

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS
EMBEBIDOS



MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

**Control automático del proceso de
fermentación de vino usando la CIAA**

Autor:
Luis Enrique Chico Capistrano

Director:
Ing. Juan Manuel Cruz

Jurados:
Dr. Ing. Pablo Gomez (FIUBA)
Esp. Lic. Agustín Bassi (FIUBA)
Esp. Ing. Patricio Bos (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en las Ciudad Autónoma de Buenos Aires, entre enero
de 2016 y agosto de 2017.*

Resumen

En el presente trabajo se implementó un control automático de temperatura y sistema de alertas para la bodega Chico Zossi. Al mantener la temperatura estable, se mejora la calidad del vino, lo que afecta directamente al precio por litro.

La implementación se hizo sobre la CIAA NXP, mediante un sistema operativo de tiempo real y se hizo uso de la herramienta de control de versiones. Para garantizar la calidad del producto fueron empleadas técnicas de gestión de proyectos y ensayos que permitieron validar y verificar el correcto funcionamiento.

Agradecimientos

Agradecimientos personales. [OPCIONAL]

No olvidarse de agradecer al tutor.

Índice general

Resumen	III
1. Introducción General	1
2. Diseño e Implementación	3
2.1. Diseño e Implementación	3
2.2. Hardware	3
2.2.1. Diagrama en bloque	3
2.2.2. Características del Hardware	3
2.3. Software	7
3. Ensayos y Resultados	11
3.1. Banco de pruebas	11
3.2. Configuraciones para la PC	12
3.3. Verificación del sistema web embebido	13
3.4. Pruebas funcionales del hardware	15
4. Conclusiones	19
4.1. Conclusiones generales	19
4.2. Próximos pasos	19

Índice de figuras

2.1. Modem SIM800L	3
2.2. Modem SIM800L	4
2.3. Módulo sim800l e índice de esquemáticos.	4
2.4. Fuente de alimentación DC/DC.	5
2.5. Regulador de corriente, de tensión y del sensor de temperatura.	5
2.6. Entradas a leds y salidas de los pulsadores.	6
2.7. Capa superior de la placa simulador de sensores.	6
2.8. Capa inferior de la placa simulador de sensores.	7
2.9. Placa simulador de sensores 3D.	8
2.10. Placa de simulación de temperatura y estado de la batería con el modulo SIM800l integrado.	8
2.11. Diagrama de flujo de la tarea que controla el modem GPRS.	9
2.12. Diagrama de flujo de la tarea de control.	10
2.13. Diagrama de flujo del sensor.	10
 3.1. Placa de simulación de temperatura y estado de la batería con el modulo SIM800l integrado.	11
3.2. Placa básica integrada con la CIAA-NXP.	11
3.3. Configuración de una red estática para la interfaz Ethernet.	12
3.4. Pantalla principal de la web de monitoreo.	12
3.5. Opciones del al presionar sobre el menú desplegable.	13
3.6. Activar/Desactivar actuadores.	14
3.7. Configurar nivel de descarga para accionar la alerta por batería baja.	14
3.8. Configuración de los celulares de quienes van a recibir las alarmas por SMS.	14
3.9. Configuración del rango de temperatura y activación del estado de control automático y alarma.	15
3.10. Formulario de configuración de IP, mascara y puerta de enlace.	15
3.11. Activación por control automático debido a temperatura elevada.	16
3.12. SMS recibidos debido a temperatura máxima. El segundo SMS recibido es por temperatura mínima. Y el último recibido debido a bateria baja.	17
3.13. Temperatura en nivel mínimo, se desactiva la bomba y la electroválvula.	17
3.14. Activación manual de actuador 1 y 2, electroválvula y bomba inactivo.	18

Índice de Tablas

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción General

```
\include{Chapters/Chapter1}
\include{Chapters/Chapter2}
\include{Chapters/Chapter3}
\include{Chapters/Chapter4}
\include{Chapters/Chapter5}
```


Capítulo 2

Diseño e Implementación

2.1. Diseño e Implementación

En este capítulo se mostrará cómo se desarrolló un hardware básico para poder simular el entorno de funcionamiento y cómo se implementó el firmware.

2.2. Hardware

Se implementó el diseño de un circuito, que permite simular el entorno de funcionamiento de la bodega. Para ello se utilizó lo aprendido a lo largo del curso de *diseño de PCBs en KICAD*.

2.2.1. Diagrama en bloque

En el siguiente esquema, Figura ?? podemos apreciar el entorno de trabajo del dispositivo. Donde el mismo deberá interactuar con una bomba de agua que permite llevar desde el deposito del líquido refrigerante a los tanques que están en proceso de fermentación. Recibiendo como información la temperatura de los tanques, este debe controlar la bomba y la electroválvula correspondiente. De esta forma permitirá tener controlada la temperatura acorde a los parámetros establecidos por el usuario.

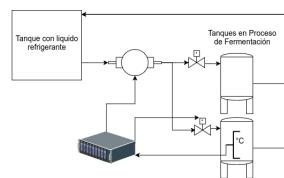


FIGURA 2.1: Modem SIM800L.

2.2.2. Características del Hardware

El sistema cuenta con:

- 1 Salida con regulación de corriente, para simular sensores de 4mA a 20mA.
- 1 Salida con tensión variable, utilizando el regulador LM317.

- 1 Salida del sensor de temperatura LM35.
- 2 Salidas con tensión variable, utilizando potenciómetros.
- 4 Entradas digitales conectadas a leds.
- 4 Salidas conectadas a pulsadores.
- 1 Sócalo para la conexión del modulo SIM800L.
- 1 salida de 5V a 3A y otra de 3.3V a 1A.

El módulo sim800l que se muestra en la siguiente Figura 2.2, es un módem GPRS que cuenta con las siguientes especificaciones:



FIGURA 2.2: Modem SIM800L.

- Alimentación: 3.4V a 4.4V (4.0V recomendado)
- CuatriBanda 850/900/1800/1900MHz
- GPRS Multi Slot class 8/10
- Control mediante comandos AT (GSM 07.07 ,07.05 y comandos AT SIM-COM).

En la figura 2.3 se puede apreciar el esquemático implementado para la conexión del módem GSM. Éste requiere adaptar los niveles de tensión para interactuar con la CIA-NXP, para el cual utilizamos un max3232.

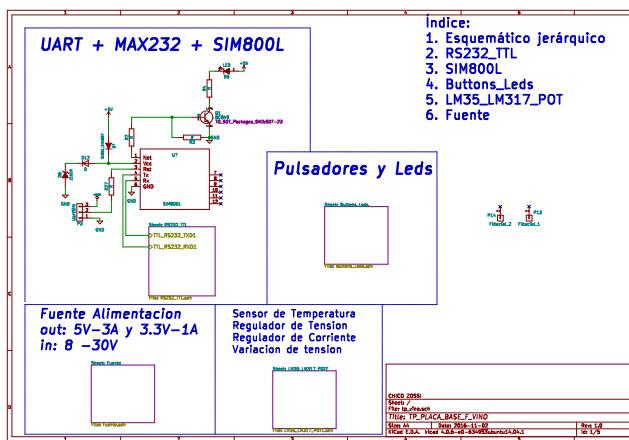


FIGURA 2.3: Módulo sim800l e índice de esquemáticos.

Para la alimentación del circuito se utilizó el regulador LM2576. El mismo se tomó de la nota de aplicación el diagrama típico.¹ Para regular a 3.3V se utilizó el integrado LM11733 circuito extraído de la nota de aplicación.²

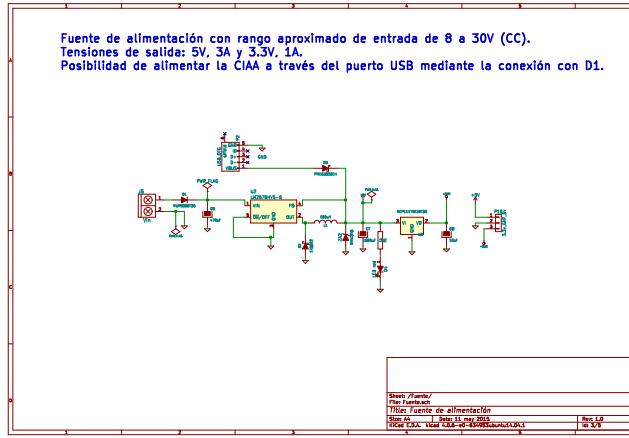


FIGURA 2.4: Fuente de alimentación DC/DC.

Para lograr la simulación de distintos tipos de sensores, se utilizaron circuitos como se muestra en la figura 2.5 que permiten generar corrientes 4mA a 20mA, variaciones de la tensión, y hasta un sensor de temperatura. Para los circuitos se utilizaron las notas de aplicación de Texas Instruments³

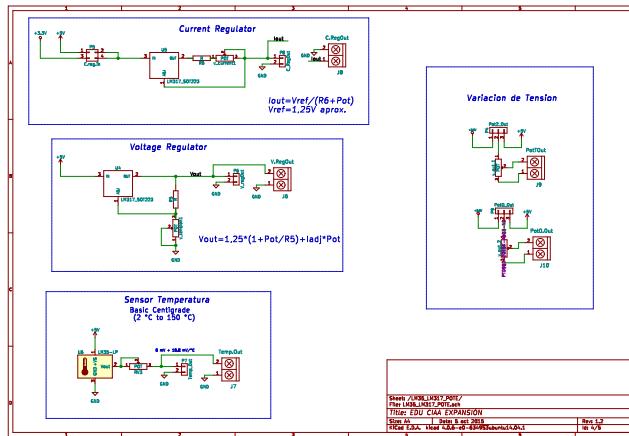


FIGURA 2.5: Regulador de corriente, de tensión y del sensor de temperatura.

Para concluir, se utilizaron unos circuitos básicos que permiten interactuar en forma simple con el sistema y realizar pruebas de funcionamiento. Los mismos

¹Nota de aplicación Texas Instruments: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>

² Texas Instruments: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf> - Capítulo 8 Figura 16

³Reguladores de Tensión y Corriente <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf> - capítulo 8 páginas 12 y 13 y sensor temperatura: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> - 8.2.1 Basic Centigrade Temperature Sensor

fueron extraídos del esquemático utilizado en el proyecto de la EDU-CIA⁴

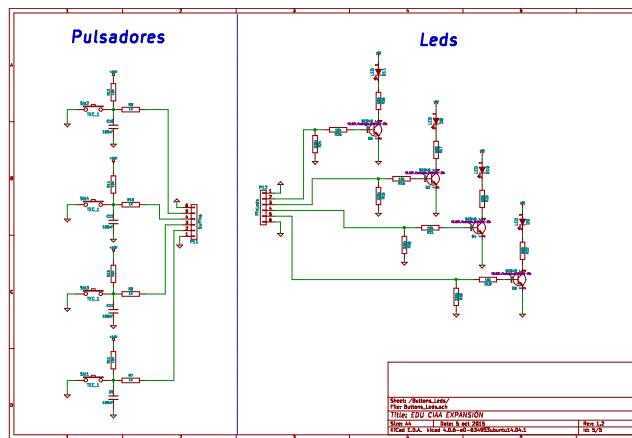


FIGURA 2.6: Entradas a leds y salidas de los pulsadores.

Una vez realizados los esquemáticos, se pasó a la elaboración del PCB. Se realizaron los ruteo necesarios. Y como se puede observar en la siguientes figuras 2.7 - 2.8

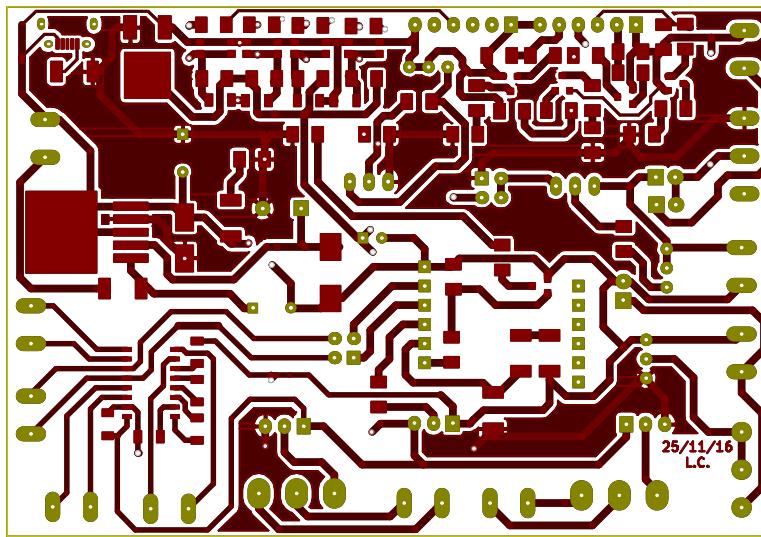


FIGURA 2.7: Capa superior de la placa simulador de sensores.

Realizando una vista previa de como quedaría el esquema y aprovechando el potencial de la herramienta de kicad, se realizó una vista 3D de como quedaría, la que se puede apreciar en la figura 2.9.

No obstante, por cuestiones de tiempo no se llegó a implementar. Simplemente quedó en una primera etapa para una posterior implementación. Se terminó desarrollando una placa experimental que permitió realizar las primeras pruebas. Podemos verla en la siguiente figura 2.10

⁴http://www.proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/lib/exe/fetch.php?media=desarrollo:edu-ciaa:edu-ciaa-nxp:edu-ciaa-nxp_color.pdf

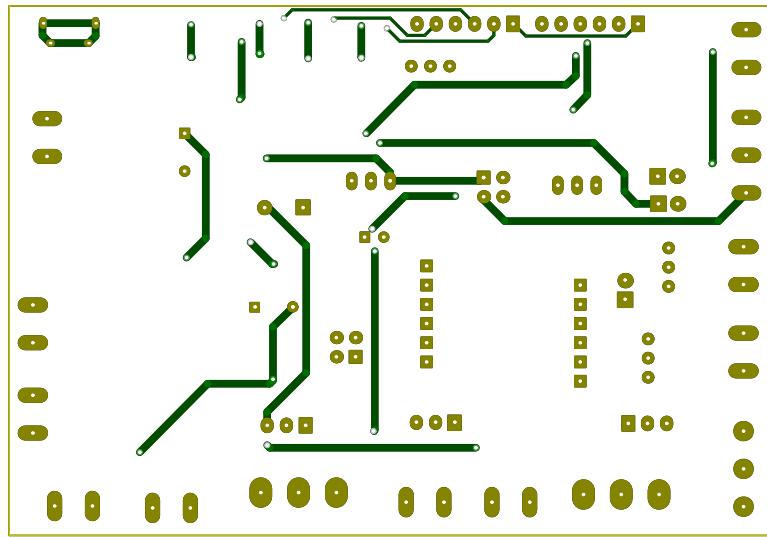


FIGURA 2.8: Capa inferior de la placa simulador de sensores.

2.3. Software

Se dividieron las tareas por recursos:

- Modem
- Control
- Sensores

Modem

En esta tarea se inicializa las configuraciones iniciales para el uso del modem. Es la encargada de interactuar con el módulo GPRS, realizando consultas del estado de señal y de enviando los mensajes de alarmas en caso de ser necesarios.

Podemos ver como fue implementado en el diagrama de flujo en la siguiente figura 2.11.

Control

Con esta tarea se analiza el resultado los sensores de temperatura, y de labatería. Se verifica que esten dentro de los parametros configurados por el usuario y se actua en consecuencia.

También es la encargada de setear los actuadores según sean especificados en la plataforma web.

La implementacion se puede apreciar en la siguiente figura: 2.12.

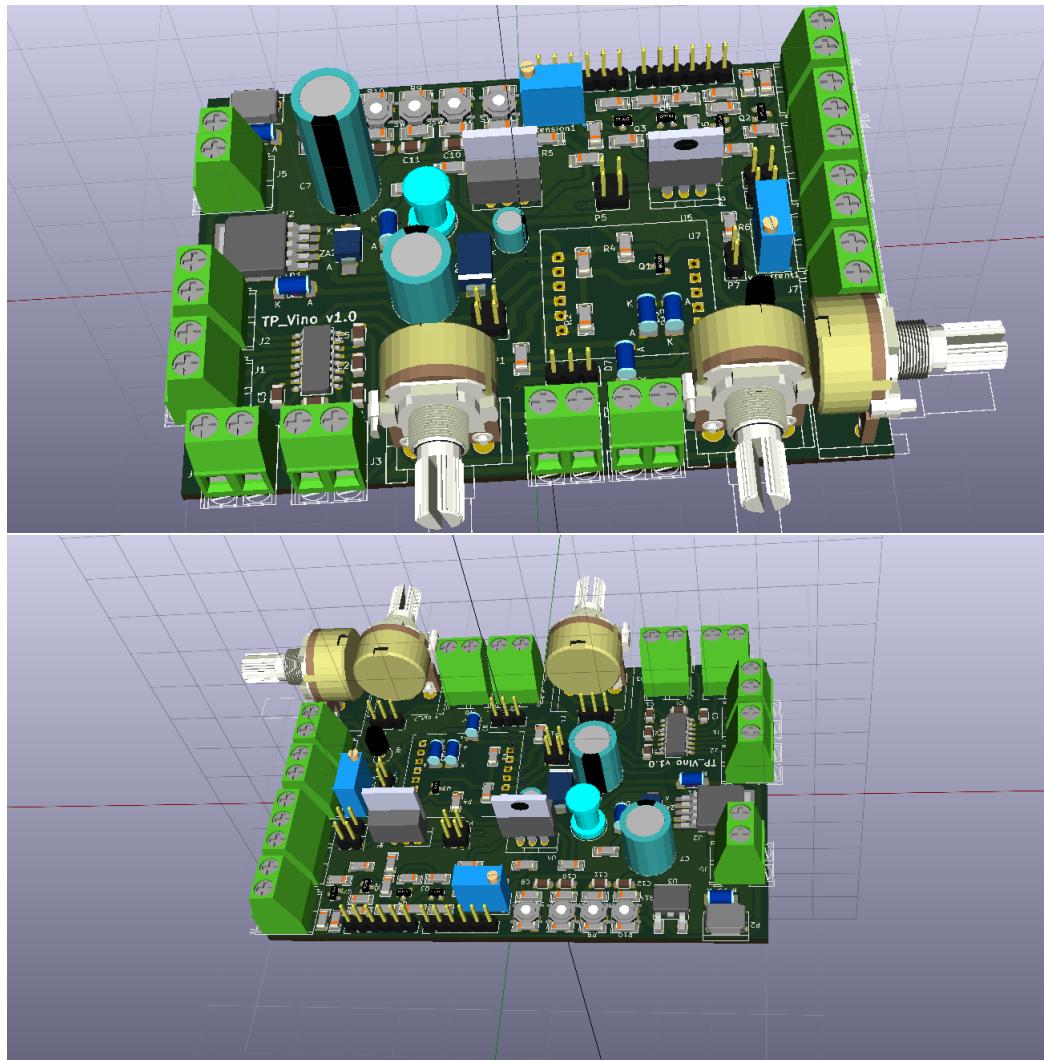


FIGURA 2.9: Placa simulador de sensores 3D.



FIGURA 2.10: Placa de simulación de temperatura y estado de la batería con el modulo SIM800l integrado.

Sensor

En este caso la tarea es más simple, consulta el estado de los sensores y calcula el promedio de las ultimas N muestras, este es el valor que usa el control para definir si es necesario encender los actuadores correspondientes.

Como vemos en el siguiente diagrama de flujo, figura: ??.

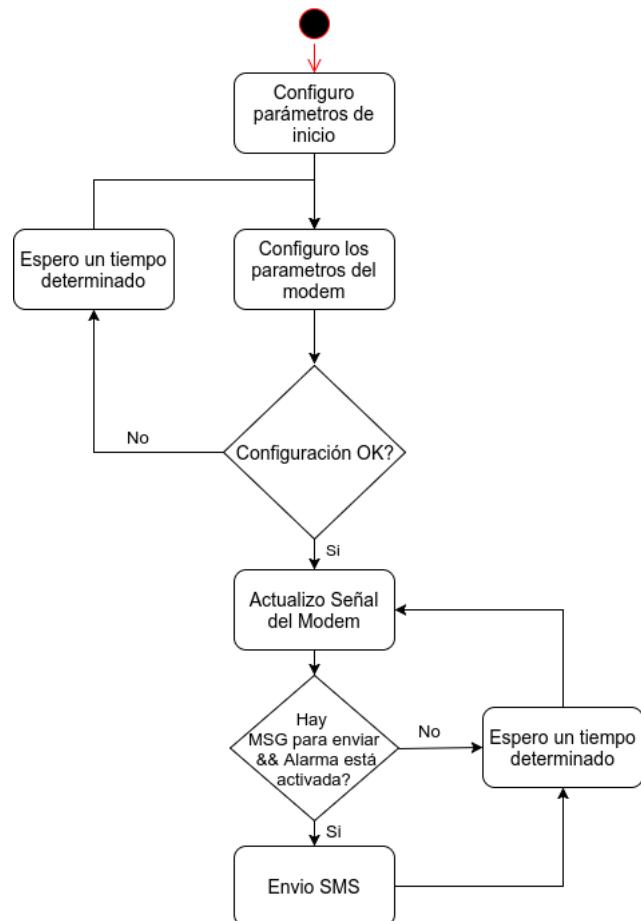


FIGURA 2.11: Diagrama de flujo de la tarea que controla el modem GPRS.

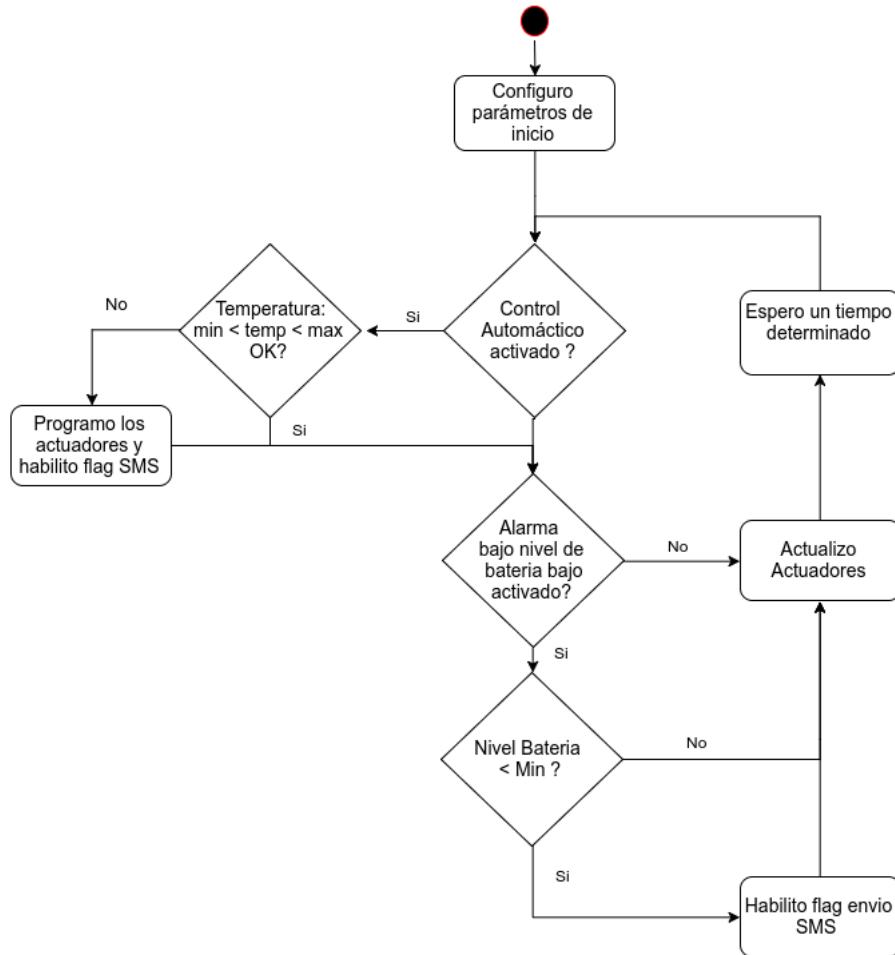


FIGURA 2.12: Diagrama de flujo de la tarea de control.

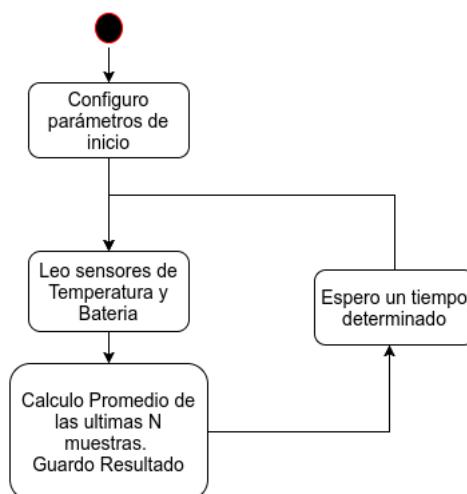


FIGURA 2.13: Diagrama de flujo del sensor.

Capítulo 3

Ensayos y Resultados

En este capítulo se expone cuales fueron las pruebas realizadas para determinar que el sistema funciona en forma correcta.

3.1. Banco de pruebas

Para poder simular el comportamiento de un sensor de temperatura y la descarga de una batería. Se implemento una placa básica la cual ya fue vista en el capítulo 3.2, que para facilidad del lector volvemos a mostrarla en la siguiente figura 3.1, la cual consta de dos potenciómetros, que permiten simular la variación de estos dispositivos. Sobre la misma se conecto un conversor RS232 a TTL, para lograr la integración del módem GPRS SIM800L.



FIGURA 3.1: Placa de simulación de temperatura y estado de la batería con el modulo SIM800l integrado.

Todo esto se integra la Plataforma de la CIAA-NXP, véase figura 3.2, para verificar el correcto funcionamiento del firmware desarrollado.

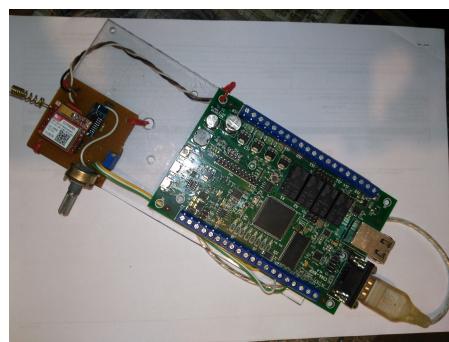


FIGURA 3.2: Placa básica integrada con la CIAA-NXP.

3.2. Configuraciones para la PC

Para la realización de los ensayos, comenzamos configurando la PC en forma adecuada. Para ello en la siguiente figura 3.3 vamos a ver como configurar en Linux la interfaz de red. Es importante destacar que dichos comandos son ejecutados con el permiso se súper usuario, *root*.

```
root@joseph:/home/lchico/Documents/Tesis_Especializacion/Memoria/Informe/Chapters# ifconfig
lo      Link encap:Local Loopback
        inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
        inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
              UP LOOPBACK RUNNING MTU:65536 Metric:1
              RX packets:26202 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
              TX packets:26202 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
              collisions:0 txqueuelen:1
              RX bytes:1987773 (1.9 MB)  TX bytes:1987773 (1.9 MB)

root@joseph:/home/lchico/Documents/Tesis_Especializacion/Memoria/Informe/Chapters# ifconfig eth0 192.168.1.2/24
root@joseph:/home/lchico/Documents/Tesis_Especializacion/Memoria/Informe/Chapters# route
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask        Flags Metric Ref  Use Iface
192.168.1.0     *               255.255.255.0 U     0      0      0 eth0
root@joseph:/home/lchico/Documents/Tesis_Especializacion/Memoria/Informe/Chapters# ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet HWaddr a4:ba:db:da:b5:30
        inet addr:192.168.1.2  Bcast:192.168.1.255  Mask:255.255.255.0
        inet6 addr: fe80::a4ba:dbff:fedab5:30/64 Scope:Link
              UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
              RX packets:3969 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
              TX packets:6035 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
              collisions:0 txqueuelen:1000
              RX bytes:1460102 (1.4 MB)  TX bytes:765043 (765.0 KB)

lo      Link encap:Local Loopback
        inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
        inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
              UP LOOPBACK RUNNING MTU:65536 Metric:1
              RX packets:26262 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
              TX packets:26262 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
              collisions:0 txqueuelen:1
              RX bytes:1992384 (1.9 MB)  TX bytes:1992384 (1.9 MB)

root@joseph:/home/lchico/Documents/Tesis_Especializacion/Memoria/Informe/Chapters# 
```

FIGURA 3.3: Configuración de una red estática para la interfaz Ethernet.

Una vez que tenemos la configuración de red adecuada vamos a proceder a dirigirnos a un navegador web. Y como vemos en la imagen 3.4 ingresamos el numero de ip correspondiente al dispositivo de control, la cual es: 192.168.1.11

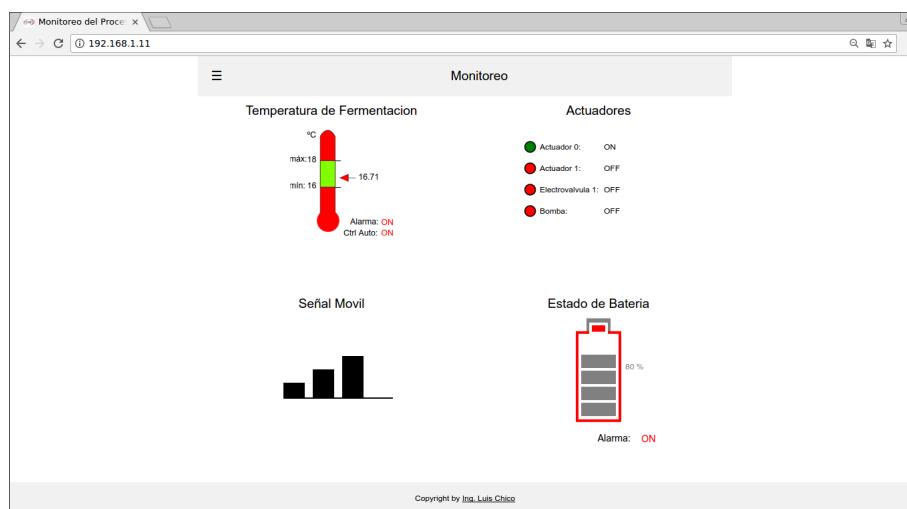


FIGURA 3.4: Pantalla principal de la web de monitoreo.

En esta pantalla vamos a tener toda la información correspondiente al sistema. Arriba a la izquierda podemos ver el estado de la temperatura, con sus rangos máximos y mínimos seteados. Y debajo de dicho termómetro podemos ver si esta activada: la alarma y el control automático.

Luego arriba y a la derecha podemos ver los estados de los actuadores, la electroválvula y la bomba. Estos le permiten al cliente controlar en forma remota dos actuadores y el sistema correspondiente a la bomba de refrigeración con la electroválvula asociada. El sensor de temperatura permitirá informarle al sistema de control automático cuando debe actuar acorde a los rangos establecidos, esto solo en el caso de estar activado dicho control automático.

Abajo a la izquierda tenemos en nivel de señal correspondiente al módem GSM, mediante el cual podremos saber si la cobertura de señal de la red de telefonía móvil esta en condiciones de operar y permitirnos el servicio de alertas mediante mensajes SMS.

Finalmente abajo a la derecha tenemos el estado de la batería, el cual va a permitir al sistema continuar en funcionamiento en caso de un corte de energía. El principal uso de este será mantener la posibilidad de enviar un mensaje SMS notificando el corte de energía.

3.3. Verificación del sistema web embebido

De lo explicado en la sección anterior, se procederá a navegar por el menú, véase figura 3.5, las diferentes configuraciones para constatar de que todo el sistema esta funcionando en forma correcta. Al presionar donde dice menú, obtendremos las opciones de configuración. Donde:



FIGURA 3.5: Opciones del al presionar sobre el menú desplegable.

1. **Monitoreo:** Nos dirige a la pantalla principal, donde podemos ver el estado del sistema. figura 3.4.
2. **Actuadores:** Podemos setear en forma manual el estado de los mismos. figura 3.6.
3. **Batería:** Aquí podrá setear la alarma debido al nivel de descarga de batería que configuremos. Esta enviara un SMS indicando el estado. figura 3.7.
4. **Módem GPRS:** En este menú podremos configurar 2 personas a quienes serán enviadas las alertas debido al accionar de alguna alarma.3.8.

- 5. Temperatura:** Aquí se configura el rango de temperatura, la alarma correspondiente y si deseamos activar el control automático de la misma. De estar activado, actuará en forma automática sobre la bomba y la electroválvula para mantener la temperatura dentro de dicho rango. figura 3.9.
- 6. Network:** Aquí se configura los parametros de la red, IP, mascara de red y puerta de enlace. figura 3.10.
- 7. Cerrar Menú:** Esta opción cerrar el menú, permitiendo quedarse en la sección que estaba antes de presionar en menú.



FIGURA 3.6: Activar/Desactivar actuadores.

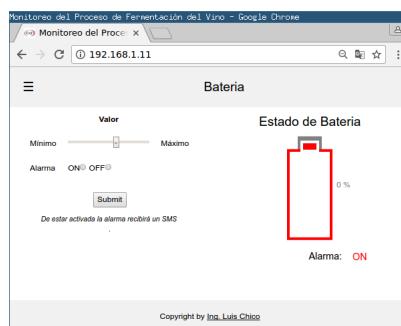


FIGURA 3.7: Configurar nivel de descarga para accionar la alerta por batería baja.

The screenshot shows a configuration page for the GPRS modem. At the top, it says 'Configurar Modem GPRS'. On the left, there's a section for 'Señal Movil' with a signal strength bar. On the right, there's a table for 'Configurar telefonos para reportar alarmas SMS' (Configure phones to report alarm SMS). The table has columns for 'Nombre', 'Nro de Celular', and 'Estado'. There are two rows: 'Opcion_1: Test f' and 'Opcion_2: Person_2'. Each row has fields for 'Nombre' (Test f, Person_2), 'Nro de Celular' (64958758, Nro Cel2.), and 'Estado' (radio buttons for 'Activo' and 'Inactivo'). At the bottom left is a 'Submit' button. The URL in the browser is 192.168.0.11.

FIGURA 3.8: Configuración de los celulares de quienes van a recibir las alarmas por SMS.



FIGURA 3.9: Configuración del rango de temperatura y activación del estado de control automático y alarma.

Este formulario web para la configuración de red. Se piden tres direcciones IP: 'IP:', 'Mask:' y 'Gateway:', cada una con un cuadro para cada octeto. Un botón 'Submit' finaliza el formulario. Una nota en la parte inferior dice: 'Copyright by Ing. Luis Chico'.

FIGURA 3.10: Formulario de configuración de IP, mascara y puerta de enlace.

3.4. Pruebas funcionales del hardware

Una vez recorrido todas las opciones que permite la interfaz web y verificar que el comportamiento haya sido el esperado. Se procede interactuar con el sistema, por medio de alteraciones generadas a través de los potenciómetros que representaran la temperatura y el estado de la batería.

Estando activado el control automático y al simular un incremento de temperatura, se comprobó que al exceder la temperatura máxima inicio en forma automática la bomba que permite la circulación del refrigerante y la activación de la electroválvula que interviene sobre el tanque que estamos monitorizando. En la web no muestra figura 3.11. y dado su respectiva alerta mediante un SMS como vemos en la figura 3.12

Se verificó que éste se mantiene activado hasta llegar a la temperatura mínima, en este instante procede a desconectar la bomba y a cerrar la electroválvula. En la web se verá como en la figura 3.13. y dado su respectiva alerta mediante un SMS como vemos en la figura 3.12

En el caso de la batería se analiza las variaciones en la carga. Si esta disminuye más de un valor que es determinado, se enviará SMS como el que observamos en figura 3.12.

Para verificar los actuadores nos dirigimos a la web en la sección de configuración de actuadores y seteamos para cada uno de ellos los diferentes estados, encendiendo y apagando. Luego se probó en bloques de varios actuadores. En la siguiente figura 3.14 se ve un ejemplo de los casos probados.

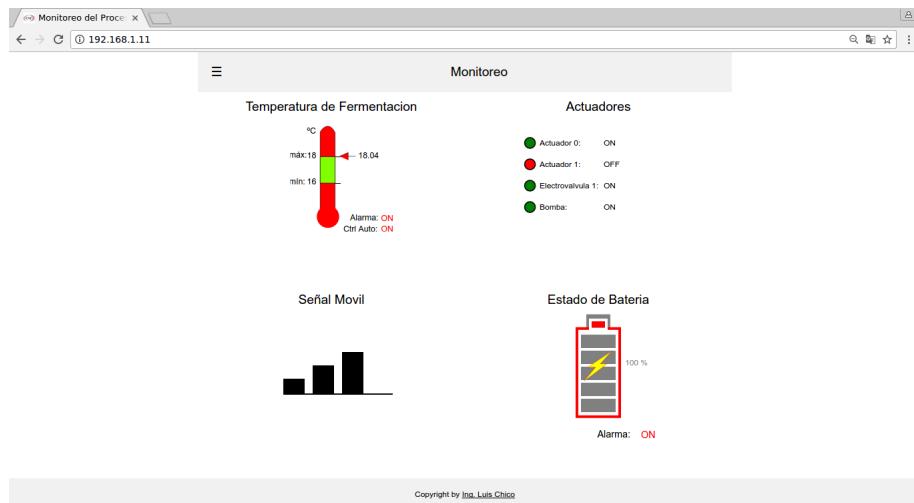


FIGURA 3.11: Activación por control automático debido a temperatura elevada.

De esta forma podemos concluir que el funcionamiento del sistema es el correcto.

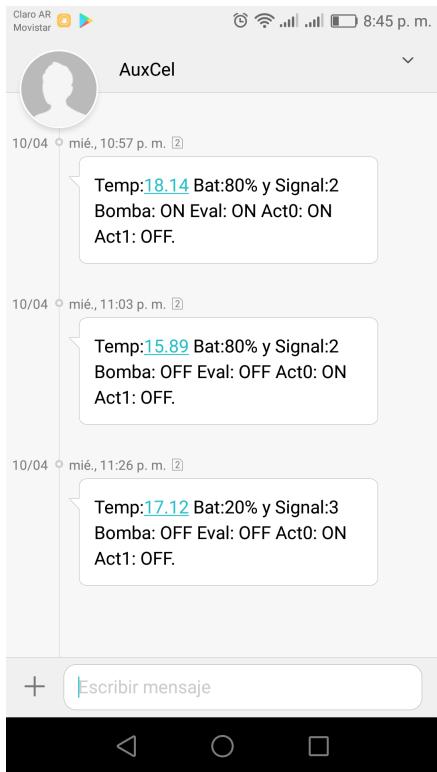


FIGURA 3.12: SMS recibidos debido a temperatura máxima.
El segundo SMS recibido es por temperatura mínima.
Y el último recibido debido a batería baja.

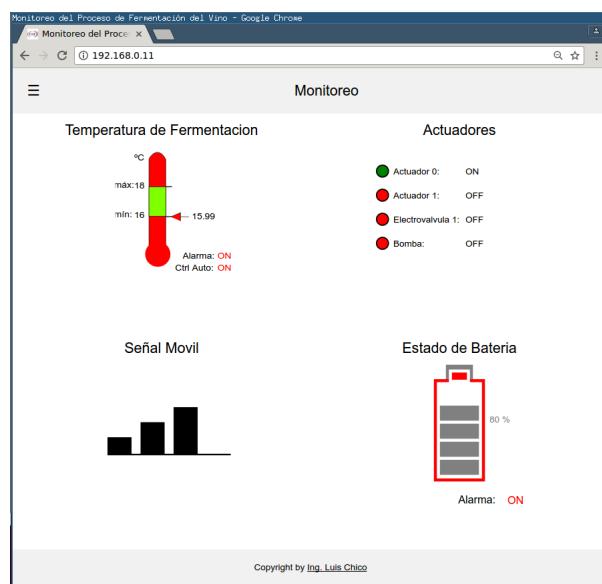


FIGURA 3.13: Temperatura en nivel mínimo, se desactiva la bomba y la electroválvula.



FIGURA 3.14: Activación manual de actuador 1 y 2, electroválvula y bomba inactivo.

Capítulo 4

Conclusiones

4.1. Conclusiones generales

Al finalizar esta primera etapa del prototipo, podemos concluir que se logró:

- Mediante una página web accedemos al estado del sistema.
- Permite navegación mediante pc, celulares, tablets compatibles con navegadores como Chrome y Firefox.
- Haciendo uso de un sensor de temperatura y salidas para actuadores. Permite un control manual y automático del sistema.
- Alertar mediante SMS cuando: la temperatura excede el rango permitido, y/o para un determinado nivel de batería.
- Implementar mediante el stack TCP/IPlwIP con el RTOS freeRTOS.
- Uso del lenguaje C, HTML, CSS y JavaScript.
- Hacer uso de un sistema de control de versiones, GitHub.

Es decir, ya podemos controlar la temperatura de un tanque y recibir alertas en los principales estados críticos del proceso. Tenemos incorporado una interfaz de monitoreo que a su vez nos permite actuar en forma remota.

4.2. Próximos pasos

En esta primera etapa se dió una primera interacción con todo lo que involucra controlar el proceso de fermentación. Ahora estamos en condiciones de perfeccionar este producto extendiendo sus funciones. Para ello podríamos optimizar los siguientes puntos:

- Ampliar la capacidad de control a 4 tanques.
- Mejorar la interfaz web para dichos cambios, y realizar un entorno más amigable.
- Ampliar las funcionalidades de los SMS, no sólo para reportes de alertas sino también para consultas y posibles controles.
- Agregar retroalimentación de sensores y actuadores por hardware para un control más robusto.

- Adicionar una opción de control por intervalos de tiempos.