

INFORME TÉCNICO:

*Un Sistema Electrónico de Bajo Costo para la Cuantificación
de Actividad Locomotriz*

TECHNICAL REPORT:

A Low-Cost Electronic System to Quantify Locomotive Activity¹.

Luis Beltrán del Río Caballero

Facultad de Medicina
U.N.A.M.

RESUMEN

Se describe un aparato diseñado para medir desplazamiento de un animal en un área de experimentación; este sistema posee cuatro sensores de luz que detectan la actividad digitalmente. Su funcionamiento es automático durante la sesión (7.5, 15, 30 o 60 min.), la cual se subdivide en 15 periodos iguales. La actividad obtenida durante cada uno de esos intervalos se almacena electrónicamente al igual que la generada durante toda la sesión. La construcción se lleva a cabo con elementos electrónicos existentes en México, lográndose un sistema confiable y económico.

DESCRIPTORES: actividad locomotriz, desplazamiento, celdas fotoeléctricas, detección digital, registro automático, conducta animal, componentes económicos.

ABSTRACT

An apparatus designed to measure the displacement of an animal within an experimental area is described. The system has four sensors which digitally detect movement. The apparatus functions automatically within a given session (7.5 15, 30 or 60 minutes); each session is subdivided in 15 identical periods. The activity registered during each of those intervals is electronically stored as well as the activity generated during the whole session. The system was built with low cost electronic components available in Mexico, allowing for a reliable and economical system.

DESCRIPTORS: locomotive activity, displacement, photoelectric cells, digital detection, automatic recording, animal behavior, low-cost components.

¹ Para solicitar copias del presente artículo escriba a: Luis Beltrán del Río Caballero, Departamento de Farmacología, Facultad de Medicina, U.N.A.M., México 20, D. F. MEXICO.

El equipo que se describe en este artículo se diseñó con el propósito específico de registrar la actividad locomotora de roedores; sin embargo, se consideró importante el conservar la adaptabilidad de éste a otras condiciones de trabajo, con el fin de hacer una contribución útil a un campo de investigación más amplio.

Funcionamiento

La medición se lleva a cabo con fotodetectores, de la manera convencional. Cuatro haces de luz entrecruzan el área de experimentación y son interrumpidos por el cuerpo del animal al desplazarse. Cuando un detector deja de percibir luz, transmite una señal "cuadrada" al sistema. Aún cuando el animal continúe bloqueando el haz indefinidamente, sólo se generará un pulso de voltaje. La actividad es cuantificada contando el número de señales que se reciben durante un cierto periodo.

Los pulsos generados por los sensores pasan por la compuerta unificadora (Fig. 1), la cual los transmite a través de una sola línea a los dos contadores del sistema. Ambos reciben los pulsos; sin embargo, sólo el contador total los acumula durante toda la sesión.

El control, el reloj y los contadores se inician simultáneamente al presionar un interruptor, siendo éste el punto de partida del proceso. El reloj sub-divide a la sesión en quince periodos de igual duración y mediante una señal indica al control el final de cada uno de ellos. Cada vez que se recibe una señal de este tipo, el control ordena a la memoria almacenar el número que existe en el contador parcial, e inmediatamente después lo borra. Esta acción es extremadamente rápida (30 microsegundos) lo que reduce la posibilidad de aparición de un pulso en el contador parcial en este lapso, durante el que no se computaría. Posteriormente, el contador sigue recibiendo los pulsos y acumulándolos, sin embargo, puesto que fue borrado, sólo incluirá los que reciba durante el siguiente periodo. Al final del décimo quinto periodo, el control bloquea todo el sistema para evitar que la actividad registrada posteriormente afecte los resultados. El sistema permanece en este estado indefinidamente; el valor de la actividad durante toda la sesión aparece en el exhibidor del contador total, y los datos parciales de cada periodo se conservan en la memoria. Cada número almacenado puede mostrarse en el exhibidor manipulando los interruptores de control cuantas veces sea necesario, antes de iniciar una nueva sesión.

Consideraciones sobre el diseño

Se utilizaron sensores fotoeléctricos debido a la necesidad específica de medir translación del animal. Dependiendo de la topología del área de experimentación y de la posición de los sensores, es posible optimizar la detección de los movimientos de translación. Se escogió un área circular y cuatro haces

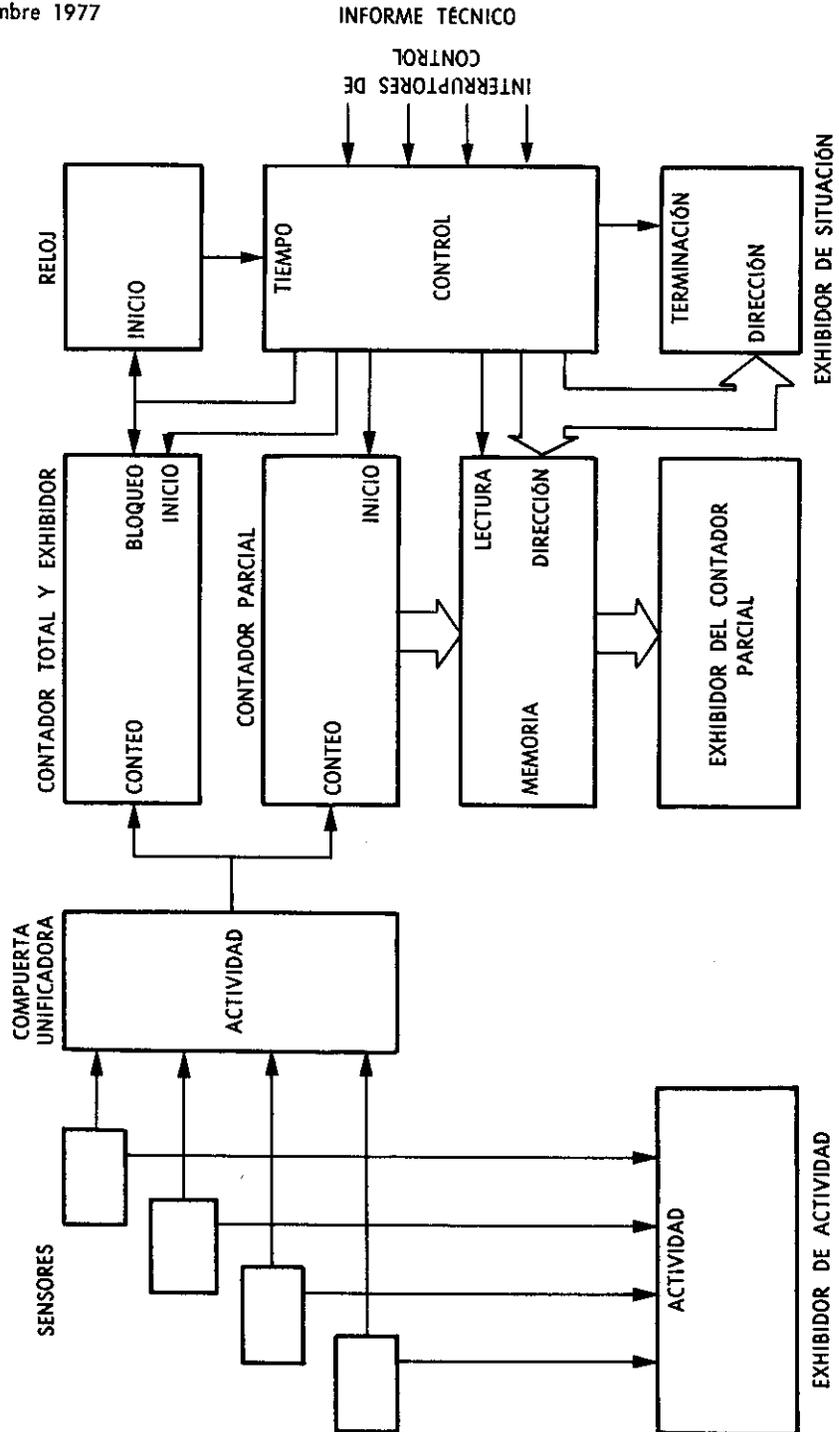


Figura 1 Diagrama de bloques del sistema electrónico de cuantificación de actividad locomotora.

de luz colocados en grupos de dos en paralelo, un grupo perpendicular al otro (en forma de "gato"). La finalidad de esta estructura es distribuir el área sensible de los detectores lo más uniformemente posible, sin crear zonas hipersensibles como sucede con el centro de una distribución radial de haces. Sin embargo, puede ocurrir que el animal se detenga en el campo de un detector. En este caso bastaría con un pequeño y rápido movimiento de acicalamiento o de otro tipo, para que se detecte una gran actividad; para evitar este tipo de situación se agregó a cada sensor un circuito que lo bloquea durante un pequeño periodo (0.3 seg.). Cada vez que se cruza el haz el detector genera un pulso de voltaje, pero con el bloqueo temporal el circuito transmite un máximo de tres pulsos por segundo al sistema, así si se cruza el haz dos veces durante un segundo, el sistema recibe dos pulsos; sin embargo, si se cruza diez veces durante el mismo periodo, sólo se transmiten tres pulsos debido al límite de frecuencia del circuito.

A fin de poder utilizar el aparato en otras tareas, se hizo un diseño versátil e independiente de la naturaleza del sensor. Cualquier sensor que entregue la información digitalmente puede adaptarse al sistema. De la misma manera, se puede ampliar para que la sesión dure varias horas e inclusive días y para que permita manejar datos consistentes en millones de pulsos.

El contador total es en realidad un elemento redundante, pues la actividad de toda la sesión puede computarse sumando los datos parciales, pero se incluyó con el fin de verificar el buen funcionamiento del sistema al comparar ambos resultados. Con este mismo propósito se proveyó a cada sensor de un indicador luminoso que permanece apagado mientras el detector reciba luz; al bloquearse o desviarse el haz, el indicador se ilumina hasta que la condición anterior se restablece. Durante los experimentos, la observación de las 4 luces permite cuantificar subjetivamente el nivel de actividad, cuando el área de experimentación está vacía, se comprueba la correcta alineación de los haces, pues los indicadores deben estar apagados. Otra prueba consiste en llevar a cabo una sesión en falso (sin animal) para detectar la existencia de ruido; todos los datos finales deben equivaler a cero. La aplicación de estas pruebas asegura la confiabilidad del sistema en cualquier momento. El proceso es totalmente automático y por lo tanto no requiere supervisión. Esta característica aunada al bajo costo del material, permite utilizar varias unidades para llevar a cabo sesiones simultáneas con las mismas variables de experimentación.

Construcción

Los detectores son sensibles en el rango de luz visible y se instrumentaron con fototransistores Darlington. La salida de cada uno de ellos está conectada en cascada con un filtro de baja frecuencia que permite la adaptación del sensor a diferentes condiciones de iluminación.

La compuerta unificadora consiste de un circuito lógico de alternación ("or") de cuatro entradas, una para cada sensor; a la salida de ésta se en-

cuentra un circuito monoestable cuya función es adaptar los pulsos para que sean correctamente recibidos por los contadores. Ambos contadores se construyeron con circuitos integrados de lógica transistor a transistor (TTL) y utilizan el código decimal en binario (BCD). Cada circuito integrado tiene las compuertas lógicas necesarias para un dígito decimal, así, el contador total que tiene cuatro dígitos, está formado por el mismo número de circuitos integrados; los circuitos de este contador tienen incluido el exhibidor que permite ver el número almacenado en ellos continuamente. Los circuitos integrados del contador parcial, de tres dígitos, sólo tienen las compuertas necesarias para el conteo, sin exhibidor.

Los datos de cada dígito del contador parcial se transmiten a través de cuatro contactos a la memoria de estado sólido. El primer dígito de todos los datos parciales se almacena en un sólo circuito integrado; de la misma manera el segundo y tercer dígito se almacenan en otros dos circuitos, así tres circuitos integrados conforman una memoria para quince números de tres dígitos cada uno. A la salida de la memoria se encuentra el exhibidor que permite ver los datos parciales.

El reloj mide el tiempo contando el número de pulsaciones del voltaje de alimentación (60 por segundo). Cuatro circuitos integrados cuentan en serie las oscilaciones, para generar señales con un periodo de 30, 60, 120 y 240 seg. según la conexión que se haga entre ellos.

La construcción del control se llevó a cabo con elementos electrónicos discretos, lógica diodo a transistor (DTL); sólo el direccionador se implementó con un circuito integrado (TTL). éste es un contador que indica por medio de un código binario de cuatro dígitos cuál de las 15 localidades de memoria se va a usar. Puesto que es un contador, cada vez que recibe un pulso de cambio de localidad, el número de la dirección de ésta se incrementa. El exhibidor de situación consta de 5 diodos emisores de luz, cuatro de ellos indican en número del periodo en proceso, en código binario, y el otro, el final de la sesión.

Los interruptores permiten ordenarle al control que lleve a cabo operaciones determinadas secuencialmente por el reloj y generadores de señales internos.

El interruptor de iniciación (Fig. 2), al presionarse, dispara un circuito monoestable, el cual transmite un pulso al direccionador ordenándole que "apunte" a la primera localidad de memoria. Este pulso, a través de un inversor, borra el contenido del contador total; posteriormente pasa por una compuerta lógica alternadora y borra el contador parcial. La señal generada por el interruptor, a través de otra compuerta alternadora y una inversora, borra el contenido del reloj, iniciando así la sesión.

El pulso con el cual el reloj indica el fin de cada periodo dispara tres circuitos monoestables, y cada uno de ellos transmite un pulso según el orden en que están conectados. El pulso del primer circuito a través de un inversor le ordena a la memoria leer el número del contador parcial. El segundo pulso a través del interruptor reloj-conteo cambia la localidad de memoria a la

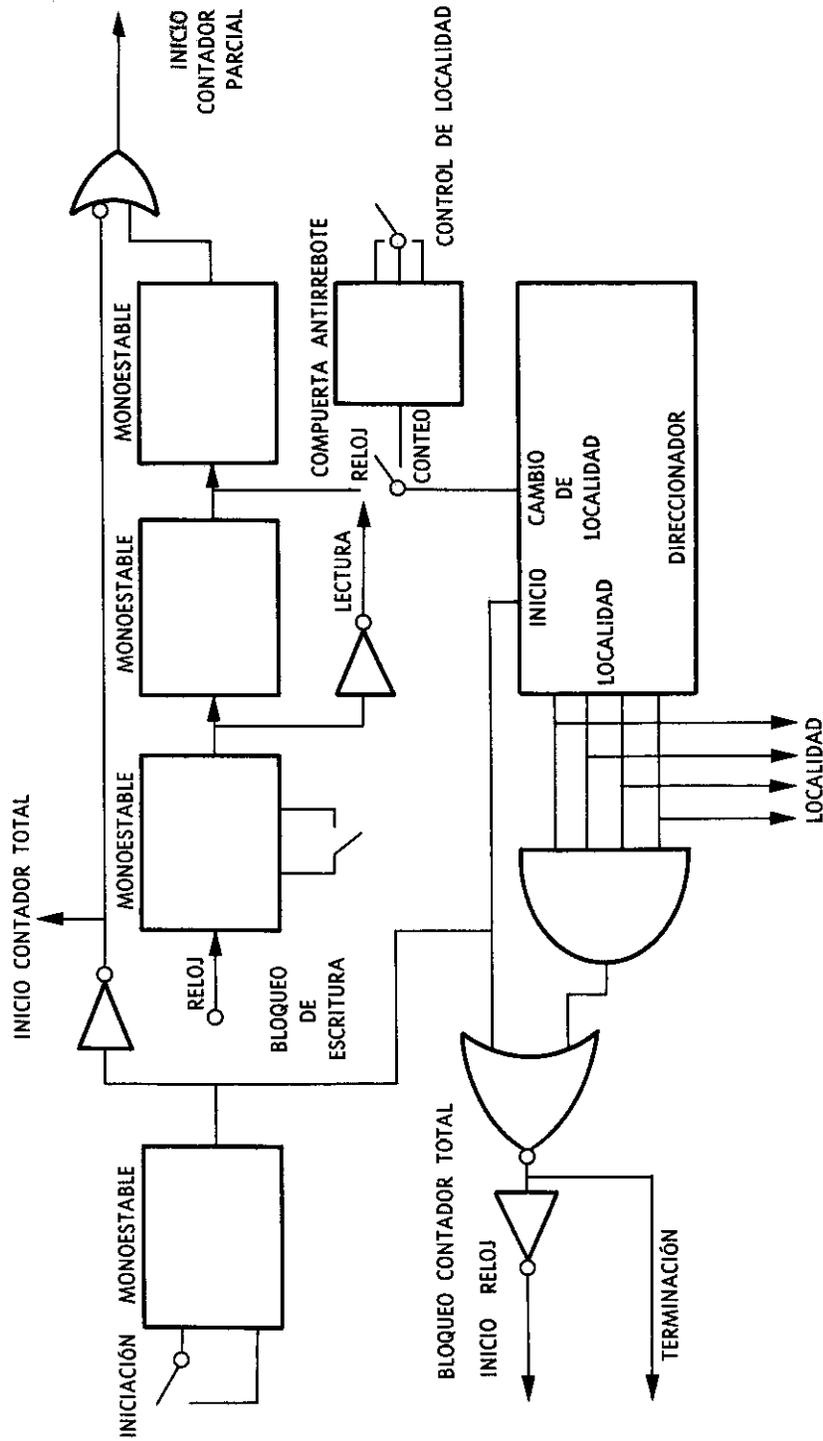


Figura 2. Diagrama lógico del bloque de control del sistema.

cual "apunta" el direccionador. El último pulso pasa la compuerta alternadora y borra el contenido del contador parcial.

Cuando el direccionador cambia de la localidad quince a la dieciséis, la compuerta de conjunción ("and") transmite una señal a través de la compuerta alternadora al exhibidor de terminación, indicando el fin de la sesión; esta misma señal a través de un inversor bloquea al reloj y al contador total. Al presionarse el interruptor de bloqueo de escritura, el monoestable asociado se inhibe y por lo tanto, en este estado la memoria no puede recibir órdenes de escribir y los datos previamente almacenados se conservan inalterados. Una vez hecho ésto, los datos en memoria pueden exhibirse simulando una sesión. Si el interruptor reloj-conteo se posiciona de manera que los pulsos de cambio de localidad provengan del interruptor de conteo de localidad y no del reloj, cada vez que éste se presione el número de localidad se incrementará y el circuito mostrará el dato asociado.

Ilustración

La gráfica de una serie de sesiones llevadas a cabo (Fig. 3), muestra la actividad promedio de 7 ratones. Los datos obtenidos apoyan la decisión de implementar al contador parcial con tres dígitos decimales, debido a las siguientes observaciones:

El máximo dato parcial promedio es 90; este valor se encuentra muy cerca de 99, que es el máximo número que puede computar un contador de dos dígitos; a su vez, uno de los datos parciales de un animal superó las 100 interrupciones. La duración de cada periodo, en este caso, es de 2 minutos; en una sesión de una hora sería mayor de 100 durante alguno de los periodos.

El nivel máximo alcanzado puede considerarse como un valor intermedio, pues existe la posibilidad de lograr niveles de actividad mayores que necesariamente deben tomarse en cuenta para el diseño.

El contador de 3 dígitos permite medir niveles de actividad 10 veces mayores, sin embargo, existen otros límites de este valor. El límite de frecuencia indica un máximo de 180 interrupciones por minuto, que equivalen a 720 en un periodo de 4 minutos. El contador total tiene una capacidad máxima de 9999, lo cual da un promedio de 666 interrupciones por periodo, independientemente de la duración de éste.

De esto se concluye que el sistema tiene capacidad para medir un nivel de actividad tres veces mayor que el máximo alcanzado en el experimento ilustrativo.

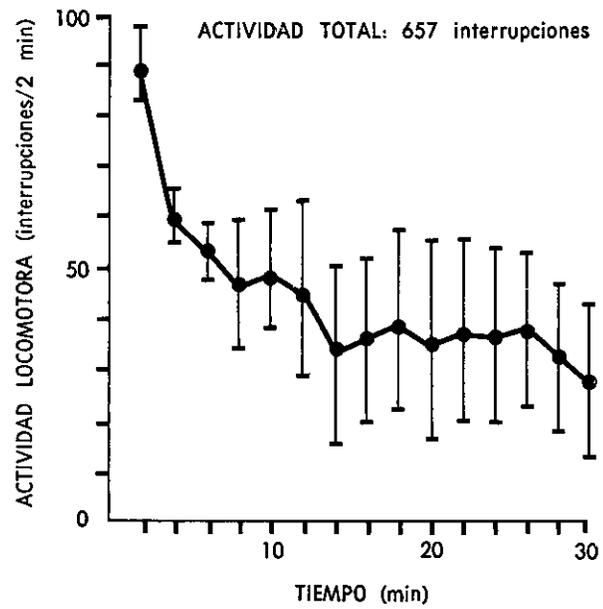


Figura 3. Promedio y desviación estándar de la actividad, en sesiones separadas, de 7 ratones. A cada animal se le administró, inmediatamente antes de su sesión, 0.1 ml/10 grs de peso de solución salina por vía subcutánea.