Tacômetro Óptico

Wilton Miro Barros Júnior
FGA - Faculdade do Gama
UnB - Universidade de Brasília
Gama, Brasil
wiltonjrfla@gmail.com

Igor de Alcantara Rabelo
FGA - Faculdade do Gama
UnB - Universidade de Brasília
Gama, Brasil
rabelo.alcantara.igor@gmail.com

***Resumo*—Este documento visa mostrar a elaboração do projeto de um tacômetro óptico com emissor e receptor infravermelho que será controlado pelo microcontrolador MSP430 e terá a visualização da medição em um display LCD.**

Keywords—tacômetro, óptico, infravermelho, LCD

I. Introdução

Os motores elétricos que são capazes de converter energia elétrica em energia mecânica e são utilizados em diversas máquinas que usamos no dia-a-dia[4]. Algumas vezes é necessário fazer testes de medições para saber se realmente o motor está em sua rotação ideal e o tacômetro é um dispositivo que é usado para obter o número de rotação de um motor. O laboratório de eletricidade da UnB-Gama possui esses motores elétricos que são usados para o aprendizado desde o manuseio até as configurações que são descritas pelo fabricante.

Esse projeto consiste em fazer um tacômetro usando sensores LED emissor e receptor infravermelho para medir a rotação do motor do laboratório da UnB-Gama e identificar através de um display de LCD16x2, se a rotação está adequada de acordo com as ligações que são usadas para o funcionamento adequado e também para verificar se está de acordo com o que foi proposto pelo fabricante. Será usado um microcontrolador Msp430g2553.

II. Desenvolvimento

Para saber se o motor está realmente conforme o que está proposto pelo fabricante, planeja criar um tacômetro óptico que é um dispositivo capaz de medir a rotação do motor através de sensores LED's emissor e receptor infravermelho que ao incidir um feixe em uma fita refletiva fixada no eixo do motor que será capturada pelo emissor e assim através do processamento do microcontrolador msp430g2553 será obtido um resultado que será informado pelo display de LCD 16x2.

A. Descrição de Hardware

Para a realização deste projeto foi utilizados os seguinte materiais.

Tabela 1.Lista de materiais

Lista de materiais	
Item	Quantidade
MSP430g2553 LaunchPad	1
LED receptor infravermelho	1
LED emissor infravermelho	1
Jumpers	19
Protoboard	2
Display LCD 16x2	1
Potenciômetro 10k	1
Ferro de solda	1
Solda	1

O hardware consiste em dois LED's emissor e receptor infravermelho que são ligados no microcontrolador Msp430g2553. Ao ligar o LED emissor, um feixe infravermelho é lançado e esse feixe é refletido através de uma fita e volta para o receptor. No código que foi feito para o receptor, o LED receptor

foi ligado no pino A0, que é equivalente ao pino P1.0 da placa Msp430.

O LCD foi testado usando um exemplo da biblioteca do software energia que já possuía as pinagens corretas de conectar o display no MSP430. O display contém 16 entradas e os pinos que foram utilizados do msp430 foram: P2.0, P2.1, P2.2, P2.3, P2.4, P2.5, GND e VCC. Para a função RS e EN foram utilizados os pinos P2.0 e P2.1 que corresponde às entradas do display 4 e 6, para função DB4 a DB7 foram utilizadas P2.2, P2.3, P2.4, P2.5 que corresponde às entradas dos display 11 a 14, e enfim para alimentar o display foram utilizadas GND e VCC que correspondem às entradas do display 1,2,5,15 e 16. O funcionamento está de acordo com o diagrama de blocos do ANEXO E.

B. Descrição de Software

Foi desenvolvido um código em linguagem C para msp430 usando a biblioteca msp430g2553.h no code composer studio 8.0.0. Foram utilizados 4 bits do display de lcd(D4 a D7).Existem outros 4 bits da placa de lcd que é o R/W, EN, RS, Contrast, Gnd e Vcc. O R/W é responsável pelo fluxo de dados entre a placa e o microcontrolador. Isso é, quando o R/W está ligado no Vcc ele está lendo os dados do sensor no display e quando R/W está no Gnd ele está escrevendo no display. O pino contraste é utilizado para aumentar ou diminuir o contraste do display de lcd através de um potenciômetro. Os pinos A e K são utilizados para iluminação do display.

Devido a configuração do display lcd ser de 4 bits, é necessário enviar 4 bits em dois pacotes, sendo que os 4 bits mais significativos serão enviados primeiro e depois os 4 menos significativos. Com isso foi preciso realizar um tratamento para fazer o envio dos dois pacotes. Esse tratamento consistiu em realizar o deslocamento dos 4 bits mais significativos e depois os 4 bits menos significativos de forma que os bits ficassem disponíveis nas portas conectadas ao lcd para posterior envio.

Para realizar a exibição no display, foi utilizado o botão P1.3 da msp430g2553, que estava operando como entrada, que a informação de acionamento do botão. O registrador P1DIR deve estar habilitado em nível 0 para que a porta P1.3 seja considerada como entrada. Esses registradores são responsáveis pela habilitação de resistor pull-up/pull-down(P1REN), seleção de modo pull-up(P1OUT), habilitação da interrupção (P1IE), seleção do tipo de borda da interrupção(P1IES) e limpeza do flag de interrupção(P1IFG). O registrador de habilitação para interrupção é fundamental para que o funcionamento da interrupção seja adequado. Sem esse registrador a interrupção não é ativada mesmo que o botão de interrupção na porta P1.3 seja pressionado, a interrupção não funciona.

Após configurar os registradores da porta P1.3 e a interrupção, foi realizado o tratamento da interrupção gerada pelo acionamento do botão. Por último foi desenvolvido o código para transformar a variável int para char, porque o display lcd só aceita valores de uma variável char. Todos o código desenvolvido está descrito no apêndice C.

Em seguida foi desenvolvido o código do tacômetro. Esse código foi baseado de acordo com as interrupções que ocorriam na entrada P1.4 que foi utilizada para realizar a contagem das voltas do motor - foi utilizado um cooler no lugar do motor - e posteriormente foi inserido no código o cálculo da velocidade em RPM (Rotações por minuto) de acordo com a fórmula a seguir:

Equação 1. Cálculo RPM.

rpm=1200000/miliseconnds //RPM(20 turns)*60000(ms = 1min)/miliseconds.

O timer A0 que está descrito no código do anexo C é um temporizador de contagem de tempo, na qual é disparado uma interrupção em 1 milisegundos (ms). Para ativar a interrupção do Timer A0 foi utilizado a instrução TA0CCTL0 |= CCIE e utilizou TA0CCTL0 |= CCIE para setar em um ciclo de um período de 1 ms (frequência de 1 kHz).

O código em Assembly está descrito no anexo D. Foi feito a tradução do código C em Assembly usando o software IAR workbench. O código em Assembly é exatamente o mesmo que em C entretanto houve alguns erros de tradução principalmente nas partes de interrupção.

III. Resultados

Após a implementação do código na placa Msp430g2553 foi possível identificar no display LCD o nome do projeto “Tacometro” na primeira linha e na segunda linha a velocidade medida em rpm pelo sensor receptor ligado na porta P1.4 da placa. Foi ligado um cooler que funcionou como o motor em uma fonte de 5V e logo depois foi ligado a uma fonte de 12V. Assim foi possível identificar a diferença de velocidade entre os dois testes. Isso ocorreu devido a alimentação do cooler que suporta Vmax=12V e funciona em sua potência máxima, ou seja, o cooler possui maior rotação ligado em 12V. O circuito final consistiu na implementação do circuito que está no anexo A concatenado ao circuito que está representado no anexo B.

IV. Conclusão

Conclui-se que todo o código implementado do tacômetro funcionou de forma adequada. As velocidades medidas mostradas no display condizem com os valores teóricos pesquisados em fóruns. Entretanto vai ser preciso compará-los com um tacômetro óptico profissional para ter a real certeza de que o valor medido é próximo ou há um erro onde será preciso arrumá-lo.

Referências

[1] https://www.filipeflop.com/blog/controlando-um-lcd-16x2-com-arduino/

[2] http://www.instructables.com/id/Interfacing-16x2-LCD-with-msp430-launchpad-in-8-bi/

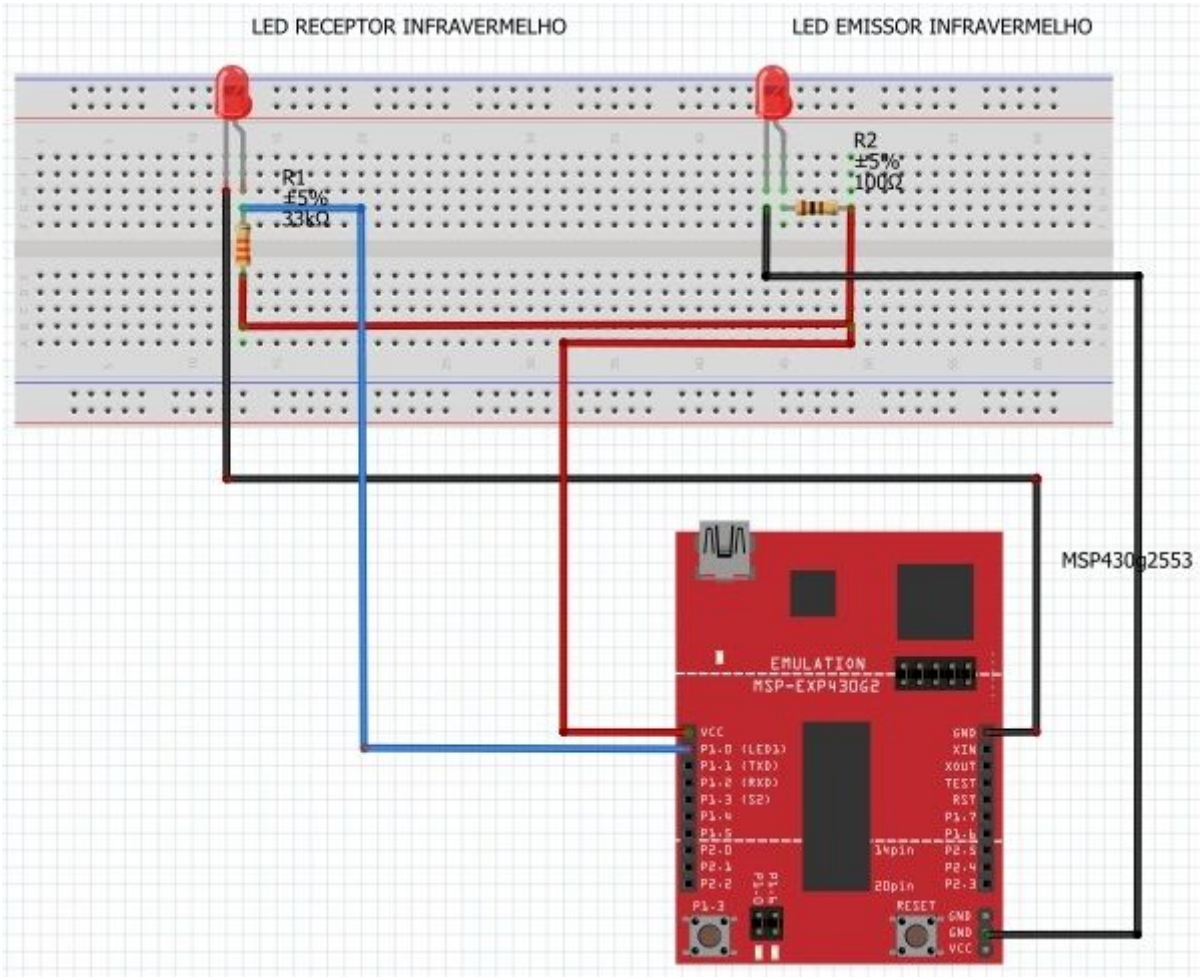
[3] https://www.circuitvalley.com/2011/12/16x2-char-lcd-with-ti-msp430-launch-pad.html

[4] https://brasilescola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm

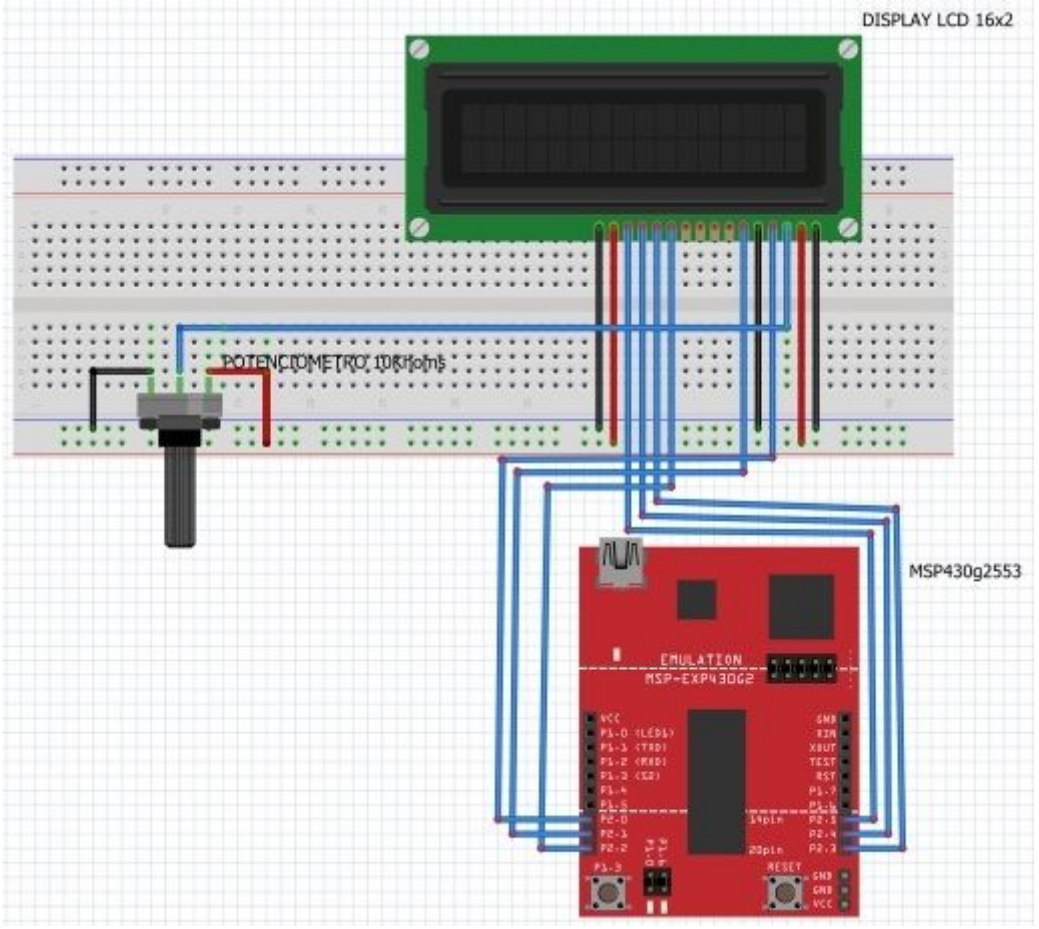
[5] Davies, J., MSP430 Microcontroller Basics, Elsevier, 2008

[6] MSP430 Assembly Language Tools v18.1.0.LTS - User's Guide

ANEXO A - Esquemático emissor e receptor infravermelho



ANEXO B - Esquemático display LCD 16x2



ANEXO C - Código do display e Tacômetro em C

```
#include "msp430g2553.h"

// LCD control pins definitions
#define DATA_REG P1OUT = BIT5
#define INST_REG P1OUT = (~BIT5)
#define ENABLE_PIN_HIGH P2OUT |= BIT0
#define ENABLE_PIN_LOW P2OUT &= (~BIT0)

//Variable declaration
int turn_counter = 0;
int miliseconds = 0;
int rpm = 0;
char char_rpm[5];
char char_miliseconds[5];

// Implementation of itoa function(convert values in strings to show on LCD)
char *itoa(int from, char to[])
{
  char const digit[] = "0123456789";
  char* p = to;
  int shifter;

  if(from < 0){
    *p++ = '-';
    from *= -1;
  }

  shifter = from;

  do{
    ++p;
    shifter = shifter / 10;
  }while(shifter);

  *p='\0';

  do{
    *--p = digit[(from % 10)];
    from = from / 10;
  }while(from);

  return to;
}

void configure_clocks()
{
  WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
  DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
  BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ;
  BCSCTL2 = 0x00;
  BCSCTL3 = 0x00;
}
void delay_us(unsigned int us)
```

```
{
 while(us)
 {
 __delay_cycles(1);
 us--;
 }
}

void delay_ms(unsigned int ms)
{
 while(ms)
 {
  __delay_cycles(1000);
  ms--;
 }
}

void data_write(void)
{
 ENABLE_PIN_HIGH;
 delay_ms(5);
 ENABLE_PIN_LOW;
}
void send_data(unsigned char data)
{
 unsigned char higher_nibble = 0x3c & (data >> 2);
 unsigned char lower_nibble = 0x3c & (data << 2);

 delay_us(200);

 DATA_REG;
 P2OUT = (P2OUT & 0xc3)|(higher_nibble);
 data_write();
 P2OUT = (P2OUT & 0xc3)|(lower_nibble);
 data_write();
}
void send_string(char *s)
{
 while(*s)
 {
  send_data(*s);
  s++;
 }
}
void send_command(unsigned char cmd)
{
 unsigned char higher_nibble = 0x3C & (cmd >> 2);
 unsigned char lower_nibble = 0x3C & (cmd << 2);

 INST_REG;

 P2OUT = (P2OUT & 0xC3)|(higher_nibble);
 data_write();

 P2OUT = (P2OUT & 0xC3)|(lower_nibble);
 data_write();
}
void lcd_init(void)
```

```
{
  P1DIR = 0x20;
  P1OUT = 0x00;
  P2DIR = 0x3D;
  P2OUT = 0x00;

  delay_ms(15);
  send_command(0x33);

  delay_us(200);
  send_command(0x32);

  delay_us(40);
  send_command(0x28);

  delay_us(40);
  send_command(0x0E);

  delay_us(40);
  send_command(0x01);

  delay_us(40);
  send_command(0x06);

  delay_us(40);
  send_command(0x80);
}
void calc_rpm(void){
  rpm=1200000/miliseconds;
  itoa(miliseconds,char_miliseconds);
  itoa(rpm, char_rpm);
  send_command(0xC0);
  send_string("Vel=");
  send_string(char_rpm);
  send_string(" RPM");
  send_command(0x0C);
}
int main(void)
{
  configure_clocks();

  lcd_init();
  send_command(0x80);
  send_string("TACOMETRO");

  P1REN |= 0X08;
  P1OUT |= 0X08;
  P1IE |= 0X18;
  P1IES |= 0x08;
  P1IES &= ~0x10;
  P1IFG &= ~0x18;

  // TIMER A0
  TA0CTL = TASSEL_2 + MC_1 + ID_0;

  TA0CCTL0 |= CCIE;
  TA0CCR0 = 1000-1;
```

```
  __bis_SR_register(GIE);

  miliseconds = 0;
  turn_counter = 0;

  while(1){
  }
}

#pragma vector=TIMER0_A0_VECTOR
__interrupt void Timer_A(void)
{
  miliseconds++;
}

#pragma vector = PORT1_VECTOR
__interrupt void Port_1(void)
{
     if(turn_counter < 179){
       turn_counter++;
      }
     else{
       calc_rpm();
       turn_counter=0;
       TA0CTL |= TACLR;
       miliseconds = 0;
     }
  P1IFG &= ~0x18;
}
```

ANEXO D - Subrotina em Assembly

```
lcd_init:
        mov.b   #0x20, &P1DIR
        clr.b   &P1OUT
        mov.b   #0x3D, &P2DIR
        clr.b   &P2OUT
        mov.w   #0xF, R12
        call    #delay_ms
        mov.b   #0x33, R12
        call    #send_command
        mov.w   #0xC8, R12
        call    #delay_us
        mov.b   # 0x32, R12
        call    #send_command
        mov.w   #0x28, R12
        call    #send_command
        mov.b   #0x28, R12
        call    #delay_us
        mov.b   #0x28, R12
        call    #send_command
        mov.w   #0x28, R12
        call    #delay_us
        mov.b   #0xE, R12
        call    #send_command
        mov.w   #0x28, R12
        call    #delay_us
        mov.b   #0xE, R12
        call    #send_command
        mov.w   #0x28, R12
        call    #delay_us
        mov.w   #0x28, R12
        call    #delay_us
        mov.b   #0x1, R12
        call    #send_command
        mov.w   #0x28, R12
        call    #delay_us
        mov.b   #0x6, R12
        call    #send_command
        mov.w   #0x28, R12
        call    #delay_us
        mov.b   #0x80, R12
        br      #0xC26E
itoa:
        push.w  R10
        push.w  R11
        push.w  R8
        sub.w   #0xC, SP
        mov.w   R12, R10
        mov.w   R13, R11
        mov.w   SP,R12
        add.w   #0x0, R12
        mov.w   0xC000, R14
        mov.w   #0xB, R13
        call    #?CopyMemoryBytes
```

```
                mov.w    R11, R8
                tst.w    R10
                jge      0xC0F0
                mov.b    #0x2D, 0x0(R8)
                inc.w    R8
                mov.w    R10, R12
                mov.w    #0xFFFF, R14
                call     #?mul16
                mov.w    R12, R10
                mov.w    R10, R12
                inc.w    R8
                mov.w    #0xA, R14
                call     #?DivMod16s
                tst.w    R12
                jne      0xC0F2
                clr.b    0x0(R8)
                add.w    #0xFFFF, R8
                mov.w    R10, R12
                mov.w    #0xA, R14
                call     #DivMov16s
                add.w    SP, R14
                mov.b    @R14, 0x0(R8)
                mov.w    R10, R12
                mov.w    #0xA, R14
                call     #?DivMods
                mov.w    R12,R10
                tst.w    R10
                jne      0xC104
                mov.w    R11, R12
                add.w    #0xC, SP
                br       #0xC418
                mov.w    #0x4F80, R12
                mov.w    #0x12, R13
                mov.w    &miliseconds, R14
                mov.w    R14, R15
                inv.w    R15
                rla.w    R15
                subc.w   R15, R15
                call     #?DivMod32s
                mov.w    R12, &rpm
                mov.w    #0x20B, R13
                mov.w    &miliseconds, R12
                call     #itoa
                mov.w    #0x206, R13
                mov.w    &rpm, R12
                call     #itoa
                mov.b    #0xC0, R12
                call     #send_command
                mov.w    #0xC00B, R12
                call     #send_string
                mov.w    #0x206, R12
                call     #send_string
                mov.w    #0xC010, R12
                call     #send_string
                mov.b    #0xC, R12
                br       #0xC26E
main:
                call     #configure_clocks
```

```
                call    #lcd_init
                mov.w   #0x80, R12
                call    #send_command
                mov.w   #0xC015, R12
                call    #send_string
                bis.b   #0x8, &P1REN
                bis.b   #0x8, &P1OUT
                bis.b   #0x8, &P1IE
                bis.b   #0x8, &P1IES
                bis.b   #0x10, &P1IES
                and.b   #0xE7, &P1IFG
                mov.w   #0x210,&TA0CTL
                bis.w   #0x10, &TA0CCTL0
                mov.w   #0x3E7, &TA0CCR0
                eint
                clr.w   &miliseconds
                clr.w   &turn_counter
                jmp     0xC1DE
send_data:
                push.w  R10
                mov.b   R12, R13
                mov.b   R13, R10
                clrc
                rrc.b   R10
                rra.b   R10
                and.b   #0x3C, R10
                rla.b   R13
                rla.b   R13
                and.b   #0x3C, R13
                mov.w   #0xC8, R12
                call    delay_us
                mov.b   #0x20, &P1OUT
                mov.b   &P2OUT, R14
                and.b   #0xC3, R14
                bis.b   R10, R14
                mov.b   R14, &P2OUT
                call    #data_write
                mov.b   &P2OUT, R14
                and.b   #0xC3, R14
                bis.b   R10, R14
                mov.b   R14, &P2OUT
                call    #data_write
                mov.b   &P2OUT, R14
                and.b   #0xC3, R14
                bis.b   R13, R14
                mov.b   R14, &P2OUT
                call    #data_write
                pop.w   R10
                ret
DivMod32s:
                push.w  R9
                clr.w   R9
                tst.w   R15
                jge     0xC240
                inv.w   R14
                inv.w   R15
                inv.w   R14
                adc.w   R15
```

```
                bis.w   #0x1, R9
                tst.w   R13
                jge     0xC24E
                inv.w   R12
                inv.w   R13
                inc.w   R12
                adc.w   R13
                inv.w   R9
                call    #?DivMod32u
                bit.w   #0x1, R9
                jeq     0xC25E
                inv.w   R12
                inv.w   R13
                inc.w   R12
                adc.w   R13
                bit.w   #0x2, R9
                jeq.w   0xC26A
                inv.w   R14
                inv.w   R15
                inc.w   R14
                adc.w   R15
                pop.w   R9
                ret
send_command:
                mov.b   R12, R13
                mov.b   R13, R14
                clrc
                rrc.b   R14
                rra.b   R14
                and.b   #0x3C, R14
                rla.b   R13
                rla.b   R13
                and.b   #0x3C, R13
                mov.b   #0xDF, &P1OUT
                mov.b   &P2OUT, R15
                and.b   #0xC3, R15
                bis.b   R14, R15
                mov.b   R15,&P2OUT
                call    #data_write
                mov.b   &P2OUT, R14
                and.b   #0xC23, R14
                bis.b   R13, R14
                mov.b   R14, &P2OUT
                br      #0xC420
DivMod32u:
                push.w  R9
                push.w  R10
                push.w  R11
                clr.w   R10
                clr.w   R11
                mov.w   #0x20, R9
                rla.w   R12
                rlc.w   R13
                rlc.w   R10
                rlc.w   R11
                sub.w   R14, R10
                subc.w  R15, R11
                jnc     0xC2D2
```

```
                bis.w           #0x1, R12
                add.w           #0xFFFF, R9
                jne             0xC2BC
                jmp             0xC2DA
                add.w           R14, R10
                addc.w          R15,R11
                add.w           #0xFFFF, R9
                jne             0xC2BC
                mov.w           R10, R14
                mov.w           R11, R15
                pop.w           R11
                pop.w           R10
                pop.w           R9
                ret
Port_1:
                push.w          R13
                push.w          R12
                push.w          R15
                push.w          R14
                cmp.w           #0xB3, &turn_counter
                jge             0xC2FC
                inc.w           &turn_counter
                jmp             0xC2FC
                inc.w           &turn_counter
                jmp             0xC30C
                call            #calc_rpm
                clr.w           &turn_counter
                bis.w           #0x4, &TA0CTL
                clr.w           &miliseconds
                and.b           #0xE7, &P1IFG
                pop.w           R14
                pop.w           R15
                pop.w           R13
                reti
DivMod8s:
                sxt             R12
                sxt             R14
DivMod16s:
                push.w          R9
                clr.w           R9
                tst.w           R14
                jge             0xC32E
                inv.w           R14
                inc.w           R14
                bis.w           #0x1, R9
                tst.w           R12
                jge             0xC338
                inv.w           R12
                inc.w           R12
                inv.w           R9
                call            #DivMod16u
                bit.w           #0x1, R9
                jeq             0x2, R9
                inv.w           R14
                inc.w           R14
                pop.w           R9
                ret
Mul8:
```

```
                and.b           #0xFF, R12
                and.b           #0xFF, R14
Mul16:
Mul16to32u:
                push.w          R9
                mov.w           R12, R9
                cmp.w           R14, R12
                jnc             0xC362
                mov.w           R14, R9
                mov.w           R12, R14
                clrc
                clr.w           R15
                clr.w           R12
                clr.w           R13
                rrc.w           R9
                jnc             0xC370
                add.w           R14, R12
                addc.w          R15, R13
                rla.w           R14
                rlc.w           R15
                rrc.w           R9
                jne             0xC36A
                jnc             0xC37E
                add.w           R14, R12
                addc.w          R15, R13
                pop.w           R9
                ret
configure_clocks:
                mov.w           #0x5A80, &WDTCTL
                mov.b           &CALDCO_1MHZ, &CDOCTL
                mov.b           &CALBC1_1MHZ, &BCSCTL1
                clr.b           &BCSCTL2
                clr.b           &BCSCTL3
DivMod8u:
                and.b           #0xFF, R12
                and.b           #0xFF, R14
                mov.w           R14, R15
                mov.w           R12, R13
                clr.w           R14
                mov.w           #0x1, R12
                rla.w           R13
                rlc.w           R14
                cmp.w           R15, R14
                jnc             0xC3B4
                sub.w           R15, R14
                rlc.w           R12
                jnc             0xC3AA
                ret
send_string:
                push.w          R10
                mov.w           R12, R10
                jmp 0xC3C8
                mov.b           @R10, R12
                call            #send_data
                inc.w           R10
                tst.b           0x0(R10)
                jne             0xC3C0
                pop.w           R10
```

```
                ret
__exit:
                push.w          R10
                decd.w          SP
                mov.w           R12. R10
                mov.w           R10, R13
                mov.w           SP, R13
                add.w           #0x0, R13
                mov.b           #0x1, R12
                call            #__DebugBreak
                jmp             0xC3D8
delay_ms:
                jmp             0xC3F6
                jmp             0xC3EC
                mov.w           #0x14B, R15
                add.w           #0xFFFF, R15
                jc              0xC3F0
                add.w           #0xFFFF, R12
                tst.w           R12
                jne             0xC3EA
                ret
__data16_memzero:
                mov.w           R12, R15
                add.w           R13, R15
                jmp             0xC408
                clr.b           0x0(R12)
                inc.w           R12
                cmp.w           R15,R12
                jne             0xC402
                ret
Epilogue8:
                pop.w           R5
Epilogue7:
                pop.w           R4
Epilogue6:
                pop.w           R7
Epilogue5:
                pop.w           R6
Epilogue4:
                pop.w           R9
Epilogue3:
                pop.w           R8
                pop.w           R11
                pop.w           R10
                ret
data_wirte:
                bis.b           #0x1, &P2OUT
                mov.w           #0x5, R12
                call            delay_ms
                bic.b           #0x1, &P2OUT
                ret
CopyMemoryBytes:
                push.w          R12
                mov.b           @R14+, 0x0(R12)
                inc.w           R12
                dec.w           R13
                jne             0xC434
                pop.w           R12
```

```
                ret
delay_us:
                jmp             0xC448
                nop
                add.w           #0xFFFF, R12
                tst.w           R12
                jne             0xC444
                ret
Timer_A:
                inc.w           &miliseconds
                reti
Exit:
                br              #0xC458
_Exit:
                br              #0xC3D2
__DebugBreak:
                ret
                and.b           @R15+, 0xFFFF(R15)
```

ANEXO D - Diagrama de blocos