

Microcontroladores: Laboratorio 2

1st Hector Pereira

Ingeniería en Mecatrónica

Universidad Tecnológica (UTEC)

Fray Bentos, Uruguay

hector.pereira@estudiantes.utec.edu.uy

2nd Isaac Martirena

Ingeniería en Mecatrónica

Universidad Tecnológica (UTEC)

Fray Bentos, Uruguay

isaac.martirena@estudiantes.utec.edu.uy

Resumen—

Keywords:

I. INTRODUCCIÓN

II. MARCO TEÓRICO

III. METODOLOGÍA

IV. RESULTADOS

IV-A. Plotter

IV-B. Colores

El proceso de reconocimiento de colores se fundamenta en la descomposición de cada color en sus componentes primarias dentro del modelo RGB (*Red, Green, Blue*). Un color puede representarse como la combinación ponderada de estas tres intensidades, lo que permite su descripción en un espacio tridimensional.

Sin embargo, el sensor fotoresistivo (LDR, *Light Dependent Resistor*) utilizado en el sistema no distingue de forma individual las componentes cromáticas del espectro visible; únicamente mide la intensidad total de luz reflejada sobre su superficie. Si la iluminación se realiza con luz blanca, el sensor solo entrega una lectura proporcional a la cantidad total de luz reflejada, sin discriminar su composición espectral. Este fenómeno equivale a una percepción en escala de grises, dificultando la identificación precisa de colores.

Para resolver esta limitación, se empleó un diodo emisor de luz RGB como fuente de iluminación controlada. Al iluminar secuencialmente la superficie con luz roja, verde y azul, el sistema obtiene tres mediciones independientes mediante el LDR. Dichos valores, convertidos por el módulo ADC (*Analog-to-Digital Converter*) del microcontrolador ATmega328P, representan las coordenadas (R, G, B) de un punto dentro de un espacio de color tridimensional.

Cada color de referencia calibrado se modela como un vector fijo en dicho espacio. Para identificar un color, se calcula la distancia euclidiana entre el vector de medición y cada uno de los vectores de referencia almacenados:

$$D = \sqrt{(R_m - R_i)^2 + (G_m - G_i)^2 + (B_m - B_i)^2} \quad (1)$$

donde (R_m, G_m, B_m) representan los valores medidos por el sensor y (R_i, G_i, B_i) corresponden a los valores calibrados de cada color de la hoja de referencia. El color identificado será aquel cuya distancia D sea mínima.

Dado que tanto la respuesta espectral del LDR como la emisión de los LED presentan variaciones no lineales, los valores obtenidos no son directamente proporcionales a las componentes RGB teóricas. No obstante, el sistema logra resultados estables mediante un proceso de calibración inicial, donde se iluminan sucesivamente los colores de referencia (rojo, verde, azul claro, violeta, morado, amarillo y blanco) y se almacenan sus valores de conversión analógica-digital.

El circuito se implementó mediante un divisor resistivo conectado a una de las entradas analógicas del microcontrolador. El color identificado se replica visualmente en la tira de LED WS2812, y el servomotor se posiciona en el ángulo correspondiente al color detectado dentro de la hoja de referencia, integrando así un sistema de selección e identificación de color completamente automatizado.

Reconocer colores Como se reconoce un color Un color se puede descomponer en otros colores Colores primarios Colores CYMK Colores RGB Un LDR no puede medir componentes Un LDR solo mide luz reflejada Si iluminamos con luz blanca el LDR mide la cantidad de luz blanca que rebota Seria como tener vision en blanco y negro Algunos colores serian dificiles de identificar

Si iluminamos con otro color el LDR ve la cantidad de luz que refleja de ese color Si iluminamos con rojo, luego verde, y luego azul el LDR puede identificar colores con 3 grados de libertad como el ojo humano.

Se utiliza un led RGB para iluminar con estos colores

El LDR no responde la misma manera a todos los tipos de luz. Los valores medidos no se van a correlacionar de manera directa Con las componentes tradicionales de cada color. Ademas de que existen variaciones de emision de luz entre los mismos colores del led

Sin embargo es suficiente si lo calibramos antes

Utilizando un divisor de voltaje se conecta el ldr a un pin analogico del arduino

Se ilumina con rojo verde y azul para cada color y se recopilan los valores medidos por el ADC

Se mapean los 6 colores de la hoja para tomar como referencias.

Para determinar el color el cual el LDR esta apuntando se calcula cual es el valor más próximo tomando en cuenta los 3 componentes como ejes de libertad realizando un calculo de distancia cartesiana. $A^2 + B^2 + C^2 = D^2$

En este caso rojo verde y azul representan un eje en un espacio tridimensional. Los colores calibrados representan vectores. Y el vector de medición se mueve a lo largo de todo este espacio adquiriendo diferentes valores rgb.

De manera ciclica se mide la distancia del vector medicion con respecto al resto de vectores mapeados para identificar cual es el vector que mas se aproxima al vector medición

Problemas Como medir colores con presicion Como reconocer colores precalibrados Como controlar un servomotor Como controlar una tira LED

Funcionalidades Salida de info por USART Color indicado por angulo en servomotor Color indica

```
#define F_CPU 16000000UL

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <string.h>
```

Listing 1. Librerias utilizadas

```
typedef struct {
    const char *name;
    uint16_t r, g, b;
} ColorRef;

const ColorRef color_refs[] = {
    {"MORADO", 216, 157, 274},
    {"ROJO", 206, 149, 262},
    {"AMARILLO", 196, 99, 105},
    {"VERDE", 272, 192, 152},
    {"AZUL CLARO", 151, 153, 122},
    {"VIOLETA", 253, 275, 338},
    {"BLANCO", 110, 93, 91},
};
```

Listing 2. Mapeado de colores

```
// Convierte un valor entero sin signo en un
// string
void UTOA(uint16_t value, char *buffer) {
    char temp[6];
    int i = 0, j = 0;

    if (value == 0) {
        buffer[0] = '0';
        buffer[1] = '\0';
        return;
    }

    // Convert digits to temp buffer (reversed)
    while (value > 0 && i < sizeof(temp) - 1) {
        temp[i++] = (value % 10) + '0';
        value /= 10;
    }
```

```
// Reverse digits into final buffer
while (i > 0) buffer[j++] = temp[--i];
buffer[j] = '\0';
}
```

Listing 3. Convertidor de unsigned integer a string

```
void send_bit(uint8_t bitVal) {
    if(bitVal) {
        PORTD |= (1<<LED_PIN);
        asm volatile (
            "nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t"
            "nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t");

        PORTD &= ~(1<<LED_PIN);

        asm volatile (
            "nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t");
    } else {
        PORTD |= (1<<LED_PIN);
        asm volatile (
            "nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t");

        PORTD &= ~(1<<LED_PIN);
        asm volatile (
            "nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t"
            "nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t""nop\n\t"
            "nop\n\t");
    }
}

// Envia un Byte a la tira de leds
// Utiliza cli y sei para un timing preciso
void send_byte(uint8_t byte) {
    cli();
    for (uint8_t i = 0; i < 8; i++) {
        send_bit(byte & 0x80); // send most
        // significant bit first
        byte <<= 1; // shift next bit
        // into MSB position
    }
    sei(); // re-enable interrupts
}
```

Listing 4. Envio de datos a tira LED"

```
void usart_init(void) {
    const uint16_t ubrr = (16000000UL / (16UL *
        BAUD_RATE)) - 1;
    UBRR0H = ubrr >> 8;
    UBRR0L = ubrr;
    UCSR0A = 0;
    UCSR0B = (1 << TXEN0) | (1 << RXEN0) | (1 <<
        RXCIE0); // RX interrupt
    UCSR0C = (1 << UCSZ01) | (1 << UCSZ00);
    // 8N1
}

void adc_init(void) {
    ADMUX = (1 << REFS0);
    ADCSRA = (1 << ADEN)
        | (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
    // Prescaler 128
}

void rgb_init(void) {
    DDRB |= (1<<RED) | (1<<GREEN) | (1<<BLUE);
}
```

```

void servo_init(void) {
    SERVO_DDR |= (1 << SERVO_PORT);

    TCCR1A = (1 << COM1A1) | (1 << WGM11);
    TCCR1B = (1 << WGM13) | (1 << WGM12) | (1 <<
    CS11); // 8

    ICR1 = 39999;
}

void ws2812_init(void) { // tira de leds
    LED_DDR |= (1 << LED_PIN);
}

```

Listing 5. Inicializadores

```

void ws2812_send_pixel(uint8_t r, uint8_t g,
    uint8_t b) {
    // Cambiar orden dependiendo de formato de
    tira led o matriz
    send_byte(g);
    send_byte(b);
    send_byte(r);
}

// Encender n leds del mismo color
void ws2812_fill(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b,
    uint16_t n) {
    cli();
    for (uint16_t i = 0; i < n; i++) {
        ws2812_send_pixel(r, g, b);
    }
    sei();
    ws2812_show();
}

// Establecer colores predeterminados
void led_strip_set_color(uint8_t color_id) {
    uint8_t r = 0, g = 0, b = 0;

    switch (color_id) {
        case 1: // Rojo
            r = 255; g = 0; b = 0;
            break;

        case 2: // Amarillo
            r = 255; g = 100; b = 0;
            break;

        case 3: // Verde
            r = 0; g = 255; b = 0;
            break;

        case 4: // Azul claro
            r = 0; g = 255; b = 255;
            break;

        case 5: // Violeta
            r = 100; g = 0; b = 100;

            break;

        case 6: // Morado
            r = 200; g = 0; b = 75;

            break;

        case 7: // Blanco
            r = 255; g = 255; b = 255;
            break;

        default: // Apagar LED
            r = g = b = 0;
    }
}

```

```

        break;
    }

    ws2812_fill(r, g, b, 50);
}

// Establecer angulo en el servomotor
void servo_set_angle(uint8_t angle) {
    uint16_t pulse = 1000 + ((uint32_t)angle *
    4000) / 180;
    OCR1A = pulse;
}

// Leer adc
uint16_t adc_read(uint8_t channel) {
    ADMUX = (ADMUX & 0xF0) | (channel & 0x0F);
    ADCSRA |= (1 << ADSC);
    while (ADCSRA & (1 << ADSC)); //
    Wait for conversion to finish
    return ADC;
}

// Establecer color del led rgb (iluminador)
void rgb_set(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b) {
    PORTB = (PORTB & ~(1 << RED) | (1 << GREEN) | (1
    << BLUE)) |
    ((r << RED) | (g << GREEN) | (b << BLUE));
}

// Identificar color a partir de valores rgb.
// Tomando cada valor calibrado como un vector, se
    determina la distancia
// cartesiana del vector leído por el sensor.
const char* identify_color(uint16_t r, uint16_t g,
    uint16_t b) {
    uint32_t best_dist = 0xFFFFFFFF;
    const char *best_name = "UNKNOWN";

    for (uint8_t i = 0; i < NUM_COLORS; i++) {
        int32_t dr = (int32_t)r - color_refs[i].r;
        int32_t dg = (int32_t)g - color_refs[i].g;
        int32_t db = (int32_t)b - color_refs[i].b;
        uint32_t dist = dr*dr + dg*dg + db*db;

        if (dist < best_dist) {
            best_dist = dist;
            best_name = color_refs[i].name;
        }
    }
    return best_name;
}

```

Listing 6. Funciones de utilidad

```

// programa principal
int main(void) {
    ws2812_init();
    usart_init();
    adc_init();
    rgb_init();
    servo_init();
    sei();

    while (1) {
        rgb_read();
        _delay_ms(50);
    }
}

```

Listing 7. Bucle principal

IV-C. Piano

El sonido es una onda mecánica que se propaga a través de un medio elástico, producto de variaciones periódicas de presión. Estas ondas pueden clasificarse según su forma en senoides, cuadradas, triangulares o diente de sierra, dependiendo del patrón temporal de oscilación. En los sistemas digitales, las señales más sencillas de generar son las ondas cuadradas, donde el voltaje alterna entre dos niveles definidos, representando los estados lógicos alto y bajo del microcontrolador.

Para producir sonido de manera electrónica, se emplean dispositivos piezoeléctricos denominados *buzzers*. Estos transductores convierten la energía eléctrica en vibraciones mecánicas audibles. Cuando el microcontrolador aplica una señal cuadrada a la entrada del buzzer, el material piezoeléctrico se deforma y contrae periódicamente, generando un sonido cuya frecuencia está directamente relacionada con la frecuencia de la señal de entrada.

En el microcontrolador ATmega328P, esta señal se genera mediante el uso de los temporizadores internos (*timers*), configurados para producir una onda cuadrada en un pin de salida. Al modificar la frecuencia de conmutación, es posible variar el tono percibido, ya que la frecuencia del sonido determina su altura musical. De esta manera, cada nota puede asociarse a una frecuencia específica según la escala temperada. Por ejemplo, la nota *La4* corresponde a una frecuencia de 440 Hz, mientras que *Do4* equivale aproximadamente a 262 Hz.

Una nota musical puede representarse computacionalmente mediante dos parámetros fundamentales: la frecuencia de oscilación y la duración temporal durante la cual se mantiene activa. Cuando el buzzer emite una secuencia ordenada de notas, cada una con su tiempo de activación y silencio, se obtiene una melodía. En términos programáticos, una melodía se define como un conjunto de estructuras de datos que contienen pares (frecuencia, tiempo_on, tiempo_off), los cuales son procesados secuencialmente para generar la música deseada.

La reproducción simultánea de varios instrumentos en un entorno digital requiere el manejo de múltiples secuencias de notas en paralelo. Para lograrlo sin recurrir al uso de ciclos de espera activos (*polling*), se utilizan interrupciones asociadas a los temporizadores. De este modo, el microcontrolador puede controlar la duración y el inicio de cada nota de forma independiente y precisa, optimizando el uso del procesador y permitiendo la ejecución de tareas concurrentes, como la lectura de entradas o la comunicación serial, mientras la música continúa sonando de manera autónoma.

En síntesis, el sistema desarrollado utiliza un buzzer piezoeléctrico controlado por los temporizadores del ATmega328P para reproducir notas musicales definidas por su frecuencia y duración. A través de la programación de

secuencias almacenadas en memoria, es posible interpretar melodías completas y gestionar la reproducción de distintas canciones sin intervención del usuario durante la ejecución.

Sonido Que es el sonido Ondas Diferentes tipos de ondas Como hacemos sonido Buzzer Onda cuadrada Como funciona el buzzer Piezo Como lo hacemos sonar con el atmega Variacion de frecuencia Como hacemos otro sonido Cambiamos la frecuencia Como hacemos musica Teoria musical basica Mapeo de notas Una nota es una frecuencia Una frecuencia durante un tiempo es una nota Como guardamos musica Nota musical: frecuencia, tiempo encendido, tiempo apagado Secuencia de notas musicales — musica La musica se compone de varios instrumentos en paralelo Como reproducimos varios instrumentos Evitar polling — Utilizar timers

Problemas Como reproducir sonido Como representar una nota musical Como reproducir pistas en paralelo

Funcionalidades Control por USART Piano fisico

USART con buffers

```
#define TX_BUF_SZ 128
#define TX_MASK (TX_BUF_SZ - 1)

#define RX_BUF_SZ 128
#define RX_MASK (RX_BUF_SZ - 1)

uint8_t tx_buf[TX_BUF_SZ];
uint8_t tx_head = 0, tx_tail = 0;

uint8_t rx_buf[RX_BUF_SZ];
uint8_t rx_head = 0, rx_tail = 0;

uint8_t usart_rx_available(void) {
    return (uint8_t)((rx_head - rx_tail) & RX_MASK);
}

void usart_init_9600(void) {
    const uint16_t ubrr = (16000000UL / (16UL * 9600)) - 1;
    UBRR0H = ubrr >> 8;
    UBRR0L = ubrr;
    UCSR0A = 0;
    UCSR0B = _BV(TXEN0) | _BV(RXEN0) | _BV(RXCIE0);
    // <- RX interrupt
    UCSR0C = _BV(UCSZ01) | _BV(UCSZ00);
    // 8N1
}

// USART
void usart_init_9600(void) {
    const uint16_t ubrr = (16000000UL / (16UL * 9600)) - 1;
    UBRR0H = ubrr >> 8;
    UBRR0L = ubrr;
    UCSR0A = 0;
    UCSR0B = _BV(TXEN0) | _BV(RXEN0) | _BV(RXCIE0);
    // <- RX interrupt
    UCSR0C = _BV(UCSZ01) | _BV(UCSZ00);
    // 8N1
}

// Escribir byte al buffer
uint8_t usart_write_try(uint8_t b) {
    uint8_t next = (uint8_t)((tx_head + 1) & TX_MASK);
```

```

    if (next == tx_tail) return 0;
    // buffer lleno
    tx_buf[tx_head] = b;
    tx_head = next;
    UCSROB |= _BV(UDRIE0);
    // kick the ISR
    return 1;
}

// Escribir string al buffer
uint16_t usart_write_str(const char *s) {
    uint16_t n = 0;
    while (*s && usart_write_try((uint8_t)*s++)) n++;
    return n;
}

// Leer byte del buffer de recepcion
uint8_t usart_read_try(uint8_t *b) {
    if (rx_head == rx_tail) return 0;
    *b = rx_buf[rx_tail];
    rx_tail = (uint8_t)((rx_tail + 1) & RX_MASK);
    return 1;
}

// Interrupcion de registro de TX libre
ISR(USART_UDRE_vect) {
    if (tx_head == tx_tail) {
        UCSROB &= (uint8_t)~_BV(UDRIE0);
        return;
    }
    UDR0 = tx_buf[tx_tail];
    tx_tail = (uint8_t)((tx_tail + 1) & TX_MASK);
}

// Interrupcion de dato recibido
ISR(USART_RX_vect) {
    uint8_t d = UDR0;
    uint8_t next = (uint8_t)((rx_head + 1) & RX_MASK);
    if (next != rx_tail) {
        rx_buf[rx_head] = d;
        rx_head = next;
    }
}

```

Listing 8. Funciones USART con buffering

Formato de guardado de canciones

```

// Midi tracks
// Generated using https://github.com/ShivamJoker/
// MIDI-to-Arduino
const int midiC[827][3] PROGMEM = {
    {E5, 94, 0},
    {B4, 94, 0},
    {A4, 94, 0},
    {E4, 94, 0},
    {A4, 94, 0},
    {B4, 94, 0}
    // ...
}

```

Listing 9. Guardado de canciones

```

void handleUSART(uint8_t character){
    if (character == '1'){
        mode = 1;
        eventAoff = 1;
        eventBoff = 0;

        song = 0;

        eventAon = 0; // Encender track A
    }
}

```

```

    indexA = 0; // Posicion track A
    countA = 0; // Conteo de overflow de notas
    de track A
    maxCountAon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en A
    maxCountAoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en A
    enableCountAon = 0; // Habilitar conteo de
    encendido en A
    enableCountAoff = 0; // Habilidad conteo
    de apagado en A

    eventBon = 0; // Encender track B
    indexB = 0; // Posicion track B
    countB = 0; // Conteo de overflow de notas
    de track B
    maxCountBon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en B
    maxCountBoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en B
    enableCountBon = 0; // Habilitar conteo de
    encendido en B
    enableCountBoff = 0; // Habilidad conteo
    de apagado en B

    PCICR &= ~((1 << PCIE1) | (1 << PCIE2));
    stopFrequencyB();

} else if (character == '2'){
    mode = 1;
    eventAoff = 1;
    eventBoff = 1;

    song = 1;

    eventAon = 0; // Encender track A
    indexA = 0; // Posicion track A
    countA = 0; // Conteo de overflow de notas
    de track A
    maxCountAon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en A
    maxCountAoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en A
    enableCountAon = 0; // Habilitar conteo de
    encendido en A
    enableCountAoff = 0; // Habilidad conteo
    de apagado en A

    eventBon = 0; // Encender track B
    indexB = 0; // Posicion track B
    countB = 0; // Conteo de overflow de notas
    de track B
    maxCountBon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en B
    maxCountBoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en B
    enableCountBon = 0; // Habilitar conteo de
    encendido en B
    enableCountBoff = 0; // Habilidad conteo
    de apagado en B

    PCICR &= ~((1 << PCIE1) | (1 << PCIE2));
    stopFrequencyA();

} else if (character == 'P'){
    mode = 0;
    eventAoff = 0;
    eventBoff = 0;

    eventAon = 0; // Encender track A
    indexA = 0; // Posicion track A
    countA = 0; // Conteo de overflow de notas
    de track A
    maxCountAon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en A
}

```

```

    maxCountAoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en A
    enableCountAon = 0; // Habilitar conteo de
    encendido en A
    enableCountAoff = 0; // Habilidad conteo
    de apagado en A

    eventBon = 0; // Encender track B
    indexB = 0; // Posicion track B
    countB = 0; // Conteo de overflow de notas
    de track B
    maxCountBon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en B
    maxCountBoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en B
    enableCountBon = 0; // Habilitar conteo de
    encendido en B
    enableCountBoff = 0; // Habilidad conteo
    de apagado en B

    startDebounceTimer();
    stopFrequencyA();
    stopFrequencyB();
}

```

Listing 10. Manejo de eventos RX USART

```

void playFrequencyA(uint16_t freq) {
    if (!freq) return;

    DDRD |= (1 << PORTD6);

    // Elegir prescaler adecuado para esa
    frecuencia

    uint8_t presc_bits = 0;
    uint16_t ocr = 0;

    const uint16_t presc_list[] = {8, 64, 256,
    1024};
    const uint8_t bits_list[] = {0b010, 0b011, 0
    b100, 0b101};

    for (uint8_t i = 0; i < 4; i++) {
        ocr = (F_CPU / (2UL * presc_list[i] * freq
        )) - 1;
        if (ocr <= 255) {
            presc_bits = bits_list[i];
            break;
        }
    }

    TCCR0A = (1 << COM0A0) | (1 << WGM01);
    TCCR0B = presc_bits;
    OCR0A = (uint8_t)ocr;
}

```

Listing 11. Reproduccion de frecuencias

```

uint8_t eventAon = 0; // Encender track A
uint8_t eventAoff = 0; // Apagar track A
uint16_t indexA = 0; // Posicion track A
uint16_t countA = 0; // Conteo de overflow de
    notas de A
uint16_t maxCountAon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en A
uint16_t maxCountAoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en A
uint8_t enableCountAon = 0; // Habilitar conteo de
    encendido en A
uint8_t enableCountAoff = 0; // Habilidad conteo
    de apagado en A

```

```

uint8_t eventBon = 0; // Encender track B
uint8_t eventBoff = 0; // Apagar track B
uint16_t indexB = 0; // Posicion track B
uint16_t countB = 0; // Conteo de overflow de
    notas de B
uint16_t maxCountBon = 0; // Maximo conteo de
    overflow encendido en B
uint16_t maxCountBoff = 0; // Maximo conteo de
    overflow apagado en B
uint8_t enableCountBon = 0; // Habilitar conteo
    encendido en B
uint8_t enableCountBoff = 0; // Habilitar conteo
    apagado en B

```

Listing 12. Variables de control de flujo

```

int main(void) {
    timer1_init();
    usart_init_9600();
    init_piano_buttons();
    sei();

    usart_write_str("Elija una opcion:\r\n");
    usart_write_str("[1] Dragon Ball - Cha-La Head
    -Cha-La\r\n");
    usart_write_str("[2] Portal - Still alive\r\n"
    );
    usart_write_str("[P] Modo piano\r\n");

    while (1){
        if (mode == 0){
            piano_mode();
        } else if (mode == 1){
            song_mode();
        }
        uint8_t c;
        if (usart_read_try(&c)) {
            handleUSART(c);
        }
    }
}

```

Listing 13. Variables de control de flujo

IV-D. Cerradura

El sistema de cerradura electrónica desarrollado tiene como objetivo controlar el acceso mediante una contraseña numérica almacenada en memoria no volátil. Inicialmente, el dispositivo se encuentra en estado de *candado cerrado*. Cuando el usuario ingresa la contraseña correcta, el sistema cambia al estado de *candado abierto*, permitiendo el acceso. En caso de introducir una contraseña incorrecta tres veces consecutivas, se activa una alarma acústica a través de un buzzer, indicando un intento de acceso no autorizado.

El sistema también permite modificar la contraseña almacenada. Para ello, el usuario debe ingresar primero la contraseña actual y, tras su validación, definir una nueva contraseña de entre cuatro y seis dígitos. Esta nueva clave se almacena permanentemente en la memoria EEPROM del microcontrolador, garantizando su persistencia incluso después de un apagado o reinicio del sistema.

IV-D1. Interfaz de usuario e interacción: La cerradura dispone de una interfaz de usuario compuesta por una

pantalla LCD de 16x2, un teclado matricial 4x4 y tres indicadores luminosos (LED verde, LED rojo y alarma sonora). En este contexto, la interfaz constituye el medio de comunicación entre el usuario y el sistema, mostrando mensajes informativos y recibiendo acciones por medio del teclado. Cada interacción del usuario genera una respuesta visual o acústica distinta, representando así un flujo de diálogo entre ambos.

El sistema se diseñó siguiendo una lógica de *máquina de estados finitos*, en la que cada modo de operación (menú principal, ingreso de contraseña, cambio de clave, acceso autorizado, alarma, etc.) representa un estado. Las transiciones entre estados se producen en función de las acciones del usuario y las condiciones del sistema. Este enfoque facilita la gestión de comportamientos complejos, simplifica el control del flujo de ejecución y mejora la legibilidad del código.

IV-D2. Teclado matricial y detección de teclas: El ingreso de datos se realiza mediante un teclado matricial 4x4 que combina filas y columnas, optimizando el uso de pines del microcontrolador. Las filas se configuran como salidas y las columnas como entradas con resistencias de *pull-up* activadas. El proceso de lectura consiste en activar una fila a nivel bajo (0) mientras las demás permanecen en alto (1); si alguna tecla de esa fila se encuentra presionada, la columna correspondiente cambia a nivel bajo, permitiendo identificar la intersección entre fila y columna.

Cada tecla se asocia a un carácter según su posición dentro de la matriz, lo que permite retornar el valor numérico o simbólico correspondiente. Para evitar falsas detecciones debido al rebote mecánico de los contactos, se aplica una rutina de *debouncing* por software basada en pequeños retardos temporizados.

IV-D3. Gestión temporal y concurrencia de tareas: Durante el funcionamiento, el sistema debe ejecutar múltiples tareas de forma paralela: reproducción de sonidos, manejo de alarmas, parpadeo de LEDs, lectura del teclado y actualización de la pantalla LCD. Sin embargo, el ATmega328P dispone de un número limitado de temporizadores, por lo que no es posible asignar un temporizador independiente a cada tarea.

Para resolver esta limitación, se implementó un esquema de ejecución basado en un *planificador de tareas* o *task scheduler* de propósito general. Se utiliza un solo temporizador configurado para generar interrupciones periódicas, incrementando un contador global de 32 bits que actúa como referencia temporal (en milisegundos). Cada tarea compara el tiempo actual con el instante programado de su próxima ejecución, y si se cumple el intervalo, se ejecuta la acción correspondiente. De este modo, múltiples eventos temporizados pueden coexistir sin emplear retardos bloqueantes ni técnicas de *polling*.

IV-D4. Almacenamiento persistente de la contraseña: Para asegurar que la contraseña permanezca almacenada tras un apagado, se utiliza la memoria EEPROM interna del

ATmega328P. Esta memoria no volátil permite conservar los datos durante décadas sin alimentación eléctrica, aunque posee un número limitado de ciclos de escritura (aproximadamente 10^5 operaciones por celda). Por ello, el sistema únicamente escribe en EEPROM cuando el usuario confirma un cambio de contraseña, minimizando el desgaste de la memoria.

La lectura y escritura se realizan mediante las funciones de la biblioteca estándar `avr/eeprom.h`, que permiten transferir cadenas de caracteres directamente desde y hacia direcciones específicas de la EEPROM. Así, el sistema recupera la contraseña almacenada al inicio del programa y la compara con la ingresada por el usuario durante la operación normal.

IV-D5. Resumen de funcionamiento: En conjunto, la cerradura electrónica combina la interacción mediante teclado y pantalla LCD, la gestión de tareas en tiempo real y el almacenamiento persistente de datos, logrando un sistema confiable y autónomo. El uso de una máquina de estados y un planificador temporal basado en un único temporizador permite controlar de manera eficiente múltiples procesos simultáneos sin bloquear la ejecución principal del programa.

Cerradura Que tiene que hacer Candado cerrado Contraseña correcta Candado abierto Sino 3 veces alarma

Cambiar contraseña Contra actual Contra nueva Guardado

Contraseñas tienen que ser entre 4 y 6 digitos

Problema Una interfaz de usuario Que es una interfaz Entradas y salidas El usuario hace algo y la interfaz muestra algo Es la parte del programa o sistema que se encarga de hablar con el usuario. Diferentes acciones muestran o hacen diferentes cosas Máquina de estados — Transiciones de estado. Problema: Reproducir sonidos, hacer debouncing, manejar alarmas, pantalla LCD. No existen suficientes timers Solucion: tareas o tasks Utilizar un contador de tiempo interno de 32 bits junto con un solo timer para manejar tareas en paralelo

La tarea se ejecuta rápidamente en el main y compara el tiempo que paso con el tiempo especificado para una acción especifica.

Un solo timer. Muchos delays sin polling.

Otro problema Contraseña debe ser guardada aunque el sistema esté apagado Solucion EEPROM Funcionamiento de la eeprom limitaciones de escritura de EEPROM Como leer Como escribir

Otro problema Teclado matricial Usa menos pines, uno por fila uno por columna Como identificar botones presionados Respuesta multiplexado Filas funcionan como salidas Columnas funcionan como entradas (pullup interno) Al solamente apagar una fila a la vez (0) va a hacer que el pin de esa columna se vuelva 0 Funcion retorna el caracter que representa esa fila y columna Listo.

Diagrama de Flujo

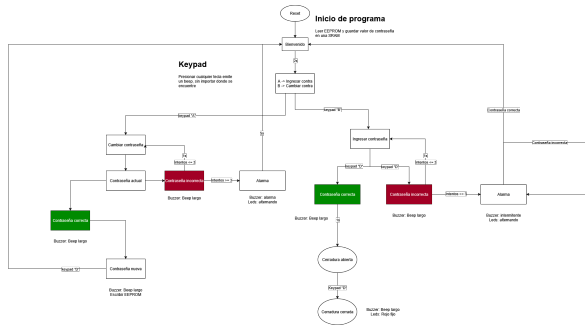


Figura 1. Diagrama de flujo. Fuente: elaboración propia

Librerías para lcd

```
#include "i2c_master.h"
#include "i2c_master.c"
#include "liquid_crystal_i2c.h"
#include "liquid_crystal_i2c.c"

int main(void) {
    LiquidCrystalDevice_t device = lq_init(0x27,
    16, 2, LCD_5x8DOTS);
    lq_turnOnBacklight(&device);
    char welcomeText[] = "Bienvenido!";
    lq_print(&device, welcomeText);
    while (1);
}
```

Listing 14. Librerías utilizadas para pantalla LCD

Implementacion de tareas

```
uint32_t millis_counter = 0;

// Mapeo de keypad
const char keypad[4][4] = {
    {'1', '2', '3', 'A'},
    {'4', '5', '6', 'B'},
    {'7', '8', '9', 'C'},
    {'*', '0', '#', 'D'}
};

uint32_t keypad_on_at = 0;
uint8_t keypad_enable = 1;

ISR(TIMER0_OVF_vect) {
    millis_counter++;
}

uint32_t millis_now(void) {
    uint32_t m;
    cli(); // disable interrupts
    m = millis_counter;
    sei(); // re-enable
    return m;
}

void keypad_debounce_ms(uint16_t delay_ms) {
    keypad_enable = 0;
    keypad_on_at = millis_now() + delay_ms;
}

void keypad_task(void) {
    if (!keypad_enable && (millis_now() >
    keypad_on_at)) {
        keypad_enable = 1;
    }
}
```

```
int main(void) {
    // main code ...
    while (1) {
        keypad_task();
        // loop code ...
    }
}
```

Listing 15. Implementacion de tareas

Lectura multiplexada de keypad

```
char keypad_scan(void) {
    if (!keypad_enable) return 0;

    uint8_t row, col;
    uint8_t cols;
    static uint8_t prevKey; // store for later

    for (row = 0; row < 4; row++) {
        PORTD = (PORTD | 0xF0) & ~(1 << (row + 4));
        _delay_us(5);
        cols = PIND & 0x0F;

        for (col = 0; col < 4; col++) {
            if (!(cols & (1 << col)) ) {
                if ((prevKey == keypad[row][col]))
                    return 0;

                keypad_debounce_ms(200);
                prevKey = keypad[row][col];
                return keypad[row][col];
            }
        }
    }
    prevKey = 0;
    return 0;
}
```

Listing 16. Funcion de lectura multiplexada de keypad

Tarea de alarma

```
void alarm_task(void) {
    if (!alarm_active) return;
    uint32_t now = millis_now();

    if (now > alarm_until) {
        alarm_active = 0;
        PORTB &= ~(1 << PORTB5);
        led_red_on();
        return;
    }

    if (now > alarm_next_toggle) {
        alarm_next_toggle = now + ALARM_TOGGLE_MS;
        if (alarm_phase) {
            led_red_on();
        } else {
            led_green_on();
        }
        alarm_phase ^= 1;

        buzzer_beep(100);
    }
}
```

Listing 17. Tarea de alarma

Logica de estados

```
typedef enum { UI_MENU, UI_INGRESO,
    UI_CAMBIO_ACTUAL, UI_CAMBIO_NUEVA, UI_ABIERTO,
```



```

    UI_ALARMA } ui_state_t;

int main(void) {
    while(1) {
        char key = keypad_scan();
        if (key) {
            switch (ui_state)
            {
                case UI_MENU: break;
                case UI_INGRESO: break;
                case UI_CAMBIO_ACTUAL: break;
                case UI_CAMBIO_NUEVA: break;
                case UI_CAMBIO_ALARMA: break;
                case UI_CAMBIO_ABIERTO: break;
            }
        }
    }
}

```

Listing 18. Logica de estados

V. CONCLUSIONES

REFERENCIAS

- [1] Microchip Technology Inc. Atmega328p datasheet. [Online]. Available: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [2] circuito.io. (2018) Arduino uno pinout diagram. [Online]. Available: <https://www.circuito.io/blog/arduino-uno-pinout/>
- [3] ARXterra. Addressing modes — 8-bit avr instruction set. [Online]. Available: <https://www.arxterra.com/3-addressing-modes/>
- [4] Software Particles. (2024, Apr.) Learn how an 8x8 led display works and how to control it using an arduino. Figura: 8x8 LED matrix pin mapping (imagen del artículo). [Online]. Available: <https://softwareparticles.com/learn-how-an-8x8-led-display-works-and-how-to-control-it-using-an-arduino/>
- [5] Carpeta del laboratorio (google drive). Carpeta compartida del laboratorio. [Online]. Available: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1fP0aILozXeapRgDPDNWT1TRhAYr1PPPT>
- [6] Microchip Community (AVR Freaks). Avr freaks — comunidad de desarrolladores avr. Foros técnicos y soluciones prácticas sobre AVR. [Online]. Available: <https://www.avrfreaks.net/>
- [7] J. Ganssle. A guide to debouncing. Referencia clásica para anti-rebote en pulsadores/encoders. [Online]. Available: <https://www.ganssle.com/debouncing.htm>
- [8] G. Schmidt. (2021, Sep.) Beginners introduction to the assembly language of atmel-avr-microprocessors. Tutorial de avr-asm-tutorial.net (revisión septiembre 2021). [Online]. Available: <https://kitsandparts.com/tutorials/assemblers/BeginnersAVRasm.pdf>
- [9] T. Redelberger. (2019, Apr.) Avr assembler for complex projects. Versión 0.4 (2019-04-06). [Online]. Available: https://web222.webclient5.de/doc/swdev/avrasm/advavrasm2/AdvancedUseAVRASM2_en_20190406.pdf
- [10] Laboratorio de Microcontroladores, UTEC, “Repositorio de laboratorio de microcontroladores (tec.micro),” <https://github.com/MateoLecuna/Tec.Micro>, 2025, accedido el 26 de septiembre de 2025.

VI. ANEXOS