura corporal de animales de labranza, mientras éstos arrastran un apero. Estas mediciones, tienen la finalidad de indicar qué tan grande es el esfuerzo realizado por las bestias

al arrastrar determinado modelo de apero. Estos datos permitirán re-diseñar el apero, con el fin de buscar aquel que proporcione un mejor rendimiento.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

### Objetivo general

Desarrollar un sistema automático que permita realizar mediciones a distancia y de manera inalámbrica, de la temperatura corporal de los animales de labranza mientras arrastran un apero, con el fin de registrar dichas mediciones para su uso posterior.

### Objetivos específicos

Crear un instrumento de medición de temperatura, útil y de costo razonable.

Realizar un sistema inalámbrico de transmisión de datos, para poder conocer a distancia la temperatura registrada por el instrumento de medición.

Diseñar el sistema para que pueda ser adaptado para monitorear otras variables (ritmo cardiaco, ritmo respiratorio, etc.), usando como base el medidor de temperatura.

## MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

Los mamíferos son los vertebrados de organización más elevada. No obstante la variabilidad en su forma, organización y género de vida, que dan origen al establecimiento de grupos u órdenes muy distintos unos de otros, estos animales pueden caracterizarse por tres rasgos fundamentales: la piel revestida de pelos, la presencia de glándulas mamarias, y *la constancia de la temperatura de su cuerpo*. Un cambio en la temperatura cambia también el carácter de procesos biológicos más complejos. Esto hace que una temperatura relativamente constante sea una necesidad para el eficaz funcionamiento del complicado encéfalo de los animales superiores (aves y mamíferos) adultos.

Durante la evolución, los animales superiores han desarrollado un dispositivo termorregulador que los capacita para mantener bajo condiciones ordinarias una temperatura orgánica interior constante, independientemente de la temperatura del ambiente. Estos animales, homeotermos o de sangre caliente, son capaces de llevar a cabo sus



Prototipos del transmisor y el receptor del sistema de medición de temperatura.

actividades usuales bajo unos amplios límites de temperaturas externas, mientras que los animales poiquiloterms o de sangre fría, cuyas temperaturas varían directamente con las del ambiente, dependen totalmente de la temperatura externa.

Los mamíferos muy jóvenes en los que la función integradora del encéfalo no se ha desarrollado todavía, muestran una gran tolerancia a los cambios de temperatura orgánica. Esto parece confirmar la idea de que es la complejidad de organización lo que hace necesaria la homeotermia.

Muchas son las condiciones que pueden causar variaciones normales en la temperatura orgánica de los homeotermos; entre otras, están la edad, el sexo, la estación, la hora del día, la temperatura ambiente, el ejercicio, la ingestión de alimentos, la digestión y la bebida de agua.

En el hombre y los animales existen gradientes de temperatura en la sangre, los tejidos y el recto; las temperaturas son más bajas hacia el exterior del cuerpo. También existen diferencias de temperatura de 10°C o más entre el núcleo central y partes periféricas del cuerpo, como los miembros.

En los animales se obtiene con facilidad un índice de la temperatura orgánica profunda por inserción de un termómetro en el recto. Aunque la temperatura rectal no representa siempre un promedio de la temperatura orgánica profunda, generalmente se considera mejor medir la temperatura en este sitio, que utilizar diversos puntos.

La temperatura rectal en los animales domésticos más comunes se encuentra dentro de un reducido

intervalo que va desde los 37.5°C hasta los 41°C en promedio. Es evidente que sería muy poco práctico el tratar de tomar la temperatura rectal a un espécimen que se encuentra en plena actividad física, que es como estarán los animales que se deberán monitorear en este proyecto: el sensor no podría hacer un buen contacto con la mucosa rectal del animal, dando lecturas erróneas; además, el cuerpo extraño activaría un reflejo excretorio en el animal.

Por otra parte, la temperatura no debe de tomarse sobre ningún músculo del animal durante la actividad física de éste, pues la temperatura del músculo tiene la tendencia a elevarse considerablemente, reduciéndose la fiabilidad de las mediciones obtenidas de este modo. La temperatura podría tomarse también de manera oral. El único inconveniente de hacerlo de este modo, es que sería muy difícil el mantener el sensor dentro del hocico del animal, sin que éste mastique los cables, escupa o trague el dispositivo.

Es bien sabido que en la mayor parte de los mamíferos, las orejas, además de cumplir con la función auditiva, son un elemento de gran importancia en el mecanismo de control de temperatura corporal. Dicho en otras palabras, las orejas son una ventana a la temperatura corporal del animal, y por lo tanto, una buena opción para tomar las mediciones necesarias. Además, la medición de la temperatura en las orejas del animal, si bien no es tan precisa, es una alternativa a la medición de la temperatura rectal. Tomando esta idea, se determinó que el sensor se colocaría en una oreja del espécimen.

En cuanto al sensor, se deberá utilizar uno de los llamados “sensores eléctricos”, es decir, que su funcionamiento se basa en las propiedades eléctricas de los materiales de que están hechos.

La banda de temperaturas a medir en el proyecto está determinada por las temperaturas corporales de los animales de interés; el intervalo a medir es realmente estrecho, lo cuál hace adecuado el uso de un sensor basado en semiconductores. El más adecuado es el denominado sensor de circuito integrado: los sensores de circuitos integrados son muy lineales, ofrecen altos niveles de rendimiento, son relativamente económicos y bastante precisos en temperaturas cercanas a la temperatura ambiente,

aunque requieren de una fuente de alimentación.

Por sus características, el sensor seleccionado fue el LM35D, ya que es fácil de adquirir en el mercado nacional.

Este sensor entrega a su salida un voltaje proporcional a la temperatura que registra, a una razón de 10mV por cada Grado Celsius, teniendo por lo tanto una relación lineal entre voltaje y temperatura. La ecuación que describe el comportamiento del sensor respecto a la temperatura es:

$$V_s = T_c(10mV)$$

En donde  $V_s$  es la salida del sensor, en milivolts, y  $T_c$  es la temperatura en grados Celsius. El LM35D es capaz de medir temperaturas que van de los  $-55^{\circ}\text{C}$ , hasta los  $+150^{\circ}\text{C}$ , como un rango máximo de operación.

Una de las mayores ventajas del LM35D, es que sus conexiones son extremadamente sencillas, y es muy versátil, pues puede ser configurado de distintas maneras. En este caso, como el intervalo de temperatura a medir es relativamente pequeño, se eligió una configuración sencilla: las terminales de alimentación y tierra se conectan a la fuente de manera directa, y la terminal de la salida de la señal, se conecta a tierra por medio de una resistencia tal que la corriente que circula por ella debido al voltaje de alimentación, sea de 50 microamperes.

Cuando se trabaja con sensores, es muy común que la información que envía el sensor sea demasiado débil para manipularla en las siguientes etapas, por lo que se debe de acondicionar para ello. Para la implementación del acondicionamiento de señal, lo más adecuado es el uso de amplificadores operacionales (Circuitos integrados lineales), los cuales facilitan y hacen más efectivo el proceso de acondicionamiento; el diseño de circuitos con amplificadores operacionales presenta grandes bondades, pues permite obtener sistemas estables, con buena fidelidad a la salida, que consumen poca energía y ocupan poco espacio, además, no son difíciles de conseguir en el mercado, y su costo es bajo. Hay modelos de amplificadores operacionales que se han especializado y se les llama amplificadores de instrumentación. Éstos tienen básicamente las mismas características de los operacionales en general, pero son capaces de

detectar y manipular señales muy pequeñas. La única desventaja del uso de amplificadores operacionales en circuitos portátiles, es que éstos exigen el uso de más de una pila, o bien la construcción de un simetrizador de fuente. Para el acondicionamiento de la señal, fue elegido el amplificador operacional cuádruple TL064.

Se sabe que el intervalo de temperaturas a medir va de  $37.5^{\circ}\text{C}$  a  $43^{\circ}\text{C}$ . A este rango se le debe agregar una tolerancia mínima y máxima. Dadas las características de la circuitería a utilizar (Microcontroladores con datos de 8 bits), es conveniente que el rango no rebase una variación de temperatura de  $25.5^{\circ}\text{C}$ ; es por esto que se decidió que la temperatura mínima manejable para el sistema fuera de  $30.0^{\circ}\text{C}$ , y la máxima, de  $55.5^{\circ}\text{C}$ , lo que deja un margen de tolerancia inferior de  $7.5^{\circ}\text{C}$ , y un margen superior de  $12.5^{\circ}\text{C}$ ; de esto, se deduce que los voltajes máximo y mínimo que se manejarán serán:

$$V_{30^{\circ}\text{C}} = 30^{\circ}\text{C}(10mV/^{\circ}\text{C}) = 300mV$$

$$V_{55.5^{\circ}\text{C}} = 55.5^{\circ}\text{C}(10mV/^{\circ}\text{C}) = 555mV$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= (55.5^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C})(10mV/^{\circ}\text{C}) \\ &= 25.5^{\circ}\text{C}(10mV/^{\circ}\text{C}) = 255mV \end{aligned}$$

El convertidor Analógico-Digital, por su parte será ajustado para que a la entrada, un voltaje de cero volts corresponda a un valor de cero a la salida ( $00000000_2$ ), y para un valor igual al voltaje positivo de alimentación, dé un valor de 1023 ( $11111111_2$ ).

### Microcontroladores y electrónica digital

El uso de señales digitales, permite el realizar procesos complejos con la información, en los cuáles se produce un mínimo de errores, y es por eso que en este caso se debe de digitalizar la señal acondicionada. Para lograrlo debe hacerse uso de un Convertidor Analógico Digital (ADC); los ADC más comunes, entregan a su salida números compuestos por 8 bits (un Byte), con lo cual dan un total de 256 estados posibles. Se usará el ADC interno del Circuito Integrado Programable (PIC) PIC16F874 de la marca Microchip, de esta manera, el PIC realizará dos funciones: digitalización y procesamiento de información, y el sistema se vuelve más compacto y menos propenso a errores.





Prueba de campo del prototipo del termómetro.

Dicho ADC empleará como voltajes de referencia los voltajes de alimentación del PIC (0-5 volts). Debe hacerse notar que este ADC entrega a la salida números de 10 bits; en el proyecto se utilizaron sólo los 8 bits menos significativos, por lo que la salida del acondicionador de señal correspondiente a 55.5°C debe ser mucho menor a 5 volts.

Los cálculos para dicho voltaje son:

$$\frac{5V}{1023} = \frac{xV}{255}$$

$$xV = \frac{5V(255)}{1023} = 1.2463343V$$

Para que el sistema dé siempre lecturas correctas, la alimentación debe de estabilizarse con un regulador de voltaje, pues de otra forma, el voltaje de referencia superior sería inestable.

Cuando el ADC ha realizado su función, el PIC16F874 inicia una transmisión serial de los 8 bits menos significativos del resultado obtenido.

Para realizar la transmisión inalámbrica se usaron módulos de Radio Frecuencia (RF) en circuito integrado, para el enlace. Los módulos usados son:

Transmisor: TXM-433-LC-R

Receptor: RXM-433-LC-S

Estos módulos tienen una Modulación Digital en Amplitud (ASK); a pesar de que la modulación sea ASK, al tener una transmisión digital, se obtiene una buena calidad en el enlace inalámbrico, y un alcance

de aproximadamente 40 metros. Los módulos de RF usados son también muy flexibles en cuanto a la velocidad de transmisión, pues pueden ser usados con velocidades que van desde unos cuantos bits por cada segundo, hasta 5Kbits por cada segundo.

El receptor ASK, detecta los bits enviados por el transmisor, y los entrega en forma de niveles de voltaje (dos niveles lógicos), pues es una transmisión digital. Un PIC16F84, los procesará para visualizar la información, sobre un Display de Cristal Líquido (LCD) modelo DMC16249 de la marca Optrex. Generalmente los displays de este tipo tienen un microcontrolador del tipo HD44780, de la marca japonesa Hitachi, o uno muy similar, y ésta no es la excepción.

El PIC16F84, realizará el proceso de la información para la visualización de ésta. Se usa este modelo de PIC por ser uno de los más económicos y manejables; el número de patitas destinadas a entrada/salida con que cuenta, es ideal para la función que realizará. El PIC16F84 debe ser programado para que, cuando detecte en un bit en la patita usada como entrada serial, inicie un proceso de captura de los 8 bits portadores de información. Después de haber obtenido esta información, lo único que queda por hacer es mandar a imprimir los caracteres; para hacerlo, se emplea la última etapa del programa del PIC16F84. Para lograrlo, se deben de incluir en el programa rutinas de control para el LCD; estas rutinas, deben de gobernar las acciones del LCD por medio de las tres patas de control de éste.

El LCD usado en este proyecto es uno de los más comunes, y no es difícil de conseguir en el mercado nacional; se trata de un LCD de caracteres matriciales, con dos líneas y 16 caracteres por línea.

### Diagramas Generales

A continuación, se anexan los diagramas generales, con sus valores y características, correspondientes al proyecto tratado en este informe. La figura 1 el diagrama a bloques del sistema en su totalidad; en la figura 2 se muestra la parte del sistema que realiza la medición y la transmisión de la información, y la figura 3 pertenece al subsistema encargado de recibir los datos transmitidos y desplegar la información.



Fig. 1. Diagrama a bloques del sistema propuesto.

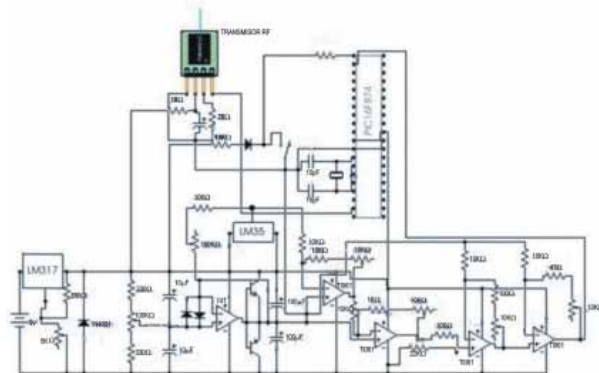


Fig. 2. Subsistema de adquisición y transmisión de datos.

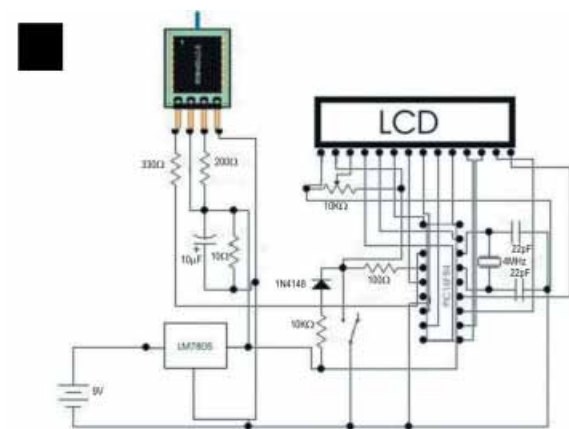


Fig. 3. Subsistema de recepción y despliegue de datos.

## CONCLUSIONES

- 1º- El sistema desarrollado en el presente proyecto, se apega a las necesidades de la realidad.
- 2º- El desarrollo de un sistema de la naturaleza del descrito aquí, requiere de una inversión regular, debido a la importación de los módulos de RF empleados, que no se pueden adquirir en el mercado nacional. Si éstos fueran comerciales en el país, o bien no se emplearan, el costo total del sistema sería muy bajo, especialmente si se

le compara con el costo de un sistema similar de presentación comercial.

- 3º- El sistema descrito a lo largo del presente reporte, es funcional en el trabajo de campo, y cuenta con un gran número de posibles aplicaciones además de aquella para la cual fue creado; además, es fácilmente adaptable a otras situaciones que requieran modificarlo, lo cual es relativamente fácil de hacer. Una de sus mejores características, es que con una reducida inversión se puede ampliar su funcionalidad, para emplearlo en más de una aplicación a la vez.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Angulo Usategui, José Ma. y col. Microcontroladores PIC 1ª parte. 2ª ed. México. Ed. Mc.Graw-Hill. 2000.
- 2.- Angulo Usategui, José Ma. y col. Microcontroladores PIC 2ª parte. 3ª ed. México. Ed. Mc.Graw-Hill. 2000.
- 3.- Boylestad, Robert L. y col. Electrónica: teoría de circuitos. 6ª Ed. México. Ed. Prentice Hall. 1997.
- 4.- Coughlin, Robert F. y col. Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. 4ª ed. México. Ed. Prentice Hall. 1993.
- 5.- Fanjul, María Luisa y col. Biología funcional de los animales. 1ª ed. México. Ed. Siglo XXI. 1998.
- 6.- Dukes, H. H. y col. Fisiología de los animales domésticos. Tomo II; funciones de integración y reproducción. 4ª ed. México. Ed. Aguilar. 1981.
- 7.- Floyd, T. L. Fundamentos de sistemas digitales. 6ª ed. España. Ed. Prentice Hall. 1997.
- 8.- García Molina, José Carlos. Seminario de proyecto sistema automático de medición de la temperatura cutánea promedio. México. 1982
- 9.- Rioja Lo Bianco, Enrique y col. Tratado elemental de zoología. 8ª ed. México. Ed. E.C.L.A.L.S.A. 1968.

## Páginas en Internet

- 1.- [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- 2.- [www.rentron.com](http://www.rentron.com)
- 3.- [members.fortunecity.es/telectronica/](http://members.fortunecity.es/telectronica/)
- 4.- [www.miguelo.com.ar](http://www.miguelo.com.ar)