



Sistemas con Microcontroladores y
Microprocesadores

***“Salamix: Cámara de
fermentación y estacionado de
salames. Diseño de sistema de
control basado en arquitectura
RISC-V”***

Año: 2025

Integrantes:

- Romano Ortiz, Silvia Ivana
- Cabrera Bellomo, Tomás Ignacio
- Rodríguez Vaquero, Norberto Jorge

Tutor:

- Tek, Luis

Índice:

I. ANÁLISIS.....	3
I. Introducción.....	4
II. Objetivos.....	5
III. Análisis de mercado.....	5
IV. Interfaz de usuario.....	6
V. Descripción del producto.....	7
II. DISEÑO.....	9
I. Diagrama de estados y modos.....	10
I. Descripción general de hardware.....	11
II. Diagrama de conexiones de hardware.....	12
I. Conexionado de los dispositivos.....	12
II. Botones.....	13
III. Módulos de Control.....	14
IV. Interfaz de Sensores (I2C).....	15
V. Display LCD.....	16
III. Costo de componentes de hardware.....	17
IV. Esquema general de software.....	18
V. Estructura de Datos:.....	27
VI. Interpretación de los valores de las variables:.....	29
III. CONCLUSIONES.....	31
I. Pruebas.....	32
I. Pruebas Unitarias.....	32
II. Pruebas de Integración.....	33
III. Pruebas de Sistema.....	34
II. Consecución de objetivos.....	35
III. Desafíos Pendientes.....	37
IV. Intercambio y Aprendizaje.....	38
V. Dificultades encontradas.....	39
VI. Transferencia de datos: descarte del uso de DMA.....	39
IV. Bibliografía.....	40
IV. Anexo.....	41

I. ANÁLISIS

I. Introducción

La elaboración artesanal de embutidos de alta calidad, en particular el salame, es un proceso complejo que depende en gran medida de condiciones ambientales precisas. Las etapas de fermentación y estacionado (curado) requieren valores específicos de temperatura y humedad relativa para asegurar el desarrollo adecuado del producto y garantizar su seguridad alimentaria. Históricamente, este control se lograba en entornos naturales como sótanos, sin embargo, la replicación consistente de estas condiciones representa un desafío técnico significativo para el productor moderno, donde las fluctuaciones ambientales pueden comprometer lotes enteros de producción.

Este proyecto se concibe como una solución accesible orientada al pequeño productor hogareño o artesanal. Busca democratizar el acceso a condiciones de curado profesionales, permitiendo que cualquier tipo de usuarios puedan obtener productos de calidad consistente en el ámbito doméstico, superando las limitaciones de los métodos tradicionales no controlados.

El presente informe detalla el análisis, diseño e implementación parcial de un sistema de control automatizado para una cámara de fermentado y estacionado de salames. El objetivo fundamental del proyecto es desarrollar un dispositivo capaz de monitorear y regular autónomamente el microclima de la cámara, estandarizando el proceso de curado y reduciendo al mínimo la dependencia de una intervención manual.

Si bien el proyecto partió de una descripción funcional inicial y una propuesta de interfaz preliminar, el proceso de diseño nos llevó hacia una redefinición significativa de la arquitectura del sistema. Este documento presenta el diseño final, con una interfaz de usuario optimizada y una gestión de modos de operación más robusta. Se describirá cómo el sistema integra sensores de temperatura y humedad, junto con actuadores que controlan el microclima dentro de la cámara, para ejecutar un control preciso basado en una máquina de estados finitos. A continuación, se exponen los detalles del análisis general del proyecto, los diagramas de hardware y software, y conclusiones finales.

II. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el de diseñar e implementar un dispositivo electrónico capaz de controlar de forma integral y autónoma el proceso de fermentado y estacionado de embutidos, en especial la producción de salames. Esto se logrará mediante la regulación precisa y automática de las variables críticas de temperatura y humedad relativa dentro de la cámara.

El diseño debe poseer una interfaz de usuario sencilla e intuitiva, permitiendo su operación eficiente por usuarios sin conocimientos técnicos especializados. Asimismo, se busca que el desarrollo resulte en un producto de costo accesible, haciendo viable su adopción por pequeños productores hogareños, ya sea para producción personal o para emprendimientos comerciales a pequeña escala.

Finalmente, buscamos aplicar con éxito los conocimientos adquiridos a lo largo de la asignatura.

III. Análisis de mercado

Se realizó un estudio de mercado con el objetivo de identificar las soluciones existentes para el proceso de curado de embutidos y determinar la viabilidad de nuestra propuesta. El análisis reveló dos segmentos dentro de la oferta: segmento industrial y profesional; y un segmento casero/artesanal. El primero cuenta con una amplia oferta con marcas consolidadas, con equipamiento preparado para cargas pesadas y un precio elevado.

En el segmento casero/artesanal el mercado presenta una vacante notable. Los productores hogareños actualmente recurren a soluciones precarias e ineficientes, como la adaptación de heladeras viejas sin control, el uso de cajas de telgopor con termostatos básicos, o simplemente dependiendo de las condiciones climáticas.

La cámara de fermentado Salamix ofrece un producto funcional por una fracción del precio de las opciones disponibles que busca cubrir ese segmento desatendido. Nuestro producto no busca competir en capacidad o robustez con las cámaras industriales, sino ofrecer una solución tecnológica accesible y funcional al productor artesanal.

IV. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario se diseñó de manera que sea intuitiva y fácil de recordar. A continuación se puede ver una imagen ilustrativa de cómo se vería el producto final y luego, más en detalle, cómo se vería la interfaz del usuario con el display LCD y los 3 botones de funcionamiento.



1.1 Imagen ilustrativa generada por Gemini 3 Pro.

La interfaz de control con más detalle:



1.2 Imagen ilustrativa generada por Gemini 3 Pro.

La interfaz consiste en un display LCD 16x2 que muestra información relevante para la configuración y el control del dispositivo, así como 3 botones, SUBIR, BAJAR y ACEPTAR/CANCELAR, con los que el usuario podrá interactuar con el producto, y una bocina para indicar que el proceso de fermentado y/o estacionado concluyó.

V. Descripción del producto

SALAMIX es una cámara de fermentado y estacionado inteligente diseñada para simplificar y asegurar excelentes resultados en la producción artesanal de salames. Su función principal es controlar la temperatura y la humedad dentro de la cámara de forma autónoma para generar el microclima perfecto que el producto necesita en cada etapa de su fermentado y curado, eliminando la incertidumbre de depender de las condiciones ambientales naturales.

El dispositivo integra en una única unidad todo lo necesario: sensores precisos, actuadores de temperatura y humedad, y un cerebro electrónico que toma las decisiones. El usuario no necesita ser un experto en tecnología ni en climatización, Salamix se encarga de la complejidad técnica.

Funcionamiento General:

El funcionamiento de Salamix se basa en una interacción simple y clara a través de su panel frontal, compuesto por un display LCD y una botonera de control intuitiva de tres botones (**ACEPTAR/CANCELAR, SUBIR y BAJAR**).

Una vez configurado, el equipo monitorea constantemente las condiciones internas. Si los sensores detectan que la temperatura o la humedad se alejan de los valores críticos, el sistema activará o desactivará automáticamente los actuadores internos (calefactor, sistema de refrigeración, humidificador ultrasónico, etc) para mantener las condiciones establecidas inicialmente.

Paso a Paso para la Configuración y Uso:

El proceso para poner en marcha un ciclo de fermentado/estacionado con Salamix es rápido y sencillo. A continuación, se detalla la secuencia de operación:

A. Carga y Encendido:

El usuario coloca los salames (hasta **15** unidades) en la cámara utilizando los ganchos que cuelgan de la parte superior.

En la parte posterior del producto el usuario debe encender la cámara mediante un interruptor. El sistema le dará la bienvenida y mostrará los modos de funcionamiento disponibles.

B. Selección de Modo de funcionamiento:

El usuario utiliza los botones **SUBIR** y **BAJAR** para seleccionar qué modo desea utilizar. El display mostrará el modo que será confirmado mediante el botón **ACEPTAR/CANCELAR**.

C. Confirmación e Inicio del Proceso:

Una vez que el usuario confirme el modo, pasará a configurar los parámetros del mismo.

El sistema guiará al usuario a medida que avance en la configuración de los parámetros. El usuario se valdrá de los botones **ACEPTAR/CANCELAR**, **SUBIR** y **BAJAR** para modificar y confirmar los respectivos valores de temperatura, humedad y tiempo.

Finalmente, cuando se establezcan todos los parámetros necesarios inicia el funcionamiento del ciclo de fermentado/estacionado.

D. Estado de funcionamiento:

En este estado el dispositivo se encarga de monitorear las variables ambientales del microclima dentro de la cámara y realiza los ajustes necesarios para mantener el mismo dentro de los valores límite configurados por el usuario.

El usuario ya no necesita intervenir. Salamix trabajará de forma autónoma durante todo el proceso.

Si durante el funcionamiento el usuario presiona el botón **ACEPTAR/CANCELAR**, el proceso se pondrá en pausa hasta que nuevamente se presione el botón.

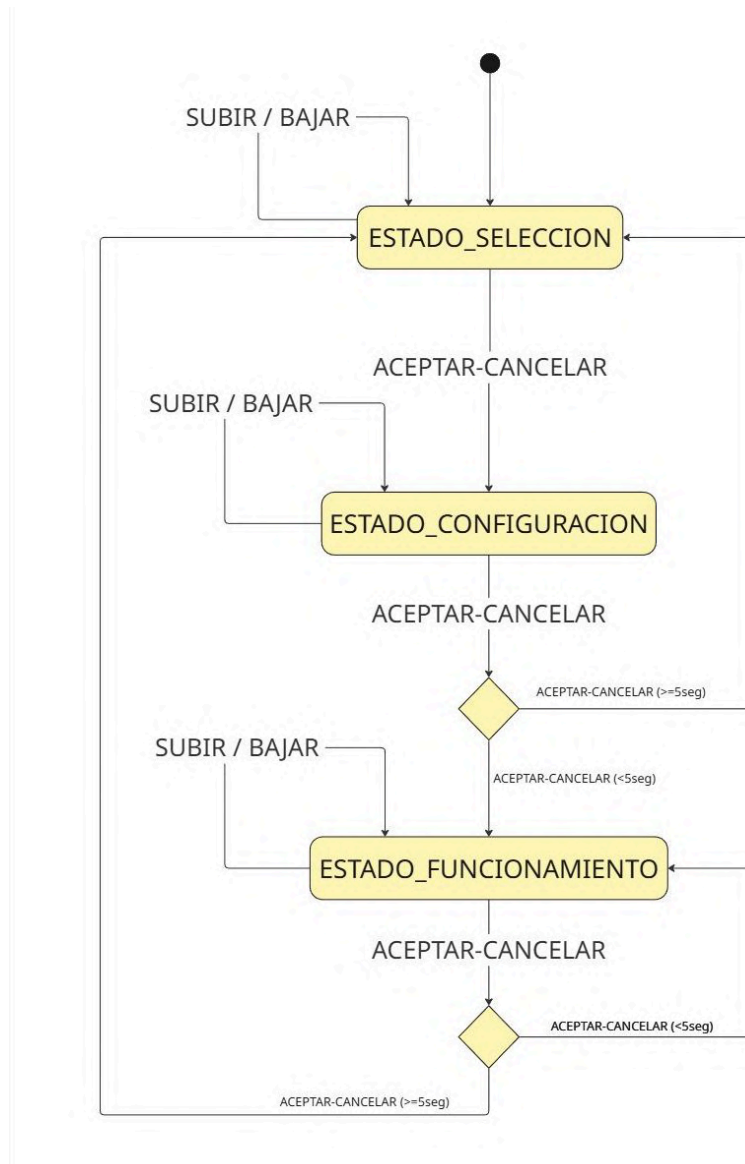
Si mientras el proceso se encuentra pausado el usuario presiona el botón **ACEPTAR/CANCELAR** durante 5 segundos, el proceso en marcha se cancelará y el usuario regresará a la selección de modo.

Cuando el proceso termine el dispositivo emitirá 3 pitidos a través de una bocina para indicar su finalización. El equipo quedará en espera hasta que el usuario intervenga presionando el botón **ACEPTAR/CANCELAR**, momento en el cual la interfaz de usuario en la pantalla regresará a la selección de modo.

II. DISEÑO

I. Diagrama de estados y modos

El dispositivo de fermentado y estacionado Salamix cuenta con 3 modos de funcionamiento bien diferenciados. Dichos modos son representados mediante un diagrama de estados.



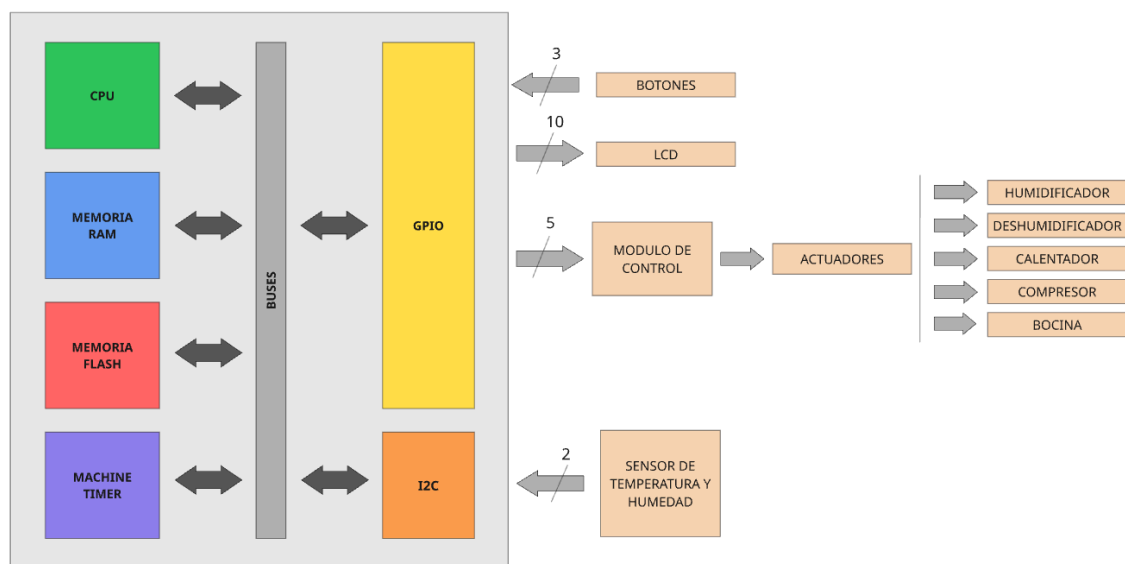
1.3 Diagrama de estados.

- **ESTADO_SELECCION:** en este estado el producto muestra por pantalla los distintos modos de funcionamiento (se verán en detalle más adelante) esperando a que el usuario confirme uno de los mismos.
- **ESTADO_CONFIGURACION:** en este estado el usuario se encuentra configurando los parámetros de funcionamiento para el modo seleccionado (temperatura crítica, humedad crítica y temporizador en caso de estar en el modo que lo requiere).
- **ESTADO_FUNCIONAMIENTO:** en este estado el dispositivo se encuentra controlando activamente la temperatura y la humedad ajustado a los parámetros del usuario.

El producto cuenta a su vez con 3 modos de fermentado/estacionado:

- **MODO_FE:** modo de fermentado y estacionado. El usuario configura la temperatura, humedad y tiempo para ambos procesos. El tiempo es **controlado**.
- **MODO_FoEC:** modo de fermentado o estacionado **controlado**. El usuario configura los parámetros para uno de los procesos únicamente.
- **MODO_FoEL:** modo de fermentado o estacionado **libre**. El usuario configura los parámetros de temperatura y humedad pero no el tiempo. El dispositivo funcionará ininterrumpidamente hasta que el usuario detenga el proceso manualmente.

I. Descripción general de hardware



2.1 Diagrama general de hardware.

El bloque denominado “MÓDULO DE CONTROL” representa la etapa de potencia o interfaz de control (módulos de relés/drivers) necesaria para manejar los dispositivos de alto consumo (humidificador, calentador, etc.) desde las señales lógicas del microcontrolador.

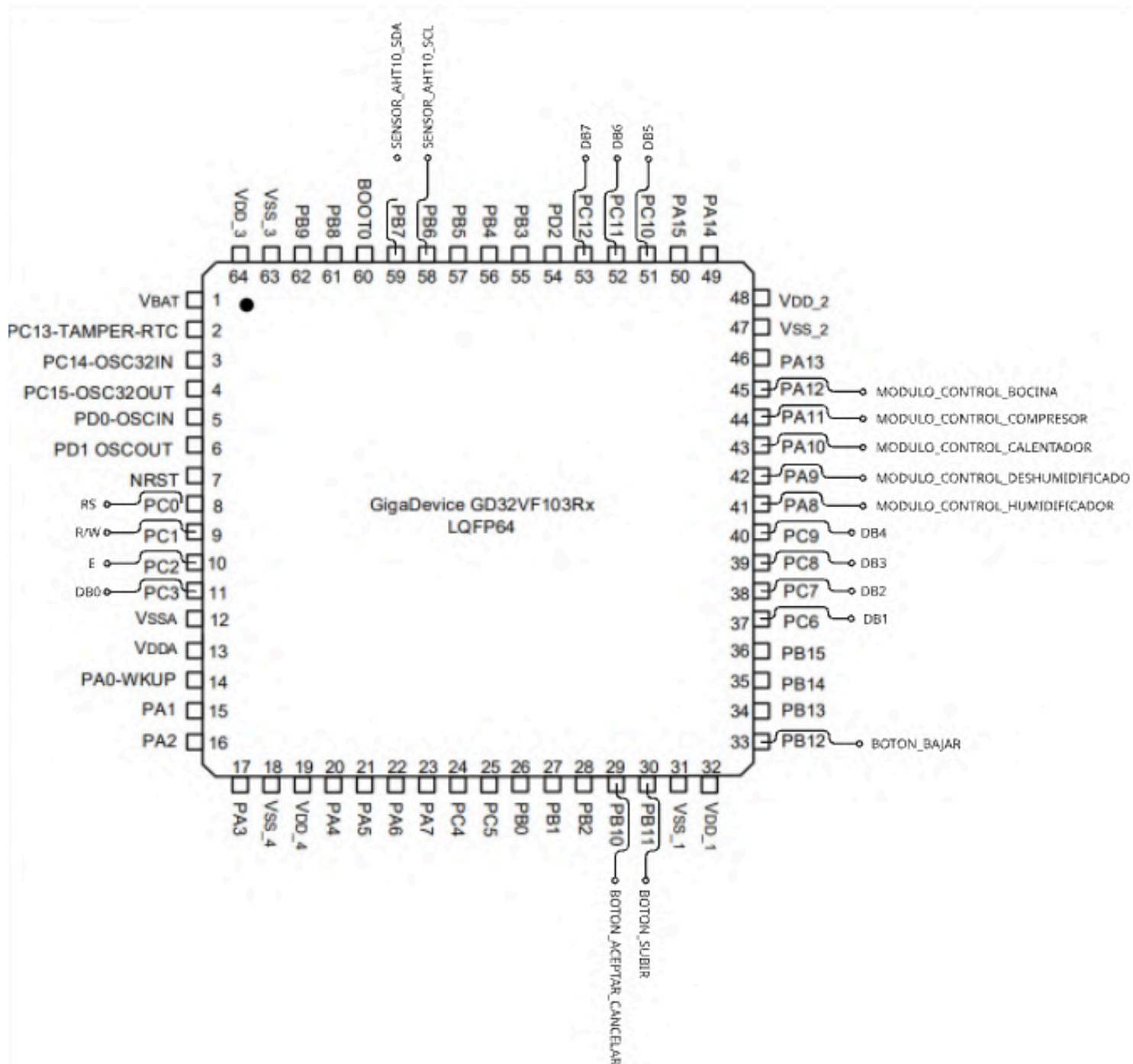
Para la implementación de este proyecto decidimos utilizar el microcontrolador **GigaDevice GD32VF103Rx LQFP64**. Este microprocesador cuenta con 64 pines, de los cuales usaremos 18 pines GPIO y 2 pines I2C para los sensores.

En el diagrama general de hardware se puede apreciar de qué manera se interconectan los diferentes bloques hardware del microprocesador entre sí y con los dispositivos externos que contiene nuestro diseño.

Dichos dispositivos externos son un display LCD 16x2 y actuadores para un humidificador, un deshumidificador, un compresor para refrigeración, una resistencia para calefacción y una bocina.

II. Diagrama de conexiones de hardware

I. Conexionado de los dispositivos

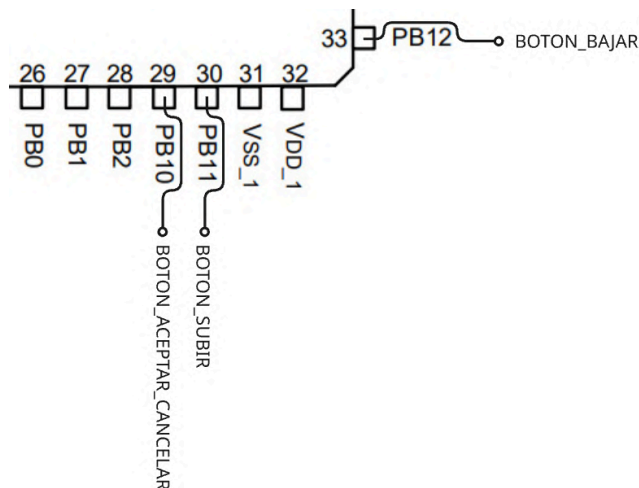


2.2 Diagrama de conexión de pines.

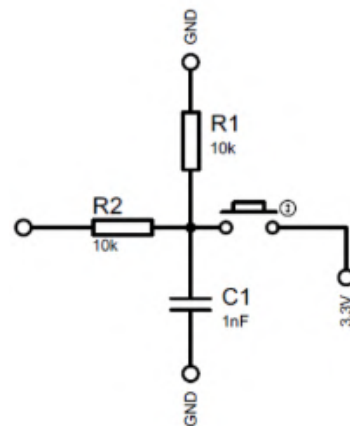
II. Botones

Para el conexionado de los botones utilizamos el puerto B con los terminales 10, 11 y 12, pertenecientes al GPIOB.

Para la conexión de los botones empleamos una conexión de pull-up con la resistencia R1. La resistencia R2 y el capacitor constituyen un circuito RC de filtrado con el objetivo de eliminar los rebotes mecánicos.



2.3 Conexión de pines para los botones.



2.4 Circuito de conexión del botón.

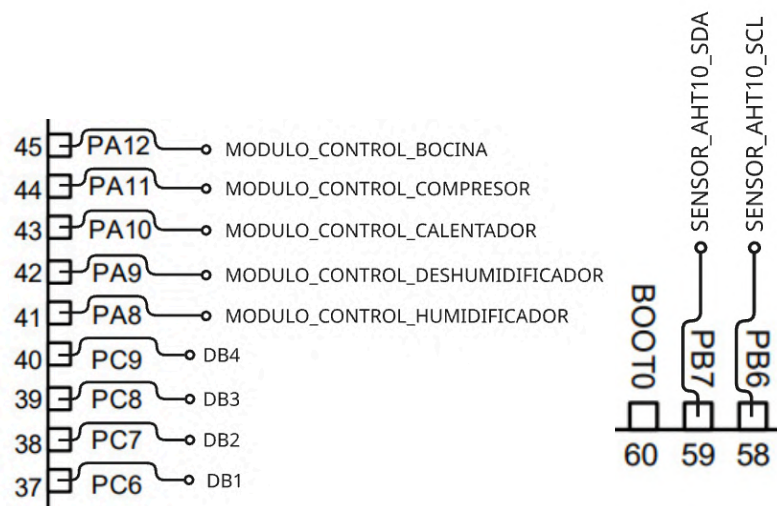
Tabla de conexiones botones:

Dispositivo	Puerto	Terminal
BOTON_ACEPTAR_CANCELAR	PB	10
BOTON_SUBIR	PB	11
BOTON_BAJAR	PB	12

III. Módulos de Control

El control de los actuadores se realiza a través del puerto GPIOA, utilizando los pines PA8 a PA12.

Dado que las cargas requieren mayor corriente que la suministrada por el microcontrolador, los pines se conectan a módulos de potencia. Estos módulos permiten activar o desactivar los dispositivos (humidificador, compresor, etc.) según lo que se necesite, garantizando el control de las variables ambientales y la activación de alarmas sonoras.



2.5 Conexión de pines para los actuadores y sensores.

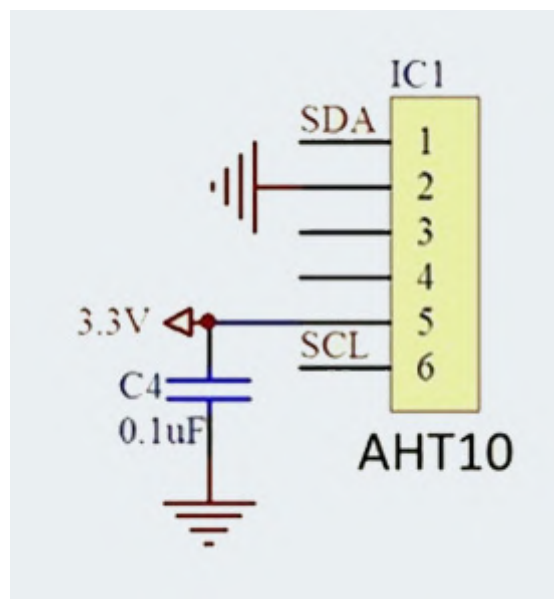
Tabla de conexiones de módulos de control:

Dispositivo	Puerto	Pin
MODULO_CONTROL_HUMIDIFICADOR	PA	8
MODULO_CONTROL_DESHUMIDIFICADOR	PA	9
MODULO_CONTROL_CALENTADOR	PA	10
MODULO_CONTROL_COMPRESOR	PA	11
MODULO_CONTROL_BOCINA	PA	12

IV. Interfaz de Sensores (I2C)

Para la medición de las variables ambientales, utilizamos la interfaz de comunicación serial **I2C0**. Esta elección nos permite obtener lecturas digitales precisas de temperatura y humedad, superando las limitaciones de los sensores simples de tipo "todo o nada" (on/off). Además, el protocolo I2C garantiza una comunicación sincrónica y robusta mediante solo dos líneas de señal.

La conexión física se realiza en el puerto GPIOB, utilizando los pines PB6 y PB7 configurados como funciones alternas (AFIO) para las líneas de reloj y datos del sensor respectivamente.



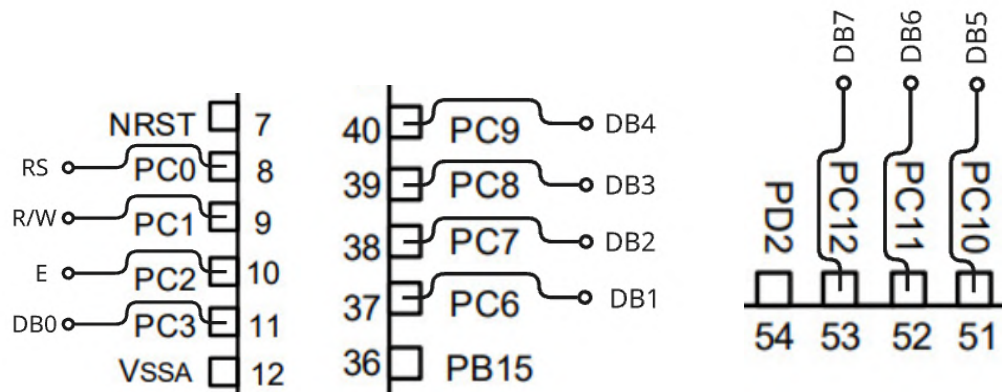
2.6 Diagrama de conexión de sensor AHT10.

Utilizamos el sensor AHT10, el cual mide temperatura y humedad.

Dispositivo	Puerto	Pin
Sensor_AHT10_I2C0_SCL (Reloj)	PB	6
Sensor_AHT10_I2C0_SDA (Datos)	PB	7

VI. Display LCD

Para la conexión del display empleamos el puerto GPIOC, con los puertos PC0 hasta el PC12 para controlar el display LCD, además de una fuente externa de alimentación que proporcione los 5V para alimentar la misma.



2.7 Conexión de pines para el display LCD.

El modelo del display de cristal líquido (display LCD) empleado es el **ACM2002D**.

Tabla de conexión:

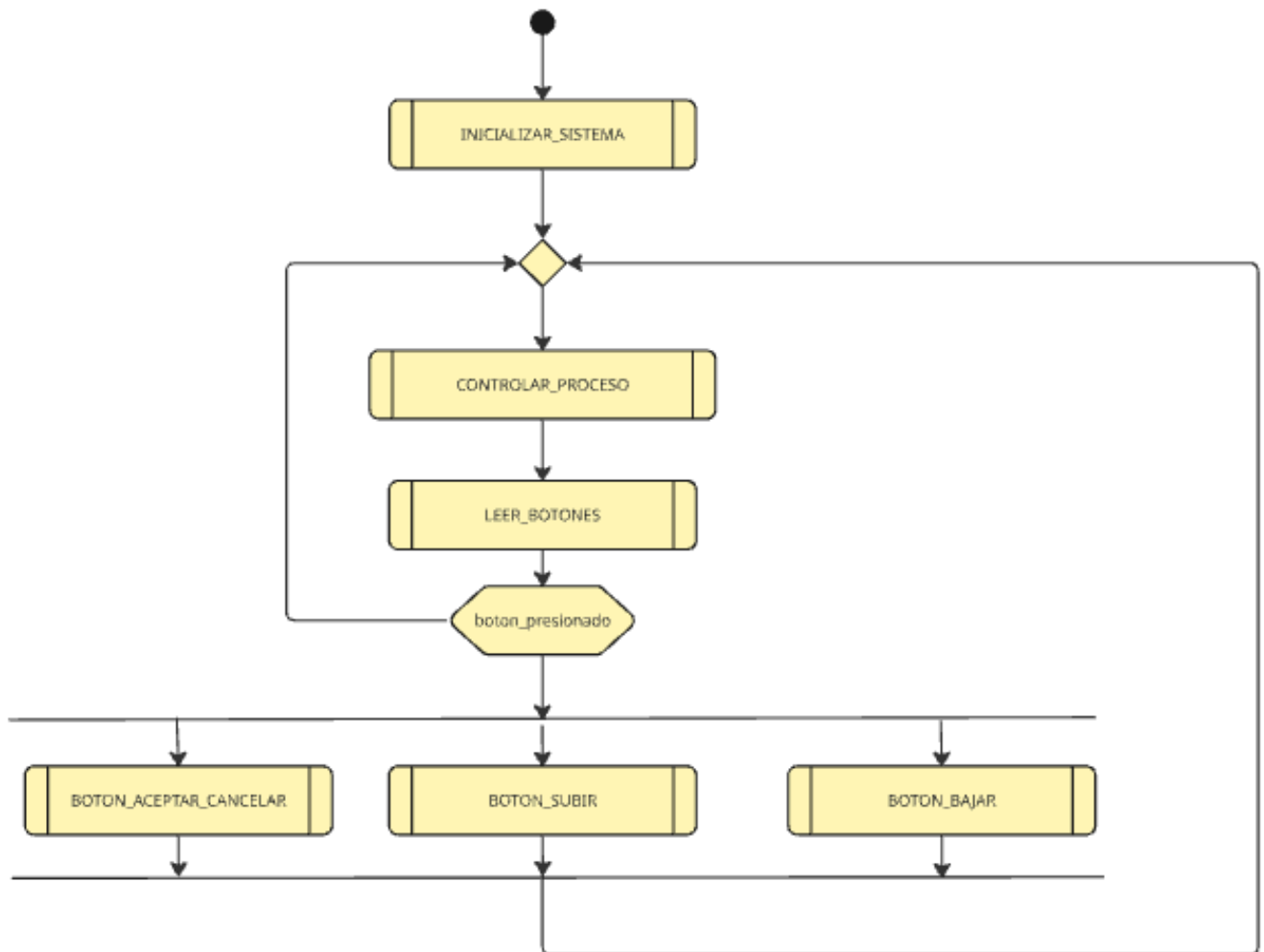
Nombre pin (LCD)	Puerto	Pin
RS	PC	0
R/W	PC	1
E	PC	2
DB0	PC	3
DB1	PC	6
DB2	PC	7
DB3	PC	8
DB4	PC	9
DB5	PC	10
DB6	PC	11
DB7	PC	12

III. Costo de componentes de hardware

Componente	Nombre Comercial	Cantidad	Precio Unitario (AR\$)	Precio Final (AR\$)
Microcontrolador	GigaDevice GD32VF103R RISC-V 32-bit x LQFP64	1	2.500	2.500
Botón	Boton Pulsador Tact Switch 6mm x 6mm x 5.1mm	3	640	1.920
Display LCD	M2002D Series LCD Module	1	5.200	5.200
Humidificador	Nebulizador ultrasónico DK-24	1	20.000	20.000
Deshumidificador	Kit Refrigeración Disipador 12v + Celda Peltier Tec1-12709	1	65.200	65.200
Calentador	Calefactor PTC 12V Kükenmacher	1	50.000	50.000
Compresor	Bocha Compresor Heladera Frigobar 12v 24v Qdzy35 R600 Repjul	1	238.000	238.000
Bocina	Modulo Buzzer Zumbador Activo 5v Ky-012	1	2.500	2.500
Sensor	AHT10	1	5.000	5.000
Total				390.320

IV. Esquema general de software

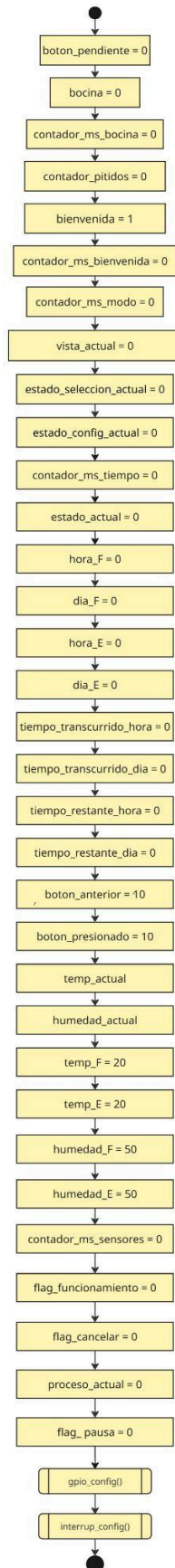
I. Programa principal



2.8 Diagrama de flujo del programa principal.

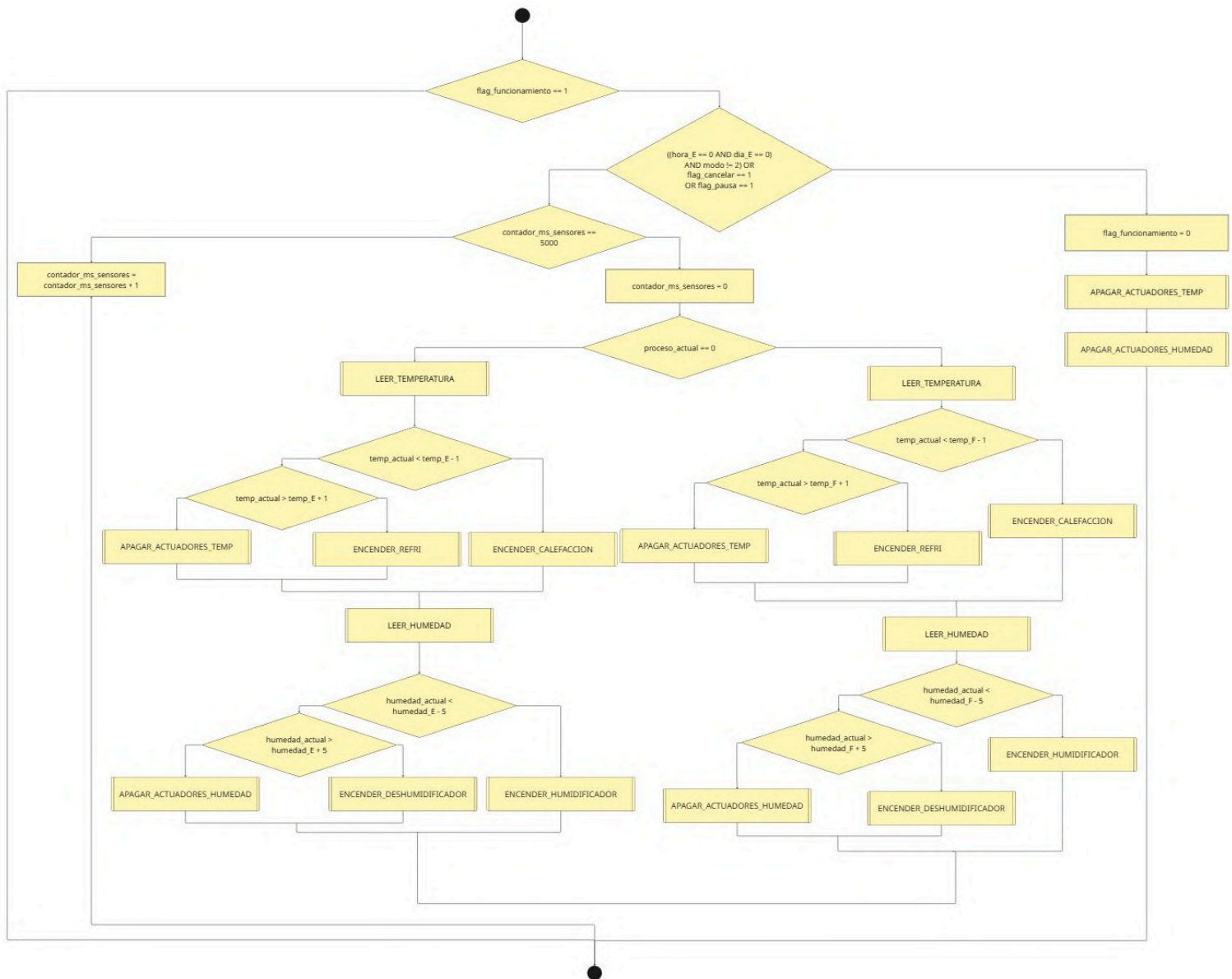
Este diagrama de flujo describe el funcionamiento del programa principal. En el mismo se inician los componentes y variables y luego se encarga de controlar el proceso y la actuación de los botones para el manejo del dispositivo por parte del usuario.

II. Rutina INICIALIZAR_SISTEMA



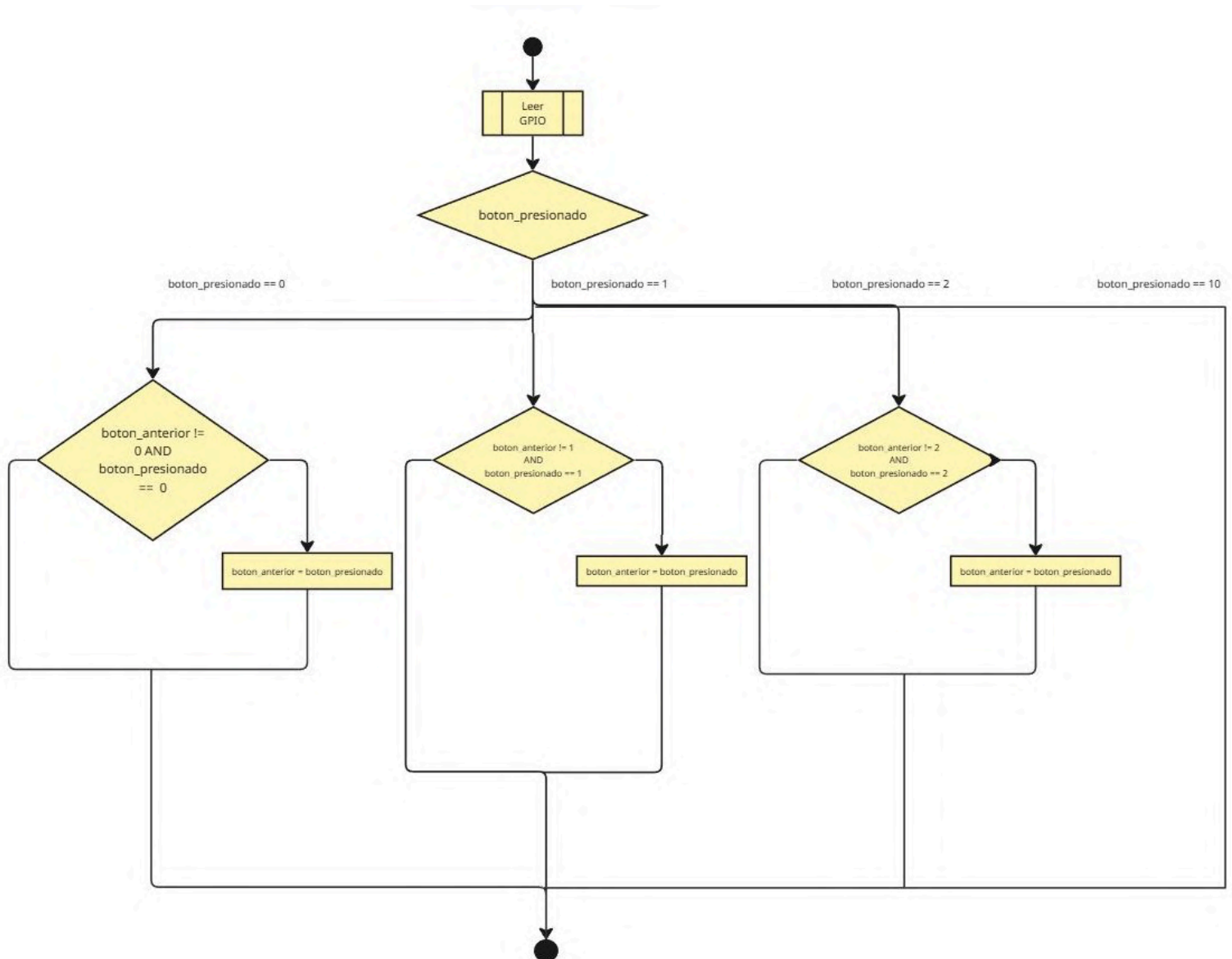
2.9 Diagrama de flujo de la rutina INICIALIZAR_SISTEMA.

III. Rutina CONTROLAR_PROCESO



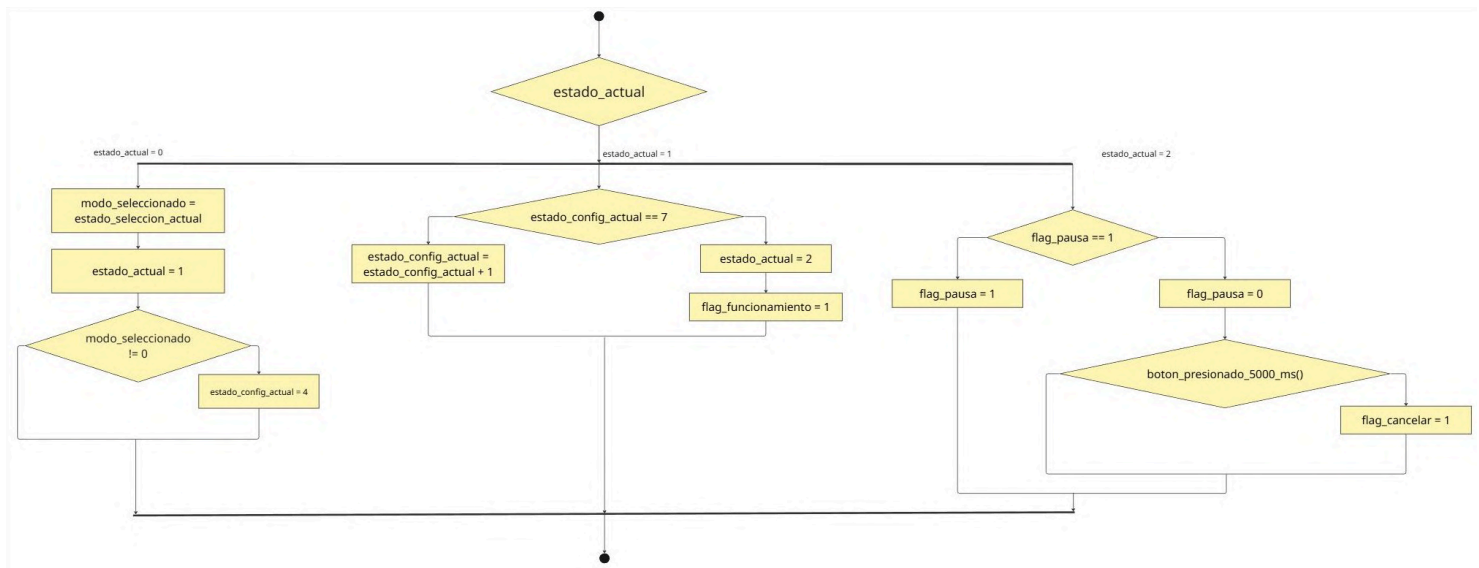
2.10 Diagrama de flujo de rutina CONTROLAR_PROCESO.

IV. Rutina LEER_BOTONES



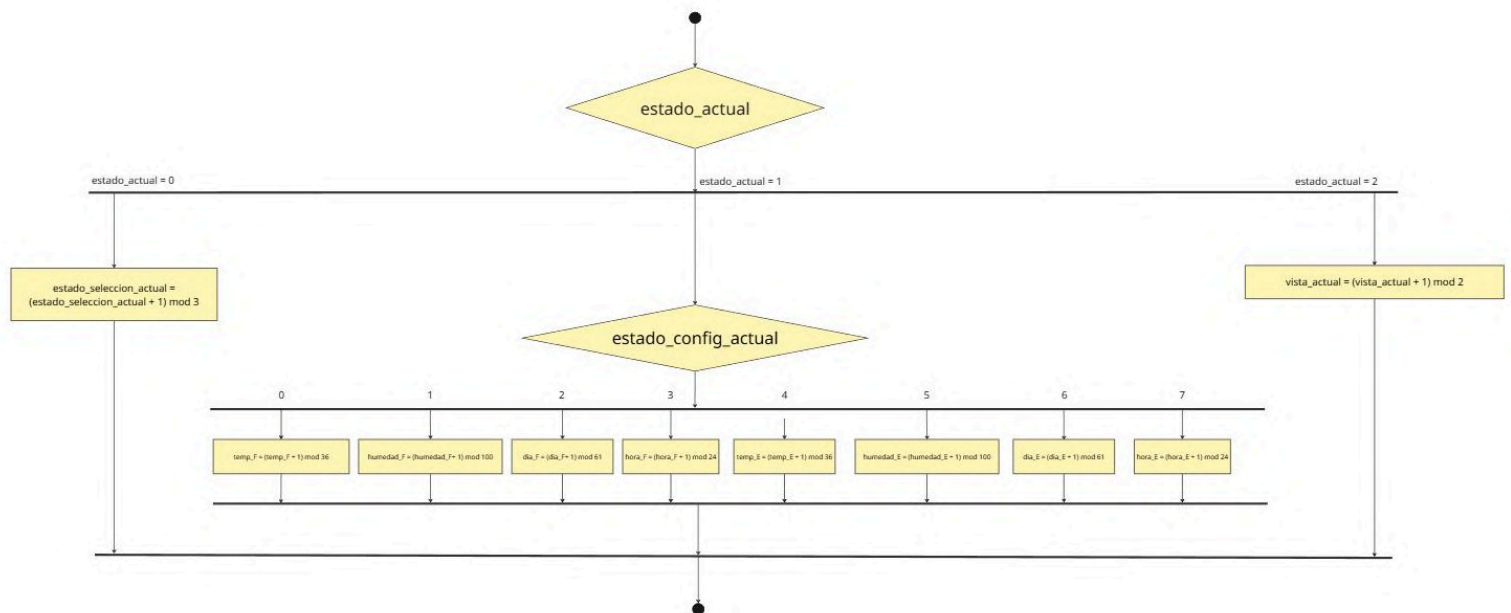
2.11 Diagrama de flujo de la rutina LEER_BOTONES.

V. Rutina BOTON_ACEPTAR_CANCELAR



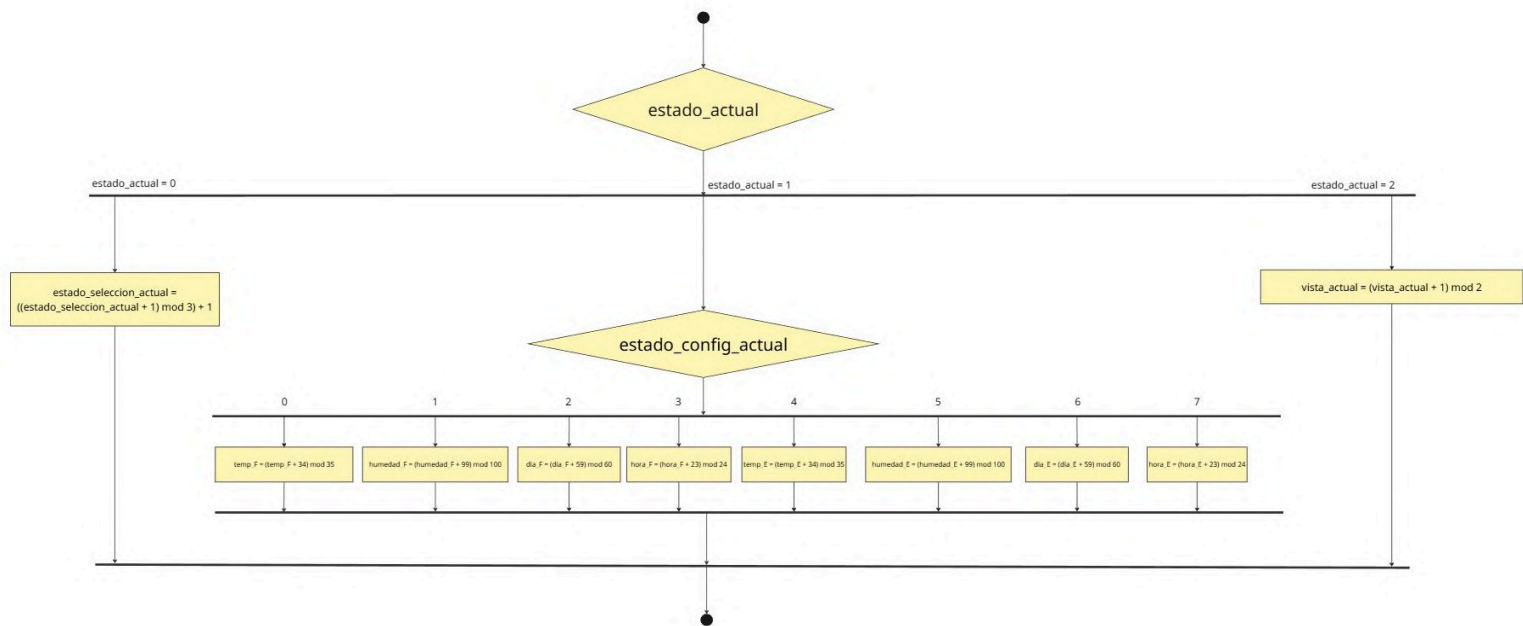
2.12 Diagrama de flujo de la rutina BOTON_ACEPTAR_CANCELAR.

VI. Rutina BOTON_SUBIR



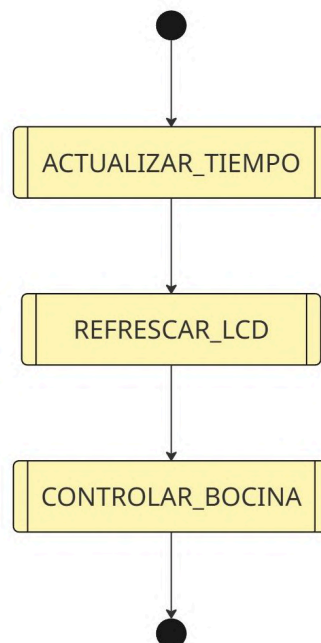
2.13 Diagrama de flujo de la rutina BOTON_SUBIR.

VII. Rutina BOTON_BAJAR



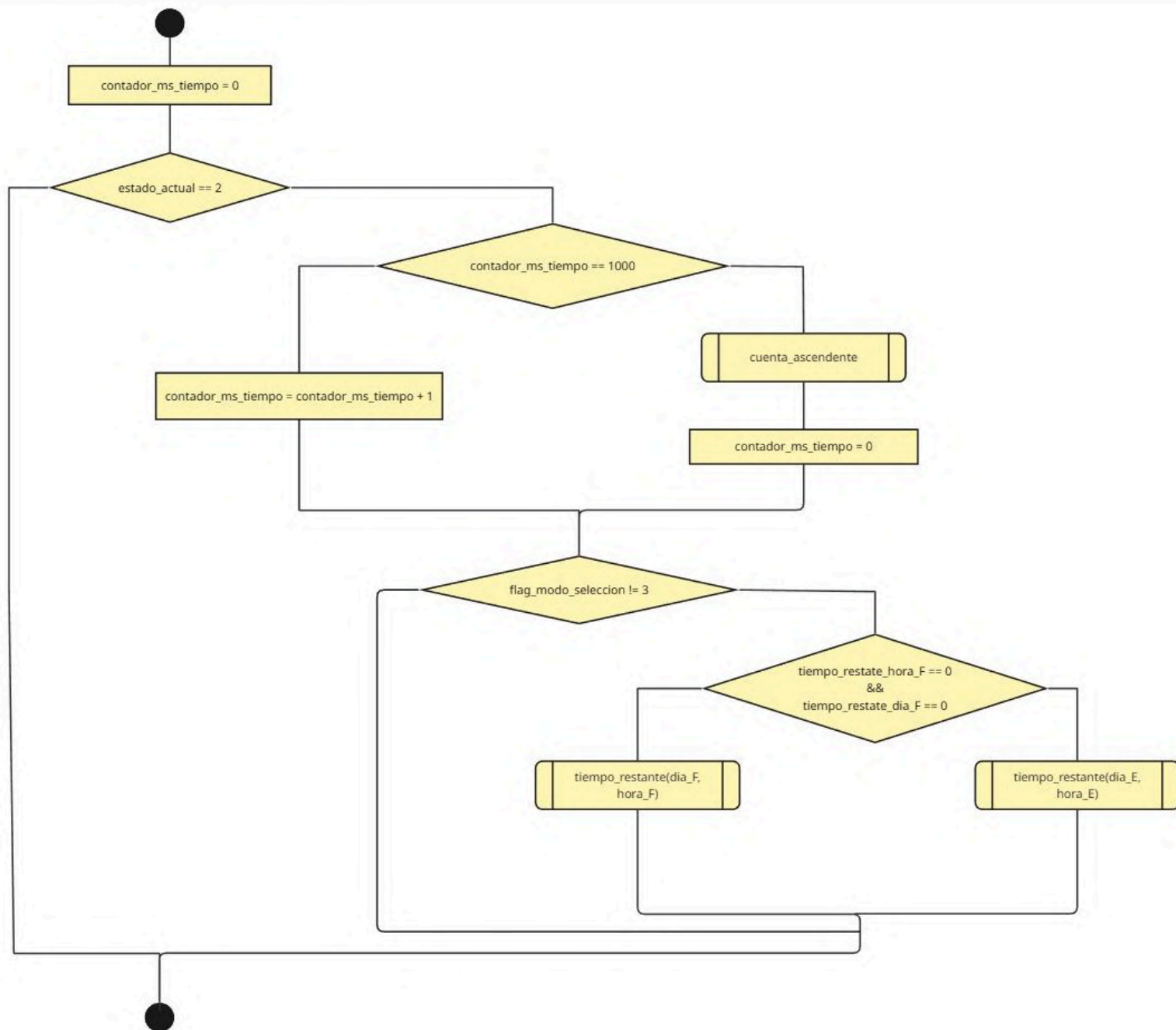
2.14 Diagrama de flujo de la rutina BOTON_BAJAR.

VIII. Rutina de interrupción del Machine Timer



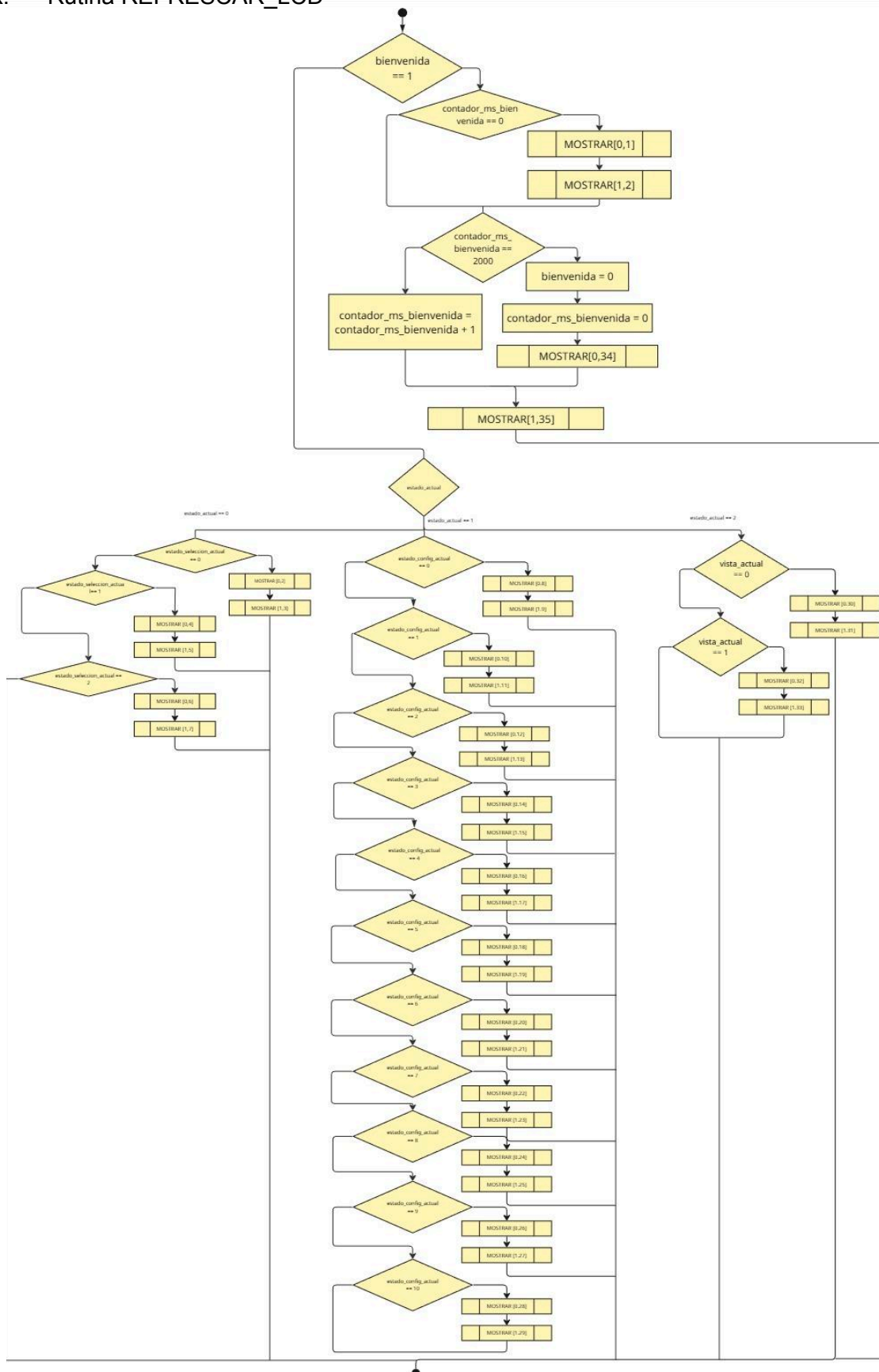
2.15 Diagrama de flujo de la rutina de interrupción del Machine Timer.

IX. Rutina ACTUALIZAR_TIEMPO



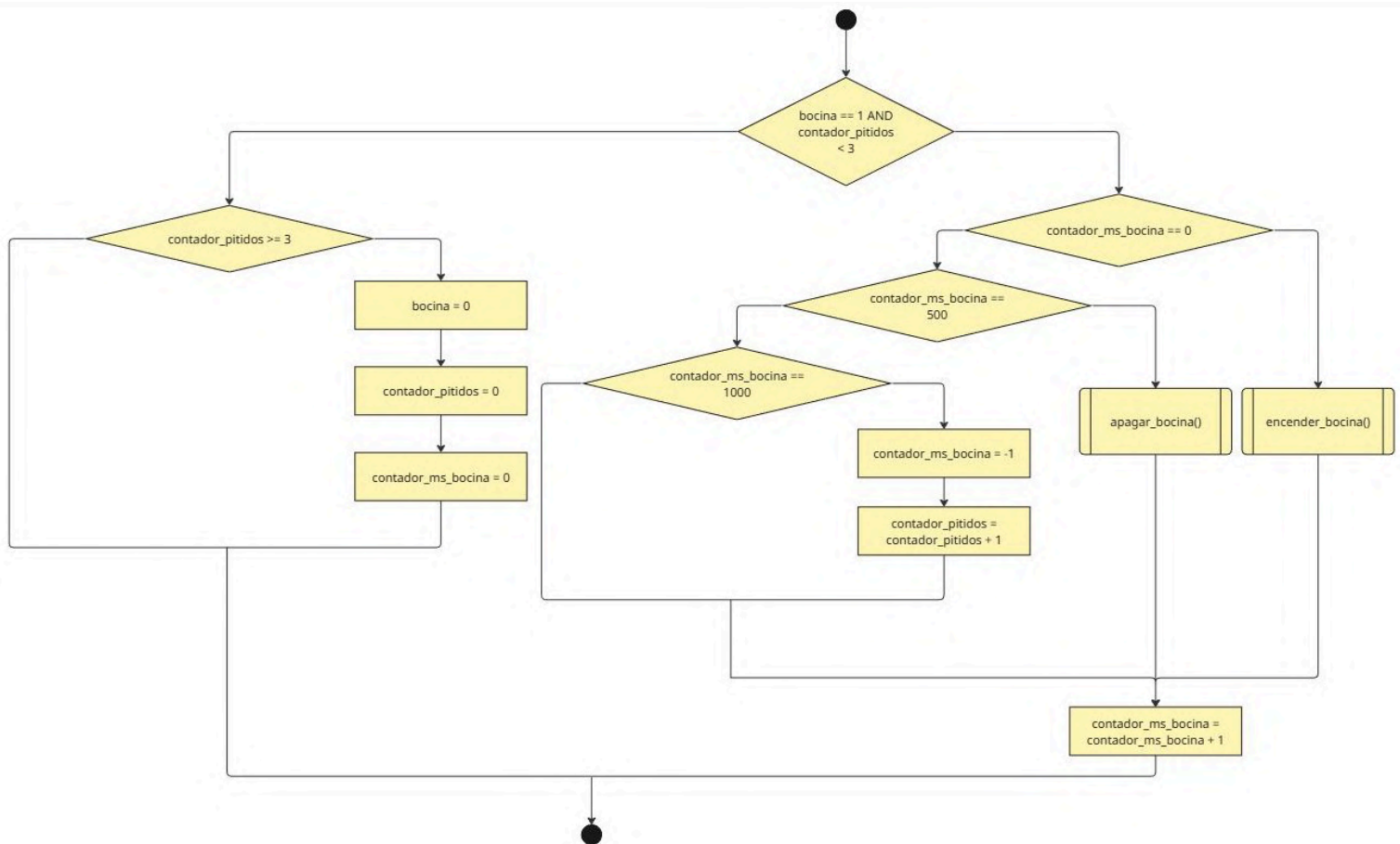
2.16 Diagrama de flujo de rutina ACTUALIZAR_TIEMPO.

X. Rutina REFRESCAR_LCD



2.17 Diagrama de flujo de rutina REFRESCAR_LCD.

XI. Rutina CONTROLAR_BOCINA



2.18 Diagrama de flujo de rutina CONTROLAR_BOCINA.

V. Estructura de Datos:

Etiqueta	Tamaño (Bytes)	Valor inicial	Descripción
temp_F	1 Bytes	20	Almacena la temperatura de fermentado configurada.
temp_E	1 Bytes	20	Almacena la temperatura de estacionado configurada.
humedad_F	1 Bytes	50	Almacena la humedad relativa de fermentado configurada.
humedad_E	1 Bytes	50	Almacena la humedad relativa de estacionado configurada.
humedad_actual	1 Bytes	-	Variable que almacena el valor de humedad actual.
temp_actual	1 Bytes	-	Variable que almacena el valor de temperatura actual.
contador_ms_bocina	4 Bytes	0	Contador para el control de la bocina.
bienvenida	1 Bytes	1	Variable que determina si se muestra el mensaje de bienvenida.
contador_ms_bienvenida	4 Bytes	0	Contador que define el tiempo que se muestra el mensaje de bienvenida.
contador_ms_tiempo	4 Bytes	0	Contador para el control de la actualización del tiempo.
contador_ms_modos	4 Bytes	0	Contador para el parpadeo del display en la selección de modo.
contador_pitidos	1 Bytes	0	Contador de los pitidos que emite la bocina.
bocina	1 Bytes	0	Variable que determina si se acciona la bocina.
estado_actual	1 Bytes	0	Determina el estado en que se encuentra el programa.
estado_seleccion_actual	1 Bytes	0	Selecciona el modo de funcionamiento del equipo
estado_config_actual	1 Bytes	0	Selecciona el tipo de configuración según el proceso seleccionado
vista_actual	1 Bytes	0	Muestra la temperatura, humedad relativa configurada y temperatura y humedad relativa que obtienen los sensores.

boton_presionado	1 Bytes	10	Botón que está siendo presionado.
boton_anterior	1 Bytes	10	Valor que tenía previamente el botón.
hora_F	1 Byte	0	Hora configurada por el usuario para el fermentado.
dia_F	1 Byte	0	Día configurado por el usuario para el fermentado.
hora_E	1 Byte	0	Hora configurada por el usuario para el estacionado u hora configurada para un proceso independiente.
dia_E	1 Byte	0	Día configurado por el usuario para el estacionado o día configurado para un proceso independiente.
tiempo_transcurrido_hora	1 Byte	0	Representa las horas que transcurrieron desde el inicio del proceso de fermentado o estacionado.
tiempo_transcurrido_dia	1 Byte	0	Representa los días que transcurrieron desde el inicio del proceso de fermentado o estacionado.
tiempo_restante_dia	1 Byte	0	Representa los días restantes del proceso de fermentado o estacionado.
tiempo_restante_hora	1 Byte	0	Representa las horas restantes del proceso de fermentado o estacionado.
contador_ms_sensores	4 Byte	0	Contador que cuenta hasta 5000 ms que representa la frecuencia que se controla el proceso.
flag_cancelar	1 Byte	0	Bandera que si toma valor 1 cancela el proceso de control de los sensores.
proceso_actual	1 Byte	0	Bandera que al tomar valor 0 determina que se está ejecutando el proceso de fermentado y si toma valor 1 el proceso de estacionado.
flag_pausa	1 Byte	0	Bandera que si toma valor 1 determina que el proceso está en pausa.

VI. Interpretación de los valores de las variables:

Variable	Valores	Nombre
boton_presionado boton_anterior	0	Botón ACEPTAR/CANCELAR.
	1	Botón SUBIR.
	2	Botón BAJAR.
estado_seleccion_actual	0	Modo Fermentado Estacionado.
	1	Modo Fermentado y Estacionado Controlado.
	2	Modo Fermentado o Estacionado Libre.
modo_seleccionado	0	Modo Fermentado Estacionado confirmado.
	1	Modo Fermentado y Estacionado Controlado confirmado.
	2	Modo Fermentado o Estacionado Libre confirmado.
estado_config_actual	0	Configuración temperatura fermentado.
	1	Configuración humedad relativa fermentado.
	2	Configuración de los días de fermentado.
	3	Configuración de las horas de fermentado.
	4	Configuración de temperatura estacionado.
	5	Configuración de humedad estacionado.
	6	Configuración de los días de estacionado.
	7	Configuración de las horas de estacionado.
	8	Configuración temperatura controlado.
	9	Configuración humedad controlada.

	10	Configuración del tiempo controlado.
	11	Configuración temperatura libre.
	12	Configuración humedad libre.
vista_actual	0	Muestra en pantalla temperatura, humedad medida y configurada.
	1	Muestra tiempo restante y faltante.
bienvenida	0	No se muestra el mensaje de bienvenida.
	1	Se muestra un mensaje de bienvenida.
bocina	0	No suena la bocina.
	1	Suena la bocina con 3 pitidos de 500 ms.
estado_actual	0	Representa el estado de selección de modo.
	1	Representa el estado de configuración.
	2	Representa el estado de funcionamiento.
hora_F hora_E	0 a 23	Representa las horas de funcionamiento.
dia_F dia_E	0 a 60	Representa los días de funcionamiento.
flag_pausa	0	Funcionamiento normal
	1	Funcionamiento pausado
proceso_actual	0	Funcionamiento del proceso de fermentado
	1	Funcionamiento del proceso de estacionado.
flag_funcionamiento	0	El equipo está sin funcionar.
	1	El equipo está funcionando.
flag_cancelar	0	La detección de los sensores está funcionando.
	1	Se frena la detección de los sensores está funcionando.

III. CONCLUSIONES

I. Pruebas

Esta sección detalla el plan de pruebas diseñado para verificar y validar el funcionamiento de la cámara de fermentado y estacionado Salamix una vez concluida su fase de construcción. Dado que el proyecto se encuentra actualmente en la etapa de diseño, las pruebas aquí descritas constituyen un diseño teórico de los procedimientos a seguir. El objetivo de este plan es asegurar que cada componente individual, así como el sistema integrado, cumpla con los requisitos funcionales y técnicos especificados en este documento.

El plan se estructura en tres niveles: Pruebas Unitarias (verificación de componentes aislados), Pruebas de Integración (verificación de la comunicación entre módulos) y Pruebas de Sistema (validación del funcionamiento global desde la perspectiva del usuario).

I. Pruebas Unitarias

Estas pruebas se centrarán en verificar el correcto funcionamiento de los periféricos de hardware de forma aislada:

Nombre Prueba	Descripción	Procedimiento	Resultado Esperado
Prueba de LCD [16 x 2]	Verificación del panel LCD.	Se cargará un firmware que realice un barrido sobre todos los dígitos del panel LCD para verificar su correcto funcionamiento.	El display LCD debe encenderse con brillo uniforme, sin parpadeos ni dígitos quemados.
Prueba de Botones	Verificación de la botonera.	Se conectará la placa a una consola serial. Se presionará cada uno de los 3 botones (Aceptar/Cancelar, Subir y Bajar) de forma individual.	La consola debe imprimir el nombre correcto del botón presionado, confirmando la lectura sin rebotes excesivos.

Prueba de la Bocina	Activación de la bocina.	Se enviará al módulo de control de la bocina un programa que haga sonar la nota LA (A4) durante 3 segundos.	El parlante debe emitir un tono audible claro y estable de la nota LA (A4) durante los 3 segundos.
Prueba del sensor de Temperatura y Humedad	Lectura del Sensor AHT10.	Se leerá el sensor cada 2 segundos y se mostrarán los valores de temperatura y humedad en la consola serial. Se aplicará una fuente de calor suave cerca del sensor.	Los valores iniciales deben coincidir con la temperatura ambiente. Al aplicar calor/humedad, las lecturas deben aumentar y luego volver a estabilizarse, sin arrojar valores nulos o inválidos.

II. Pruebas de Integración

El objetivo es asegurar que los módulos probados individualmente funcionen correctamente cuando se interconectan, especialmente la comunicación entre la lógica de control (3.3V) y la etapa de potencia (24V/220V).

Nombre Prueba	Descripción	Procedimiento	Resultado Esperado
Prueba del humidificador	Control del Humidificador.	Con el tanque de agua lleno, el microcontrolador enviará una señal ALTA (3.3V) al módulo controlador durante 10 segundos, y luego una señal BAJA.	Al recibir la señal ALTA, el humidificador debe comenzar a generar niebla visible instantáneamente. Al recibir la señal BAJA, la generación de niebla debe cesar por completo. Además, el MOSFET no debe sobrecalentarse.

Prueba de pantalla y botones (Prueba de selección)	Interacción LCD -Controlador (Máquina de Estados).	Se navegará por el menú usando los botones Subir y Bajar para cambiar entre los modos FE, FoEC y FOEL.	El display debe actualizar correctamente el nombre del modo seleccionado en tiempo real, reflejando fielmente el estado interno de la máquina de estados.
---	---	--	---

Realizamos pruebas similares para comprobar el funcionamiento de cada uno de los actuadores al cambiar las condiciones de temperatura o humedad.

III. Pruebas de Sistema

Estas pruebas validan el producto completo en un entorno de operación simulado, verificando que cumpla con su propósito final.

Nombre Prueba	Descripción	Procedimiento	Resultado Esperado
Prueba de Modo Fermentación	Ciclo Completo en Modo de Fermentación.	1. Se configura el modo FE y se inicia el ciclo. 2. Se coloca un termohigrómetro como patrón calibrado dentro de la cámara. 3. Se deja operar el sistema durante 24 horas. 4. Se comparan los registros del sistema con los del instrumento patrón.	El sistema debe activar automáticamente los actuadores para alcanzar los valores objetivo (aprox. 24°C / 90% HR). Las lecturas del sistema no deben diferir en más de $\pm 1^\circ\text{C}$ y $\pm 5\%$ HR respecto al instrumento patrón.

Prueba ante situación forzada	Respuesta ante Perturbaciones .	1. Con el sistema operando estable en modo FOEC, se abre la puerta de la cámara durante 1 minuto (simulando una pérdida brusca de temperatura y humedad). 2. Se cierra la puerta.	1. El sistema debe detectar la caída de las variables y activar los actuadores correspondientes a máxima potencia para compensar. 2. Tras cerrar la puerta, el sistema debe recuperar las condiciones objetivo en un tiempo razonable.
--------------------------------------	---------------------------------	---	--

II. Consecución de objetivos

Los objetivos planteados al inicio de este proyecto consisten en diseñar e implementar un dispositivo electrónico capaz de controlar de forma integral y autónoma el proceso de fermentado y estacionado de embutidos, garantizando la regulación precisa de temperatura y humedad dentro de la cámara.

A continuación, se detalla cómo cada uno de estos objetivos fue alcanzado a lo largo del diseño presentado:

1. Desarrollo de un equipo capaz de regular automáticamente temperatura y humedad:

Se logró diseñar un sistema completo que integra sensores digitales de precisión (AHT10) con un conjunto de actuadores controlados mediante módulos de potencia. El diseño de hardware incluye las conexiones del microcontrolador GD32VF103 con los actuadores necesarios: humidificador, deshumidificador, calefactor y compresor, asegurando la capacidad de controlar el microclima interno de la cámara.

Asimismo, en la sección de software se detalla la lógica de control implementada, que permite tomar decisiones para corregir desviaciones en las variables ambientales.

2. Creación de una interfaz de usuario simple, clara y accesible:

El diseño incorpora un display LCD 16×2 y una botonera de tres teclas (SUBIR, BAJAR y ACEPTAR/CANCELAR), cumpliendo con el objetivo de facilitar la operación a usuarios sin conocimientos técnicos.

El informe muestra las distintas pantallas, modos y mensajes, así como los diagramas de flujo del programa que determinan la navegación entre modos y la configuración de parámetros.

La interfaz guía al usuario paso a paso a través de la selección del modo de funcionamiento y la configuración de los parámetros críticos, cumpliendo así con la premisa de simplicidad y usabilidad.

3. Implementación de una máquina de estados robusta para la gestión del proceso:

El proyecto cumplió con el objetivo de crear una arquitectura de control clara y estructurada mediante un diagrama de estados que contempla los tres estados principales: selección, configuración y funcionamiento.

El programa principal, junto con las rutinas de lectura de botones, configuración de parámetros, y control de proceso, refleja esta organización y permite operar de forma predecible y consistente.

4. Desarrollo de un sistema autónomo que reduzca al mínimo la intervención del usuario:

Una vez configurados los parámetros, el sistema opera de manera completamente automática. La lógica implementada permite que los actuadores se enciendan o apaguen según la lectura del sensor para mantener las condiciones dentro de los límites configurados.

Además, se integró una señalización sonora mediante la bocina para indicar el final del proceso, así como mecanismos de pausa y cancelación, cumpliendo con los requisitos planteados de autonomía y seguridad operativa.

5. Diseño de un producto accesible para pequeños productores artesanales:

El hardware seleccionado (microcontrolador GD32VF103, sensores I2C, módulos de control) permite construir un dispositivo de bajo costo y fácil mantenimiento. La arquitectura modular planteada también favorece futuras mejoras y escalabilidad, cumpliendo así el objetivo de crear una solución económicamente viable para el ámbito doméstico o artesanal.

6. Aplicación efectiva de los conocimientos de la asignatura:

El proyecto integra de forma concreta los conceptos principales trabajados en la materia: uso de microcontroladores RISC-V, programación de periféricos GPIO, interrupciones, diseño de hardware digital, manejo de buses de comunicación y construcción de diagramas de estados y diagramas de flujo.

La elaboración del software y del hardware demuestra una comprensión de estos contenidos, cumpliendo el objetivo académico central.

III. Desafíos Pendientes

Si bien el proyecto alcanzó satisfactoriamente los objetivos propuestos, el diseño desarrollado permite identificar diversas oportunidades de mejora que podrían incrementar la precisión, la eficiencia, la confiabilidad y la usabilidad del sistema final.

A continuación se detallan los principales desafíos pendientes y posibles evoluciones del dispositivo:

1. Integración de sensores adicionales para mejorar la medición del ambiente interno:

El sistema actualmente mide temperatura y humedad relativa mediante un sensor digital único. Sin embargo, el proceso de fermentación y estacionado puede beneficiarse significativamente de una medición más completa del microclima. Algunas mejoras posibles son:

- **Sensor de temperatura del producto** para medir la temperatura interna del embutido y no solo la del aire.
- **Sensor de CO₂ o VOC**, ya que la fermentación genera gases que pueden correlacionarse con la actividad microbiana.
- **Sensor de condensación o agua libre**, permitiendo detectar acumulación excesiva de humedad en paredes de la cámara.

Estas incorporaciones permitirán realizar un control más completo y adaptado al comportamiento real del producto.

2. Incorporación de memorias no volátiles para almacenar configuraciones:

Una mejora sería guardar perfiles completos de fermentación/estacionado en memoria flash o EEPROM, incluyendo:

- Temperatura objetivo
- Humedad objetivo
- Duración
- Tipo de embutido
- Historial del último proceso.

Esto permitiría encender el dispositivo y continuar procesos interrumpidos o repetir recetas sin necesidad de reconfiguración.

3. Añadir mecanismos de seguridad operacional:

Como la cámara utiliza calefacción y humidificación, se pueden agregar:

- **Protección térmica por sobretemperatura** con un sensor redundante.
- **Detector de falla de relés o actuadores** (sensor de corriente).
- **Incorporación de un mecanismo de seguridad funcional que detenga los actuadores si no se detectan variaciones naturales en las lecturas del sensor durante un intervalo de tiempo.**
- **Alarma sonora y bloqueo del sistema en caso de condiciones peligrosas.**

Estas funciones mejoran la confiabilidad y seguridad, especialmente en entornos domésticos.

IV. Intercambio y Aprendizaje

El desarrollo de este proyecto implicó un proceso continuo de intercambio de ideas, discusión técnica y aprendizaje colaborativo. Cada integrante del equipo aportó sus conocimientos y perspectivas, lo que permitió abordar la consigna desde diferentes ángulos y enriquecer la solución final.

En primer lugar, el trabajo favoreció la comprensión de los desafíos del control ambiental en sistemas de fermentación, interpretando tanto las necesidades del proceso productivo como las limitaciones del hardware disponible. Las reuniones sobre el diseño del equipo permitieron analizar alternativas de sensores, actuadores y arquitecturas de control, evaluando ventajas y desventajas en función de costo, complejidad y confiabilidad.

Durante la etapa del diseño de software, el intercambio fue valioso para consolidar conceptos centrales de la asignatura. Discutimos sobre distintos enfoques de máquinas de estados, manejo de interrupciones, y diseño modular, permitiendo comprender cómo un sistema embebido coordina múltiples tareas simultáneamente. El razonamiento conjunto favoreció la toma de decisiones sobre cómo separar la interfaz de usuario, el control del funcionamiento y la lógica de refresco del LCD, intentando llegar a una solución clara y escalable.

Asimismo, el proceso de desarrollo conceptual y el análisis grupal de los diagramas de flujo promovieron un aprendizaje profundo en torno a la importancia de representar correctamente la lógica del sistema antes de implementarlo. Esto fortaleció la habilidad de abstraer problemas complejos, dividirlos en módulos y anticipar comportamientos indeseados.

En síntesis, el proyecto permitió afianzar las competencias técnicas y comunicacionales, potenciando la capacidad del grupo para trabajar en equipo, argumentar ideas, justificar decisiones de diseño y consolidar conocimientos fundamentales de sistemas embebidos y microcontroladores.

V. Dificultades encontradas

El desarrollo de este proyecto implicó diversos desafíos que fueron abordados progresivamente a lo largo del proceso. Entre las dificultades más relevantes se destacan las siguientes:

1. Definición de la arquitectura general del sistema:

Una de las primeras dificultades consistió en traducir los requisitos del proceso de fermentación en una estructura lógica y modular de software. Resultó necesario definir con precisión los modos de funcionamiento, las transiciones entre estados y la interacción entre la lectura de botones, la configuración de parámetros y el control del proceso. Esto requirió varias iteraciones de diagramas de flujo hasta alcanzar una arquitectura clara y robusta.

2. Dificultad para mantener simplicidad sin perder funcionalidad:

A lo largo del desarrollo surgieron numerosas ideas adicionales (perfiles automáticos, múltiples sensores, etc.). El desafío consistió en delimitar correctamente el alcance del proyecto, implementando lo esencial y dejando espacio para extensiones futuras - que se detallan en la sección de desafíos pendientes.

VI. Transferencia de datos: descarte del uso de DMA

Para el diseño de la cámara de fermentado y estacionado Salamix, se evaluaron los diferentes métodos de transferencia de datos disponibles en el microcontrolador GD32VF103: encuestas (polling), interrupciones y Acceso Directo a Memoria (DMA).

Basado en el análisis de los requerimientos del sistema, decidimos no implementar el controlador DMA, a pesar de estar disponible en la arquitectura, por las siguientes razones:

1. **Naturaleza de los datos:** El controlador DMA es ideal para transferencias en forma de ráfagas, optimizando el movimiento de grandes volúmenes de información. En contraste, los sensores utilizados en nuestra cámara de fermentado entregan datos simples (temperatura y humedad) a una frecuencia muy baja (cada 5 segundos), lo que no justifica la sobrecarga de configuración de los canales y registros del DMA.
2. **Eficiencia vs. complejidad:** Si bien las interrupciones introducen una sobrecarga por el guardado y recuperación de registros, el impacto en el rendimiento global del procesador es despreciable dado que los eventos de control ocurren en intervalos de tiempo largos.
3. **Costo de Implementación:** La implementación de DMA requiere una gestión compleja de arbitraje del bus y configuración de direcciones de memoria y periféricos. Para una aplicación de control de humedad y temperatura, el método de interrupciones provee el balance óptimo entre eficiencia y simplicidad de código.

IV. Bibliografía

- [1] Cátedra de Sistemas con Microcontroladores y Microprocesadores, notas del curso *Sistemas con Microcontroladores y Microprocesadores*, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, 2025.
- [2] GigaDevice, *GD32VF103 RISC-V 32-bit MCU User Manual*, Rev. 1.7.
- [3] AZ Displays, Inc., *ACM2002D Series LCD Module Datasheet*, Aliso Viejo, CA, 9 ago. 1999.
- [4] Guangzhou Aosong Electronics Co., Ltd., *AHT10 Integrated Temperature and Humidity Sensor Product Manual*, Rev. 1.1, Guangzhou, China, 2020.
- [5] GigaDevice Semiconductor Inc., *GD32VF103 RISC-V 32-bit MCU Datasheet*, Rev. 2.2, Beijing, China, 13 mar. 2025.

IV. Anexo

I. Mensajes definidos para mostrar por la pantalla LCD

Mensajes por pantalla LCD			
Modo	Renglón	Índice en ROM	Mensaje
MENSAJE INICIAL	0	0	Bienvenido
	1	1	SALAMIX
ESTADO_SELECCION	0	2	MODO_FE
	1	3	FERM Y ESTAC
	0	4	MODO FOEC
	1	5	FERM O ESTAC
	0	6	MODO FOEL
	1	7	LIBRE
ESTADO_CONFIGURACION	0	8	CONFIGURAR TEMP.
MODO FE	1	9	T° F = _
	0	10	HUM. FERM
	1	11	H = _
	0	12	TIEMPO FERM
	1	13	TIEMPO = _
	0	14	TEMP. ESTACIONADO
	1	15	T = _
	0	16	HUM. ESTACIO
	1	17	H = _
	0	18	TIEMPO ESTACIONADO
	1	19	TIEMPO = _
MODO FoEC	0	20	TEMP. FERMEN
	1	21	T = _
	0	22	HUM. FERM

	1	23	H = _
	0	24	TIEMPO FERM
	1	25	TIEMPO = _
MODO FoEL	0	26	TEMP. FERMEN
	1	27	T = _
	0	28	HUM. FERM
	1	29	H = _
ESTADO_FUNCIONANDO	0	30	T= _ H=_
	1	31	CRIT T= _ H=_
- SUBIR/BAJAR	0	32	TIEM_ T= DD:HH
	1	33	TIEMPO_F:DD:HH

II. Pantalla en modo selección



III. Pantalla en modo configuración de temperatura de fermentado



IV. Pantalla en modo funcionamiento

