



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE INGENIERÍA

*2<sup>do</sup> cuatrimestre 2024*

TALLER DE SISTEMAS EMBEBIDOS (TA134)

Trabajo Práctico Final

<b>Alumno</b>	<b>Padrón</b>		<b>Correo electrónico</b>
Brischetto, Marco	#	110008	mbrischetto@fi.uba.ar
Feller, Santiago	#	103257	sfeller@fi.uba.ar
Linares, Juan Mateo	#	102990	jlinares@fi.uba.ar

## Índice

<b>1. Introducción.</b>	<b>2</b>
<b>2. Descripción del comportamiento del sistema de control.</b>	<b>2</b>
<b>3. Estructura</b>	<b>2</b>
3.1. Sensor . . . . .	2
3.2. Sistema . . . . .	3
3.2.1. Normal . . . . .	3
3.2.2. Set up . . . . .	5
3.2.3. Temperature . . . . .	5
3.3. Actuador . . . . .	7
<b>4. Esquema eléctrico y vista del cableado.</b>	<b>8</b>
<b>5. Cálculo y medición de consumo eléctrico.</b>	<b>9</b>
<b>6. Listado de ítems implementados y no implementados.</b>	<b>10</b>
<b>7. Medición de <i>WCET</i> y de <i>Factor de uso</i> de CPU.</b>	<b>11</b>
<b>8. Conclusiones.</b>	<b>12</b>

## 1. Introducción.

El presente informe detalla el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de control de una puerta esclusa. El objetivo es lograr un producto mínimo viable que implemente todos los controles necesarios para el proyecto. Este primer acercamiento al problema permite transportarlo de forma sencilla y directa a una aplicación real.

## 2. Descripción del comportamiento del sistema de control.

El proyecto consiste en el control de una puerta esclusa. La característica distintiva de una puerta esclusa es que no permite que tanto la puerta de ingreso como la de egreso estén abiertas en simultaneo, permitiendo, por ejemplo, implementar accesos de seguridad o evitar contaminación cruzada entre dos ambientes. A su vez, se tendrá una interfaz de usuario con un display y botones que permitirá configurar parámetros del sistema y mostrará la temperatura ambiente y del procesador. Para simplificar el problema, únicamente se implementará el acceso en una sola dirección. Los lineamientos básicos del sistema se detallan a continuación:

- Se tendrán dos botones que permitirán el ingreso y el egreso, estos comandarán la apertura de las puertas.
- Las puertas serán controladas mediante un motor y sensores que permitirán saber su estado.
- Un sensor infrarrojo permite detectar la presencia de personas dentro de la esclusa.
- Las puertas solo podrán permanecer abiertas durante un tiempo máximo, las mismas se cerraran pasado este tiempo o si se detecta el ingreso o egreso de un usuario.
- El ingreso y egreso seguros estarán indicados mediante dos semáforos, que darán la indicación en cada caso.
- Si un usuario permanece mas de un cierto tiempo dentro de la esclusa, sonará una alarma hasta que este no abandone la esclusa. A su vez, si la puerta de egreso se abre pero la persona no sale, la alarma también se disparará, aun cuando no haya pasado el tiempo.
- El tiempo de permanencia y de apertura de la puerta serán configurables.
- Se deberán medir la temperatura ambiente y del microprocesador.
- Tanto la configuración como la muestra de los valores de operación del sistema se deberá hacer en un display y cuatro botones como interfaz de usuario a un menú.

## 3. Estructura

La implementación esta dividida en 3 bloques principales siendo estos, sensor, sistema y actuador, de esta manera es posible desglosar el problema en partes mas pequeñas. A continuación se detallan cada uno de estos bloque constructivo.

### 3.1. Sensor

El proyecto cuenta con distintos sensores que se encargan detectar cambios. Los sensores que se utilizan son:

- **Puerta Ingreso:** Se encarga de detectar el estado de la puerta de ingreso (abierta/cerrada). Se lo implementa con un Dip Switch.
- **Puerta Egreso:** Detecta el estado de la puerta de egreso(abierta/cerrada). Se lo implementa con un Dip Switch.

- **Barrera Infrarroja:** Debe detectar si hay personas dentro de la esclusa. Se lo implementa con un Dip Switch.
- **Abrir puerta de Ingreso:** Se lo implementa con un pulsador, cuando se lo presiona ordena que se abra la puerta de ingreso.
- **Abrir puerta de Egreso:** De la misma manera que la puerta de ingreso, se utiliza un pulsador y al presionarlo indica que se debe abrir la puerta de egreso.
- **Configuración/Enter/Next/Escape:** Se utiliza un primer pulsador para entrar en el modo *Set UP* y tres restantes para navegar a través del menú (Enter/Next/Escape).

La maquina de estados que describe el funcionamiento de los sensores se puede observar en la figura 1.

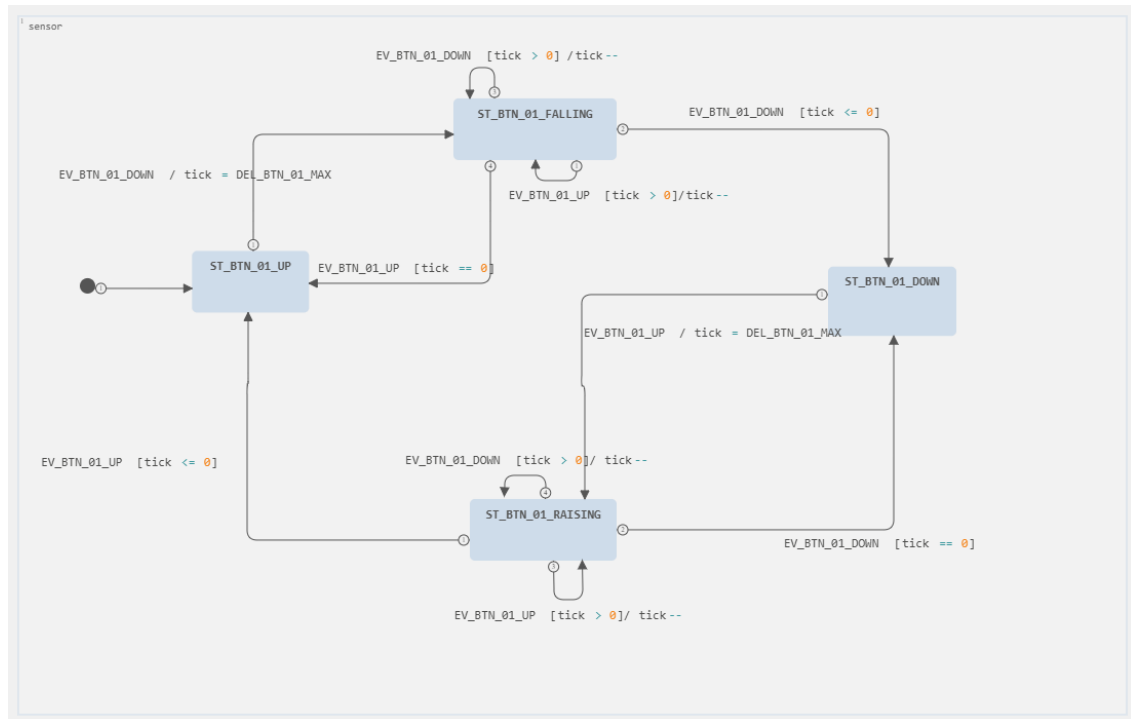


Figura 1: Maquina de estados que describe el funcionamiento de los sensores.

La maquina modela a los sensores como pulsadores. El objetivo principal es detectar cambios en los sensores y notificar al sistema de los eventos detectados. Por su parte, la maquina implementa un filtrado de los rebotes que se producen en los sensores al cambiar de estado, de esta manera, se evitan falsas detecciones.

## 3.2. Sistema

El sistema se descompone en tareas que se encargan de resolver de forma cuasi independiente el procesamiento. Estas tareas están comunicadas entre si mediante interfaces que facilitan el traspaso de eventos. Las tareas se detallan en las proximas secciones

### 3.2.1. Normal

Implementa el control de la puerta esclusa, recolecta los eventos externos, los procesa y da la indicación a los actuadores para que realicen una acción determinada. En la figura 2 se observa la maquina de estados que modela su funcionamiento.



### 3.2.2. Set up

Se encarga del control de la interfaz de usuario y configuración de los parámetros del sistema. Cuando se presiona el pulsador de *Configuración*, el sistema normal cede el mando al modo Set up, donde se podrá leer y configurar los parámetros del sistema. El usuario podrá, por ejemplo, cambiar el tiempo máximo dentro de la esclusa antes que suene la alarma o modificar el tiempo que se mantiene la puerta abierta antes de volver a cerrarse. Los cambios efectuados se actualizarán al presionar el botón *Enter*. En la figura 3 se visualiza su implementación en máquinas de estado.

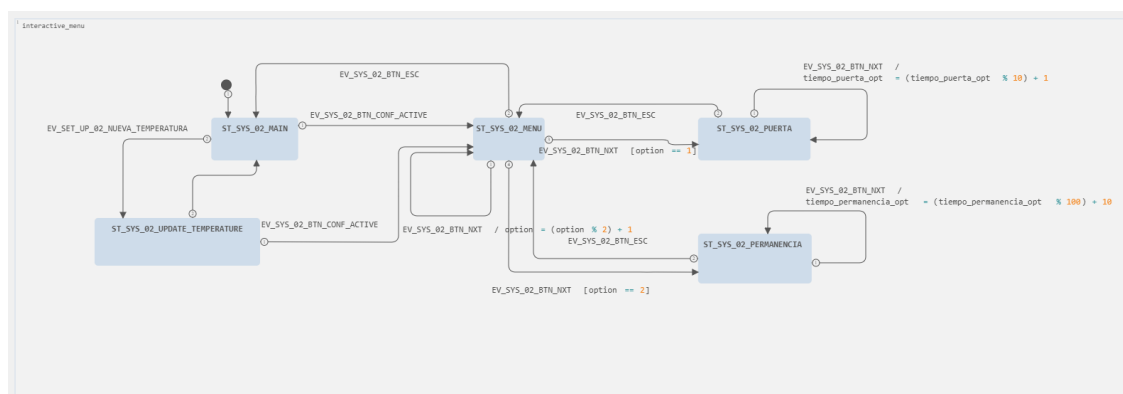


Figura 3: Máquina de estados del menú de configuración.

Esta tarea también se encarga de mostrar la temperatura del sistema, la temperatura ambiente y los valores configurados en el display. La actualización de los valores de temperatura en el display se realiza cuando la tarea Temperature envía un evento a Set Up que notifica que se ha realizado una nueva medición.

Notamos además, que para implementar el sistema de configuración fue necesario comunicar las tareas Set Up y Normal mediante eventos a través de sus respectivas interfaces. Esto permite cambiar entre la operación normal del equipo y la configuración.

### 3.2.3. Temperature

Gobierna la lectura de los conversores analógico digitales para la medición de la temperatura a través de dos sensores. Se ha utilizado un canal del ADC 1 para procesar la temperatura del microprocesador y un canal del ADC 2 para procesar la temperatura ambiente. La máquina de estados correspondiente se puede ver en la figura 4. La máquina indica a los conversores que realicen la medición, espera hasta que sea completada y luego espera 20 segundos para volver a realizar una nueva medición. El tiempo de actualización fue elegido como tal debido a que en general las temperaturas no suelen variar de forma abrupta. El esquema fue implementado a través de interrupciones para evitar código bloqueante.

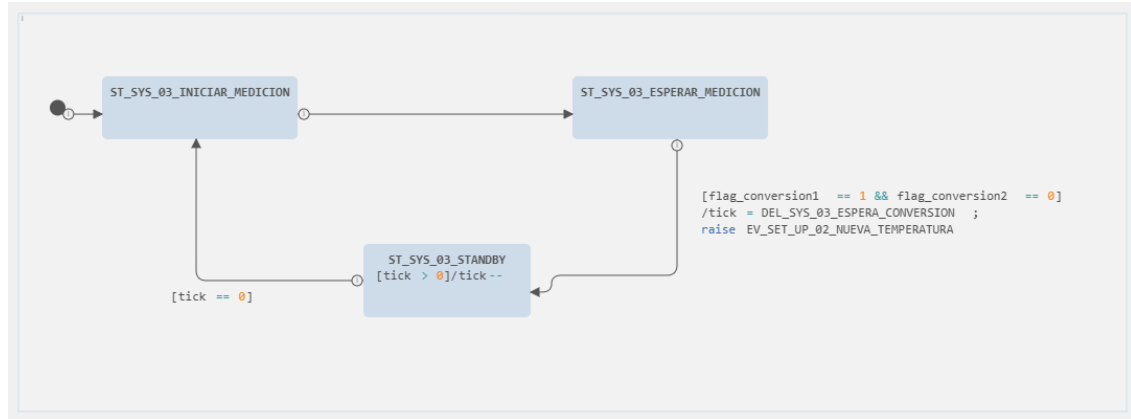


Figura 4: Máquina de estados para el sistema de temperatura.

De forma periódica se mide la temperatura ambiente y del microprocesador. Para medir la temperatura ambiente se utiliza un circuito integrado LM35 y para el microprocesador se utiliza el termómetro interno del mismo. Ambas temperaturas podrán ser vistas en el menú Main del display. Ambos sensores indican el valor medido a través de niveles de tensión proporcionales a la temperatura. Luego de hacer las mediciones, es necesario realizar la conversión haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2).

$$T_{micro} = 25^{\circ}C + \frac{1,43V - Val \cdot \frac{V_{ref}}{2^N}}{4,3 \frac{mV}{^{\circ}C}} \quad (1)$$

$$T_{amb} = Val \cdot \frac{V_{ref}}{2^N} \cdot 100 \frac{^{\circ}C}{V} \quad (2)$$

Donde  $N$  es la resolución en bits del ADC y  $V_{ref}$  la tensión de referencia utilizada. Ambas expresiones fueron obtenidas de las respectivas hojas de datos de los sensores.

### 3.3. Actuador

Para el desarrollo del producto mínimo viable, de acuerdo con los requisitos solicitados, se implementaron los siguientes actuadores. Con el fin de simplificar el proceso de desarrollo, se optó por modelar ambas puertas de la esclusa utilizando un solo motor, lo cual permite un control más eficiente y una reducción en la complejidad del sistema.

- **Motor:** Se representará mediante un par de LEDs. Uno de los LEDs titilará cuando el motor esté subiendo, mientras que el otro lo hará cuando el motor esté bajando. En cualquier otro caso, ambos LEDs permanecerán apagados.
- **Semáforo:** Este estará representado por un par de LEDs y un Buzzer. Un LED se encenderá únicamente cuando sea posible ingresar a la esclusa, mientras que el otro se encenderá solo cuando sea posible egresar. El Buzzer sonará si la persona excede el tiempo de permanencia dentro de la esclusa.

La maquina de estados se observa en la figura 5.

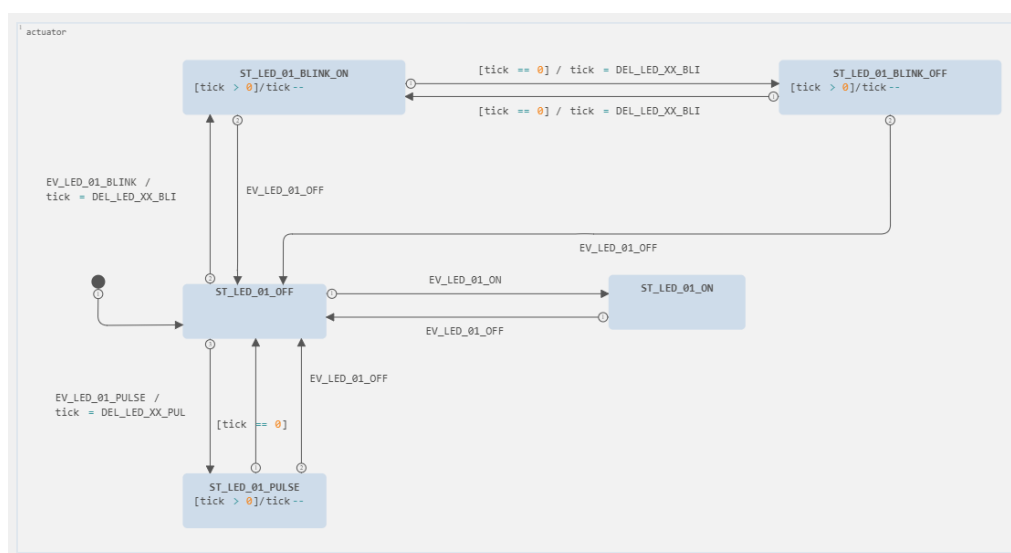


Figura 5: Máquina de estados de los actuadores

Los actuadores fueron modelados como si fueran LEDs. Cada actuador tiene 4 modos de operación que permiten darle versatilidad según el tipo de actuador a excitar.

- **Off:** el actuador permanece inactivo por siempre.
- **On:** el actuador permanece activo por siempre.
- **Blink:** el actuador transacciona entre activo e inactivo cada un cierto tiempo fijo, es decir, titila.
- **Pulse:** el actuador permanece activo durante un tiempo fijo y luego se inactiva de forma automática.



#### 4. Esquema eléctrico y vista del cableado.

A continuación en la Figura 6 se muestra el esquema eléctrico del sistema implementado.

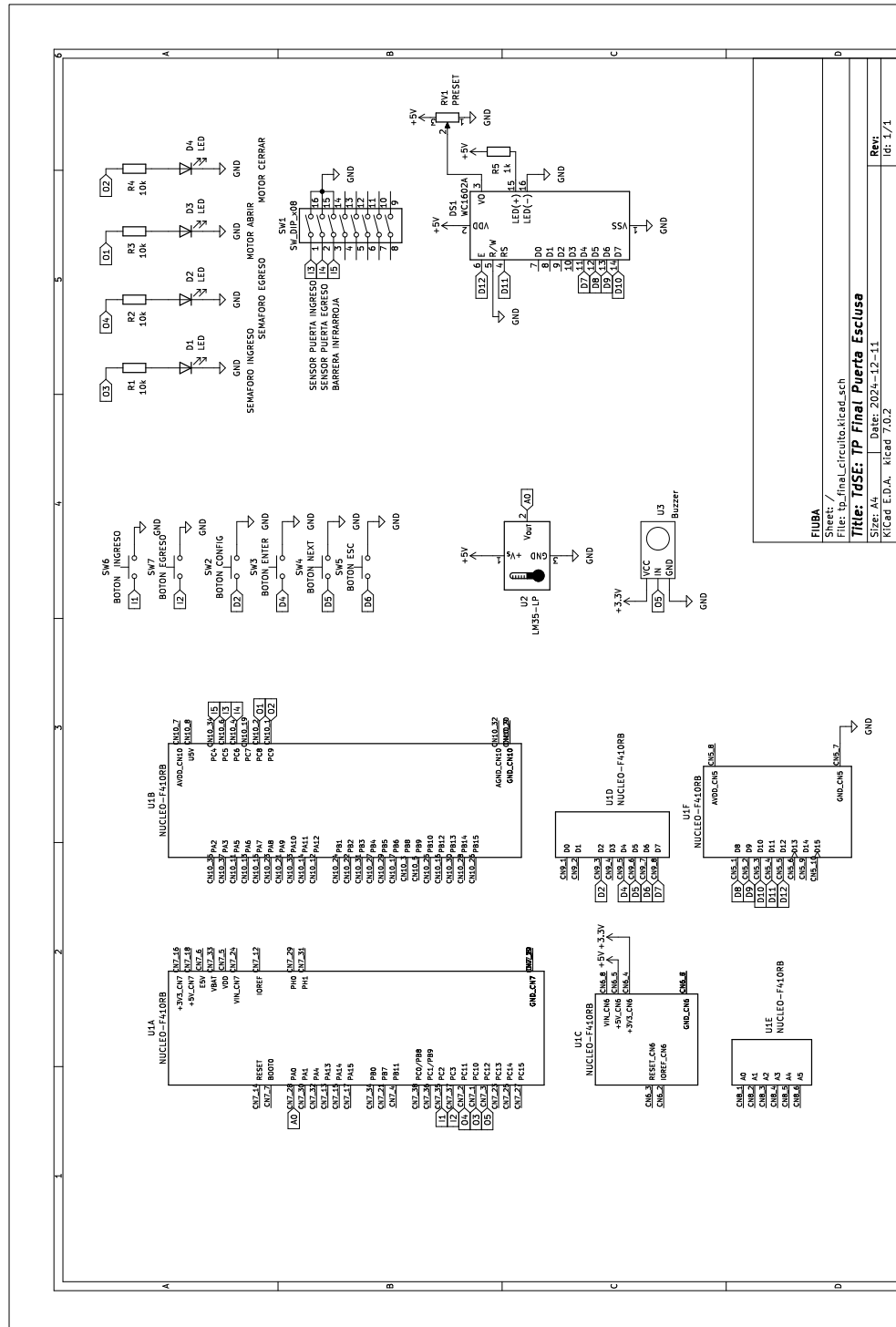


Figura 6: Circuito esquemático

## 5. Cálculo y medición de consumo eléctrico.

El consumo de corriente máximo del sistema se calcula considerando la suma de los consumos de cada componente activo. Para este caso, los principales módulos del sistema son el microcontrolador, los periféricos y el Display LED 1602. La ecuación general utilizada es la siguiente:

$$I_{MAX} = I_{Buzzer} + I_{Led \text{ (Ingreso o Egreso)}} + I_{Led \text{ Motor (Subida o Bajada)}} + I_{Display} + I_{Micro} \quad (3)$$

Donde:

- $I_{Micro}$ : Consumo del microcontrolador en su modo de operación activa.
- $I_{Buzzer}$ : Consumo del modulo del Buzzer.
- $I_{Led \text{ (ingreso o egreso)}}$ : Consumo del led utilizado para el semáforo (solo uno de ellos podrá estar activo).
- $I_{Led \text{ Motor (subida o bajada)}}$ : Consumo del led utilizado para el motor (solo uno de ellos podrá estar activo).
- $I_{Display}$ : Consumo del display LCD.

Para el módulo Display LED 1602, el consumo con retroiluminación activa es de aproximadamente 40 mA. Considerando un consumo de 260  $\mu$ A por cada led, 30 mA para el modulo del buzzer y 25 mA para el consumo del microcontrolador, el consumo total máximo estimado es:

$$I_{MAX} = 40 \text{ mA} + 260 \mu\text{A} + 260 \mu\text{A} + 30 \text{ mA} + 25 \text{ mA} = 95,52 \text{ mA} \quad (4)$$

Este cálculo permite determinar el requerimiento de corriente máxima para el sistema, lo cual es fundamental para seleccionar una fuente de alimentación adecuada. Cabe destacar también que no todos los periféricos van a estar encendidos a la vez por lo que esta cota sera bastante mayor que el consumo estándar de nuestro sistema.

Otro aspecto importante a analizar es la relación entre el límite de corriente máxima que puede suministrar la placa (150 mA) y el total que consume el conjunto de actuadores y sensores a través de los pines de salida. El consumo máximo se puede calcular de la siguiente forma:

$$I_{MAX\text{-pines}} = 40 \text{ mA} + 260 \mu\text{A} + 260 \mu\text{A} + 30 \text{ mA} = 70,52 \text{ mA} \quad (5)$$

Por lo cual, la placa podrá suministrar el consumo necesario sin problemas. En todos los casos, los pines de salida y entrada no sobrepasan la corriente máxima por pin de 25 mA indicada por el fabricante.

## 6. Listado de ítems implementados y no implementados.

Se ha implementado la totalidad de los ítems pedidos en el enunciado para realizar el **mvp**. Cabe mencionar que se ha realizado una simplificación en el modelado de los actuadores, donde solamente se utiliza un solo motor para representar ambas puertas. Si en el futuro se desea escalar el proyecto e implementarlo para una Puerta esclusa real, se deberán utilizar dos motores por separado, pero su funcionamiento seguirá siendo el mismo.

## 7. Medición de *WCET* y de *Factor de uso* de CPU.

El WCET (Worst Case Execution Time) es el tiempo que más que demoró una tarea en ejecutarse una única vez y es una figura de suma utilidad a la hora de estimar el tiempo de respuesta de un sistema. La tabla 1 se muestran los resultados medidos en el proyecto de cada una de las tareas del sistema.

Tarea	WCET [ <i>us</i> ]
Sensor	16980
Set Up	496354
Normal	1118
Actuator	5138
Temperature	692

Cuadro 1: Worst Case Execution Time de cada tarea

Es claro que en este sistema el tiempo limitante esta dado por la tarea de Set Up. Es probable que este elevado tiempo se deba a la implementación de los controladores del display LCD que pueden no estar optimizados.

En cuanto al factor de uso del procesador, este puede ser calculado haciendo la proporción entre tiempo que se están realizando tareas y el tiempo en que esta inactivo (sin ejecutar tareas). En promedio se obtuvo un factor de uso de aproximadamente 5,8%.Aclaremos que esto no quiere decir que no hayan consumos mayores durante algunos instantes cuando el procesamiento es mas demandante.

## 8. Conclusiones.

Se concluye que el proyecto que se ha realizado cumple con el objetivo de ser un producto mínimo viable, cuyo diseño satisface los requerimientos de funcionalidad establecidos. Entre sus principales características a tener en cuenta se incluyen:

- Un consumo eléctrico máximo de 95,52 mA, el cual se considera razonable.
- Una integración eficiente de módulos periféricos como [*Sensor de Ingreso, Sensor de egreso, Barrera Infrarroja, Sensor de temperatura, Display LED, Semaforo, Bocinas, Motores*] representados con [*Dip switches, Leds, etc..*] que demuestran su funcionalidad sin comprometer la estabilidad del sistema.
- La implementación de algoritmos de control que permiten una operación adecuada.

Por otro lado, resulta importante destacar cuales son sus limitaciones que podrían ser abordadas en futuras iteraciones, como:

- Mejorar el rendimiento la biblioteca de escritura del Display.
- Reemplazar los Dip switches y los Leds por el periférico al que representa en cada caso.
- Incluir un segundo motor.
- Explorar opciones de hardware con menor impacto energético, mediante modos *Stand-By* cuando no este operativo el sistema.