

Capítulo 5. Aplicación y Conclusiones.

5.1 Función de los Circuitos Realizados.

Hasta ahora se han construido dos sensores diferentes y un multiplexor de entradas; mediante estos nuevos complementos, el *Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica* de la *Universidad de las Américas, Puebla* cuenta ahora con la posibilidad de sensor nuevas variables físicas y por otro lado, adaptar más de tres sensores a la vez a los puertos de un equipo RCX.

La función del multiplexor resulta obvia, conectar a lo más cuatro nuevos sensores a un mismo puerto de entrada, de forma que en total se puedan conectar hasta seis sensores utilizando solamente un circuito multiplexor. Si se construyeran otros dos multiplexores, se podrían sensor idealmente hasta doce sensores diferentes.

En el caso del sensor de presencia, su operación se puede utilizar para identificar obstáculos frente a un cuerpo móvil, quizás detectar un intruso y activar una alarma, utilizar la presencia de algún objeto para iniciar alguna tarea o contar la cantidad de objetos que pasan frente a él durante un periodo de tiempo dado.

Por su parte el termómetro puede servir para verificar aproximadamente la temperatura de algún experimento, explorar y detectar una fuente de calor o al ser montado sobre una base móvil podría seguir una guía de mayor o menor temperatura que el medio ambiente (como en el caso de seguir la línea negra pero en lugar de utilizar

diferentes intensidades de luz se podría hacer con diferentes temperaturas). De igual forma podría utilizarse para seguir a otro cuerpo móvil que tuviera una temperatura diferente a la del medio ambiente.

Lo más seguro es que una sola persona no pueda pensar en todas las aplicaciones diferentes que se pueden llevar a cabo utilizando el kit completo, o puesto de otra forma, es muy probable que diversos problemas resulten en utilizar todos los dispositivos (motores, sensores y multiplexor) de diferente manera, generando así, diferentes aplicaciones a las enlistadas anteriormente.

5.2 Ejemplo Básico de Aplicación

En particular durante este capítulo se presenta un programa que utiliza los 3 circuitos construidos: el multiplexor de entradas, el sensor de proximidad/presencia y el sensor de temperatura. (Ver Figura 5.1 y Figura 5.2)

```
//Program Slot 1
/*****
/*          FUNCIONES          */
*****/
void multiplexor(int eSENSOR_a, int eSENSOR_b, int eSENSOR_c, int eSENSOR_d)
{
  #define SENSOR_SENSOR_3
  #define ESPERA 1
  int temp;

  Wait(ESPERA);           //Espera 10ms a que la lectura se establezca
  SENSOR_a=SENSOR;       //Sensor conectado al puerto 'a'

  SetSensor(SENSOR.SENSOR TOUCH);
  SetSensor(SENSOR,SENSOR LIGHT);// cambio al PUERTO b
  Wait(ESPERA);          //Espera a que la lectura se establezca
  SENSOR_b = SENSOR;     //Sensor conectado al puerto 'b'

  SetSensor(SENSOR.SENSOR TOUCH);
  SetSensor(SENSOR,SENSOR LIGHT);// cambio al PUERTO c
  Wait(ESPERA);          //Espera a que la lectura se establezca
  SENSOR_c = SENSOR;     //Sensor conectado al puerto 'c'

  SetSensor(SENSOR.SENSOR TOUCH);
  SetSensor(SENSOR,SENSOR LIGHT);// cambio al PUERTO D
  Wait(ESPERA);          //Espera a que la lectura se establezca
  SENSOR_d = SENSOR;     //Sensor conectado al puerto 'd'

  SetSensor(SENSOR.SENSOR TOUCH);
  SetSensor(SENSOR,SENSOR_LIGHT);// reinicio al PUERTO_a
}

void EvalTemp(int stemp)
{
  temp=temp*32;
  temp=temp/20;
  temp=temp-778; // T(°C)=.16*RAW-82.8
}
```

Figura 5.1. Programa básico de ejemplo (Parte 1).

```
/****** TAREA PRINCIPAL *****/
/****** TAREA PRINCIPAL *****/
task main()
{
  /****** INICIALIZACIÓN *****/
  /*----- Sensores -----*/
  #define ULTRA SENSOR 1;
  #define TMP   SENSOR 2;
  #define MUX   SENSOR 3;
  SetSensorType (SENSOR 1, SENSOR TYPE LIGHT); //Sensado Activo
  SetSensorType (SENSOR 2, SENSOR TYPE LIGHT); //Sensado Activo
  SetSensorMode (SENSOR 1, SENSOR MODE RAW); //Usamos valor RAW (sin modificaciones)
  SetSensorMode (SENSOR 2, SENSOR MODE RAW); //Usamos valor RAW (sin modificaciones)
  SetSensor (SENSOR.SENSOR LIGHT); //Listo para leer el puerto_a
  //SENSOR a--> Sensor de Luz
  //SENSOR b--> No hay nada conectado
  //SENSOR c--> No hay nada conectado
  //SENSOR d--> No hay nada conectado
  /*----- Motores -----*/
  SetPower (OUT AC, 3); //Potencia de los motores
  /*----- Variables -----*/
  int temp; // Almacena el valor del diodo de temperatura
  int SENSOR_a, SENSOR_b, SENSOR_c, SENSOR_d; //Variables del MUX

  /****** DESARROLLO *****/
  while(true) //Ciclo infinito
  {
    while (SENSOR 1 > 600) //Mientras no haya objetos enfrente
    {
      multiplexor (SENSOR a. SENSOR b. SENSOR_c, SENSOR_d); //Lee del MUX
      temp = TMP; // Lee T del diodo;
      EvalTemp (temp); // Convierte el Valor RAW a °C
      SetUserDisplay (temp, 1);
      /*----- Seguidor de línea -----*/
      if (SENSOR a > 35) // Si es más claro
      {
        Fwd (OUT C);
        OnFor (OUT_C, 5); //Gira a la izq por 50ms
      }
      else // Si es más oscuro
      {
        SetDirection (OUT A. OUT FWD);
        OnFor (OUT_A, 5); //Gira a la der por 50ms
      }
    }
    if (SENSOR 1 < 600) // Si hay un objeto enfrente
    {
      Fwd (OUT C);
      Rev (OUT A);
      OnFor (OUT_AC, 20); // Gira media vuelta al la izquierda
    }
  } //Repite desde el principio
} //Fin Tarea Principal
```

Figura 5.2. Programa básico de ejemplo (Parte 2).

La adaptación de dichos circuitos al dispositivo RCX se muestra en la Figura 5.3. El multiplexor se conecta directamente al PUERTO_3 del RCX y a través de su PUERTO_a queda conectado el sensor de luz fabricado por Grupo LEGO®, de forma que quedan tres entradas disponibles en él, en las que se pueden conectar otros sensores. Sin embargo, se debe tener muy en cuenta el voltaje que cae en los diodos que evitan el problema de la polaridad, ya que éstos requieren un voltaje adicional que no sería consumido en caso de que los sensores se conectaran directamente al RCX, en vez de

hacerlo utilizando el multiplexor de entradas construido. En otras palabras, el valor de voltaje leído por el sensor conectado a través del multiplexor es menor al valor que se obtendría si se conectara dicho sensor directamente al RCX.



Figura 5.3. Adaptación de los circuitos construidos al RCX.

Dado que el RCX considera que el sensor conectado al puerto utilizado por el multiplexor es de luz, el sensor de luz conectado al PUERTO_a no tiene mayor problema que la pérdida de voltaje mencionada previamente, pero de cualquier manera los valores entre los que alterna son suficiente para repetir el experimento de seguir una trayectoria marcada mediante una línea oscura sobre un fondo claro. (Ver Figura 5.4).

En el caso de los sensores de contacto bastaría con utilizar la Tabla 2.A mostrada en el capítulo 2 para convertir los valores de intensidad de luz a un rango que pueda

determinar cuándo el interruptor está cerrado y cuándo el interruptor está abierto. O en su defecto se podrían convertir los voltajes leídos a valores digitales.

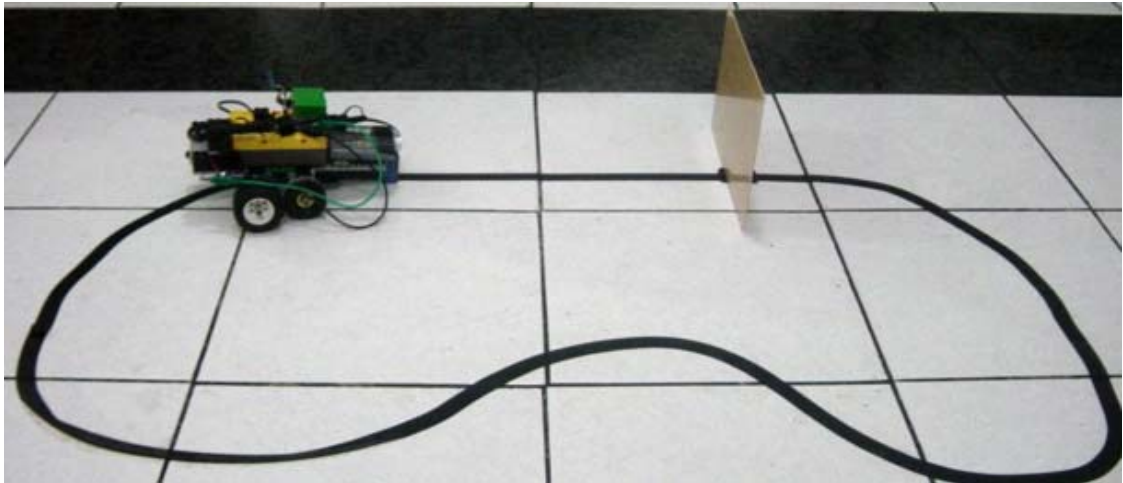


Figura 5.4. Experimento para el programa de ejemplo.

El sensor de temperatura se conecta directamente al PUERTO_2 del RCX simplemente para mostrar en el *Display* la temperatura ambiente, y la forma correcta de hacerlo se muestra en la Figura 5.5. Debido a que este sensor se construyó utilizando un puente rectificador de media onda, si se conecta de forma inversa no funcionará.



Figura 5.5. Conexión correcta del sensor de temperatura.

Nuestro termómetro podría conectarse a través del Multiplexor pero nuevamente, debido a la pérdida de voltaje ocasionada por los diodos, el valor RAW leído por el RCX sería distinto, de forma que se tendría que reajustar la Ecuación 4.7 de acuerdo con una nueva escala de mediciones. No obstante si lo único que nos interesa es diferenciar entre dos temperaturas muy diferentes, el sensor de temperatura se puede conectar a través del multiplexor y servir a nuestro propósito satisfactoriamente.

Finalmente en el PUERTO_1 se conectó el sensor de proximidad/presencia para detectar un obstáculo en la trayectoria marcada. En el pequeño programa de la Figura 5.2 cuando el sensor detecta un objeto frente a él, gira hacia la izquierda durante 200ms y vuelve a buscar la línea para seguir la trayectoria, pero ahora en sentido contrario.

La distancia a la cual detecta un objeto depende básicamente del voltaje de referencia proporcionado a través del potenciómetro conectado a la última etapa del comparador. Sin embargo puede ser bastante complicado estar sacando el circuito de su encapsulado plástico para modificar el voltaje de referencia y de este modo controlar la distancia a la que detecta obstáculos. Además la distancia a la cual el sensor de proximidad revela la presencia de un objeto depende de otros factores como la geometría del objeto y la cantidad de energía presente en las baterías.

5.3 Conclusiones Generales

Hasta ahora hemos discutido al menos una aplicación diferente para cada uno de los circuitos construidos, y de este modo, tanto hemos verificado su correcto funcionamiento, como visto la versatilidad que estos dispositivos aportan al conjunto RCX MINDSTORMS™ de LEGO®. Sin embargo, no es mi intención sugerir que con estos sensores se hayan cubierto todas las necesidades de sensado y por lo tanto que no

existan aplicaciones que requieran de medir otras variables físicas. Sería muy iluso pensar de esta manera, no obstante, creo que al menos se han establecido algunos consejos e ideas básicas en la construcción de nuevos sensores.

En un primer acercamiento al kit era para mí difícil entender cómo con sólo dos hilos o líneas podía alimentar un circuito y al mismo tiempo leer los resultados del proceso de sensado y retroalimentarlos al puerto del RCX, me preguntaba ¿cómo era que en un momento la corriente fluía en una dirección alimentando a los componente conectados y cómo era que a pesar de este flujo el puerto se enteraba de un valor de voltaje conectado en otro punto diferente del circuito?

La respuesta a esta pregunta se encuentra al entender que el RCX utiliza internamente dos circuitos en diferentes tiempos. Es debido a esta técnica que se puede alimentar primero y después sensar un valor utilizando la misma “infraestructura”, en este caso, utilizando solamente dos hilos. El multiplexado permite soportar dos niveles diferentes de voltaje y dos direcciones de corriente en dos diferentes instantes de tiempo.

Por otro lado la razón de que existan dos diferentes tipos de sensado: alimentado y pasivo, es que en el segundo se utiliza menor nivel de voltaje con lo que las baterías rinden más, no obstante la mayoría de los transductores requieren algún tipo de acondicionamiento (sensores activos) y por otro lado el sensado alimentado puede soportar también sensores del tipo pasivo. Dado que el sensado alimentado lee correctamente ambos tipos de sensores, no se vio la necesidad de hacer dos tipos de multiplexores diferentes.

En cuanto a seguridad, podemos hablar de la posibilidad de que ocurra un accidente debido a una mala conexión, esto podría causar dos problemas: un corto circuito, o un problema de inversión de polaridad.

Respecto del primer problema (corto circuito), los conectores LEGO tienen un diseño muy ingenioso de forma que es casi imposible lograr que las terminales de dos conectores diferentes formen un corto circuito en alguno de los puertos.

Esto deja abierta únicamente la posibilidad de que el circuito se conecte de forma inversa, lo que podría dañar tanto al usuario como al dispositivo mismo. La solución al problema se controla mediante la conexión de uno o dos diodos rectificadores que formen un puente de media onda o de onda completa, respectivamente, de forma que la corriente siempre fluya en la misma dirección o no fluya corriente alguna.

Si se utiliza el puente de onda completa se logra que aun cuando el conector se haya colocado de forma inversa el sensor pueda operar correctamente al conservar siempre la misma dirección de corriente en el circuito, sin embargo como en cualquier caso quedan dos diodos conectados de forma directa, el voltaje perdido es de 1.3V aproximadamente.

Si por el contrario se utiliza la primera alternativa: en caso de una equivocación, el diodo rectificador impedirá el paso de una corriente considerable que pudiera dañar al dispositivo, aunque en este caso el sensor no funcionará y el usuario podría pensar que el sensor está dañado. En caso de que se conecte correctamente la corriente es conducida en cualquier instante de tiempo a través de un único diodo lo que disminuye las pérdidas de voltaje.

Se puede decir que esta solución es menos costosa en cuanto a voltaje pero requiere una mayor atención del usuario al momento de conectar los dispositivos. Mientras que en la solución del puente de onda completa el usuario puede despreocuparse de las conexiones pero el costo en voltaje es muy considerable.

Además en el caso de que se requiera conectar otro circuito a partir de un circuito que ya presenta pérdidas: como sería el caso si quisiéramos conectar cualquiera de nuestros sensores construidos al multiplexor, las pérdidas serían aumentadas, debido a la conexión en serie. En nuestro caso tanto el multiplexor como el sensor de presencia utilizan el puente completo, por lo que el nivel de voltaje que recibe el circuito de ultrasonido en caso de conectarlo a través del multiplexor sería igual al voltaje disponible en el puerto menos 2.6V. Con lo que muy posiblemente la corriente demandada sería mayor a los 10mA disponibles en cada puerto, y se impediría un correcto funcionamiento del sensor.

Se mencionó en el párrafo anterior “el nivel de voltaje disponible en el puerto” esto sugiere que el voltaje presente no es siempre el mismo y esto es algo que afecta en gran medida la precisión de las lecturas, la sugerencia para evitar este problema es utilizar un regulador de voltaje de forma que las mediciones sean lo más constantes posibles. Un regulador L7805 como el que se utilizó en el sensor ultrasónico requiere de un mayor nivel de voltaje para entregar 5V que el que se utilizó posteriormente en el sensor de temperatura (MCP1700 5002).

A pesar de que un L7805 puede soportar una corriente en la carga mucho mayor (hasta 1A) y disipar una mayor cantidad de potencia en forma de calor, se mencionó que sólo existen 10mA disponibles por puerto por lo que no es necesaria tanta capacidad de conversión de energía eléctrica en calor.

Del mismo modo para tener una referencia de voltaje diferente de cero se puede utilizar un divisor de voltaje aunque no se recomienda utilizar resistencias pequeñas ya que demandarían una mayor corriente al puerto del RCX.

Debido a que la alimentación se limita a una fuente de voltaje no mayor a 9V (en el mejor de los casos), se recomienda utilizar dispositivos amplificadores operacionales de bajo consumo y única fuente de alimentación (*Low Dropout Single Supply*) como el LM324, debido a que presentan una menor diferencia entre el voltaje entregado por la fuente y los límites máximo y mínimo en las salidas del integrado a pesar de estar operados con una sola fuente de voltaje.

Al momento del diseño de los circuitos, se pudo comprobar que la configuración de amplificador inversor es más estable que la configuración de amplificador no inversor, ya que cuando se quiso construir un seguidor de voltaje utilizando el RCX, no se podía obtener un valor diferente de cero a la salida de esta configuración.

Se puede ver que existen costos y limitaciones al trabajar con dispositivos que sean móviles ya que son generalmente pequeños y alimentados por baterías, así mismo es difícil lograr que tengan cierto grado de independencia (ya que al utilizar una fuente de voltaje o conectar los sensores mediante cables se limitaría el rango de movimiento). Por lo tanto, es trabajo del diseñador hacer un compromiso entre las virtudes que se desea tener en un circuito y los costos o desventajas que esto implica, por ejemplo en nuestro caso se hizo un compromiso entre la precisión de los sensores y los requerimientos necesarios para que lo fueran.

De manera general concluyo que se ha logrado proveer al laboratorio con nuevos dispositivos que son en todo caso muy seguros, y confiables, sobre todo muy confiables para un cierto rango de valores de voltaje provistos por las baterías. Y más importante aún, considero que se han establecido algunas bases para la realización de futuros sensores o interfaces para el kit RCX de LEGO® MINDSTORMS™, que también pueden servir como antecedente para el kit NXT.