UNIVERSIDAD POLITÉCTICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y DISEÑO INDUSTRIAL

TRABAJO DE MICROS:

MÁQUINA DESPACHADORA DE REFRESCOS

MATERIA:

SISTEMAS ELÉCTRÓNICOS DIGITALES

INTEGRANTES:

- GUTIÉRREZ LÓPEZ JOSUE
- OCARANZA MORALES JENNIFER
- TELLEZ QUINTANA RICARDO

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

Durante este proyecto se va a diseñar una máquina expendedora de refrescos con las siguientes características:

Admite monedas de 10c, 20c, 50c y 1€. Sólo admite el importe exacto, de forma que si introducimos dinero de más da un error y "devuelve" todo el dinero. Cuando se llega al importado exacto del refresco (1€) se activará una señal para dar el producto. Como entradas tendrán señales indicadoras de la moneda, señales indicadoras de producto y como salidas la señal de error y la de producto.

Implementaciones en VHDL

Uno de los aspectos más destacables es la capacidad de operar en dos modos diferentes mediante un interruptor (sw_c). En el modo de cambio (sw_c = '1'), la máquina permite ingresar una cantidad superior al precio exacto del producto, calcula el cambio correspondiente, lo muestra en el display de 7 segmentos y posteriormente entrega el producto. Por otro lado, en el modo sin cambio (sw_c = '0'), la máquina no permite excedentes y solo acumula dinero hasta alcanzar el importe exacto, mostrando el monto acumulado en el display y emitiendo una señal de error si se intenta introducir más dinero del necesario. Esta funcionalidad proporciona flexibilidad y mejora la experiencia del usuario al adaptarse a distintas situaciones.

Además, la máquina permite seleccionar entre tres diferentes precios de refresco, lo que amplía las opciones disponibles para los usuarios. Cada precio está asociado a un producto específico, identificado mediante caracteres en el display de 7 segmentos: d para el producto 1, E para el producto 2 y F para el producto 3. Esta información se muestra junto con el precio correspondiente, permitiendo al usuario visualizar de manera clara el producto seleccionado y su costo.

El diseño incluye un controlador lógico encargado de gestionar todas las señales de entrada y salida del sistema. Este controlador valida las monedas ingresadas, determina si se debe devolver cambio y activa la señal para la entrega del producto una vez que se alcanza el importe necesario. En caso de errores, como introducir dinero de más en el modo sin cambio, el sistema genera una señal de error y devuelve automáticamente todo el dinero ingresado.

Implementaciones para el Micro

El microcontrolador STM32F411E-DISCO desempeñó un papel fundamental en la comunicación en serie SPI entre él mismo, actuando como Máster, y la FPGA, que actúa como Slave. Este sistema de comunicación permite dividir las funciones de la máquina despachadora de refrescos en dos componentes principales:

1. Cálculos y procesamiento de datos: Realizados por la FPGA. La FPGA procesa todas las señales provenientes de los sensores y botones, ejecutando las operaciones necesarias para el funcionamiento de la máquina.
2. Interacción con el usuario: Este detecta las acciones del usuario mediante botones e interruptores, los cuales están configurados para enviar datos en tiempo real a la FPGA a través de comunicación SPI. Además, el microcontrolador se encarga de proyectar información relevante en el display y controlar los LEDs indicativos.

El microcontrolador se utiliza específicamente para las funciones de interfaz y botones para facilitar el uso del usuario final. Aunque el procesamiento central lo realiza la FPGA, el microcontrolador actúa como un puente entre las acciones del usuario y el sistema principal, gestionando las respuestas de la FPGA para mostrarlas al usuario.

Funciones específicas del microcontrolador:

- Proyección de información: El microcontrolador recibe datos desde la FPGA y los transforma en salidas visibles para el usuario, como información en el display de 7 segmentos o señales visuales a través de LEDs. Por ejemplo:
    - Cuando la máquina entra en estado de error, los LEDs parpadean para indicar el problema.
    - Durante el despacho de un producto, los LEDs cambian a otro patrón distintivo para indicar que el proceso está en curso y parará hasta el momento en que se toma la bebida.
- Botones: Los botones están conectados al microcontrolador y envían datos a la FPGA dependiendo del estado actual del sistema. Cada botón representa una función específica, como seleccionar un producto o reiniciar el proceso.

Configuración de datos entre Nexys y el microcontrolador:

- La FPGA Nexys cuenta con 8 entradas digitales conectadas al microcontrolador. Estos 8 bits se envían desde la FPGA al microcontrolador para proporcionar información esencial sobre el estado del sistema.
- Por su parte, la FPGA envía al microcontrolador un paquete de datos de 24 bits, que este utiliza para tomar decisiones y ejecutar las tareas correspondientes. La comunicación es bidireccional y se realiza mediante 3 paquetes de 8 bits, garantizando la sincronización de las operaciones.

DESARROLLO

CONTROLADOR DE LA MAQUINA DESPACHADORA DE REFRESCOS.

Para el diseño de nuestra máquina expendedora de refrescos, se optó por implementar una máquina de estados finitos (FSM) debido a la naturaleza secuencial de las operaciones que debe realizar. La FSM permite modelar de manera eficiente los diferentes pasos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, garantizando una transición clara entre las etapas según las entradas y condiciones establecidas. En este proyecto, cada estado de la FSM representa una etapa clave del funcionamiento de la máquina. La descripción del funcionamiento del controlador se hizo en el documento del trabajo de VHDL, por lo que en este documento solo se comentara de forma general.

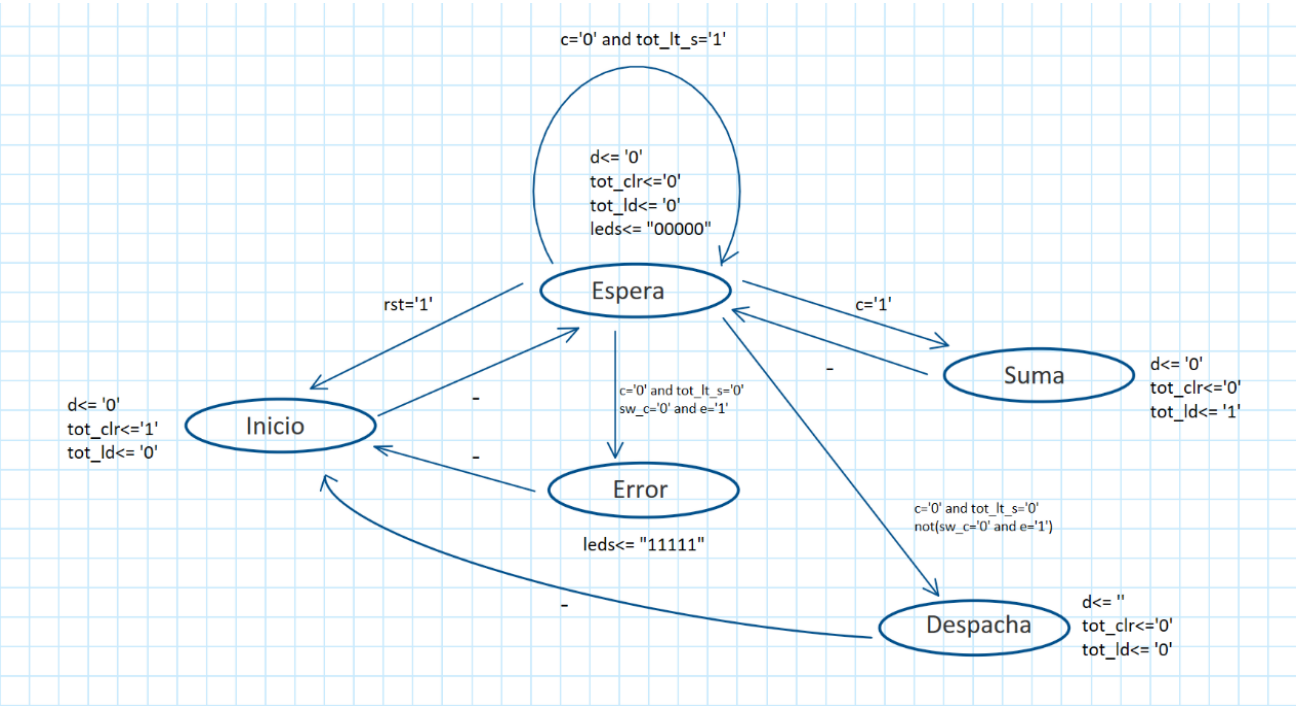


Figura 1. Máquina de estados para el controlador de la Maquina de refrescos despachadora.

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA MAQUINA DESPACHADORA DE REFRESCOS.

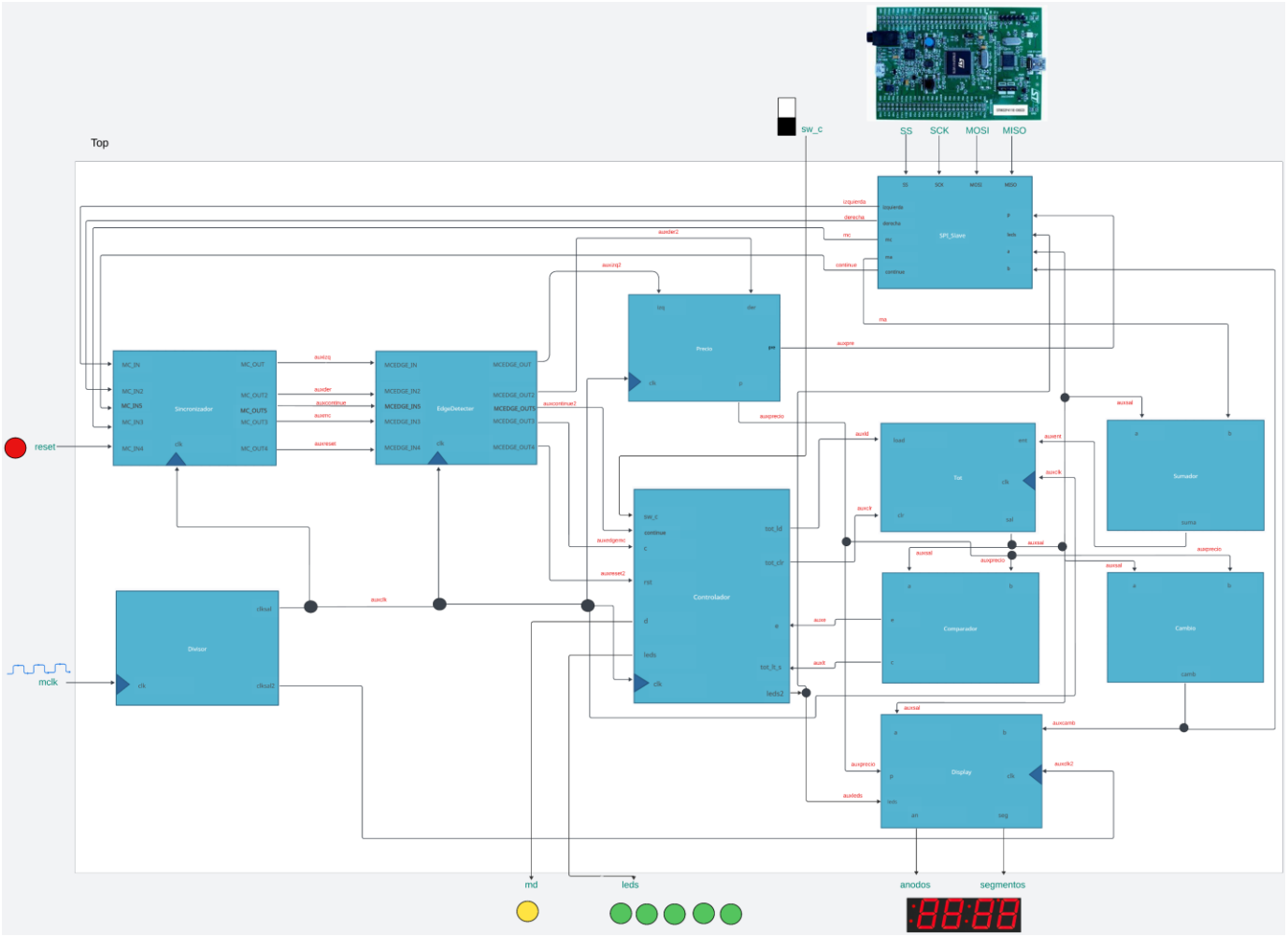


Figura 2. Diagrama de bloques de la Maquina Despachadora de Refrescos adaptada para la comunicación en serie.

Al igual que la máquina de estados anteriormente mencionada, la descripción a detalle de este diagrama de bloques se realizó en el documento del trabajo VHDL, por lo que en este reporte se dará a conocer a detalle cómo se logró la comunicación en serie entre el micro y la FPGA misma que fue posible gracias a la entidad SPI_SLAVE (bloque utilizado en la descripción en VHDL).

PRUEBAS DE MICROCONTROLADOR

En las pruebas realizadas con el microcontrolador se integraron diferentes dispositivos clave para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina despachadora de refrescos. A continuación, se detallan las pruebas y resultados obtenidos con cada componente.

Sensor HC-SR04

Una de las pruebas realizadas para el correcto funcionamiento del proyecto final fue el del uso del sensor HC-SR04, el cual lo usaremos para detectar cuando el refresco despachado sea tomado por el cliente.

Este se programará mediante interrupciones y solo cuando queramos conocer el valor de la distancia a la que se encuentra el refresco se llamará a la interrupción para que le diga al micro el valor deseado. Posteriormente cuando supera cierta distancia indica que fue tomado el refresco y finalmente toma la indicación deseada.

Figura 3. Sensor HC-SR04.

Para este se configuró un temporizador para medir el tiempo de retorno de la señal del sensor, lo que permite calcular la distancia al objeto.

LCD 16 X 2

Para que tengamos una interfaz amigable para el cliente final se colocará un LCD para crear el menú en el cual aparecerá toda la información sobre el funcionamiento de la maquina y que el cliente pueda seleccionar el refresco.

Para este se usará una librería para facilitar el funcionamiento del LCD

Figura 4. LCD 16 X 2.

Para este configuramos una comunicación con este periférico mediante I2C y se configuró de la siguiente forma:

Pin Na...	Signal on ...	GPIO outp...	GPIO mode	GPIO Pull-...	Maximum ...	User Label	Modified
PB8	I2C1_SCL	n/a	Alternate ...	No pull-up ...	Very High		☑
PB9	I2C1_SDA	n/a	Alternate ...	No pull-up ...	Very High		☐

Figura 5. Configuración puertos LCD por comunicación I2C.

Interruptores y comunicación

Antes de que este funcionando por completo el microcontrolador se realizaron pruebas de interruptores para ver si en efecto se mandaba correctamente la información a la nexys, dentro de esta prueba de igual de comprobó que la comunicación entre estos se realizara de forma correcta con la configuración deseada la cual es Full Duplex ya que siempre que el micro que es el maestro mande la señal de lectura y escritura, haga estos dos de forma simultánea.

Esta prueba es de las mas importantes ya que si la comunicación no funciona de forma correcta, todo lo demás podría no funcionar correctamente.

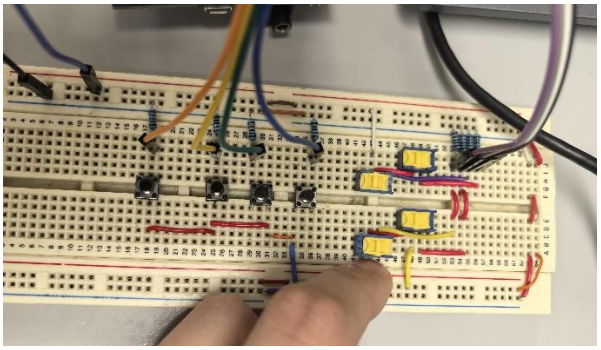


Figura 6. Configuración de interruptores.

Todas las conexiones tienen resistencias en configuración de Pull-Down para que por defecto tenga valores de 0 y le envíe 5V cuando se pulse el botón.

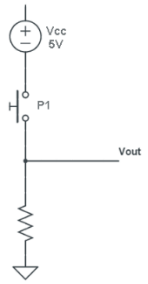


Figura 7. Conexión Pull-Down ocupada para mandar datos a la Nexys .

Aparte de esto anteriormente se realizaron pruebas de comunicación con Arduino para la programación del microcontrolador y así poder tener todo listo para el momento de la prueba con la Nexys, este fue mediante comunicación I2C.

ESTRATEGIA Y ALGORITMOS DESARROLLADOS

TIM 1

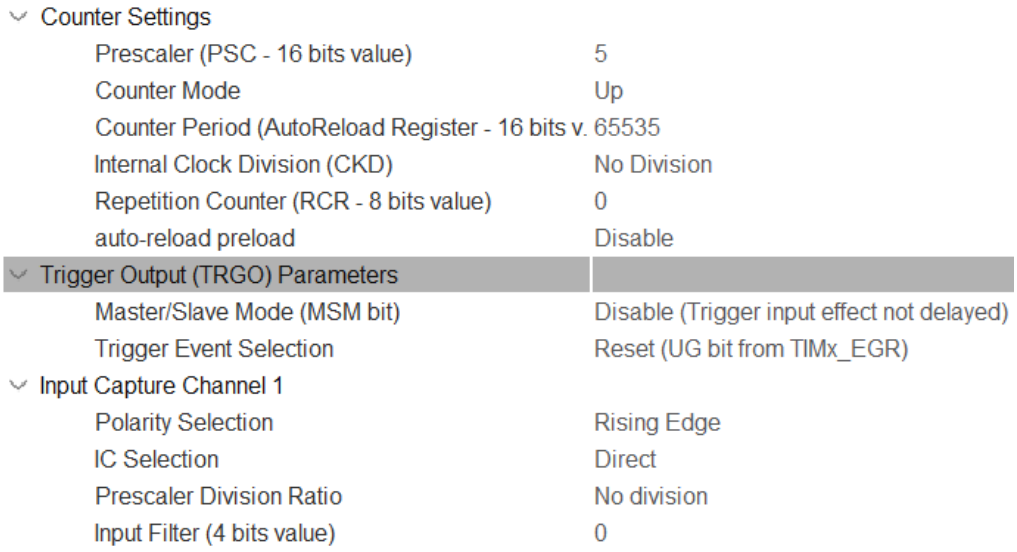


Figura 8. Configuración TIM1.

Este se ocupó como anteriormente se mencionó para el correcto funcionamiento del sensor ultrasónico. Estas fueron las configuraciones utilizadas para que funcionara de forma adecuada.

I2C1

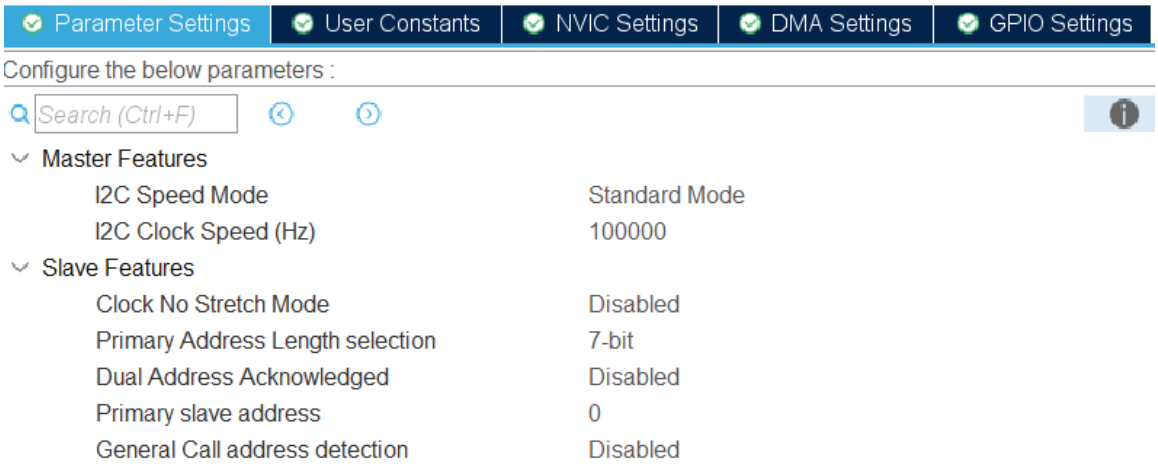


Figura 9. Configuración I2C1.

Estas son las configuraciones establecidas para que el Display pudiera proyectar de forma adecuada el menú de opciones que explicaremos un poco más adelante.

SPI1

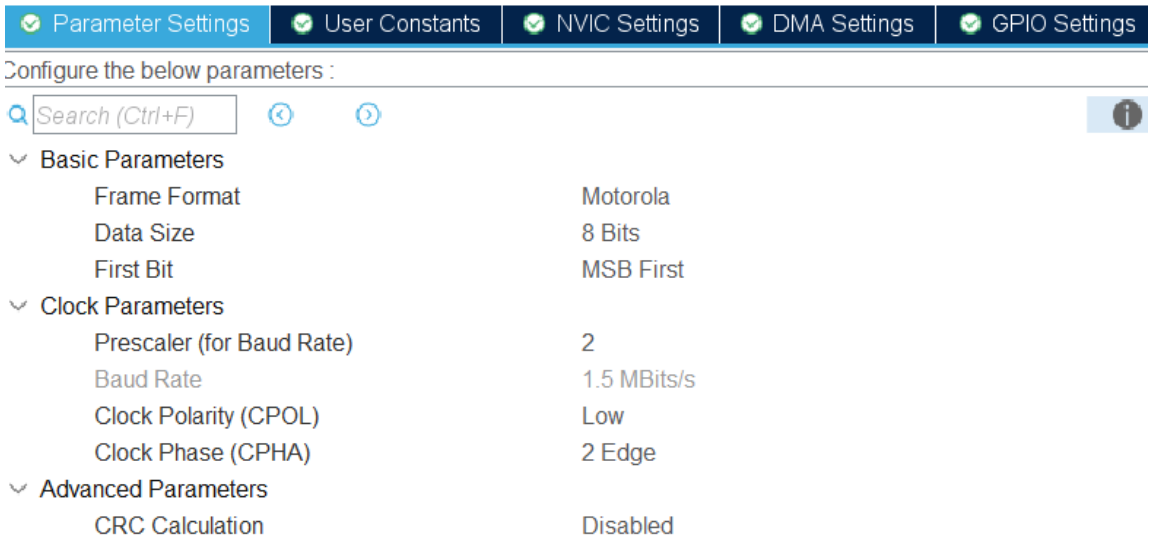


Figura 10. Configuración SPI1.

Adicionalmente tenemos estas configuraciones para que pusiera existir la comunicación entre la nexys y el micro, siendo el micro el maestro. Esta comunicación es Full-Duplex ya que se lee y se escribe al mismo tiempo en el micro mediante dos buses de datos. La señal de reloj es impuesta por el micro, al igual que la señal de inicio y fin del envío y recepción de datos.

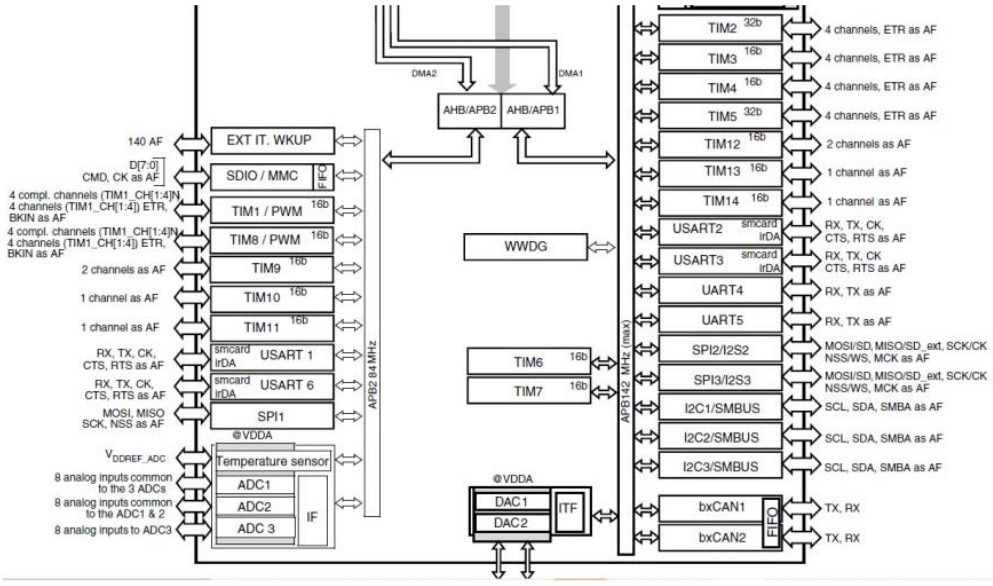


Figura 11. Diagrama buses señales de reloj STM32F411 E-DISCO.

Todos estos dispositivos al ocupar diferentes velocidades de la señal de reloj se tuvieron que establecer de este modo ya que utilizaremos los buses principales de las señales de reloj en el cual nuestra comunicación y el funcionamiento del sensor estarán ligados al bus APB2 y el uso de nuestra interfaz estarán conectados al APB1, para que de este modo poder trabajar a velocidades deseadas.

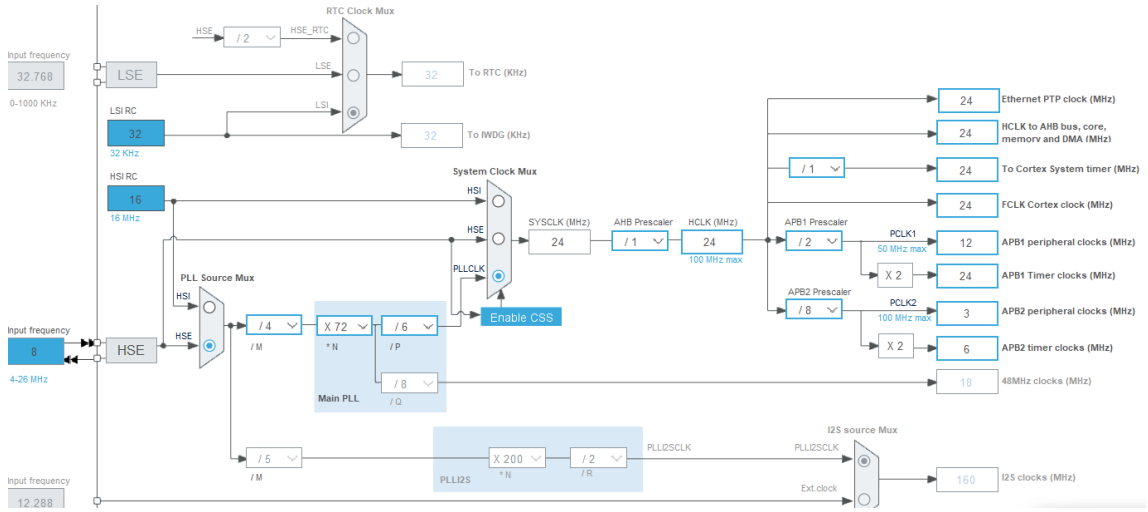


Figura 12. Configuración del Clock en el Microcontrolador.

La configuración de las señales de reloj las podemos ver a continuación, sobre todo podemos notar las configuraciones realizadas en los puertos APB1 y APB2.

Aparte de esto se trabajará con el cristal cerámico que sería nuestra señal de reloj externa que está conectada predeterminadamente en nuestro micro.

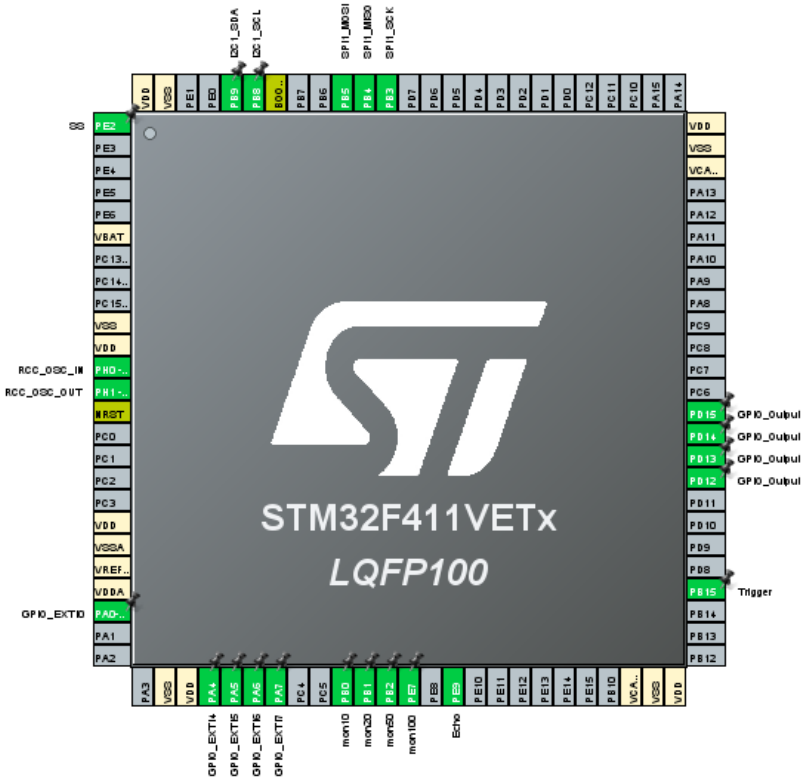


Figura 13. Configuración de puertos en el Microcontrolador.

Por último, para terminar la parte de las configuraciones establecidas en el micro podemos ver cómo es que quedarán las conexiones que se realizarán en este, combinando todo lo realizado en las distintas pruebas.

Librerías.

Dentro de la librería del Sensor HC-SR04 podemos ver que como se mencionó anteriormente, este está trabajando mediante interrupciones ya que solo cuando lo desea el programador solicitara que le mande el valor de la distancia a la que se encuentra el objeto, pero este se encuentra trabajando todo el tiempo.

```
void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    if(htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_1)
    {
        if(flag_captured == 0)
        {
            t_ini = HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim, TIM_CHANNEL_1);
            flag_captured = 1;
            __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim, TIM_CHANNEL_1, TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_FALLING);
        }

        else if(flag_captured == 1)
        {
            t_end = HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim, TIM_CHANNEL_1);
            __HAL_TIM_SetCounter(htim, 0);

            if(t_end > t_ini){
                t_time = t_end - t_ini;
            }
            else if(t_ini > t_end){
                t_time = (0xFFFF - t_ini) + t_end;
            }

            dist = (uint16_t)((t_time*0.034)/2);
            flag_captured = 0;

            __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim, TIM_CHANNEL_1, TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_RISING);
            __HAL_TIM_DISABLE_IT(&htim1, TIM_IT_CC1);
        }
    }
}
void HCSR04_Init(void)
{
    HAL_GPIO_WritePin(Trigger_GPIO_Port, Trigger_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_TIM_IC_Start_IT(&htim1, TIM_CHANNEL_1);
}
```

Figura 14. Librería utilizada para el sensor HC-SR04.

Código.

Ahora analizaremos el código parte por parte para comprender su funcionamiento.

- *Librerías*

```
/* USER CODE END Header */
/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
#include "main.h"
#include "i2c.h"
#include "spi.h"
#include "tim.h"
#include "gpio.h"

/* Private includes ----------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "i2c-lcd.h"
#include "hc_sr04.h"
#include <stdio.h>
/* USER CODE END Includes */
```

Figura 15. Código - librerías.

Primero es necesario usar todas las librerías necesarias para que pueda funcionar nuestro código.

Aquí podemos observar que ya estamos incluyendo las librerías necesarias para nuestro lcd y para el sensor HC-SR04, aparte de las necesarias para la programación hall.

- *Variables*

```
/* Private function prototypes -----------------------------------------------*/
void SystemClock_Config(void);
/* USER CODE BEGIN PFP */
uint8_t p;
uint16_t b;
uint16_t a;
uint16_t error;

uint8_t spiRxBuf[3];
uint8_t spiTxBuf[3];
uint8_t spiTxBuf_D;
uint32_t dato;

uint8_t unidades_a, decenas_a, centenas_a;
uint8_t unidades_b, decenas_b, centenas_b;
char unidad_str[2], decena_str[2], centena_str[2];
uint8_t distancia;
volatile uint8_t despachado = 0;
/* USER CODE END PFP */
```

Figura 16. Código - Variables.

Posteriormente tenemos nuestras variables necesarias en todo el código para el almacenado de datos y para la toma de decisiones del micro.

- *Funciones*

```
77  void descomponer_numero(uint16_t a, uint8_t *unidades, uint8_t *decenas, uint8_t *centenas) {
78      *unidades = a % 10;           // Unidades de 'a'
79      *decenas = (a / 10) % 10;     // Decenas de 'a'
80      *centenas = (a / 100) % 10;   // Centenas de 'a'
81  }
82
83  void itoa_manual(uint8_t num, char *str) {
84      str[0] = num + '0';  // Convertir el número a carácter ASCII
85      str[1] = '\0';       // Terminar la cadena con el carácter nulo
86  }
87
88  void waithalget(uint32_t tickstart,uint16_t tiempo_espera){
89      while((HAL_GetTick() - tickstart) < tiempo_espera){
90      }
91  }
92
93  int valor = 0;
94  /* USER CODE END 0 */
```

Figura 17. Código - Funciones.

Tenemos una función para descomponer números y poder proyectarlos en el display, ya que la nexys nos mandará los números completos, pero para poder proyectarlos necesitamos dividirlo en unidades, decenas y centenas.

También tenemos una función para convertir estas unidades en un string ya que la librería del LCD ocupa que los datos que se quieran proyectar se encuentren en este formato.

Por último, tenemos la función del GetTick que ocuparemos en caso de que queramos esperar, pero así nuestro micro sigue procesando información y no detiene todo para poder esperar a que pase el tiempo deseado.

- *Main*

```
123   /* Initialize all configured peripherals */
124   MX_GPIO_Init();
125   MX_I2C1_Init();
126   MX_SPI1_Init();
127   MX_TIM1_Init();
128   /* USER CODE BEGIN 2 */
129   lcd_init();
130   HCSR04_Init();
131   //Entradas de la comunicacion en serie.
132
133   //Variables necesarias para el codigo
134   uint8_t unidades_a, decenas_a, centenas_a;
135   uint8_t unidades_b, decenas_b, centenas_b;
136   char unidad_str[2], decena_str[2], centena_str[2];
137   uint8_t distancia;
138   uint8_t despachado = 0;
139
140   //Comunicacion
141   spiRxBuf [0] = 0x00;
142   spiRxBuf [1] = 0x00;
143   spiRxBuf [2] = 0x00;
144
145   /* USER CODE END 2 */
```

Figura 18. Código - Main.

Dentro de nuestro main inicializamos sobre todo el sensor y el display para que empiecen a funcionar, y se inicializan algunas variables, sobre todo se establecen a 0 las variables encargadas a la comunicación con la nexys, las cuales son spiRxBuf, la

cual es una cadena de 3 bytes ya que el tamaño de los datos recibidos por parte de la nexys requiere que sea de este tamaño nuestra variable.

- *While*

```
while (1)
{

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, GPIO_PIN_0)) { // 10e
        spiTxBuf_D |= (1 << 2);  // Establece el bit 2 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 2); // Establece el bit 2 a 0
    }

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, GPIO_PIN_1)) { // 20e
        spiTxBuf_D |= (1 << 3);  // Establece el bit 3 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 3); // Establece el bit 3 a 0
    }

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, GPIO_PIN_2)) { // 50 e
        spiTxBuf_D |= (1 << 4);  // Establece el bit 4 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 4); // Establece el bit 4 a 0
    }

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOE, GPIO_PIN_7)) { //100 e
        spiTxBuf_D |= (1 << 5);  // Establece el bit 1 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 5); // Establece el bit 1 a 0
    }

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_6)) { // Derecha
        spiTxBuf_D |= (1 << 7);  // Establece el bit 7 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 7); // Establece el bit 7 a 0
    }

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_7)) {  // Mc
        spiTxBuf_D |= (1 << 6);  // Establece el bit 6 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 6); // Establece el bit 6 a 0
    }

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_5)) { // Continue
        spiTxBuf_D |= (1 << 1);  // Establece el bit 5 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 1); // Establece el bit 5 a 0
    }

    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_4)) { // Izquierda
        spiTxBuf_D |= (1 << 0);  // Establece el bit 0 a 1
    } else {
        spiTxBuf_D &= ~(1 << 0); // Establece el bit 0 a 0
    }

    spiTxBuf[0] = spiTxBuf_D;
    spiTxBuf[1] = spiTxBuf_D;
    spiTxBuf[2] = spiTxBuf_D;
```

Figura 19. Código – While (Asignación a variable de estado de botonería).

Dentro de nuestro while empezamos con la parte de los botones, los cuales le asignaran un 1 o un 0 dependinedo de si esta activado o desactivado nuestro pulsador para posteriormente enviarlo a la nexys.

```
241         //Enviar datos
242         HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Recibir datos de la FPGA
243         // Transmitir 1 byte y recibir 3 bytes simultáneamente (full-duplex)
244         if (HAL_SPI_TransmitReceive(&hspi1, spiTxBuf, spiRxBuf, 3, HAL_MAX_DELAY) == HAL_OK){
245         // Procesar los datos recibidos
246             dato =  (spiRxBuf[0] << 16) | (spiRxBuf[1] << 8) | spiRxBuf[2];
247         }
248         HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Dejar de recibir datos de la FPGA
249
250         error = (dato>>1) & 0x1;
251         p = (dato>>2) & 0x3;
252         b = (dato>>4) & 0x3FF;
253         a = (dato>>14) & 0x3FF;
```

Figura 20. Código – While (Comunicación).

Aquí podemos ver que empieza la comunicación, inicializamos el pin GPIOE_2 el cual le avisará a la nexys que comenzará con la comunicación.

Posteriormente empieza a recibir ya a enviar, almacenando los datos recibidos por parte de la nexys en sus variables respectivas desglosando el dato obtenido.

Y finalmente debemos especificar el final de la comunicación desactivando el pin GPIOE_2 para que la nexys deje de mandar datos y que sepa que terminaron de mandarse los datos.

```
255         if (error  == 0){
256             lcd_enviar("Precio: ", 0, 0);
257             switch (p) {
258               case 0b00: // 00
259                   lcd_enviar("1,00e", 0, 8);
260                   break;
261               case 0b10:// 10
262                   lcd_enviar("5,30e", 0, 8);
263                   break;
264               case 0b01: // 01
265                   lcd_enviar("2,80e", 0, 8);
266                   break;
267               default:
268                   lcd_clear();
269                   break;
270             }
271         }
272         else{
273             lcd_clear();
274             lcd_enviar("Devolucion", 0, 2);
275             descomponer_numero(a, &unidades_a, &decenas_a, &centenas_a);
276             itoa_manual(unidades_a, unidad_str);   // Convierte unidades a string
277             itoa_manual(decenas_a, decena_str);    // Convierte decenas a string
278             itoa_manual(centenas_a, centena_str); // Convierte centenas a string
279             lcd_enviar(centena_str,1,5);
280             lcd_enviar(",",1,6);
281             lcd_enviar(decena_str,1,7);
282             lcd_enviar(unidad_str,1,8);
283             lcd_enviar("e",1,9);
284         }
```

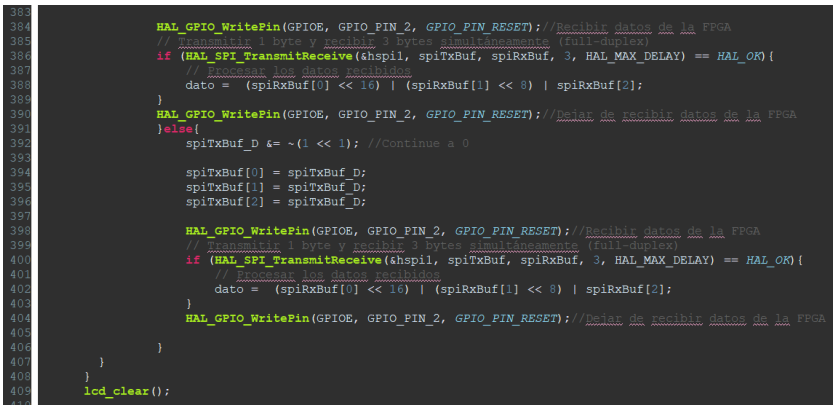
Figura 21. Código – While (Menú de precios en interfaz en LCD).

Después tenemos el inicio del código de la interfaz, en este caso podemos observar inicialmente solo la parte que proyecta el precio del refresco dependiendo si la persona presiona o no un botón el cual le manda la señal a la nexys y dependiendo lo que reciba de vuelta desplegará el precio del refresco.

```
286       if (b == 0b1111111111 && error == 0){
287         lcd_enviar("Acumulado:" , 1, 0);
288         descomponer_numero(a, &unidades_a, &decenas_a, &centenas_a);
289         itoa_manual(unidades_a, unidad_str);  // Convierte unidades a string
290         itoa_manual(decenas_a, decena_str);   // Convierte decenas a string
291         itoa_manual(centenas_a, centena_str); // Convierte centenas a string
292         lcd_enviar(centena_str,1,11);
293         lcd_enviar(",",1,12);
294         lcd_enviar(decena_str,1,13);
295         lcd_enviar(unidad_str,1,14);
296         lcd_enviar("e",1,15);
297 
298       }else {
299         if(error == 0){
300             distancia = HCSR04_Get_Distance();
301             lcd_enviar("Cambio:" , 1, 0);
302             descomponer_numero(b, &unidades_b, &decenas_b, &centenas_b);
303             itoa_manual(unidades_b, unidad_str);  // Convierte unidades a string
304             itoa_manual(decenas_b, decena_str);   // Convierte decenas a string
305             itoa_manual(centenas_b, centena_str); // Convierte centenas a string
306             lcd_enviar(centena_str,1,8);
307             lcd_enviar(",",1,9);
308             lcd_enviar(decena_str,1,10);
309             lcd_enviar(unidad_str,1,11);
310             lcd_enviar("e",1,12);
311             while(despachado == 0){
312                 distancia = HCSR04_Get_Distance();
```

```
313 
314               if (distancia < 30){
315                   lcd_clear();
316                   lcd_enviar("Tome su refresco", 0, 0);
317                   lcd_enviar("Cambio:" , 1, 0);
318                   descomponer_numero(b, &unidades_b, &decenas_b, &centenas_b);
319                   itoa_manual(unidades_b, unidad_str);  // Convierte unidades a string
320                   itoa_manual(decenas_b, decena_str);   // Convierte decenas a string
321                   itoa_manual(centenas_b, centena_str); // Convierte centenas a string
322                   lcd_enviar(centena_str,1,8);
323                   lcd_enviar(",",1,9);
324                   lcd_enviar(decena_str,1,10);
325                   lcd_enviar(unidad_str,1,11);
326                   lcd_enviar("e",1,12);
327                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_SET);
328                   waithalget(HAL_GetTick(), 200);
329                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET);
330                   waithalget(HAL_GetTick(), 200);
331                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET);
332                   waithalget(HAL_GetTick(), 200);
333                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET);
334                   waithalget(HAL_GetTick(), 200);
335                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_RESET);
336                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET);
337                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);
338                   HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
339                   waithalget(HAL_GetTick(), 100);
340               }else if(distancia< 100 && distancia > 40){
341                   despachado = 1;
342                   lcd_clear();
343                   lcd_enviar("Gracias por", 0, 2);
344                   lcd_enviar("su compra", 1, 3);
345               }
346             }
347             distancia = HCSR04_Get_Distance();
```

```
348           //Enviar continue a la Nexys
349           spiTxBuf_D |= (1 << 1);
350           spiTxBuf[0] = spiTxBuf_D;
351           spiTxBuf[1] = spiTxBuf_D;
352           spiTxBuf[2] = spiTxBuf_D;
353 
354           HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Recibir datos de la FPGA
355           // Transmitir 1 byte y recibir 3 bytes simultáneamente (full-duplex)
356           if (HAL_SPI_TransmitReceive(&hspi1, spiTxBuf, spiRxBuf, 3, HAL_MAX_DELAY) == HAL_OK){
357           // Procesar los datos recibidos
358               dato =  (spiRxBuf[0] << 16) | (spiRxBuf[1] << 8) | spiRxBuf[2];
359           }
360           HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Dejar de recibir datos de la FPGA
361           spiTxBuf_D &= ~(1 << 1);
362 
363           waithalget(HAL_GetTick(), 3000);
364           despachado = 0;
365       }else { // Estado de error
366           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_15);
367           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_14);
368           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_13);
369           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_12);
370           waithalget(HAL_GetTick(), 200);
371           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_15);
372           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_14);
373           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_13);
374           HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_12);
375           waithalget(HAL_GetTick(), 200);
376 
377           if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_5)){
378               spiTxBuf_D |= (1 << 1); //Continue a 1
379 
380               spiTxBuf[0] = spiTxBuf_D;
381               spiTxBuf[1] = spiTxBuf_D;
382               spiTxBuf[2] = spiTxBuf_D;
```



```
                HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Recibir datos de la FPGA
                // Transmitir 1 byte y recibir 3 bytes simultáneamente (full-duplex)
                if (HAL_SPI_TransmitReceive(&hspi1, spiTxBuf, spiRxBuf, 3, HAL_MAX_DELAY) == HAL_OK){
                    // Procesar los datos recibidos
                    dato =  (spiRxBuf[0] << 16) | (spiRxBuf[1] << 8) | spiRxBuf[2];
                }
                HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Dejar de recibir datos de la FPGA
                }else{
                    spiTxBuf_D &= ~(1 << 1); //Continue a 0

                    spiTxBuf[0] = spiTxBuf_D;
                    spiTxBuf[1] = spiTxBuf_D;
                    spiTxBuf[2] = spiTxBuf_D;

                    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Recibir datos de la FPGA
                    // Transmitir 1 byte y recibir 3 bytes simultáneamente (full-duplex)
                    if (HAL_SPI_TransmitReceive(&hspi1, spiTxBuf, spiRxBuf, 3, HAL_MAX_DELAY) == HAL_OK){
                        // Procesar los datos recibidos
                        dato =  (spiRxBuf[0] << 16) | (spiRxBuf[1] << 8) | spiRxBuf[2];
                    }
                    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);//Dejar de recibir datos de la FPGA

                }
            }
        }
    lcd_clear();
```

Figura 22. Código – While (Texto proyectado en la interfaz del LCD).

Ya finalmente observamos el resto del codigo necesario principalmente para lo que se quiere que se proyecte en la interfaz con las decisiones tomadas en la nexys, por lo que este codigo relativamente es mas sencillo ya que toda la toma de decisiones esprocesada por la FPGA.

Podemos observar que volvemos a activar la comunicación posteriormente con la nexys, esto es debido a que en este punto nos encontramos en un estado de error y debemos asegurarnos a que salgamos de este estado y por ello se queda en este bucle hasta que realicemos la acción necesaria para esto y por ello es necesario volver a inicializar la comunicación en este punto.

RESULTADOS

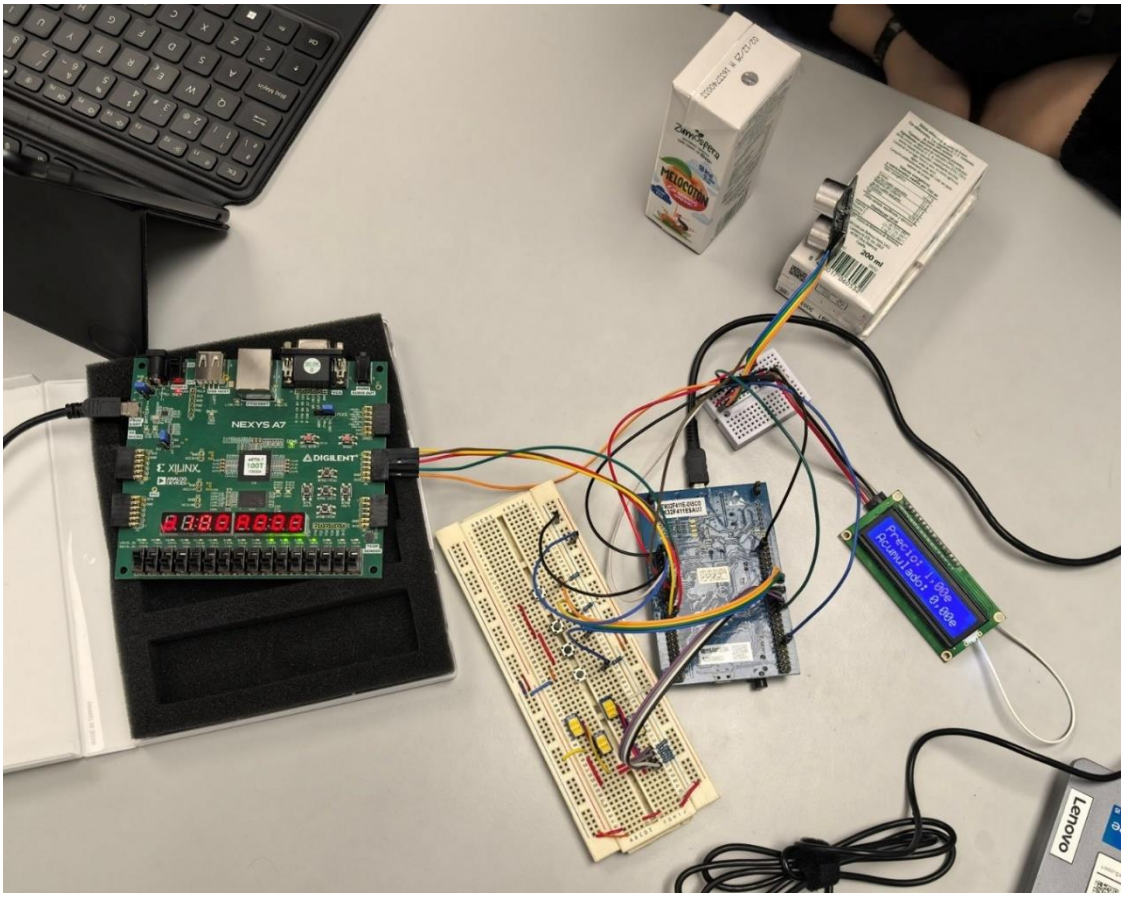


Figura 23. Proyecto funcionando.

La integración de dispositivos como la FPGA y el microcontrolador demuestra la importancia de combinar tecnologías complementarias para desarrollar sistemas funcionales y eficientes. Mientras que la FPGA sobresale en tareas de procesamiento paralelo y toma de decisiones complejas, el microcontrolador se especializa en la recopilación y transmisión de información desde sensores y periféricos, actuando como puente entre el usuario y el sistema principal.

La correcta implementación de protocolos de comunicación como I2C y SPI asegura la sincronización y fiabilidad en la transferencia de datos, siendo muy importante para proyectos de este tipo.

En resumen, la colaboración entre dispositivos con capacidades específicas demuestra ser esencial para abordar problemas complejos, maximizando las fortalezas de cada componente y garantizando un sistema robusto y funcional como el que logramos desarrollar en este proyecto.