



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

“SISTEMA DE MONITOREO Y ALARMA GSM”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

**ESCOBAR HEREDIA CARLOS**

ASESOR:

M.I. ULISES M. PEÑUELAS RIVAS

MÉXICO, D.F. 2013





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Índice

Introducción.....	1
Objetivo.....	1
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Antecedentes y Marco Teórico.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Alarmas.....	2
1.1.2 Telemetría.....	2
<b>1.2 Marco Teórico.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 La Red GSM.....	4
1.2.2 Arquitectura de la Red GSM.....	5
1.2.3 Servicio de Mensajes de Texto.....	5
1.2.4 GPRS.....	6
1.2.5 Comandos AT.....	6
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Metodología de Diseño.....</b>	<b>7</b>
2.1 Identificación de la necesidad.....	7
2.2 Análisis del Problema.....	9
2.3 Elaboración de las Especificaciones.....	12
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Arquitectura del SMAG.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Identificación de los Subsistemas.....</b>	<b>15</b>
3.1.1 Subsistema de Configuración.....	16
3.1.2 Subsistema de Envío y Recepción de mensajes.....	19

3.1.3 Subsistema de Monitoreo y Control del Entorno .....	21
3.2 Interfaces entre Subsistemas.....	22
3.3 Elección de los componentes .....	24
3.3.1 Subsistema de Monitoreo y Control del Entorno .....	24
3.3.2 SERM y Módulo de comunicación USB.....	25
3.3.3 Módulo GSM .....	26
3.3.4 Memoria .....	29
3.3.4 Arquitectura eléctrica del SMAG .....	31
 <b>Capítulo 4</b>	
Bus I2C.....	32
4.1 Comunicación con la Memoria.....	34
4.1.1 Operaciones Básicas de Lectura y Escritura .....	34
4.1.2 Variables de punto Flotante.....	36
4.2 Comunicación entre PICs.....	38
4.2.1 Operaciones de lectura y escritura.....	38
4.2.1.1 Operación de Escritura .....	39
4.2.1.2 Operación de Lectura.....	41
4.2.1.3 Operación de Escritura-Lectura.....	42
4.2.2 Rutina de Servicio para la Interrupción por I2C .....	43
 <b>Capítulo 5</b>	
Comandos AT .....	46
5.1 Lista de Comandos AT .....	46
5.1.1 Reinicio del Módulo GSM .....	48
5.1.2 Eliminación de un mensaje de texto.....	48
5.1.3 Formato de los mensajes de texto.....	49

5.1.4 Lectura de un mensaje de texto.....	49
5.1.5 Envío de mensajes de texto .....	50
5.1.6 Recepción de mensajes de texto .....	50
5.1.7 Almacenamiento de los mensajes de texto .....	51
5.1.8 Registro en la red de telefonía celular .....	51
5.1.9 Intensidad de señal de la red de telefonía celular .....	52
5.1.10 Mensajes de estado del Módulo GSM.....	53
5.2 Recepción de cadenas por el puerto RS232 .....	54
5.3 Interpretación de las cadenas .....	57
5.4 Estado del Módulo GSM.....	60

## Capítulo 6

Modo de Monitoreo .....	62
6.1 Proceso de inicialización .....	62
6.2 Secuencia de Arranque del Módulo GSM .....	64
6.3 Operaciones de Monitoreo .....	65
6.3.1 Cadenas enviadas por el Módulo GSM.....	66
6.3.2 Recepción de un SMS.....	66
6.3.3 Envío de los Mensajes de Confirmación.....	67
6.3.4 Anomalías detectadas .....	68
6.3.5 Periodo de revisión de la señal .....	69
6.4 Fallas en la Red de Telefonía Celular.....	70

## Capítulo 7

Modo de Configuración.....	72
7.1 Interfaz Gráfica.....	72
7.2 Inicialización de la comunicación USB.....	77

<b>7.3 Variables de punto flotante</b> .....	80
<b>7.4 Modo de Configuración</b> .....	82
<b>7.4.1 Contactos</b> .....	83
<b>7.4.2 Entradas Digitales</b> .....	85
<b>7.4.3 Entradas Analógicas</b> .....	86
<b>7.4.4 Salidas Digitales</b> .....	86
<b>7.4.5 Permisos</b> .....	87
<b>Capítulo 8</b>	
<b>Pruebas y Resultados</b> .....	88
<b>8.1 Modo de Configuración</b> .....	88
<b>8.2 Modo de Monitoreo</b> .....	89
<b>8.2.1 Envío de Mensajes de Alerta</b> .....	89
<b>8.2.2 Recepción de Mensajes</b> .....	91
<b>Capítulo 9</b>	
<b>Conclusiones</b> .....	94
<b>Anexo A</b> .....	96
<b>Anexo B</b> .....	101
<b>Anexo C</b> .....	103
<b>Anexo D</b> .....	106
<b>Anexo E</b> .....	109
<b>Referencias</b> .....	113

# Agradecimientos

Si bien es mi nombre el que aparece en la portada de esta tesis, existen muchos otros que quisiera mencionar como muestra de agradecimiento por el apoyo brindado en distintas etapas de mi vida.

Desde que era pequeño conté con dos personas que, hasta la fecha, han estado a mi lado, a pesar de todo. Gracias a Linaloe Heredia Delgado y a Marco Antonio Escobar Velázquez por todas sus enseñanzas y su afecto incondicional. Son los mejores. Cuando sea grande quiero ser como ustedes.

A mi hermana, Fernanda Itzel Escobar Heredia. Casi nunca entiendo porque haces lo que haces, pero en fin, me caes bien ... a veces ... casi siempre.

Gracias, Mariana Nieto Zamora, por todo. Por ayudarme con la incansable serie de trámites para obtener el título, por tu tiempo, por tu compañía, pero sobre todo, gracias por decirme que sí hace ya más de dos años ... y por seguirme aguantando, no se como le haces.

Un especial agradecimiento a mis amigos de la facultad. Definitivamente la carrera se hubiese vuelto más pesada y aburrida sin su amena compañía. Excepto la tuya Chaneke, a ti te odio.

Asimismo, quisiera agradecer a mi director de tesis, Ulises Peñuelas Rivas, por su orientación y paciencia durante el desarrollo de este proyecto.

Y por último, gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme una educación de alto nivel. Es un gran honor egresar de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

# Lista de Acrónimos

ACK	Acknowledge
ADC	Analogue-Digital Converter
AuC	Authentication Center
BRT	Byte de Reanudación de la Transmisión
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CAN	Controller Area Network
CDC	Communication Device Class
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications
CR	Carriage Return
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Grupo Especial Móvil
HLR	Home Location Register
I2C	Inter-Integrated Circuit
IG	Interfaz Gráfica
LCD	Liquid Crystal Display
LF	Line Feed
LSB	Less Significant Bit / Less Significant Byte
MAPS	Microchip Advanced Part Selector
MS	Mobile Station
MSB	Most Significant Bit / Most Significant Byte
MSC	Mobile Switching Centre
PDU	Protocol Data Unit
PIC	Peripheral Interface Controller
PLC	Programmable Logic Controller
RAM	Random Access Memory
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
ROM	Read Only Memory
RTCP	Real-Time Control Protocol
SC	Subsistema de Configuración
SERM	Subsistema de Envío y Recepción de Mensajes
SIM	Subscriber Identity Module
SMAG	Sistema de Monitoreo y Alarma GSM
SMCE	Subsistema de Monitoreo y Control del Entorno
SMS	Short Message Service
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal Serial Bus
VLR	Visitor Location Register



# Introducción

El presente trabajo documenta el proceso de diseño seguido durante el desarrollo de un modelo funcional de un Sistema de Monitoreo y Alarma GSM.

En el Capítulo 1 se presenta el Marco Teórico, que incluye algunos conceptos básicos de la tecnología GSM. Asimismo se presentan los distintos productos que ya existen en el mercado para cuyo funcionamiento es similar al del dispositivo a diseñar. A continuación, en el Capítulo 2, se describe brevemente la metodología de diseño seguida durante el proyecto y se obtienen las especificaciones con las que se calificó el producto final.

A lo largo del Capítulo 3 se divide al dispositivo en subsistemas, de acuerdo a la metodología propuesta por la Ingeniería de Sistemas, y se expone la función de cada subsistema y las interfaces existentes entre ellos. En el Capítulo 4 se presenta el protocolo de comunicación para el bus I2C utilizado para comunicar a los subsistemas entre sí, mientras que el Capítulo 5 muestra el protocolo de comunicación del Módulo GSM. Después, en el Capítulo 6 se describe el modo de operación de Monitoreo y Alarma del dispositivo y en el Capítulo 7 se explica su modo de configuración.

Por último, en el Capítulo 8 se documentan los resultados de las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del dispositivo y se presentan las conclusiones obtenidas tras el desarrollo del proyecto.

## Objetivo

Diseñar una Sistema de Monitoreo y Alarma GSM que envíe un mensaje de texto al usuario ante la detección de alguna anomalía en su entorno, obedeciendo a la configuración realizada por él mismo. Asimismo, la Alarma GSM deberá de ser capaz de permitir al usuario modificar alguna condición de su ambiente mediante mensajes de texto.

# Capítulo 1

## Antecedentes y Marco Teórico

### 1.1 Antecedentes

La principal aplicación de la red GSM, y para la que fue desarrollada, son las comunicaciones inalámbricas, especialmente la transferencia de datos de voz. Sin embargo, debido a sus características, han surgido aplicaciones de diversa índole, por ejemplo: sistemas de alarma, sistemas de monitoreo, telemetría, venta de productos, servicios de noticias, entre otras. Por la naturaleza del proyecto presentado, este capítulo se enfocará a dar una breve descripción de los sistemas de alarma y telemetría existentes basados en tecnología GSM.

#### 1.1.1 Alarmas

En esta categoría se incluyen aquellas aplicaciones que requieran el envío de un mensaje de aviso al usuario ante la ocurrencia de algún evento.

Dentro de la domótica se utilizan los mensajes de texto (SMS) para monitorear y controlar a distancia ciertas condiciones del hogar, por ejemplo, si una puerta es abierta el usuario recibirá un mensaje notificando el suceso. Otras aplicaciones dentro del hogar incluyen avisos de fuga de gas, falta de agua, el toque de un timbre, movimiento dentro de la vivienda, etc. En el mercado podemos encontrar controladores GSM de la marca DoMobile, los cuales controlan relés mediante mensajes de texto. Los equipos cuentan con entradas digitales a las que pueden ser conectados cualquier tipo de sensores convencionales. El usuario recibirá mensajes de texto informando sobre el estado de las entradas y por el mismo medio podrá activar las salidas [1].

Existe una empresa especializada en alarmas GSM, llamada King Pigeon Hi-Tech. Co., LTD. Las aplicaciones que le han dado a esta tecnología son básicamente de seguridad, e incluyen a la industria, al comercio y el hogar. Una de sus soluciones es un par emisor-receptor que se instala en los cajeros automáticos. Si son abiertos por personal no autorizado o si tienen algún conflicto, un mensaje de texto es enviado al receptor, donde la información se despliega en un LCD con los datos del suceso, como el lugar y a quien contactar para solucionar el imperfecto.

#### 1.1.2 Telemetría

La tecnología GSM también se ha aplicado al monitoreo remoto, es decir, a la recopilación de información en una fuente lejana o de difícil acceso que luego es enviada a una terminal para su procesamiento.

Debido a su disponibilidad, baja potencia requerida y costo, las redes GSM han sido aprovechadas con fines de investigación. En 2005, en Taiwan, un grupo de investigadores evaluó el uso de plataformas de medición para recolectar información en los campos de cultivo, como humedad, temperatura, velocidad del viento, etc. Un problema al que se enfrentaron fue que varias de las tecnologías inalámbricas de corto alcance no cubrían la extensión de la mayoría de los campos, mientras que aquellas por radio y satélite, a pesar de tener mayor alcance, requerían de mayor potencia, lo que elevaba el precio. La solución propuesta fue dotar a dichas plataformas de un módulo GSM, pues éstos tienen una velocidad de respuesta de 23 a 52 [s], aceptable para la aplicación, además de que pueden enviar la información a estaciones en un radio de 2 a 83 [km] alrededor de la plataforma y no presentan pérdida de información [2].

En la industria, la tecnología GSM se puede aplicar para la optimización de procesos. Sirva de ejemplo el caso de un tanque. El proveedor del contenido monitorea el nivel del tanque, de forma tal que cuando el producto este próximo a acabarse no haya necesidad de que el cliente realice un pedido. Al registrar la condición de falta de producto, el proveedor simplemente envía más, de modo que el cliente siempre esté abastecido, simplificando la logística del proveedor y del cliente [3].

En la Universidad de Malmö se llevó a cabo un proyecto para diseñar una alarma personal GSM que avisa cuando un paciente necesita ayuda. Debido a que el paciente no sabe con anticipación cuándo requerirá atención médica de emergencia, la alarma es una buena alternativa para avisar al doctor en el momento en que esto suceda. El prototipo monitorea el pulso del paciente de manera continua. Cuando éste supera o baja de cierto valor de umbral, la alarma se dispara [4].

Un dispositivo similar es comercializado por la empresa King Pigeon. Si bien el anterior está enfocado al uso en hospitales, este otro fue concebido para su uso en el hogar. Se trata de un cuidador de personas mayores. El dispositivo cuenta con botones que, al ser presionados, realizan una llamada al número telefónico asociado a cada uno de ellos. Básicamente se trata de un teléfono celular en casa, con la ventaja de ser independiente a la línea telefónica fija. Debido a su interfaz amigable con el usuario, es ideal para las personas mayores que en muchas ocasiones tienen problemas para aprender a utilizar teléfonos con interfaces más complicadas. También puede ser programado para recordar al usuario los horarios para tomar su medicina, avisar sobre fugas de gas o agua, detectar humo y monitorear actividades [5].

## **1.2 Marco Teórico**

La telefonía celular se ha vuelto una parte indispensable del ritmo de vida actual. Ya sea por necesidad o por gusto, la mayoría de las personas cargan con un teléfono celular. Sin que su joven aparición sea un impedimento, esta tecnología ha crecido a un ritmo bastante acelerado, al grado de que cada año aparecen en el mercado nuevos equipos celulares. A pesar de que éstos integran las tecnologías emergentes del área, todos conservan la tecnología GSM.

### 1.2.1 La Red GSM

Las primeras comunicaciones inalámbricas eran analógicas y no eran compatibles entre una operadora y otra. Por ello, en 1982 la Conferencia Europea de Administración de Puestos y Telecomunicaciones (CEPT, por sus siglas en francés) creó el Grupo Especial Móvil (GSM, por sus siglas en francés). La CEPT encargó a GSM la elaboración de normas europeas para la radiocomunicación con los móviles.

Dentro de los objetivos designados a GSM se encuentran compatibilidad a nivel internacional, gran disponibilidad, uso eficaz del espectro radioeléctrico, costo accesible para los usuarios de la red y posibilidad de acceso desde terminales móviles o portátiles.

En 1987, la GSM establece las especificaciones técnicas más importantes para las normas de radiocomunicación con los móviles: transmisión digital, multiplexado temporal de los canales de radio y cifrado de la información sobre el canal de radio. La decisión de cambiar de un sistema analógico a uno digital obedece a las siguientes ventajas: sonido de mejor calidad, mayor capacidad de usuarios que pueden hacer uso de la red, cifrado, control de potencia de la emisión y un mejor uso del espectro por medio del multiplexado temporal [6].

Las primeras redes GSM comenzaron a operar en 1992 y para 1993 más de un millón de suscriptores habían realizado llamadas utilizando esta tecnología [7]. Actualmente la tecnología GSM puede operar en 4 bandas, ilustradas en la Figura 1.1.

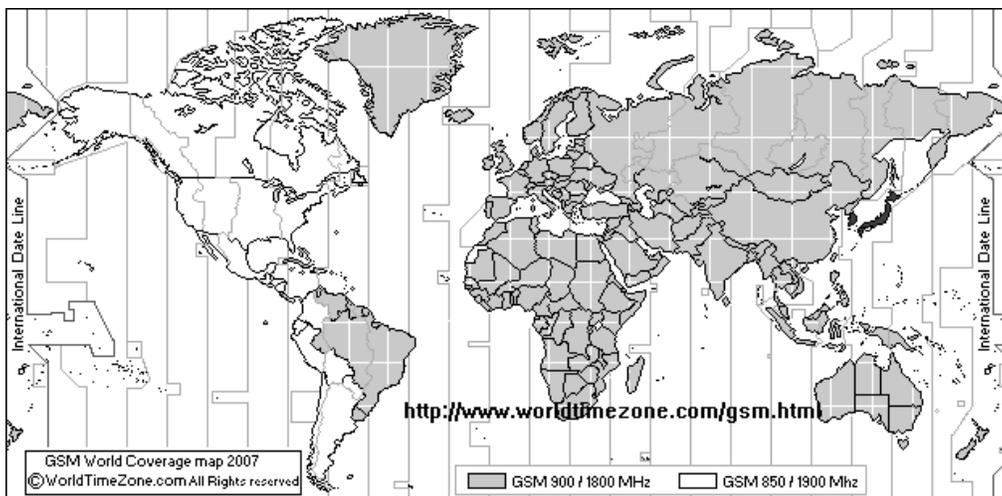


Figura 1. 1 Mapa de las frecuencias de banda GSM en el mundo [8]

El principio de la telefonía celular es dividir el terreno en regiones denominadas células. Cada célula es atendida por una estación fija que conecta al móvil con la red. A cada célula se le asignan un conjunto de frecuencias que son las que definen los canales de comunicación.



## 1.2.4 GPRS

Una desventaja que se tiene con la red GSM es que el enlace entre la terminal móvil y la estación fija se conserva independientemente de si se transmiten datos o no. El uso de la red GSM se tarifa en base al tiempo durante el cual se mantuvo el enlace. Este método es bastante efectivo para transmisión de voz, donde se ocupa el ancho de banda casi al máximo, pero para aplicaciones que requieren envío de datos intermitentes o poco ancho de banda, una alternativa es utilizar GPRS. La red GPRS está basada en la GSM, aunque requiere de ciertos elementos adicionales.

La principal diferencia entre ambas redes es que en GPRS el enlace se utiliza sólo cuando hay transferencia o recepción de datos, mientras que en GSM el enlace permanece abierto independientemente de si es ocupado o no. Esto permite que en la red GPRS varios usuarios utilicen el mismo canal físico al mismo tiempo. La ventaja para la operadora es que el uso de la infraestructura es más eficaz, pues sólo se utiliza cuando realmente se requiere. Por su parte, dado que el cobro se realiza por volumen de datos enviados y recibidos, y no por tiempo, el usuario también se beneficia.

Otra ventaja fundamental de la red GPRS es que el ancho de banda es mayor al de la red GSM, por lo tanto aplicaciones como videollamadas o descarga y visualización de multimedia se vuelven factibles.

## 1.2.5 Comandos AT

Todo dispositivo que desee conectarse a la red celular debe contar con un módulo GSM que contenga el hardware necesario para tal tarea. En los teléfonos celulares se utilizan este tipo de módulos para procesar la voz y convertirla en una señal digital que será enviada a la red GSM, así como para recibir los datos binarios provenientes de la red y convertirlos nuevamente a voz.

Estos módulos se configuran y controlan por medio de comandos AT. Se trata de instrucciones, similares a las de otros lenguajes de programación, que indican al módulo que tarea ejecutar. Algunos ejemplos son: identificar la tarjeta SIM, llamar a un número telefónico, enviar un mensaje de texto, etc. Estas instrucciones y su formato están definidos en los siguientes documentos:

- ETSI GSM 07.07 para los comandos generales de GSM, y
- ETSI GSM 07.05 para manejo de mensajes escritos.

# Capítulo 2

## Metodología de Diseño

Para cumplir con el objetivo del trabajo, se seguirá la metodología de diseño propuesta por W. Bolton en [10]. Ésta propone siete etapas que guían el proceso de diseño. Como el autor señala, éstas no siempre son seguidas en el orden descrito. Esto se debe a que el diseño es un proceso iterativo, por lo que frecuentemente es necesario regresar a etapas previas para corregir fallas o para mejorar el diseño. Si bien esto implica más tiempo en la etapa del diseño del producto, también reduce los tiempos de desarrollo y producción, etapa más cara donde los errores aún pueden ser corregidos pero a un precio mucho mayor. Las etapas de diseño son:

1. Identificación de la necesidad.
2. Análisis del problema.
3. Elaboración de una especificación.
4. Propuesta de posibles soluciones.
5. Selección de una solución idónea.
6. Elaboración de un diseño detallado.
7. Elaboración de dibujos de trabajo (esquemas eléctricos, diagramas de flujo, planos, etc).

En las secciones de este capítulo se documentará el desarrollo de los tres primeros pasos. Los pasos del cuarto al sexto serán explicados en los capítulos posteriores, mientras que los documentos resultantes del séptimo figurarán a lo largo del presente trabajo para ayudar a la explicación y comprensión del proceso de diseño.

### 2.1 Identificación de la necesidad

En la actualidad existen diversos dispositivos electrónicos que realizan tareas de control en casi cualquier área, siendo las más fáciles de identificar la industria y el hogar. Desde la lavadora que temporiza el ciclo de lavado de la ropa hasta el tablero de control de una turbina. Antes, muchos procesos y tareas complicadas, aburridas o laboriosas eran realizadas a mano, lo que demandaba tiempo y recursos, sin mencionar que el producto final no siempre cumplía con la calidad esperada.

Gracias a la electrónica, muchos de estos procesos han sido automatizados. La mano de obra se sustituyó por mecanismos controlados por microprocesadores que permiten obtener productos de calidad en menos tiempo. Sin embargo, el ingenio humano no ha podido reemplazarse. Todo proceso puede ser automatizado hasta cierto punto, pero nunca es recomendable dejarlo sin supervisión humana. Sólo un humano puede dar solución a problemas imprevistos que surjan durante la producción.

Por ello, muchos de los dispositivos electrónicos poseen una interfaz máquina-hombre, que presenta información mediante señales entendibles por el hombre, ya sean textos, luces de colores, sonidos de alarma, etc. A pesar de esto, el operador no siempre recibe la información en el momento debido. Existen muchas razones: el operador no se encuentra frente a la interfaz, la interfaz está mal ubicada y no se ve o fue ocultada por accidente, el operador está cansado y no presta atención a la interfaz o simplemente se encuentra distraído.

Algunos de los indicadores en cuestión son meramente informativos y las consecuencias de no atenderlos son nulas o poco graves. Por otro lado, existen fallas críticas que ahorrarían mucho dinero y tiempo de ser detectadas al instante. Irónicamente, son éstas las que deben ser corregidas por un hombre debido a la complejidad de las mismas.

La necesidad detectada es hacer llegar la información al usuario de tal manera que éste último le preste atención inmediatamente después de su recepción. Además, la información deberá de ser recibida incluso si el usuario no se encuentra cerca de la línea de producción. Dado que será una persona la que interpretará la información, ésta deberá presentarse en un formato humanamente entendible.

Afortunadamente, ya existe un dispositivo que se adapta a la necesidad detectada. El teléfono celular es un aparato que la mayoría de las personas trae consigo en todo momento y con el que ya están familiarizadas. Además, cuenta con diversas formas de llamar la atención, como son sonidos característicos y vibraciones, mismos a los que las personas ya están acostumbradas. Son estas características las que lo hacen un candidato óptimo para servir de interfaz hombre-máquina.

Dado que el dispositivo que presentará la información ya existe, la necesidad se limita a diseñar un puente entre el ambiente monitoreado y el teléfono celular.

Para brindar flexibilidad de uso al dispositivo, se diseñará tomando en cuenta que los sensores utilizados en la industria pueden ser utilizados en el hogar con fines de monitoreo y control doméstico<sup>1</sup>, campo conocido como domótica.

---

<sup>1</sup> Dependiendo de la potencia que demandan y de sus condiciones de operación

## 2.2 Análisis del Problema

El problema en cuestión radica en recopilar información de un ambiente monitoreado mediante sensores y traducirla a un formato que una persona pueda leer, para finalmente hacerla llegar al teléfono celular del usuario. Asimismo, el dispositivo deberá ser capaz de recibir información desde un teléfono celular, interpretarla y ejecutar las acciones correspondientes.

Los equipos de telefonía celular modernos integran muchas tecnologías inalámbricas que podrían ser utilizadas para enviar la información al usuario. Estas opciones se analizan en la Tabla 2.1, presentando sus ventajas y desventajas [11].

**Tabla 2. 1 Tecnologías comunes en teléfonos celulares**

Tecnología	GSM (SMS)	Infrarrojo	Bluetooth	WiFi
Características				
<b>Alcance</b>	Determinado por la cobertura de la operadora	En desuso	10 [m]	5 - 10 [m] <sup>2</sup>
<b>Elementos Adicionales</b>	Ninguno		Ninguno	Modem
<b>Interferencia</b>	No		No	No
<b>Diseño de interfaz</b>	No		Si	No
<b>Disponibilidad</b>	100%	0%	84%	65%

De las tecnologías presentadas, la que más se adapta a las necesidades del proyecto es la GSM. La tecnología de transferencia de datos por infrarrojo, aparte de contar con un alcance bastante reducido, ha caído en desuso, por lo que queda descartada.

Las tecnologías Bluetooth y WiFi cuentan con un alcance decente. Sin embargo, en el caso del Bluetooth, sería necesario diseñar una interfaz para el teléfono celular que permita mostrar los datos enviados por el dispositivo. Por su parte, el uso de redes WiFi requiere de un modem que establezca la conexión entre el dispositivo a diseñar y el teléfono celular, lo que agrega un componente extra al sistema, volviéndola inadecuada para el desarrollo del proyecto.

El Bluetooth podría ser una buena opción, sin embargo la tecnología GSM nos ofrece más ventajas. La primera es que todos los equipos móviles actuales cuentan con una interfaz para recibir y enviar mensajes de texto. Además, no es necesario ningún elemento adicional. Al adquirir la tarjeta SIM la operadora provee los servicios necesarios para comunicarse con la red de telefonía celular.

<sup>2</sup> El alcance de las redes WiFi es de hasta 200 [m] en condiciones ideales. Sin embargo, la Tabla 3.1 presenta su desempeño en interiores, donde las paredes y objetos reducen la calidad de la señal [12].

La mayor ventaja que presenta la tecnología GSM es su disponibilidad. Los porcentajes mostrados se obtuvieron del catálogo virtual de equipos de la compañía Telcel [13], mismo que cuenta con 223 equipos en su base de datos<sup>3</sup>. Como se puede observar, al elegir el envío de información mediante mensajes de texto, el dispositivo sería compatible con cualquier teléfono móvil, lo que le da libertad al usuario de adquirir el que más se adapte a sus necesidades y presupuesto.

El dispositivo deberá de ser capaz de monitorear el ambiente en cuestión. Se deberá de proveer una interfaz ambiente-dispositivo que permita conectar los sensores. Tanto el acondicionamiento de la señal de estos últimos como la alimentación dependen de cada uno de ellos, por lo que no se incluirán en el dispositivo, éste sólo recibirá la señal entregada por los sensores.

Por otro lado, en ocasiones sería deseable poder controlar el ambiente monitoreado, ya sea para corregir la falla de manera remota, o para detener el proceso de producción hasta que se le de arreglo al problema y evitar que el error se prolifere. Por ello, se agrega como un requerimiento la capacidad del usuario para enviar información desde su teléfono celular para manipular alguna condición del ambiente monitoreado. Asimismo, se deberá incluir una interfaz entre el entorno del dispositivo y éste último, que permita la interacción entre ambos.

Para lograr satisfacer la necesidad detectada, se debe facilitar la interpretación de la información. Por ello, se propone que los mensajes de aviso sean personalizables, de modo que sean lo más descriptivos posible para que el usuario sepa exactamente que anomalía causó su envío.

Debido a que en la industria laboran varias personas en una misma línea de producción, el dispositivo deberá de ser capaz de dar servicio a varios usuarios de manera simultánea. Esto también es aplicable para un hogar, donde es usual que habiten dos personas o más. Además, para eliminar intrusiones de terceras personas, sólo los usuarios podrán manipular las condiciones del ambiente monitoreado.

Las acciones correctivas ante la detección de una anomalía pueden ser llevadas a cabo por una persona, o bien, por un sistema automático en conjunto con una persona. Lo recomendable sería que un sistema automático detuviera la línea de producción, acción de fácil programación. De esta forma, la falla no causaría mayor problema tras ser detectada. Además, se le da tiempo al usuario de diagnosticar y reparar la falla, proceso más complejo y de difícil automatización. Tomando en cuenta que la persona podría estar lejos de la línea de producción o que necesitaría ir por el equipo y herramienta necesarios, no se le dará mucha prioridad a la velocidad de respuesta del dispositivo.

---

<sup>3</sup> Estudio realizado el 31 de Marzo de 2013

El envío de un mensaje de texto tarda de 23 a 52 segundos [2] cuando la red telefónica está disponible y la intensidad de señal es adecuada. De compararse contra equipos de adquisición de datos, cuya velocidad de respuesta es de fracciones de segundo, los valores anteriores podrían parecer excesivos. No obstante, al considerar la velocidad de respuesta del hombre, o el tiempo que tardaría una persona en arreglar el desperfecto, unos cuantos segundos se vuelven insignificantes, y más aun considerando que se puede implementar un sistema automatizado que realizará una acción previa de control. Cabe aclarar que a pesar de tener un gran margen de tiempo para el envío del mensaje, lo deseable es que éste sea enviado lo antes posible.

Además, el dispositivo deberá de ser capaz de enviar cualquier anomalía registrada durante los lapsos de tiempo en los que no se tenga comunicación con la red de telefonía celular para enviarlos al usuario tan pronto se reestablezca el enlace con la red.

Es importante aclarar que aunque el dispositivo será de gran ayuda, éste no sustituye por completo a los indicadores del tablero de control. Principalmente, debido a que la red de telefonía celular es susceptible a fallas ante eventos climatológicos y no es cien por ciento confiable, a diferencia de los indicadores del tablero, cuyo correcto funcionamiento puede ser garantizado al dar mantenimiento constante tanto al indicador como a los sensores.

A continuación se presentan los requerimientos detectados en forma de lista como resumen a esta sección.

1. Recopilar información de un ambiente monitoreado
2. Transmitir la información a un teléfono celular
3. Recibir información enviada desde un teléfono celular
4. Capacidad de manipular el ambiente monitoreado
5. Avisos de alarma personalizables
6. Capacidad para dar servicio a múltiples usuarios
7. Diferenciación entre usuarios y terceros con fines de seguridad
8. Velocidad de respuesta rápida, comparada con la del ser humano
9. Registrar anomalías detectadas cuando la red no esté disponible

En esta etapa del proyecto es pertinente nombrar al dispositivo que se diseñará, pues ya se conocen tanto las funciones que desempeñará como sus características. El nombre dado al dispositivo en cuestión será: Sistema de Monitoreo y Alarma GSM (SMAG).

## 2.3 Elaboración de las especificaciones

Las especificaciones de diseño son cantidades que guían el proceso de diseño. Se trata de valores que sirven para comparar la calidad y funcionalidad del diseño en términos cuantitativos. Sin ellos muchas características del dispositivo se calificarían bajo premisas poco claras o subjetivas. Por ello, una vez identificados los requerimientos con base en la necesidad identificada, se procede a “darles números” para continuar con el proceso de diseño. En la Tabla 2.2 se muestran las especificaciones determinadas a partir de la lista de requerimientos de la sección anterior.

**Tabla 2. 2 Tabla de Especificaciones**

Especificación		Valor		Requerimiento
1	Interfaz para conectar sensores digitales	5 entradas digitales	0[V] 5 [V]	1
2	Interfaz para conectar sensores analógicos	5 entradas analógicas	0 - 5 [V]	1
3	Poder transmitir en la radiofrecuencia asignada a la red de telefonía celular de México	1900 [MHz]		2 , 3
4	Proporcionar una señal eléctrica de control	5 salidas digitales	0 [V] 5[V]	4
5	Mensajes de texto personalizables	Hasta 50 caracteres		5
6	Capacidad para dar servicio a múltiples usuarios	Hasta 15 usuarios		6
7	Una configuración por usuario, que relacione entradas y salidas con números telefónicos	1 configuración por usuario		6
8	Detección de terceros	Los mensajes enviados por terceros serán ignorados el 100% de las veces		7
9	Velocidad de respuesta adecuada	Menor a 90 segundos		8
10	Registro de eventos en lapsos de tiempo sin red	Registro de las últimas 15 anomalías detectadas		9

Existen muchos tipos de sensores en la industria, pero todos pueden ser agrupados en dos categorías: sensores digitales y sensores analógicos.

Para el presente trabajo, sólo se considerarán los sensores digitales que entregan una señal que puede tomar uno de dos valores: cero lógico o uno lógico. Dependiendo de la tecnología del dispositivo electrónico, el rango de voltajes asociado a cada uno de estos dos niveles lógicos difiere, pero en general se puede decir que un cero lógico equivale a 0 [V] mientras que un uno lógico equivale a 5 [V]. Además de que estos sensores son muy comunes en la industria, se propuso la compatibilidad con estos niveles lógicos porque permitirá la fácil conexión del sistema con otros dispositivos electrónicos. En el caso particular de los PLCs, sólo se requerirá añadir un relevador para poder comunicar ambos dispositivos.

El segundo tipo de sensores se caracterizan por brindar una señal que puede tomar toda una gama de valores dentro de un rango acotado. El valor de voltaje que entregan tiene una relación directa con el parámetro físico que miden. Para el desarrollo de este proyecto se considerarán sólo aquellos sensores cuya salida se encuentre en el rango de 0 a 5 [V]. Esto se propone así pues son varios los sensores que trabajan en ese rango de voltaje. Además, de tratar con un sensor con un rango de voltaje distinto, siempre será posible adaptar la señal al rango propuesto mediante una etapa previa de adecuación de la señal.

Para el diseño de un modelo funcional se proponen cinco entradas digitales, cinco entradas analógicas y cinco salidas digitales. El número de entradas se eligió pensando en el número de sensores que valdría la pena conectar al SMAG. Debido a que se prevé que las anomalías detectadas requerirán de atención humana y que la mayor parte del proceso a monitorear será automático, serían pocas las etapas de éste que convendría conectar al SMAG. Por otro lado, se debe recordar que los mensajes de texto se tarifican por unidad, por lo que lo recomendable sería utilizar el SMAG sólo cuando sea necesario o cuando el costo del mensaje se compense al evitar una pérdida mayor de dinero por no atender la anomalía a tiempo.

El mismo criterio fue utilizado para determinar el número de salidas digitales disponibles. Por ejemplo, podría utilizarse el control por mensajes de texto para activar algún componente eléctrico ubicado en una zona de riesgo, evitando accidentes; o en un lugar de difícil acceso, reduciendo tiempos de espera.

Por otro lado, pensando en el ambiente doméstico, con diez sensores disponibles se podría tener una buena idea sobre el estado de la vivienda. Por ejemplo, podría saberse si la puerta principal se encuentra cerrada o abierta, misma condición que sería deseable conocer sobre las ventanas de la casa que, por su ubicación, permitan la intrusión de terceros al hogar. Podemos agregar a la lista sensores de detección de nivel de agua para el tinaco, o de fuga de gas en la cocina o en el tanque. Podrían añadirse sensores de movimiento que detecten actividad inusual en el interior de la casa, por ejemplo, cuando los habitantes se encuentren de vacaciones. Todas las condiciones anteriores no superarían el total de diez entradas, por lo que se considera un buen número en cuanto a funcionalidad y que cumple con los alcances del presente trabajo.

En cuanto a las salidas digitales, en el hogar podrían utilizarse para abrir la puerta del garaje de forma automática, para encender la bomba de agua, para encender una alarma sonora y persuadir a posibles intrusos de saquear la vivienda, etc.

El tercer requerimiento mide la capacidad del SMAG para establecer la comunicación con la red de telefonía celular de México, que es de 1900 [MHz] para la tecnología GSM. Este es el requerimiento básico, pero sería deseable que el SMAG pudiera comunicarse con cualquiera de las cuatro frecuencias GSM del mundo, ampliando la utilización del mismo.

En lo que a la manipulación del medio se refiere (Requerimiento 4), dado que la naturaleza del proyecto será básicamente electrónica, se proveerán señales eléctricas que podrán tomar uno de los dos valores lógicos ya explicados. Estas salidas serán útiles para sistemas de control eléctricos, categoría que incluye a los PLCs, de forma que éste podrá recibir instrucciones desde el SMAG.

El quinto requerimiento establece que los mensajes de texto contendrán hasta cincuenta caracteres que podrán ser personalizables por el usuario para hacer explícita la anomalía detectada. El siguiente requerimiento establece que el dispositivo deberá ser capaz de atender hasta quince usuarios de manera simultánea. Para el diseño del modelo funcional se eligieron quince pero podrían ser más. El número de usuarios dependería del tamaño de la línea de producción, o en su caso, del número de habitantes del hogar donde se instalará el dispositivo.

Considerando que la información enviada a cada usuario podría ser distinta, el séptimo requerimiento indica que exista una configuración asociada a cada usuario, en la que se relacionen las entradas y salidas con los números telefónicos de cada usuario. Esta relación también ayudará a determinar si los mensajes entrantes provienen de un teléfono celular con permiso para controlar el entorno del dispositivo o no. Si lo tienen, seguirá las instrucciones contenidas en el cuerpo del mensaje de texto. De lo contrario, ignorará el mensaje. Lo anterior atiende al octavo requerimiento.

El penúltimo requerimiento establece que el tiempo entre la detección de una anomalía en el ambiente y la recepción del mensaje de aviso en el teléfono celular del usuario no debe exceder los noventa segundos. La principal restricción que se tiene en este aspecto es la "baja" velocidad con que operan las redes de telefonía celular. Sin embargo, por las razones expuestas en la sección anterior, la velocidad de respuesta no impacta de manera significativa la funcionalidad del dispositivo, siempre y cuando se mantenga debajo del límite establecido.

Aun cuando la funcionalidad del dispositivo se encuentra estrechamente relacionada con la disponibilidad de la red, se diseñará de forma tal que el monitoreo registre las anomalías ocurridas durante los períodos sin red. Esto permitirá enviar los mensajes de aviso correspondientes a las anomalías registradas durante la ausencia de la red. Se almacenarán las últimas quince anomalías detectadas en el período sin comunicación telefónica, pensando en que se podrían activar todas las entradas en ese lapso y dejando un margen de error del cincuenta por ciento en caso de que algunas entradas se activen más de una vez.

# Capítulo 3

## Arquitectura del SMAG

En el capítulo anterior se identificaron las especificaciones de diseño que deben cumplirse para que el SMAG cumpla con el objetivo propuesto al inicio del trabajo. Debido a la cantidad de funciones que deberá desempeñar el SMAG, se decidió modificar un poco la metodología mostrada en el Capítulo 3 para integrar conceptos de Ingeniería de Sistemas.

La Ingeniería de Sistemas es un método de diseño que tuvo origen en la industria militar, de modo que proyectos grandes pudieran ser diseñados, implementados y validados antes de ser utilizados [14]. Las metodologías utilizadas no son excluyentes. En [14] se puede verificar que el primer paso del diseño, desde el punto de vista de la Ingeniería de Sistemas, es obtener los requerimientos y los parámetros que guiarán el proceso de diseño.

El siguiente paso es descomponer el sistema principal, en este caso el SMAG, en componentes más pequeños, lo que facilitará enormemente la labor de diseño. Si bien la Ingeniería de Sistemas se enfoca en los distintos subsistemas por separado, nunca pierde de vista que al final del diseño deberán de trabajar en conjunto para la obtención de un producto funcional. Por ello, tras definir los subsistemas se deben identificar y solucionar las interfaces entre los mismos, es decir, los puntos en los que los subsistemas interactúan.

Antes de comenzar la partición del SMAG, se realizará su diagrama de caja negra, donde se presentan las entradas y salidas del sistema (Figura 3.1). Una vez identificados los subsistemas, se completará el diagrama mostrado, de forma que se conocerá el flujo de la información a través del SMAG, lo que permitirá definir las interfaces entre subsistemas.



Figura 3. 1 Diagrama de caja negra del SMAG

### 3.1 Identificación de los Subsistemas

De acuerdo a lo planteado en el Capítulo anterior, en la Tabla 3.1 se muestran las principales tareas del SMAG, agrupadas y categorizadas de acuerdo a la función que ayudan a desempeñar.

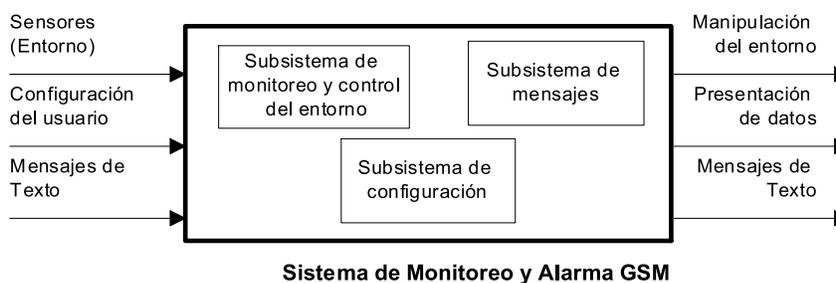
**Tabla 3. 1 Tareas del SMAG agrupadas por funciones**

<b>Función</b>	<b>Tarea</b>
Envío y recepción de mensajes de texto	Establecer la comunicación con la red de telefonía celular
	Enviar los mensajes de texto
	Recibir los mensajes de texto
	Denegar el acceso a terceras personas
Configuración del SMAG	Configurar el SMAG
	Personalizar el texto de los mensajes de aviso
Monitoreo y Control del entorno	Monitorear las Entradas Digitales
	Monitorear las Entradas Analógicas
	Registrar las anomalías detectadas
	Controlar las Salidas Digitales

El organizar las tareas y funciones de esta forma permite una primera partición del SMAG en subsistemas más pequeños, así como la función de cada uno de ellos. Con base en la Tabla 3.1, se determina que son necesarios:

- Un Subsistema de Envío y Recepción de Mensajes de texto (SERM),
- Un Subsistema que permita la Configuración del sistema completo (SC), y
- Un Subsistema de Monitoreo y Control del Entorno (SMCE).

Estos subsistemas se integrarán al diagrama de caja negra, de modo que conforme progrese el diseño, el diagrama sea cada vez más explícito (Figura 3.2). Esto ayudará a la identificación de las entradas y salidas de cada subsistema y a su interacción dentro del SMAG.



**Figura 3. 2 Partición del SMAG**

### **3.1.1 Subsistema de Configuración**

Para brindarle flexibilidad a la aplicación, se podrán configurar diversos parámetros del SMAG. En la Tabla 3.2 se muestra un lista de las opciones que el usuario podrá configurar según lo requiera y los subsistemas que utilizan dicha información durante la operación del SMAG.

**Tabla 3. 2 Parámetros configurables del SMAG**

Parámetro	Subsistema
Texto de Confirmación para la activación y desactivación de cada Salida Digital	SERM
Permisos de cada usuario (relación Salidas / Número Telefónico)	SERM
Números telefónico de cada usuario	SERM
Texto de aviso para cada anomalía detectada	SMCE
Permisos de cada usuario (relación Entradas / Número Telefónico)	SMCE
Rangos de Operación para cada Entrada Analógica	SMCE

El subsistema deberá permitir al usuario definir el valor de estos parámetros por medio de una interfaz hombre-máquina. A continuación se evalúan dos opciones: crear una interfaz propia del SMAG mediante un teclado de membrana y una pantalla LCD; y el desarrollo de un software que permita ajustar los parámetros con ayuda de una computadora. En la Tabla 3.3 se muestran las distintas características de ambas opciones, calificadas con una escala del uno al cinco para calificar su desempeño en cada campo.

**Tabla 3. 3 Matriz de Decisión para la Interfaz de configuración del SMAG**

Opción	Información mostrada		Navegación entre menús		Velocidad de configuración		Complejidad agregada		Facilidad de uso	Calificación total
	1	5	1	5	1	5	1	5		
	Menos	Más	Difícil	Fácil	Lenta	Veloz	Mucha	Poca		
Computadora	5		5		3		1		4.33	3.50
LCD y teclado matricial	1		2		1		3		1.33	1.75

Las distintas características se enlistan a continuación:

- **Información mostrada:** se refiere a la cantidad de información que puede ser presentada de manera simultánea en la interfaz. Se puede medir en cantidad de campos o de caracteres mostrados. Se supone que la información estará bien organizada, por lo que entre más información se muestre, más fácil de usar será la interfaz.
- **Navegación entre menús:** indica la facilidad con la que el usuario podrá navegar en los menús de configuración, como cambiar un número telefónico, ajustar los Rangos de Operación de alguna Entrada Analógica, agregar permisos a un usuario, etc. Se puede medir en cantidad de clicks o botones presionados para seleccionar la opción deseada. Entre menos sean, más fácil será el uso de la interfaz.
- **Velocidad de configuración:** Se refiere al tiempo que el usuario tardaría en ajustar todos los parámetros al valor deseado. Este tiempo es un buen indicador de la facilidad de uso de la interfaz.

- **Complejidad Agregada:** se refiere a la complejidad que agregará al diseño del SMAG. Se puede medir en horas de diseño o en cantidad de elementos o subsistemas agregados. Entre menos tareas añadidas a la labor de diseño, menor será la complejidad agregada.

Para obtener la calificación de cada opción se utilizaron dos promedios ponderados. El primero fue aplicado a los tres primeros campos para obtener la calificación en cuanto a facilidad de uso de cada opción. A cada uno de los tres campos se le consideró de igual importancia, por lo que la fórmula para obtener el valor de "Facilidad de uso" fue:

$$\text{Facilidad de uso} = \frac{1}{3} * \text{Información} + \frac{1}{3} * \text{Navegación} + \frac{1}{3} * \text{Velocidad}$$

A continuación, para obtener la calificación total incluyendo el impacto que cada opción tendrá en la complejidad del diseño, se calculó un segundo promedio ponderado. Dado que la prioridad es que la interfaz sea de fácil uso, se le dio un mayor peso a la calificación de este rubro.

$$\text{Calificación total} = 0.75 * \text{Facilidad de uso} + 0.25 * \text{Complejidad agregada}$$

De acuerdo a la matriz de decisión de la Tabla 3.3, la mejor opción es que el SMAG se configure con ayuda de una computadora mediante una Interfaz Gráfica. Este resultado tiene sentido, pues los parámetros configurables son numerosos y una interfaz con LCD y teclado matricial hubiera resultado bastante tediosa de manejar. Por otro lado, al desarrollar una interfaz mediante la computadora, se agiliza el proceso de configuración del SMAG. La calificación de velocidad de configuración no fue de cinco debido a que se consideró el tiempo que tarda en encender una computadora.

En cuanto a la complejidad agregada, ambas opciones representan cierto tiempo de diseño. Entre más fácil de usar es un dispositivo, más complicada es la labor de diseño. A la opción de la computadora se le dio la calificación más baja porque no sólo implica el desarrollo del software de configuración, sino que también exige la comunicación entre la computadora y el SMAG.

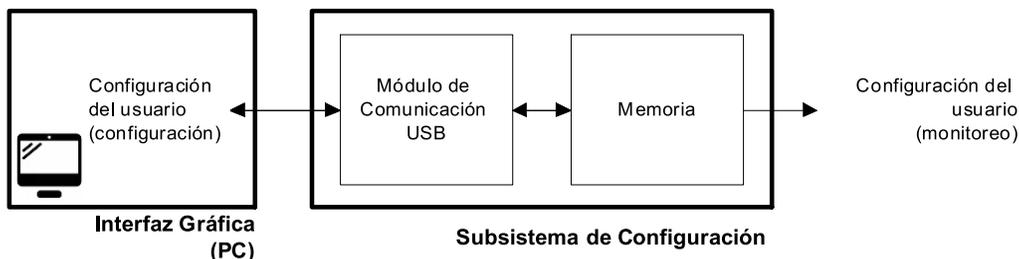
Un detalle a considerar es que la comunicación debe de ser bidireccional, de modo que el usuario pueda transferir la configuración deseada desde la computadora o recuperar la información almacenada en el SMAG para visualizarla en la Interfaz Gráfica.

Existen distintos protocolos de comunicación que permiten comunicar el SMAG con la computadora, mismos que se pueden categorizar en dos grupos: inalámbricos o mediante cables. Los primeros resuelven el problema pero son más caros en cuanto a complejidad añadida y a precio. Lo anterior, sumado a que el valor agregado que otorgan al proyecto no es significativo, los descarta de las soluciones aplicables.

Por ende, se recurrirá a una comunicación mediante cables. Aprovechando que ya se ha trabajado con la comunicación USB tipo CDC, ésta será seleccionada para el diseño del SMAG. El utilizar un cable USB presenta dos grandes ventajas. La primera es que el usuario reconoce el conector y está familiarizado con él. La segunda involucra el hecho de que el conectar un dispositivo a la computadora mediante el puerto USB es una característica buscada por la mayoría de las personas.

Debido a que la configuración se realizará por medio de una computadora y dado que el SMAG funcionará desconectado de la misma, es indispensable que se incluya en el SC un elemento para almacenar la información durante el proceso de configuración para su posterior uso durante el Modo de Monitoreo. En adelante, se hará referencia a este elemento como Memoria.

En la Figura 3.3 se muestran los elementos que conforman el SC, así como las entradas y salidas del subsistema. En la figura se muestra la Interfaz Gráfica como un elemento del SC. A pesar de no encontrarse físicamente dentro del SMAG, es necesario considerarla si se desea realizar una correcta identificación de las interfaces del sistema completo.



**Figura 3. 3 Sistema de Configuración**

Debido a que el SMAG deberá de ser configurado mediante una computadora, se prevé que no se encuentre en el entorno a monitorear durante el proceso de configuración. Por ello, cuando se encuentre conectado a la computadora, entrará en un estado denominado Modo de Configuración. En éste, se desactivarán sus funciones de monitoreo y manejo de mensajes de texto, y sólo funcionará el SC para recibir o enviar información a la IG.

Por otro lado, cuando el SMAG se encuentre desconectado de la computadora, se activará el Modo de Monitoreo. Como su nombre lo indica, mientras se encuentre en este estado, el SMAG monitoreará su entorno y se habilitarán las funciones de envío y recepción de mensajes de texto.

### **3.1.2 Subsistema de Envío y Recepción de mensajes**

Este subsistema llevará a cabo la transmisión de datos entre el SMAG y la red de telefonía celular. Los mensajes de texto serán enviados, a manera de aviso, cada vez que el SMCE detecte una anomalía en el entorno y, como confirmación, cada vez que el SMCE ejecute alguna acción de control a petición del usuario. Por otro lado, cuando el SERM reciba un mensaje de texto, deberá interpretar la información enviada por el usuario para después transferirla al SMCE.

Considerando que los mensajes de texto se cobran por unidad, el algoritmo de interpretación de los mensajes permitirá al usuario activar o desactivar tantas Salidas Digitales como requiera en un mismo SMS. En el caso de existir ambigüedad en las instrucciones contenidas en el cuerpo del mensaje, por ejemplo, si se solicita la activación y desactivación de la misma Salida Digital en el mismo SMS, el SMAG hará caso omiso de las instrucciones asociadas a dicha Salida.

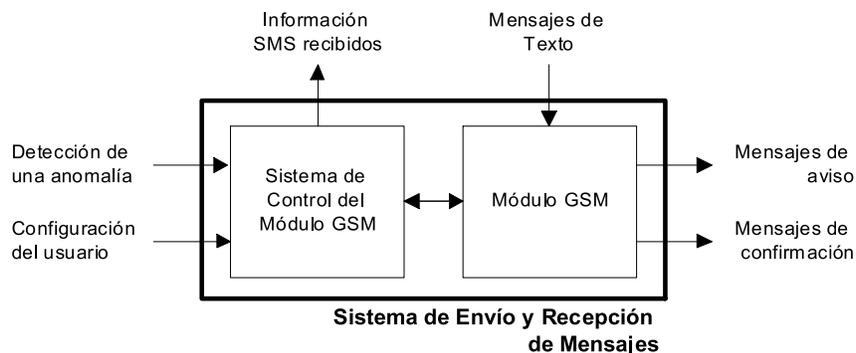
Tras interpretar el texto de los SMS recibidos, la información extraída de estos será enviada al SMCE para que realice la acción de control correspondiente. Acto seguido, el SMAG enviará un mensaje de confirmación, personalizado de acuerdo a la configuración dada por el usuario, indicando que la acción de control se llevó a cabo. Por las razones ya expuestas, si varias Salidas Digitales son controladas con un mismo SMS, el mensaje de confirmación de todas ellas será enviado de igual manera: concatenados en un solo SMS.

Para realizar su función, el SERM requerirá de un elemento que permita establecer el enlace con la red telefónica. Se analizaron distintas opciones y se calificaron de acuerdo al número de elementos adicionales que su uso implica. Las dos opciones son: utilizar un teléfono celular o emplear un módulo GSM.

**Tabla 3. 4 Alternativas para el envío de los SMS**

Elemento de comunicación	Estrategia de uso	Elementos adicionales
Teléfono celular	Diseñar un mecanismo junto con su sistema de control que digite las teclas del teléfono celular en la secuencia correcta.	Mecanismo digitador Sistema de Control
	Modificar la PCB del teléfono celular de modo que se pueda controlar por medio de señales eléctricas	Sistema de Control de la PCB
Módulo GSM	Diseñar un sistema que envíe las instrucciones al Módulo GSM	Sistema de Control

La opción del teléfono celular queda descartada porque agrega más elementos que las demás opciones, sin mencionar que ambas estrategias asociadas al teléfono celular representan un grado de complejidad bastante alto. Por ende, se determinó que la mejor elección es utilizar un Módulo GSM, con el que se pueden hacer llegar los mensajes de texto a cualquier teléfono celular que se encuentre en el área de cobertura de la red. Esta opción implica el diseño de un sistema para controlar el módulo. En la Figura 3.4 se muestran los elementos que conforman el SERM, así como sus entradas y salidas.



**Figura 3. 4 Elementos del SERM**

### 3.1.3 Subsistema de Monitoreo y Control del Entorno

Como su nombre lo indica, este subsistema será el encargado de monitorear y controlar el entorno del SMAG. Como ya se mencionó, al dispositivo se conectarán dos tipos de señales: digitales y analógicas. Se considerará una anomalía cuando alguna de las Entradas Digitales tome un valor lógico de uno. Dentro de la configuración del SMAG, se le permite al usuario definir un Intervalo de Operación seguro para cada Entrada Analógica, de forma que se considerará una anomalía cuando alguna de ellas tome valores fuera de ese rango. Tras detectar la condición de anomalía, el SMCE retendrá la información de ésta, misma que transferirá al SERM cuando éste último la solicite para enviar el mensaje de texto correspondiente, con el texto personalizado por el usuario.

Dado que cada mensaje de texto es cobrado por la operadora, se deberá de prestar especial atención para no enviar más de los necesarios. El algoritmo de monitoreo deberá de ser capaz de detectar las condiciones anómalas de forma tal que aquellas de duración prolongada no sean confundidas como varias de ellas.

Para controlar el entorno, el SMAG contará con Salidas Digitales que el usuario podrá activar o desactivar mediante el envío de mensajes de texto. Es tarea del SERM interpretar las instrucciones contenidas en los SMS recibidos, pero será el SMCE quien lleve a cabo la acción de control, de modo que ambos subsistemas deberán de estar comunicados.

En la Figura 3.5 se muestra el diagrama de caja negra del SMCE, indicando las entradas y salidas de éste subsistema.

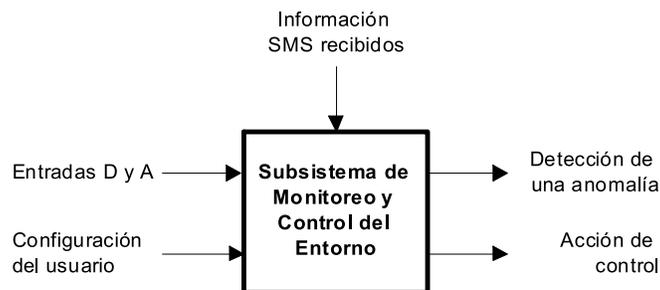


Figura 3. 5 Entradas y Salidas del SMCE

## 3.2 Interfaces entre Subsistemas

En la Figura 3.6 se muestra la organización del SMAG y el flujo de información entre los subsistemas que lo conforman de acuerdo a la definición de cada uno de ellos. La información expuesta de esta forma permite la identificación de las interfaces existentes entre ellos.

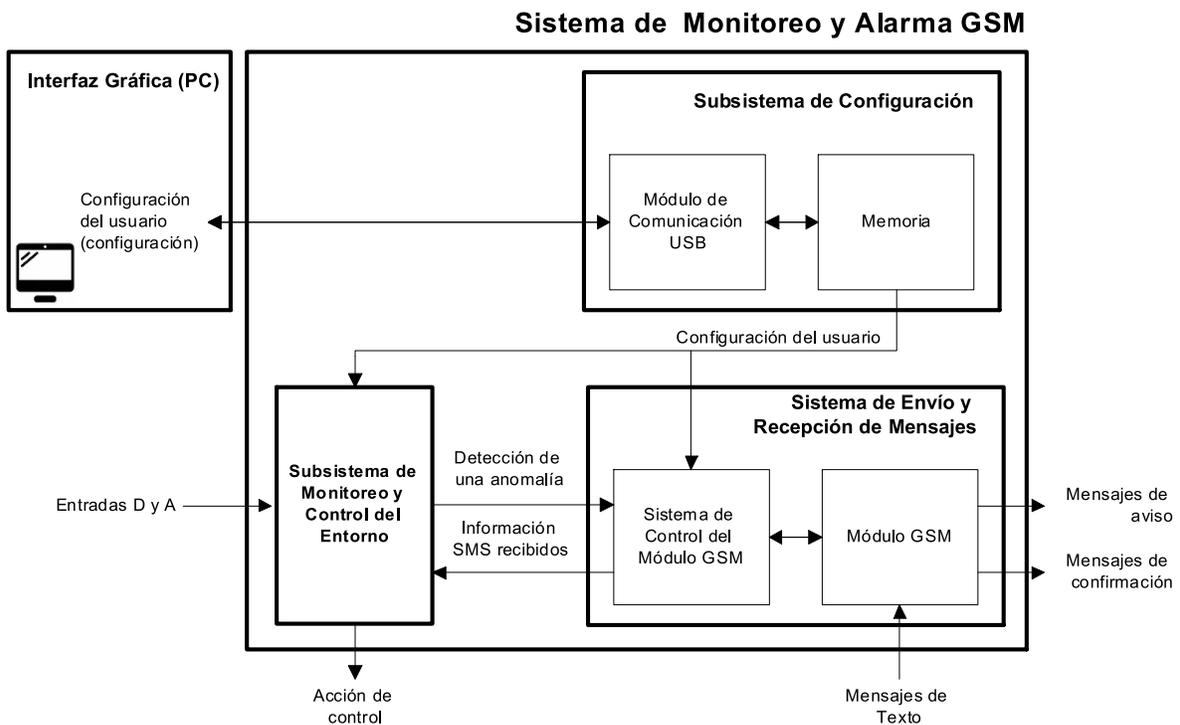


Figura 3. 6 Arquitectura del SMAG

La Tabla 3.5 se obtiene de analizar la Figura 3.6. Aquí se presentan los datos que son transmitidos en las interfaces de los subsistemas.

**Tabla 3. 5 Intercambio de información entre subsistemas**

Destino / Origen	SERM	SC	SMCE
SERM	-	Solicitud de datos	Información contenida en los SMS recibidos
SC	Texto de los mensajes Números telefónicos Permisos (relación Entradas/No. Telefónico)	-	Rangos de Operación de las Entradas Analógicas Permisos (relación Salidas/No. Telefónico)
SMCE	Detección de una anomalía	Solicitud de datos	-

Al analizar la dependencia entre subsistemas, se aprecia que no todos dependen entre sí. Por ejemplo, el SMCE y el SERM dependen del SC, pero el SC no depende de ellos. Por ello, se determinó una secuencia de inicialización tal que ningún subsistema vea su funcionamiento afectado por los demás.

Existen dos condiciones que deberán ser analizadas: cuando el SMAG se encuentre en Modo de Configuración y cuando se encuentre en Modo de Monitoreo. En la primera, el SC es el único que permanece funcional, por lo que es el primero y el único en activarse.

Por otro lado, en el Modo de Monitoreo, el SC contiene la información de los parámetros configurados por el usuario, mismos que determinan el funcionamiento del SERM y el SMCE. Por lo tanto, antes de que los demás subsistemas comiencen con sus funciones, éste ya deberá de estar listo. De no ser así, el SMCE no tendría forma de conocer el Intervalo de Operación seguro de las Entradas Analógicas o, en caso de detectar una anomalía, no sabría a qué número telefónico reportarla. Por ello, una vez más es el SC será el primero en inicializarse.

El segundo subsistema en encenderse será el SMCE. Durante su inicialización, el subsistema recuperará del SC los Rangos de Operación de las Entradas Analógicas. Éste es configurado en segundo lugar debido a que, sin esta información, el monitoreo del entorno no podría realizarse y se podrían detectar falsas anomalías debido a la indeterminación de los Intervalos de Operación.

Finalmente se encenderá y configurará el SERM. Éste verificará el estado del Módulo GSM, determinando su capacidad para enviar y recibir mensajes.

### **3.3 Elección de los componentes**

Ahora que se conocen los subsistemas y los elementos que los conforman, se procede a seleccionar los componentes que serán utilizados para su implementación. Cada subsistema deberá contar con un elemento que realice la interpretación de las entradas para determinar el estado de las salidas.

Sirva de ejemplo el módulo de comunicación USB del SC. Éste se encargará de enviar y recibir datos desde la computadora por medio de un cable USB, para su posterior almacenamiento en la memoria. La información de la computadora será recibida en forma de bytes. Asimismo, el módulo USB deberá de permitir la transferencia de los datos hacia la memoria, por lo que la selección de ambos elementos se encuentra relacionada.

Por su parte, el sistema de control del Módulo GSM deberá de poseer un puerto UART para su conexión con el Módulo GSM ya que, como se verá más adelante, es la interfaz con la que este tipo de módulos cuenta para su control. Asimismo, deberá de ser compatible con el componente seleccionado para el SMCE, pues recibirá de éste la detección de una anomalía y la información recuperada de los mensajes de texto entrantes.

Por último, el SMCE monitoreará el entorno mediante los sensores digitales y analógicos conectados a él, por lo que el componente seleccionado para su implementación deberá de ser capaz de adquirir dichas señales eléctricas. A su vez, es necesario que pueda entregar señales lógicas para la manipulación del entorno.

Debido a la naturaleza del proyecto y a las características ya mencionadas, todo apunta a la selección de microcontroladores para la implementación del SMAG. Éstos son dispositivos programables que incluyen funciones de lógica digital, permiten operaciones aritméticas, cuentan con entradas de propósito general y salidas digitales que permiten su interacción con el mundo exterior, y poseen módulos de comunicación para la transferencia de datos mediante distintos protocolos de comunicación, como son el I2C, RS232, USB y CAN, por mencionar algunos.

Se seleccionaran microcontroladores PIC, fabricados por Microchip, debido a la práctica que se tiene con ellos, la flexibilidad que brindan para la configuración y uso de sus periféricos, la extensa documentación disponible y la amplia gama de modelos que ofrece el fabricante. Asimismo, se optó por utilizar un bus I2C para la transferencia de datos pues permite la conexión de varios dispositivos al bus con velocidades de transmisión de datos que se adaptan a las especificaciones del SMAG.

#### **3.3.1 Subsistema de Monitoreo y Control del Entorno**

Para implementar este sistema será necesario un microcontrolador con un mínimo de 5 canales analógicos y 10 entradas/salidas de propósito general. Además, se buscará que sea posible comunicarlo a un bus I2C para permitir la interacción con los dos subsistemas restantes. Para

seleccionar un microcontrolador con las características anteriores se utilizó el buscador de Microchip denominado Selector Avanzado de Partes (MAPS).

Al introducir las especificaciones buscadas al MAPS, la herramienta devolvió tres microcontroladores que cumplen con éstas: el PIC16F72, el PIC16F73 y el PIC 16F76. La Tabla 3.6 muestra las especificaciones de cada microcontrolador.

**Tabla 3. 6 Tabla comparativa para seleccionar el microcontrolador del SMCE**

	PIC16F72	PIC16F73	PIC16F76
<b>Memoria de Programa [Kbytes]</b>	2	4	8
<b>Memoria RAM [Bytes]</b>	128	192	368
<b>EEPROM [Bytes]</b>	0	0	0
<b>Pines E/S</b>	22	22	12
<b>Velocidad máxima de CPU</b>	20 MHz (5 MIPS)	20 MHz (5 MIPS)	20 MHz (5 MIPS)
<b>Canales analógicos</b>	5x8bit	5x8bit	5x10bit
<b>I2C</b>	1	1	1
<b>Timers Digitales</b>	2x8bits, 1x16bits	2x8bits, 1x16bits	2x8bits, 1x16bits
<b>Pines (Empaquetado)</b>	28	28	14
<b>Voltaje de operación [V]</b>	2-5.5	2-5.5	1.8-5.5
<b>Precio</b>	38.793	46.552	63.793

Con el fin de elegir un microcontrolador para el SMCE, se deberán de tomar en cuenta las características propias de cada PIC y las especificaciones del SMAG. Los tres PICs son muy similares entre sí y sólo difieren en la cantidad de memoria de programa y RAM. Para elegir el adecuado, se desarrolló el programa del SMCE en C y se determinó que son necesarios 2.63 [Kbytes] de ROM y 182 [bytes] de RAM, por lo que es suficiente el PIC16F73. No obstante, para la construcción del modelo funcional se utilizará un PIC16F887.

### **3.3.2 SERM y Módulo de comunicación USB**

Para la implementación del SERM se requerirá de un microcontrolador que posea una interfaz I2C para comunicarlo con el SMCE y con el SC. Asimismo, es indispensable una interfaz RS232 para el envío de los comandos AT al Módulo GSM.

Para disminuir el número de componentes, y por ende, el tamaño del prototipo y la complejidad del SMAG, se buscará un microcontrolador que incluya el módulo de comunicación USB. El PIC elegido para estos subsistemas fue el PIC18F4550, ya que cuenta con las características buscadas. Existen PICs más sencillos que también se adaptan a las necesidades de los subsistemas, pero se eligió el 18F4550 debido a que es un microcontrolador con el que ya se tiene práctica y con el que se está familiarizado.

### 3.3.3 Módulo GSM

Existen muchos módulos GSM en el mercado. Para seleccionar uno, se tomarán en cuenta las especificaciones del SMAG. Se prestará especial atención a que el Módulo GSM sea capaz de conectarse a la frecuencia de la banda GSM de México, es decir, 1900 [MHz] y que cuente por lo menos con las funciones básicas para enviar y recibir mensajes de texto. En la Tabla 3.7 se muestran los Módulos encontrados en el mercado nacional. Los precios corresponden al catálogo de la tienda AG Electrónica.

La mayoría de los módulos vendidos son compatibles con las 4 frecuencias GSM, es decir, pueden ser utilizados en cualquier red GSM. Dado que su principal aplicación es auxiliar al desarrollo de nuevos equipos de telefonía celular, la mayoría cuenta con interfaz para teclado, LCD, bocina y altavoz.

El factor decisivo para la elección del módulo fue si se podía adquirir una tarjeta de desarrollo o si ésta tenía que ser diseñada. Las tarjetas de desarrollo integran los elementos de potencia y de comunicación necesarios para que el Módulo GSM pueda recibir y enviar comandos AT y conectarse con la red de telefonía celular.

De no contar con una, sería necesario estudiar las especificaciones del Módulo GSM en cuanto a potencia, puertos de comunicación, numeración de los pines, etc.; para desarrollar una, misma que tendría que pasar por una serie de pruebas antes de poder hacer uso del Módulo. Por tanto, el diseño de una tarjeta de desarrollo para un Módulo GSM retardaría el proceso de diseño del SMAG y se encuentra fuera de los objetivos del proyecto.

El único módulo que cuenta con una tarjeta de desarrollo comercial es el Q2687RD. Su principal restricción es que sólo permite la conexión del módulo con una computadora, razón por la que no fue seleccionada. La limitante anterior derivó en la búsqueda de otro Módulo GSM y de su respectiva tarjeta de desarrollo, que permitiera mayor flexibilidad en el uso del mismo.

Debido a que no se encontró un producto que contara con una tarjeta de desarrollo con la característica anterior en el mercado nacional, se extendió la búsqueda para incluir el mercado extranjero. En la tienda virtual "Sparkfun" se hallaron dos módulos GSM cuya tarjeta de desarrollo ya existe y que puede ser adquirida en la misma tienda.

Tabla 3. 7 Módulos GSM vendidos en México

Módulo GSM	GSM	GPRS	Interfaces	Frecuencia del núcleo	Precio <sup>4</sup>
Q24PL003-8QNZ07	850/900/1800/1900 MHz	Clase 10	Para buzzer Interrupciones externas Para alimentación Dos seriales (UART) Tarjeta SIM(1.8V/3V)	104 MHz	\$868
Q64001-0BM13K007	850/900/1800/1900 MHz	Clase 10	Para buzzer Para alimentación Dos seriales (UART) GPIO Tarjeta SIM(1.8V/3V)	104 MHz	\$644
Airlink GL6100 (RS232)  Airlink GI6110 (USB)	850/900/1800/1900 MHz	Clase 10 CSD SMS FAX	Puerto UART/USB Led indicador de red celular Tarjeta SIM(1.8V/3V)	104 MHz	\$1,932
WISMO228-0CG17404F	850/900/1800/1900 MHz	Clase 10	Para buzzer Para alimentación Dos seriales (UART) GPIOs Tarjeta SIM(1.8V/3V)	104 MHz	\$438
Q2687RD	850/900/1800/1900 MHz	Clase 10	Para alimentación Comunicación serial Audio analógico Teclado USB 2.0 esclavo Serial LCD I2C 2 ADC 1 DAC Timers 2 pines de interrupción		\$555
GSM0308-11STE-03	850/900/1800/1900 MHz	Clase 10  SMS	Puerto Serial UART Audio digital Voz Antena Tarjeta SIM(1.8V/3V) 1 convertidor ADC		\$697

<sup>4</sup> Precios mostrados en pesos mexicanos, cotizados en AG Electronica.

**Tabla 3. 8 Módulos GSM con tarjeta de desarrollo**

Módulo	Frecuencia	Interfaces	Precio <sup>5</sup>
GM862	Quad-band	Serial Alimentación 3.4-4.2V 2 A (máx) Teclado Bocina Altavoz Datos, voz, SMS, FAX Cámara CMOS Antena	\$199
SM5100B	Quad-band	2 UART Alimentación 3.3V-4.2V 2 A (máx) SPI 2 ADC de 10 bits Teclado LCD Bocina Altavoz Antena	\$120

Los precios de la Tabla 3.8 incluyen la tarjeta de desarrollo. En ambos casos la tarjeta brinda acceso a todos los pines del módulo, lo que permite una mejor explotación del mismo. El GM862 cuenta con más características que el SM5100B pero, dado que las únicas funciones que nos interesan son las necesarias para el manejo de mensajes de texto, se elegirá el SM5100B para el diseño del SMAG.

Al igual que todos los Módulos GSM, el SM5100B se controla mediante comandos AT. El Módulo incluye una interfaz UART para el envío y recepción de estos comandos. Esta característica deberá de ser tomada en cuenta al momento de elegir el componente para implementar su sistema de control.

---

<sup>5</sup> Precios cotizados en SparkFun, mostrados en dólares.

### 3.3.4 Memoria

La memoria no volátil es un componente indispensable del SMAG, pues retiene la información enviada por la computadora en el Modo de Configuración para su posterior uso durante el Modo de Monitoreo. En la Tabla 3.9 se muestra la información que será almacenada y los bytes necesarios para almacenarla.

**Tabla 3. 9 Cálculo para el tamaño de la memoria**

Dato	Cantidad	Bytes	Bytes Totales
Número de teléfonos almacenados	1	1	1
Números telefónicos	15	10	150
Contactos	15	50	750
Nombre E. Analógicas	5	50	250
Intervalos de operación para E. Analógicas. (2 variables tipo float)	5	8	40
Texto del SMS para las E. Analógicas			
Por debajo del rango	5	50	250
Por encima del rango	5	50	250
Nombre E. Digitales	5	50	250
Texto del SMS para las E. Digitales			
Activadas	5	50	250
Nombre S. Digitales	5	50	250
Texto del SMS de confirmación para las Salidas			
Activadas	5	50	250
Desactivadas	5	50	250
Permisos entradas/salidas-teléfono	15	2	30
Bytes necesarios			2971

La selección de la memoria se realizará considerando el tamaño de la información que será almacenada. Además, se buscará una memoria con interfaz I2C que pueda ser agregada al bus que comunicará los subsistemas. Las memorias comerciales encontradas con esta característica se muestran en la Tabla 3.10

**Tabla 3. 10 Memorias con interfaz I2C**

No. De Parte	Tamaño	Precio <sup>6</sup>
24LC00	128 bits	\$6.03
24LC01B	1K (128x8)	\$6.03
24LC02B	2 K (256x8)	\$10.34
24LC04B	4 K (256x8)	\$7.76
24LC08B	8 K	\$7.76
24LC32B	32K	\$8.62

Se decidió utilizar una memoria de la familia 24LC debido a que poseen una interfaz I2C y porque existe bastante documentación sobre las mismas. Como se puede observar en la Tabla 3.9, la aplicación necesita 2971 bytes. Por ende, es necesaria una memoria 24LC32B para almacenar los datos. En la Tabla 3.11 se muestran los datos y su organización en los registros de la memoria.

**Tabla 3. 11 Organización de la Memoria**

Registros	Información
0	Números de teléfonos almacenados
1-150	Números telefónicos
151-900	Contactos
901-1150	Nombre E. Analógicas
1151-1190	Intervalos E. Analógicas
1191-1690	Mensajes de Alerta E. Analógicas
1691-1940	Nombre E. Digitales
1941-2190	Mensajes de Alerta E. Digitales
2191-2440	Nombre S. Digitales
2441-2940	Mensajes de Confirmación S. Digitales
2941-2970	Permisos entradas/salidas-teléfono

---

<sup>6</sup> Precios cotizados en AG Electrónica, mostrados en pesos mexicanos. Los precios no incluyen IVA.

### 3.3.4 Arquitectura eléctrica del SMAG

En la Figura 3.7 se muestra la arquitectura del SMAG y se indican los componentes electrónicos que conformarán cada subsistema. En el Anexo A se incluye el esquema electrónico con los componentes conectados.

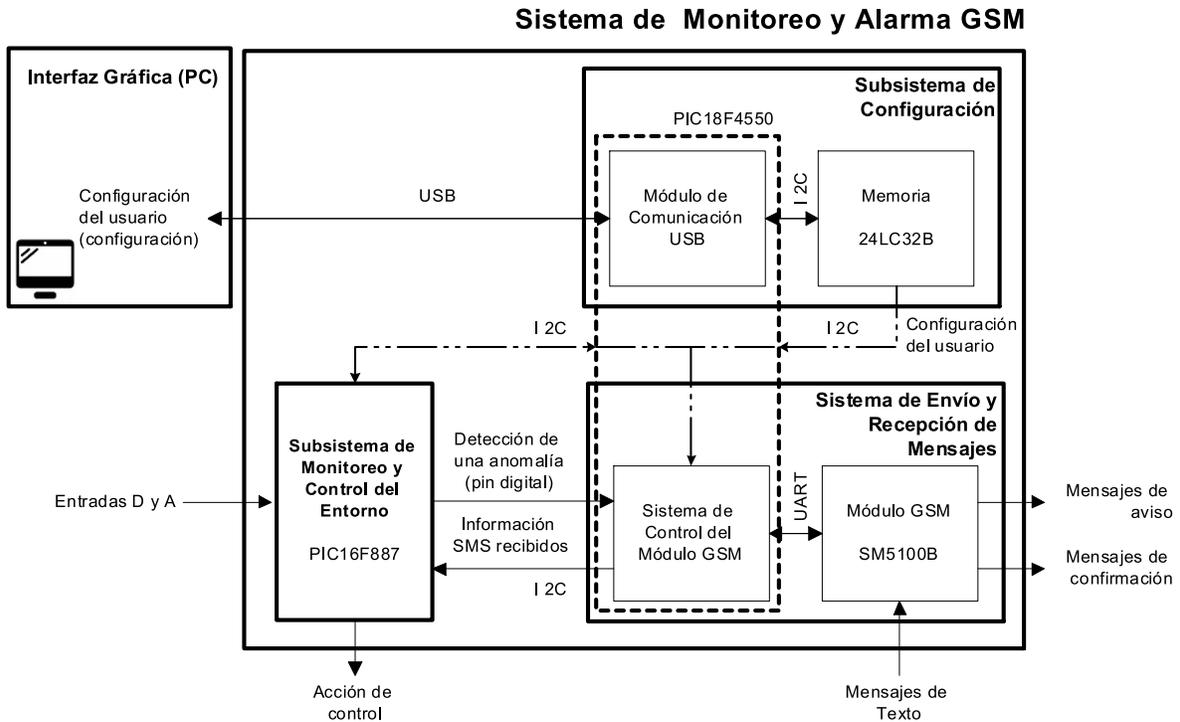


Figura 3. 3. 7 Arquitectura electrónica del SMAG

# Capítulo 4

## Bus I2C

Para poder comunicar los tres subsistemas que conforman el SMAG, se optó por utilizar un bus I2C. Éste permite conectar varios dispositivos simultáneamente asignándole una dirección única a cada uno de ellos.

La memoria 24LC32B tiene parte de su dirección preestablecida de fábrica. Sólo los tres bits menos significativos pueden ser seleccionados por hardware conectando a voltaje o a tierra los tres pines que el fabricante provee para ello. Para el presente proyecto los tres se conectarán a tierra, de forma que la dirección de la memoria en el bus I2C será la 0xA0 (b10100000) [15].

En el caso de los microcontroladores PIC, la dirección puede ser seleccionada por el programador, prestando atención a los siguientes detalles: la dirección no se debe compartir con ningún otro dispositivo conectado al mismo bus, deberá constar de ocho bits, y ser un número par<sup>7</sup>. La dirección asignada al PIC16F887 es la 0x16, misma que cumple con las especificaciones anteriores [16].

La Figura 4.1 muestra un esquema del bus I2C, con los componentes que se comunicaran por él y sus respectivas direcciones.

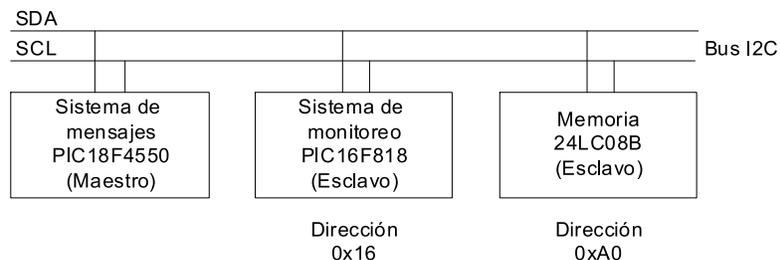


Figura 4.1 Bus I2C

Se propone que el PIC18F4550 sea el Maestro del bus para que el PIC16F887 se dedique únicamente al monitoreo de las entradas y no baje su rendimiento por las tareas relacionadas al control del bus. Con esta propuesta, el SMCE sólo detendrá el poleo de entradas para enviar o recibir información cuando el SERM así se lo indique.

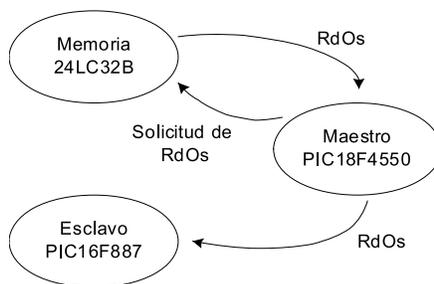
<sup>7</sup> Esto se debe a que el LSB es usado para indicar si la operación a efectuar en el bus es de lectura o escritura.

En la Tabla 4.1 se muestran las tareas que requieren utilizar el bus I2C, así como los subsistemas que toman parte en la comunicación.

**Tabla 4.1 Tareas de comunicación que utilizan el bus I2C**

	Tarea	Subsistema A	Subsistema B
<b>Modo de Configuración</b>	Almacenar información en la Memoria	Módulo USB	Memoria
	Recuperar información de la memoria para presentarla en la IG	Memoria	Módulo USB
<b>Modo de Monitoreo</b>	Activar/desactivar la recepción de los Rangos de Operación	SMCE (Maestro)	SMCE (Esclavo)
	Enviar un dato tipo float	Memoria	SMCE
	Recuperar los permisos asignados a cada número telefónico	Memoria	SERM
<b>Durante los eventos</b>	Solicitar la información para enviar el Mensaje de alerta	SMCE	SERM
	Activar o desactivar una Salida Digital	SERM	SMCE
	Recuperar los textos a enviar en los mensajes de alerta	Memoria	SERM

Como se puede observar en la primera tarea del Modo de Monitoreo, existe una pequeña parte del SMCE que reside en el PIC18F4550, pues éste último es el único que puede recuperar información de la Memoria<sup>8</sup>. Se trata de una porción de código cuya única función es servir de puente entre el SMCE y la Memoria para leer los Intervalos de Operación de las Entradas Analógicas durante la configuración del SMCE (Figura 4.2).



**Figura 4.2 Proceso de recuperación de los intervalos de operación**

<sup>8</sup> Dos Esclavos de un bus I2C no pueden comunicarse entre ellos directamente.

## 4.1 Comunicación con la Memoria

En el Capítulo 3 se presentó un resumen de la información contenida en la memoria junto con un conteo de los bytes necesarios para almacenarla. En la Tabla 4.2 se muestra la información y su organización en los registros de la memoria.

Tabla 4.2 Organización de la memoria

Registros	Dato	Tipo
0	Números de teléfonos almacenados	int8
1-150	Números telefónicos	char
151-900	Contactos	char
901-1150	Nombre E. Analógicas	char
1151-1190	Intervalos E. Analógicas	float
1191-1690	Mensajes de Alerta E. Analógicas	char
1691-1940	Nombre E. Digitales	char
1941-2190	Mensajes de Alerta E. Digitales	char
2191-2440	Nombre S. Digitales	char
2441-2940	Mensajes de Confirmación S. Digitales	char
2941-2970	Permisos entradas/salidas-teléfono	int8

El tipo de variable utilizada depende del contenido de la información. En las secciones siguientes se describen los métodos para escribir o leer la información de la Memoria dependiendo de su tipo de variable.

### 4.1.1 Operaciones Básicas de Lectura y Escritura

Para poder escribir cualquier tipo de variable en la Memoria son necesarias dos operaciones básicas: la de lectura y la de escritura de un byte en un registro de la memoria. Para realizar ambas operaciones es necesario proporcionar el número de registro que se manipulará. Debido a la cantidad de registros de la memoria, son necesarios doce bits para identificarlos. Al enviar el número de registro se utilizan dos bytes. En los doce bits menos significativos se escribe el número de registro y la parte alta del byte más significativo se rellena con ceros.

Estas operaciones se realizan al enviar a la Memoria una secuencia específica de bytes que el fabricante especifica en la hoja de datos del componente. La principal diferencia entre las dos operaciones es la forma en la que se direcciona la Memoria. En una operación de Lectura, al LSB se le asigna un valor de 1 mientras que en una de escritura toma el valor de cero (Figura 4.3).

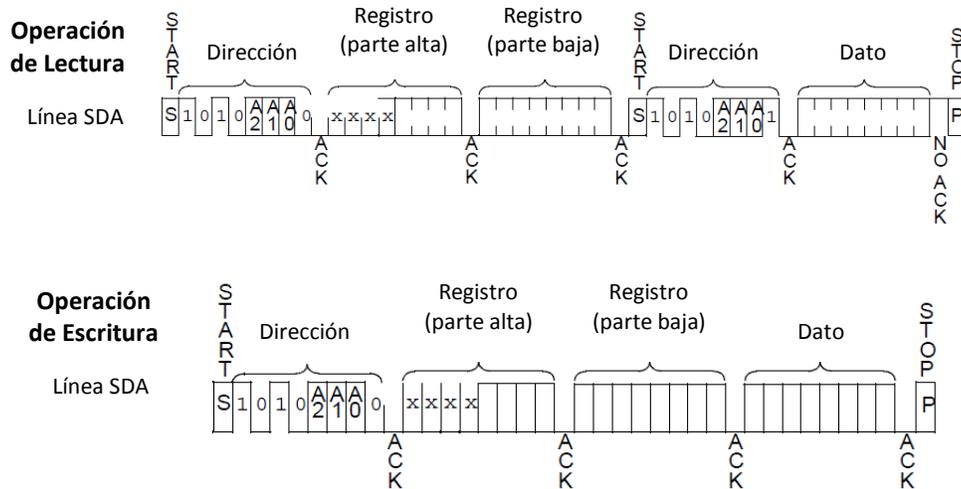


Figura 4.3 Operación de lectura (arriba) y escritura (abajo) de un byte en un registro de la Memoria [15]

Tras una operación de escritura es crítico asegurar que ésta ha finalizado antes de volver a utilizar el bus. De lo contrario, se puede perder la funcionalidad del mismo. Esto se verifica mediante un poleo del bit ACK. Después de recibir del Maestro la condición de STOP, la Memoria comienza un ciclo interno de escritura. Mientras se encuentre ejecutando dicho ciclo no devolverá el bit ACK. Una vez que el ciclo termine, la Memoria volverá a enviar este bit cuando el Maestro lo solicite (Figura 4.4).

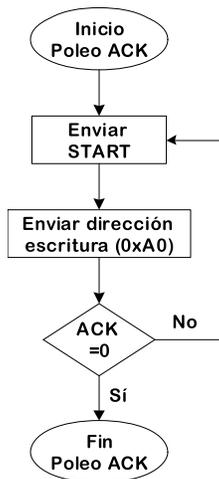


Figura 4.4 Poleo del bit de ACK

De la Tabla 4.2, se observa que los tipos de variables a almacenar, y por ende, a enviar por el bus I2C son: caracteres (char), enteros de ocho bits (int8) y variables de punto flotante (float). Las dos primeras no presentan mayor complicación, pues en el bus I2C la información se envía un byte a la vez. Como dichas variables constan de un solo byte, se pueden transferir en un solo paquete de información<sup>9</sup>. Por el contrario, las variables de punto flotante requieren atención especial para ser enviadas.

## 4.1.2 Variables de punto Flotante

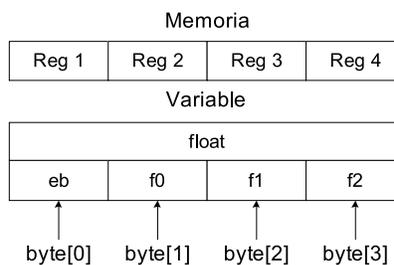
Cada variable de punto flotante consta de cuatro bytes, o dicho de otro modo, una variable de punto flotante se compone de cuatro variables de tipo entero de ocho bits. Cada byte almacena una porción de información necesaria para definir el valor guardado en la variable. Los microcontroladores PIC utilizan un formato establecido por Microchip en su documento AN575 [17]. En la Tabla 4.3 se muestra la información contenida en cada byte de la variable de acuerdo a dicho formato.

**Tabla 4.3 Formato de Microchip para variables de punto flotante (Referencia: Microchip AN575)**

	eb	f0	f1	f2
Microchip 32-bit	xxxx xxxx	s • xxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx

eb - biased exponent (bias = 127), f - fracción, s - bit de signo

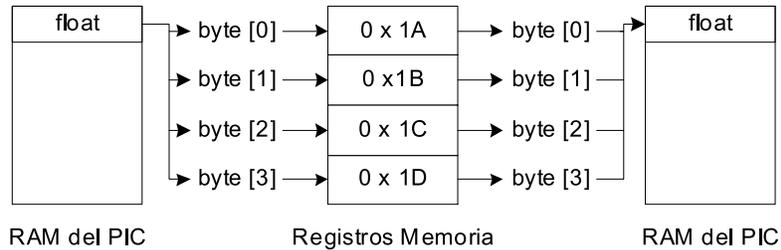
Para poder manipular los bytes individuales de estas variables se recurrió a un recurso del lenguaje C llamado unión. Una unión permite que dos variables ocupen el mismo espacio en memoria al mismo tiempo. De esta forma se puede tener una variable de punto flotante y un arreglo de cuatro bytes ocupando los mismos registros del PIC (Figura 4.5). Nótese que el byte más significativo del formato, eb, se guarda en el byte menos significativo de la unión, byte[0]. De no ser así, el PIC no podrá reconstruir la variable de punto flotante.



**Figura 4.5 Unión de una variable tipo float y un arreglo de cuatro bytes. Representación Gráfica**

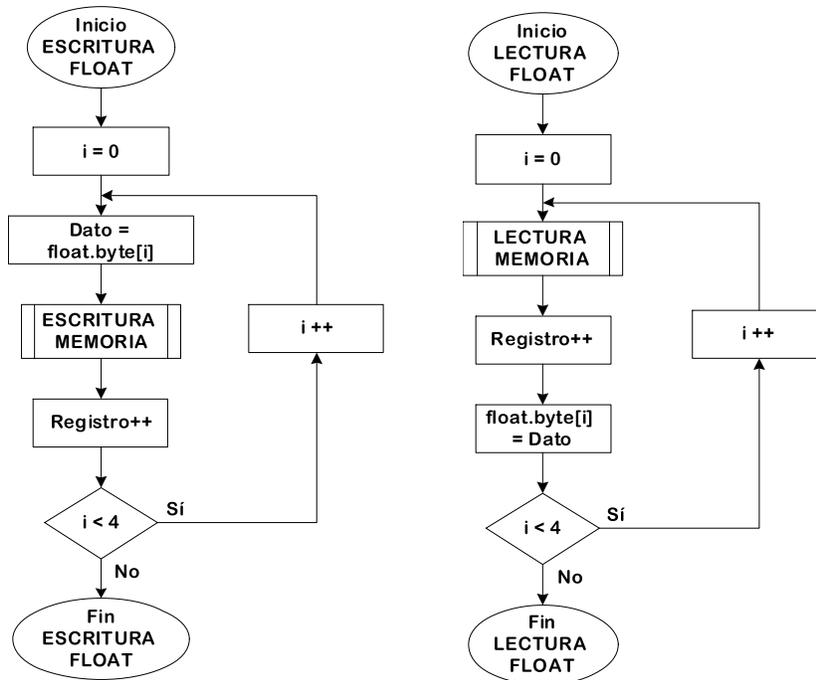
<sup>9</sup> La única diferencia entre ellas es la interpretación dada por el subsistema que las recibe.

Con ayuda de la unión es posible enviar este tipo de variables un byte a la vez. Cuando se almacena una variable de punto flotante en la Memoria se utilizan cuatro registros consecutivos. Al momento de leerla, se debe considerar el orden en el que fueron almacenados los bytes individuales para poder reconstruir la variable en el PIC (Figura 4.6).



**Figura 4.6 Envío (izquierda) y recepción (derecha) de una variable de punto flotante entre un PIC y la Memoria 24LC32B**

En la Figura 4.7 se muestra el diagrama de flujo de las operaciones necesarias para guardar una variable de punto flotante en la memoria. Nótese que son necesarias cuatro operaciones básicas de escritura para almacenar una sola variable y que en cada iteración se toma uno de los bytes que componen la variable.



**Figura 4.7 Escritura (izq.) y Lectura (der.) de una variable de punto flotante en Memoria**

## 4.2 Comunicación entre PICs

Debido a que el SERM y el SMCE se encuentran en dos PICs distintos, es necesario comunicarlos mediante el bus I2C para que las tareas de uno complementen las del otro y viceversa.

Para escribir o leer un dato de la Memoria el Maestro envía el comando correspondiente y ésta ejecuta la instrucción dada, por ello en la sección anterior sólo se analizaron las instrucciones del Maestro, sin entrar a detalle en los procesos internos de la Memoria. En el caso de la comunicación entre PICs es tarea del programador escribir el código que le permita al Esclavo recibir o enviar información en respuesta a los comandos enviados por el Maestro. Es por ello que en esta sección se analizará tanto la actividad del Maestro como la del Esclavo.

Existen dos métodos que el Esclavo puede utilizar para determinar si el Maestro ha enviado o no una instrucción: el poleo del bus y la interrupción por comunicación I2C. La primera consiste en una revisión continua, realizada por el Esclavo, para revisar si hay algún byte esperando a ser recibido en el bus. De ser así, se lee, se interpreta y se procesa. Con el segundo método el Maestro puede interrumpir el programa del Esclavo en cualquier momento al enviar un byte por el bus. El Esclavo inmediatamente lee, interpreta y procesa el byte. Finalmente retoma sus actividades desde el punto en el que fueron interrumpidas.

Para este proyecto se implementó la segunda opción. El Esclavo recibe las instrucciones por interrupción. Éste método previene la saturación del bus. Además, el SMCE sólo detiene el poleo de entradas cuando es necesario y no pierde tiempo revisando el bus periódicamente. Ya que el Esclavo atiende inmediatamente al Maestro, éste se desocupa rápidamente para continuar con sus demás tareas, por lo que se reducen los tiempos muertos.

### 4.2.1 Operaciones de lectura y escritura

En la comunicación entre PICs, y en cualquier bus I2C, existen operaciones de lectura y escritura. Una operación de escritura implica un flujo de información del Maestro al Esclavo, iniciado por el Maestro. Una operación de lectura implica un flujo de información del Esclavo al Maestro, siempre a petición de este último.

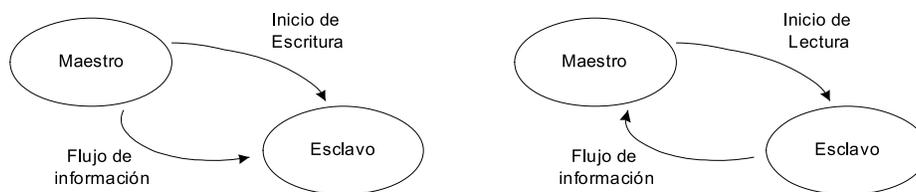


Figura 4.8 Operación de Escritura (izq.) y Lectura (der.)

En adelante se le llamará transmisión a una secuencia de bytes enviada por el bus I2C, caracterizada por comenzar con una condición de START y terminar con una de STOP.

### 4.2.1.1 Operación de Escritura

La secuencia para escribir uno o más bytes en el bus I2C inicia cuando el Maestro envía la condición de START seguida de la dirección del Esclavo con el LSB en cero. Posteriormente se escriben los bytes que sean necesarios antes de detener la transmisión con la condición de STOP. Por su parte, al recibir la dirección de escritura el Esclavo detiene su programa y ejecuta la rutina de servicio para la interrupción por I2C. Durante ésta recibe y procesa los bytes enviados por el Maestro, incluyendo la dirección. Finalmente, al recibir la condición de STOP, el Esclavo regresa a sus actividades.

El Esclavo ejecuta la rutina de servicio para la interrupción por I2C cada vez que un byte es recibido. Si la operación es de escritura, la función del compilador CCS `i2c_isr_state()` devuelve el número de bytes que han sido enviados, empezando con un valor de cero al recibir la dirección de escritura y aumentando de uno en uno por cada byte recibido. Este valor se almacena en la variable `state`, misma que permite controlar la interpretación de los bytes de acuerdo al orden de llegada.

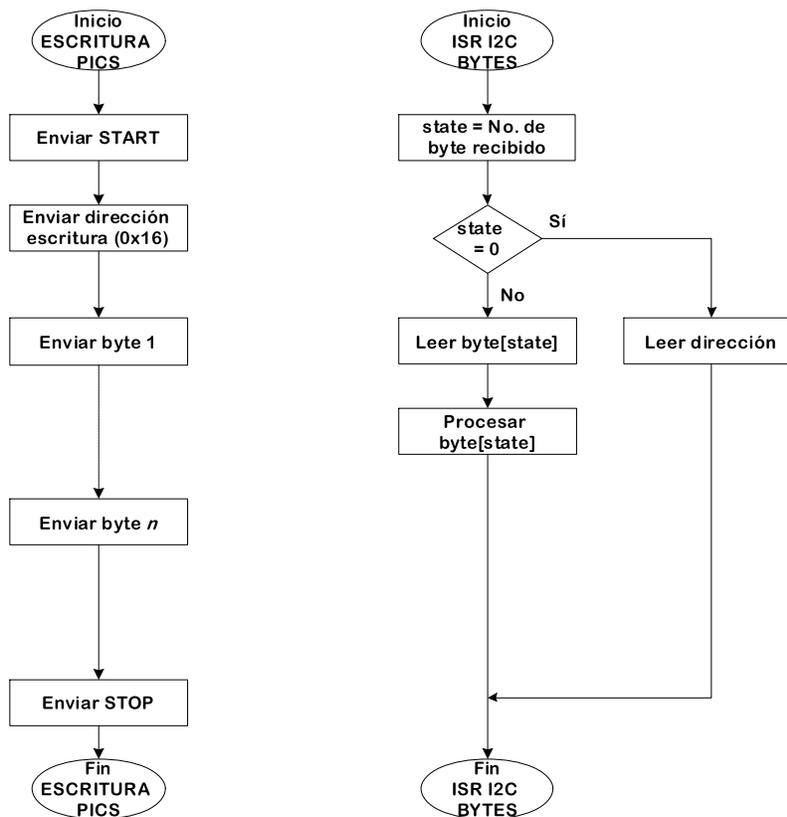


Figura 4.9 Operación de escritura de bytes. Maestro (izq) y Esclavo (der)

En la documentación consultada en Internet es frecuente encontrar programas que reciben, pero que no leen, la dirección de escritura. Esto se debe a que ésta sólo se utiliza para direccionar la información al dispositivo correspondiente. Son raras las ocasiones en las que se lee con fines de procesamiento. Esta práctica nunca debería ser llevada a cabo. Es necesario recibir y leer el byte de dirección, de lo contrario, el Esclavo no enviará el bit ACK y el bus se quedará colgado, inutilizando la aplicación.

Esta operación de escritura sencilla procesa siempre el mismo número de datos y de la misma forma. Para aplicaciones más complejas es necesario modificarla un poco para tener un medio que permita seleccionar un comportamiento de recepción distinto. Esto se logra por medio de una bandera. El primer byte transmitido asigna un valor a la bandera, que determinará la forma de procesar los bytes recibidos (Figura 4.10).

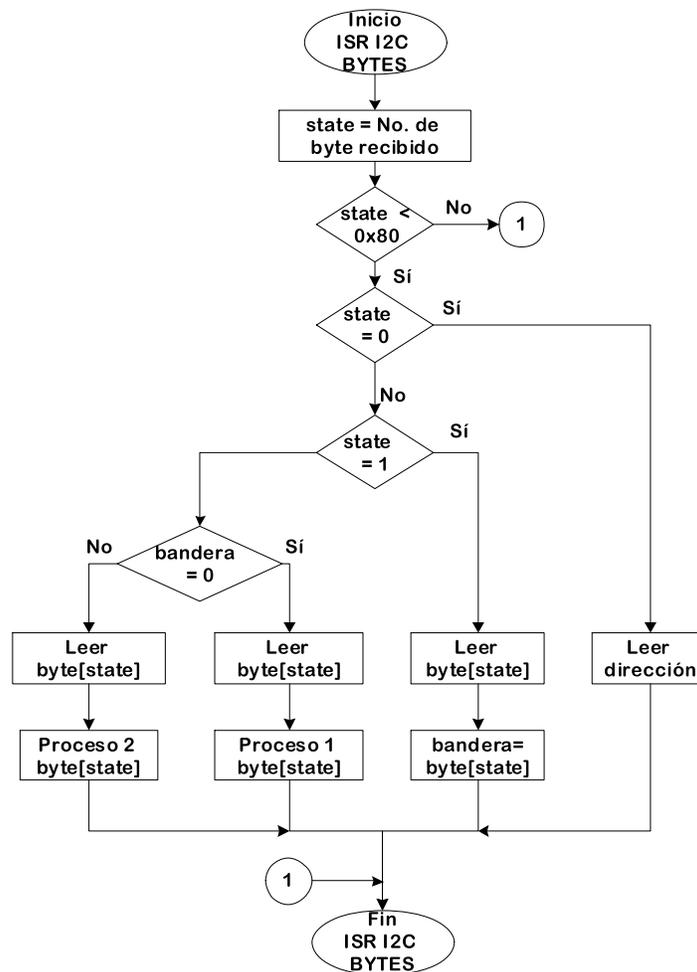


Figura 4.10 Operación de escritura modificada. Maestro (izq) y Esclavo (der)

### 4.2.1.2 Operación de Lectura

Debido a que el bus I2C es un bus centralizado, el Esclavo sólo puede transmitir información al Maestro cuando éste lo solicite. La secuencia es similar a la de escritura, con la diferencia de que el Maestro debe enviar la dirección del Esclavo con el LSB en uno. A continuación el Esclavo envía una cierta cantidad de bytes que son leídos por el Maestro.

El Maestro determina cuantos bytes son enviados. Mientras el Maestro no indique que ya no es necesaria más información, el Esclavo deberá seguir enviando datos. Por ello, es importante que el número de bytes que serán transmitidos durante la operación de lectura sea el mismo en el programa de ambos microcontroladores. El Maestro indica al Esclavo cuál es el último byte que leerá al no responder con el bit ACK tras recibirlo, y finaliza la transmisión generando la condición de STOP.

Para determinar si se trata de una operación de lectura se utiliza la función de CCS `i2c_isr_state()`. Cuando se recibe la dirección del Esclavo con el LSB en uno, el valor de la variable `state` se iguala a 0x80.

En la Figura 4.11 muestra la secuencia de comandos enviada por el Maestro y el diagrama de flujo ampliado de la rutina de servicio para la interrupción por I2C que considera la reacción ante una operación de lectura.

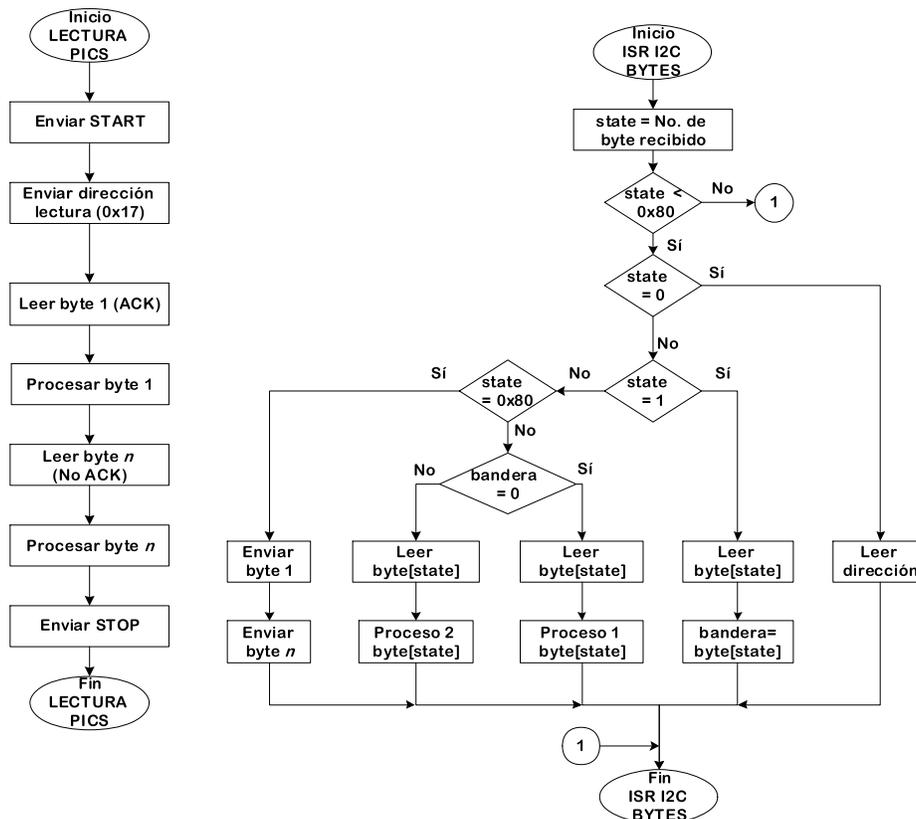


Figura 4.11 Operación de lectura de bytes. Maestro (izq) y Esclavo (der)

### 4.2.1.3 Operación de Escritura-Lectura

Al observar el diagrama de la Figura 4.7 se hace evidente que, a menos que se modifique la rutina de servicio, el Esclavo siempre proporcionará los mismos datos. Para el presente proyecto se podría implementar la rutina de servicio de interrupción por I2C tal y como se muestra en la Figura 4.11. Sin embargo, para brindar flexibilidad y facilitar futuras modificaciones, se mostrará la forma de seleccionar los datos que serán enviados al Maestro con ayuda de una bandera.

Con tal fin, se combinará una operación de escritura y una de lectura. La de escritura permitirá dar un valor a la bandera y la de lectura recuperará los datos enviados por el Esclavo, que dependerán del byte escrito previamente. (Figura 4.12)

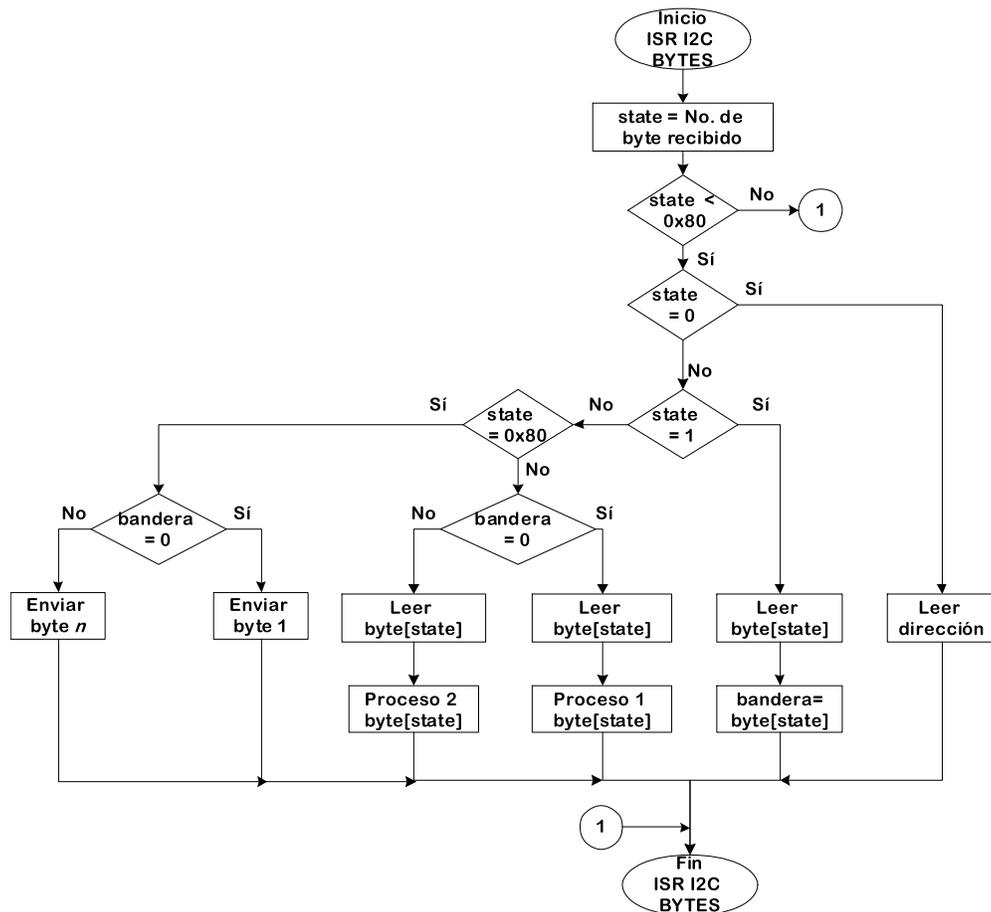


Figura 4.12 Operación de escritura-lectura. Maestro (izq) y Esclavo (der)

El principal cambio con respecto a las dos operaciones presentadas anteriormente es que aparecen dos condiciones de START y sólo una de STOP. La operación es similar a la de lectura de la Memoria. En la Memoria para poder leer un dato es necesario indicar el registro donde se encuentra almacenado. La bandera del ejemplo cumple una función similar. Al realizar la operación de escritura se asigna un valor a la bandera para determinar la información que devolverá el Esclavo durante la operación de lectura.

## 4.2.2 Rutina de Servicio para la Interrupción por I2C

Las anteriores fueron operaciones de escritura y lectura básicas que dan pie a desarrollar una rutina de servicio más compleja que pueda manejar las distintas situaciones que se presenten durante el funcionamiento del SMAG.

Al estudiar la Tabla 4.1, se observa que las tres tareas que requieren comunicación entre los PICs son: recuperar los Rangos de Operación de las Entradas Analógicas, solicitar la información para enviar un mensaje de alerta y activar o desactivar una Salida Digital. Para diferenciarlas entre sí, se identificarán con una letra distinta, que funcionará como bandera para controlar el flujo de la rutina de servicio.

**Tabla 4.4 Letras identificadoras**

Situación	Letra
Activar/desactivar la recepción de Intervalos de Operación	I
Solicitar la información para enviar el Mensaje de alerta	M
Activar o desactivar una Salida Digital	S
Enviar un dato tipo float	X

Ante la detección de una anomalía, el SMCE no puede notificarlo al SERM por medio del bus I2C debido a su rol de esclavo. Para solucionar este problema sin recurrir a un bus I2C Multimaestro, que es más complicado y propenso a fallar, se reservó un pin digital del PIC Esclavo.

Cuando el SMCE detecta que es necesario enviar un mensaje guarda la información del evento, enciende el pin digital reservado y continúa con el poleo de las entradas. A su vez, el Maestro realiza un poleo constante del pin digital. Cuando detecta que fue encendido interrumpe al Esclavo para solicitar la información del evento, que posteriormente utiliza para enviar el mensaje de alerta correspondiente.

Para solicitar la información, el Maestro envía por el bus I2C la letra M. Tras esto, el Maestro leerá el tipo de entrada que activó la alerta, recibiendo un 0 si fue una Entrada Digital y un 1 si fue una Entrada Analógica. En el primer caso, sólo restará leer un último byte que informará el número de la Entrada Digital activada. En el segundo caso, será necesario leer otros dos bytes: el número de la Entrada Analógica fuera de su Intervalo de Operación seguido de una 'i' si rebasó el límite inferior y de una 's' si violó el límite superior.

**Tabla 4.5 Secuencia de bytes para la situación M**

Byte	Descripción	Escritura	Lectura	
			E. Digital	E. Analógica
1	Solicitar información del evento	M	-	
2	Tipo de Entrada	-	0	1
3	No. De Entrada	-	0 - 4	0 - 4
4	Límite superior o inferior	-	-	0 - 1

Cuando el SERM recibe un mensaje de texto pidiendo la activación o desactivación de un Salida Digital, se lo comunica al SMCE para que lleve a cabo la acción de control solicitada por el usuario. A diferencia de la situación anterior, el SERM puede iniciar la comunicación por el bus I2C por ser el Maestro.

En esta situación, el primer byte que transmite es la letra S. A continuación escribe dos bytes más, que indican el número de la Salida Digital a controlar y el estado deseado (Tabla 4.4).

**Tabla 4.6 Secuencia de bytes para la situación S**

Byte	Descripción	Escritura	
		Activación	Desactivación
1	Información de las Salidas	S	
2	No. De Salida	0 - 4	
3	Activación o Desactivación	1	0

La única situación que requiere el envío de variables de punto flotante es la transmisión de los Intervalos de Operación. Como se explicó anteriormente en este mismo Capítulo, este tipo de variables toman cuatro bytes para ser enviadas, cada uno de las cuales es almacenado en una posición del arreglo de bytes que es guardado en el mismo espacio de memoria que la variable de punto flotante gracias a la unión.

Por el número de Entradas Analógicas es necesario enviar cinco Rangos de Operación, es decir, diez valores de punto flotante que resultan ser cuarenta bytes. En lugar de enviar los cuarenta bytes de manera consecutiva, se ideó una secuencia de transmisión que permite enviar un byte por transmisión. Esto permite mayor flexibilidad para escalar la aplicación, de manera que si en un trabajo futuro es necesario realizar el procedimiento para diez Entradas Analógicas, o sea, ochenta bytes, la secuencia de bytes propuesta pueda transmitirlos sin mayor dificultad.

El primer paso antes de enviar los rangos de operación es avisarle al SMCE. Para ello se designó la letra I. Al enviarla se activará una bandera en el Esclavo para que las siguientes operaciones de escritura las procese como variables de punto flotante. La diferencia entre esta bandera y las anteriores es que ésta misma letra I, al ser enviada una segunda vez, indica que se han transmitido todos los rangos de operación y que el Esclavo puede continuar con su configuración.

Mientras se estén recibiendo los Rangos de Operación, el Maestro enviará como primer byte una X, que será leída pero no procesada. Acto seguido se enviará el byte de la Entrada Analógica a la que corresponde el Rango de Operación, un byte para determinar si la variable corresponde al límite superior o inferior, el índice del arreglo de bytes a que corresponde y por último, el byte de la variable de punto flotante.

Es responsabilidad del Maestro llevar la cuenta tanto del número de entrada que se está procesando como del índice del byte, de modo que el Esclavo pueda reconstruir la variable correctamente.

**Tabla 4.7 Secuencia de bytes para enviar una variable de punto flotante**

Byte	Descripción	Escritura
1A	Indicar el inicio de la transmisión de Rangos de Operación de las E. Analógicas	I
1B	Indicar escritura dato tipo float	X
2B	No. de Entrada	0 - 4
3B	Límite superior o inferior	0 - 1
4B	Índice de byte	0 - 3
5B	Dato	0 - 255
2A	Indicar el fin de la transmisión de Rangos de Operación de las E. Analógicas	I



x 40  
10 variables tipo float  
4 bytes cada una

Con base en las Tablas 4.5, 4,6 y 4.7; y con las operaciones de escritura y lectura explicadas se desarrolló la rutina de servicio para la interrupción por I2C cuyo diagrama de flujo se muestra en el Anexo B.

# Capítulo 5

## Comandos AT

El intercambio de información entre el PIC y el Módulo GSM se realiza mediante comandos AT. Para el uso del SM5100B, el fabricante provee una lista de los comandos AT que el Módulo reconoce, con la función que cada uno de ellos desempeña y el modo de utilizarlos.

### 5.1 Lista de Comandos AT

La lista completa de los comandos AT que el Módulo SM5100B reconoce es bastante extensa [18], por lo que las tablas presentadas a continuación detallan sólo los que se utilizarán para implementar el SMAG. La Tabla 5.1 presenta los comandos que podemos enviar desde el PIC para configurar alguna característica del Módulo o para solicitarle que realice alguna acción. Por su parte, los comandos de la Tabla 5.2 son cadenas que el Módulo envía al PIC para informarle sobre su estado o como contestación a algún comando recibido.

**Tabla 5. 1 Comandos enviados por el PIC18F4550**

Comando	Descripción
AT+CFUN=1,1	Reinicia el módulo GSM por software (Devuelve OK)
AT+CMGD=<índice>,0	Elimina el mensaje de texto contenido en el registro <índice> de la memoria SIM
AT+CMGF=1	Establece el modo de texto para el envío/recepción de mensajes
AT+CMGR=<índice>	Lee el mensaje de texto contenido en el registro <índice> de la memoria SIM
AT+CMGS="<teléfono>"	Durante el envío de mensajes, indica el número telefónico al que se enviará el SMS.
AT+CNMI=3,1,0,0	Indica al módulo GSM que tras recibir un SMS deberá transmitir el índice de la memoria SIM en el que fue almacenado
AT+CPMS="BM","SM"	Indica al Módulo GSM que los mensajes entrantes serán almacenados en la memoria BM, misma que puede retener hasta 200 SMS
AT+CREG?	Le pregunta al módulo GSM si se ha o no conectado a la red de telefonía celular
AT+CSQ	Pregunta al módulo por la intensidad de la señal de la red
AT+SIND = 0100111111	Configura al módulo para notificar sólo sobre ciertos eventos (Tarjeta SIM insertada, no insertada, módulo listo, entre otras)

Tabla 5. 2 Cadenas enviadas por el Módulo GSM

Comando	Cadena	Descripción
AT+CMGS= "teléfono"	>	Carácter recibido durante el envío de un SMS. Indica que el módulo está listo para recibir el texto del mensaje
AT+CMGS= "teléfono"	+CMGS: <mr>	Indica que el envío del mensaje se completó con éxito
	<mr>	
-	+CMS ERROR: <error>	Avisa que hubo un error al realizar una acción o al procesar un comando AT
	<error>	Número del error detectado
AT+CMGR= <índice>	321	Error producido al intentar leer un mensaje de texto en un registro de la memoria SIM vacío
-	+CMTI: "<sm>",<índice>	Indica de que el módulo GSM ha recibido un mensaje de texto (previa configuración utilizando el comando AT+CMGF=1 y AT+CNMI=3,1,0,0)
	<índice>	Registro de la memoria SIM en la uqe fue almacenado el mensaje recibido
AT+CPMS="BM","SM"	+CPMS: <uBM>,<tBM>,<uSM>,<tSM>	
	<uBM>	Cantidad de Registros utilizados en la memoria del Módulo GSM
	<tBM>	Cantidad de Registros de la memoria del Módulo GSM
	<uSM>	Cantidad de Registros utilizados en la memoria de la tarjeta SIM
	<tSM>	Cantidad de Registros de la memoria de la tarjeta SIM
AT+CREG?	+CREG: 0,<estado>	
	<estado>	
	0	El módulo no se ha registrado a ninguna red, y no busca ninguna red
	1	Registrado correctamente a la red
	2	El módulo no se ha registrado a ninguna red, pero busca una nueva red
	3	El registro a la red fue denegado
AT+CSQ	+CSQ: <señal>,99	
	<señal>	Valor entre 1-30 que indica la intensidad de la señal de la red
-	+SIND: <estado>	Informa sobre el estado de la configuración del Módulo GSM
	<estado>	
	0	Tarjeta SIM no encontrada
	1	Tarjeta SIM encontrada
	2	Módulo GSM parcialmente listo
3	Módulo GSM listo	
-	OK	Cadena de confirmación enviada por el módulo tras haber recibido una instrucción y haberla ejecutado correctamente

La mayoría de los comandos AT comienzan con los caracteres `AT`, y todos deben terminar con el carácter retorno de carro: `<CR>`. Por otro lado, la información transmitida desde el Módulo GSM por el puerto serial siempre comienza y termina con los caracteres retorno de carro y salto de línea: `<CR><LF>` (con sus excepciones).

En las secciones siguientes se detalla el uso de cada uno de los comandos AT utilizados, así como un esquema de la actividad del bus RS232 correspondiente a cada uno, donde se muestra la relación entre los comandos AT y las cadenas de respuesta enviadas por el Módulo.

### 5.1.1 Reinicio del Módulo GSM

Hay dos situaciones en las que es necesario reiniciar el módulo GSM: cuando la tarjeta SIM es removida o si no se encuentra presente durante el encendido y cuando se pierde la conexión con la red de telefonía celular. Para ello, se envía el comando `AT+CFUN` por el puerto serial RS232 (Figura 5.1).

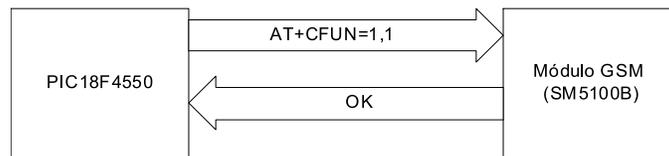


Figura 5. 1 Reinicio del Módulo GSM

### 5.1.2 Eliminación de un mensaje de texto

Cuando la memoria de la tarjeta SIM se llene y no haya lugar para almacenar los mensajes de texto entrantes, será necesario eliminar mensajes ya leídos para que la recepción de los entrantes no se vea afectada.

Esto se realiza mediante el comando `AT+CMGD=<índice>,0`. Para permitir la llegada de los mensajes entrantes, los que ya hayan sido atendidos se eliminarán en grupos de diez.

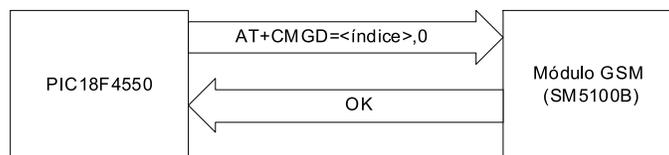


Figura 5. 2 Eliminación de un mensaje de texto

### 5.1.3 Formato de los mensajes de texto

Existen dos modos de trabajar el contenido de los mensajes de texto: el formato PDU y el formato de texto. En el modo PDU cada carácter se transforma en dos números hexadecimales. De estos ocho bits sólo se toman los siete menos significativos y se busca el carácter asociado en la tabla del alfabeto GSM-7, que se puede encontrar en la referencia [19]. Para una explicación más detallada de este formato, se puede consultar la referencia [20].

En el modo de texto cada letra es representada por su equivalente numérico de acuerdo a la Tabla ASCII. El primer modo es más complicado pero permite un control de bajo nivel, por lo que la manipulación de los mensajes de texto se vuelve más flexible. Por otro lado, el modo de texto es más sencillo y es suficiente para cumplir con los alcances del proyecto. Antes de que el módulo pueda enviar y recibir mensajes es necesario configurar el formato de los mensajes de texto para que el Módulo GSM los procese como texto y no como PDU.

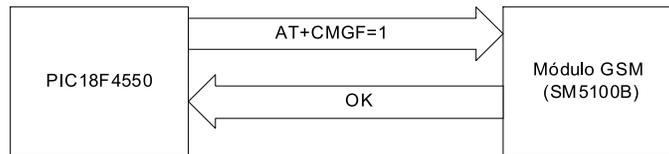


Figura 5. 3 Configuración del formato de los mensajes de texto

### 5.1.4 Lectura de un mensaje de texto

El Módulo GSM almacena los mensajes de texto recibidos en su memoria interna. Para recuperarlos es necesario proporcionar el número del registro donde se encuentran ubicados. Al enviar el comando `AT+CMGR=<índice>` el Módulo nos envía por el puerto serial la información del mensaje guardado en el registro `<índice>`.

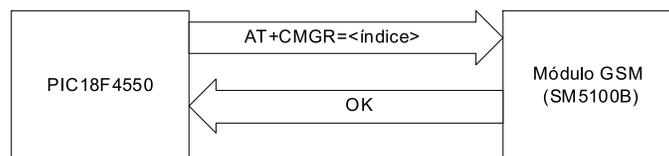


Figura 5. 4 Lectura de un mensaje de texto

La confirmación de `OK` sólo se recibe si la operación se realizó correctamente. Cuando se intenta leer un mensaje de un registro de la memoria SIM vacío, el Módulo reportará el error `+CMS ERROR: 321` (Figura 5.5).

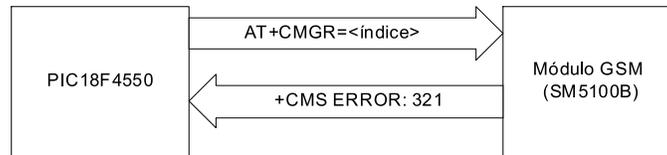


Figura 5. 5 Error de registro vacío o mensaje inexistente

### 5.1.5 Envío de mensajes de texto

Para el envío de mensajes es necesario el número telefónico al que se enviará el mensaje y el texto del mensaje. Dicha información se encontrará almacenada en la Memoria. En la Figura 5.6 se muestra el proceso que ha de seguirse para el envío de un mensaje de texto.

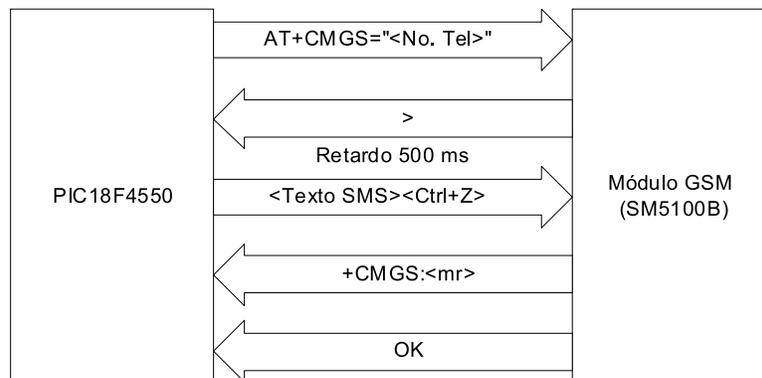


Figura 5. 4 Envío de un mensaje de texto

Durante este proceso de envío de SMS se deben cuidar los siguientes detalles:

- El número telefónico (<No. Tel>) consta de 10 dígitos, por ejemplo: 5512345678, y es enviado entre comillas ("").
- A diferencia de todos los comandos recibidos desde el módulo GSM, al carácter > no le sigue el carácter <CR>.
- Antes de enviar el cuerpo del mensaje se debe incluir un retardo de medio segundo. De lo contrario, el módulo GSM indicará que hubo un error durante el envío.
- Después de enviar el texto del mensaje, es necesario enviar el carácter <Ctrl+Z>, o 26 de la Tabla ASCII.
- Cuando el mensaje ha sido enviado, el módulo responderá con la cadena +CMGS:<mr>, seguido de un OK.

### 5.1.6 Recepción de mensajes de texto

El Módulo SM5100B ofrece distintas formas de avisar la recepción de un mensaje de texto, dentro de las que figuran: el envío de la información del mensaje por el puerto serial, la transmisión del número de registro en el que fue almacenado y el no avisar en lo absoluto.

Para el desarrollo de la Alarma GSM la opción que más nos conviene es la de recibir el número de registro donde fue guardado el mensaje por el bus RS232. No resulta efectivo recibir el total de la información (cuerpo del mensaje, número telefónico de origen, hora y fecha, etc.) debido a que ésta se compone de bastantes caracteres y, por el modo de comunicación entre el PIC18F4550 y el SM5100B, podríamos perder la funcionalidad del puerto RS232 si se acumulan tres o más caracteres sin leer en el buffer del puerto. La configuración deseada se solicita como se ilustra en la Figura 5.7.

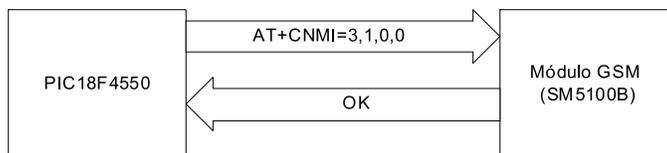


Figura 5. 5 Configuración de la recepción de mensajes de texto

### 5.1.7 Almacenamiento de los mensajes de texto

Como ya se mencionó, los mensajes recibidos son almacenados en la memoria del Módulo GSM. Se eligió esta memoria porque cuenta con una capacidad para almacenar doscientos mensajes, mientras que aquella de la tarjeta SIM puede contener sólo veinte. Al almacenar los mensajes en el Módulo GSM, se logra registrar más de ellos antes de que sea necesario eliminarlos para recibir nuevos. Mediante el comando `AT+CPMS="BM", "SM"` se selecciona la memoria en la que se guardarán los mensajes entrantes.

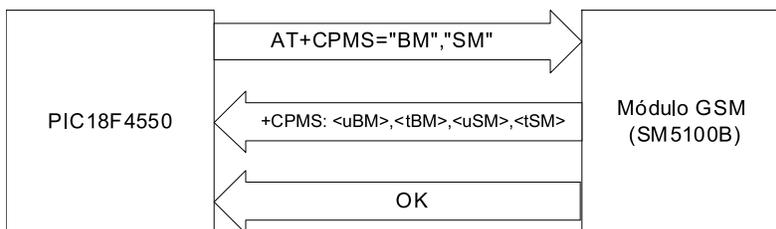


Figura 5. 8 Selección de memoria para almacenar mensajes de texto

La información enviada en la primera cadena no es utilizada por el programa, por lo que es recibida pero no interpretada.

### 5.1.8 Registro en la red de telefonía celular

Antes de enviar o recibir mensajes es indispensable que el módulo se encuentre registrado a la red de telefonía celular. Para verificarlo nos auxiliamos del comando `AT+CREG`.

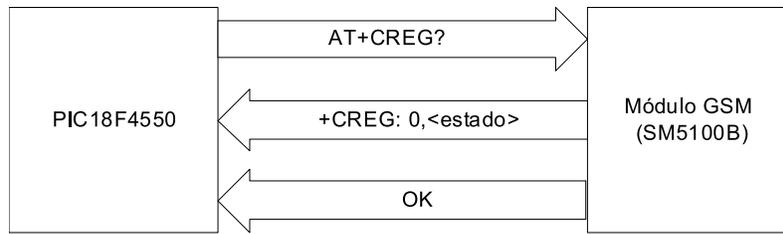


Figura 5. 6 Estado del registro en la red celular

El valor de <estado> indica la condición de la conexión a la red y determina las acciones a tomar (Tabla 5.3).

Tabla 5. 3 Estado de registro a la red

<estado>	Condición y Solución
0	El módulo no se ha registrado a ninguna red y no busca red a la cuál registrarse. Es necesario reiniciar.
1	El módulo ya se ha registrado a la red y está listo para enviar y recibir mensajes.
2	El módulo busca una red a la cuál registrarse. En este caso se le preguntará periódicamente por el estado de la comunicación con la red hasta que indique si pudo o no registrarse.
3	El registro a la red fue denegado. Es necesario reiniciar el módulo para que vuelva a intentar establecer la conexión con la red. Antes de reiniciar el módulo, se verifica que la intensidad de la señal sea la adecuada.

### 5.1.9 Intensidad de señal de la red de telefonía celular

Al igual que cualquier teléfono celular, el Módulo GSM no puede enviar ni recibir mensajes si la calidad de la señal no es buena. Para verificar que la intensidad de la señal es adecuada, se envían los siguientes comandos por el puerto serial:

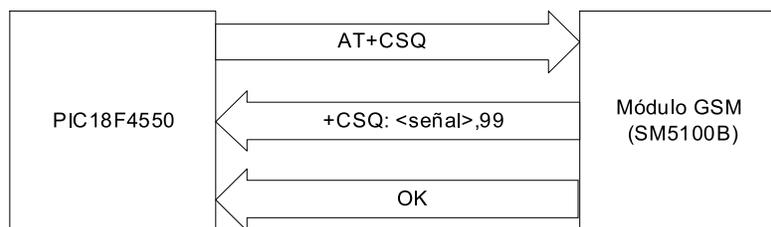


Fig. 5.4 Verificación de la intensidad de la señal de la red celular

El valor de <señal> indica si el módulo puede o no establecer contacto con la red de telefonía celular. El módulo puede trabajar con cualquier valor distinto de cero.

## 5.1.10 Mensajes de estado del Módulo GSM

Existen ciertas cadenas que el Módulo GSM envía por el puerto serial que sirven para monitorear su estado, principalmente en lo que a configuración se refiere. En general, su envío es activado por la ocurrencia de algún evento interno, como la detección de la tarjeta SIM o la completa configuración del Módulo GSM. Su envío se puede activar o desactivar mediante el comando AT+SIND=<parámetro>.

El <parámetro> es una serie de diez bits que, dependiendo de su posición y valor, activan o desactivan la notificación asociada de acuerdo a la Tabla 5.4.

**Tabla 5. 4 Notificaciones de Eventos Internos**

Bit de activación	Cadena de Notificación	Evento Interno
0	+SIND: 0	Tarjeta SIM no insertada
0	+SIND: 1	Tarjeta SIM insertada
1	+SIND: 2	Avisar cuando entre una llamada
2	+SIND: 3	Módulo GSM parcialmente listo
2	+SIND: 7	Modo "Sólo emergencias"
3	+SIND: 4	Módulo GSM completamente listo
4	+SIND: 5	Informa cuando el módulo inicia una llamada telefónica
5	+SIND: 6	Cuando el módulo recibe una llamada, informa si el teléfono que llama cuelga antes de que se conteste la llamada.
6	+SIND: 11	El módulo se ha conectado a la red celular
7	+SIND: 8	Se perdió la conexión con la red celular (La intensidad de señal es cero)
8	+SIND: 9	Audio ON
9	+SIND: 10	Mostrar el estado de cada libro de teléfonos de la tarjeta SIM después de la fase de inicio del módulo GSM

En el caso de las notificaciones asociadas a la red de telefonía celular (bits seis y siete) no es de interés que dicha condición sea comunicada en cuanto suceda, pues el registro a la red se monitorea de manera periódica y antes de enviar mensajes de texto. En cuanto al estado de los libros de la tarjeta SIM (bit nueve) la información no es de utilidad para el Sistema de Mensajes, por lo que se desactiva su envío. Cabe mencionar que si bien estas notificaciones pueden ser activadas sin repercutir el funcionamiento del Sistema de Mensajes, se desactivan para facilitar las tareas de éste último.

Para desactivar las notificaciones mencionadas se asigna un cero a los bits correspondientes y un uno a los demás, de modo que el comando a enviar es `AT+SIND=0100111111`. Esta configuración es almacenada en la memoria flash del Módulo GSM, por lo que basta con enviar el comando una sola vez, de tal suerte que no es necesario configurar el Módulo cada vez que es encendido.

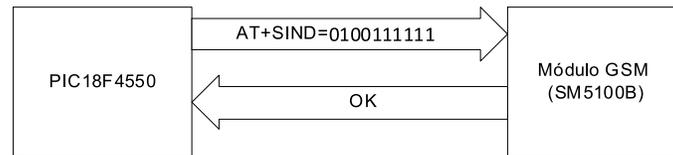


Figura 5. 7 Configuración de la notificación de eventos internos

## 5.2 Recepción de cadenas por el puerto RS232

Durante el funcionamiento de la Alarma GSM, el PIC18F4550 deberá recibir las distintas cadenas de respuesta enviadas por el Módulo GSM para corroborar que las acciones solicitadas se ejecutaron correctamente o, de lo contrario, atender la falla.

Para enviar un comando AT, éste simplemente se escribe byte por byte en el puerto y el Módulo se encarga de recibirlo e interpretarlo. Sin embargo, para leer las cadenas que el Módulo GSM transmite al PIC18F4550 es necesario desarrollar un algoritmo de recepción. Al igual que con el bus I2C, el compilador CCS proporciona dos formas de leer la información que llega por la línea RX del PIC: por poleo y por interrupción por comunicación RS232.

En el caso del puerto RS232 el buffer es solamente de tres bytes. La recepción de datos por poleo sólo se recomienda si el procesamiento de los mismos es lo suficientemente rápido como para ser ejecutado antes de que llegue un cuarto byte al buffer. De no ser así el buffer se saturará y se perderá la funcionalidad del puerto.

Es importante recordar que la comunicación RS232 es asíncrona, esto es, que los pulsos que representan los bits de información tienen una duración predeterminada. Al carecer de una línea de reloj, como en el bus I2C, tanto el emisor como el receptor deben de estar sincronizados durante la comunicación. Si los bits no se leen a tiempo se podrían leer bits incorrectos o en cantidades erróneas, lo que produce fallas en el puerto.

Es por ello que se optó por la lectura de los datos mediante una interrupción por RS232. Cuando un byte es recibido por el PIC, éste detiene su programación para leerlo. Debido a que se tienen otras interrupciones habilitadas en el PIC, se le asignó a la interrupción por RS232 la prioridad más alta, de modo que incluso cuando el microcontrolador se encuentre atendiendo otra interrupción, la rutina de servicio por interrupción RS232 se ejecutará.

Esto es posible sólo en los PICs pertenecientes a las gamas media y alta, pues tienen asignados dos vectores de interrupción. Sólo una interrupción puede interrumpir a las demás, mientras que las restantes tendrán la misma prioridad, por lo que será ejecutada la que ocurra primero. Con esta configuración aseguramos la lectura de todos los bytes enviados por el Módulo GSM y evitamos perder la comunicación entre éste último y el microcontrolador.

Para reducir el tiempo de ejecución de la rutina, se agregaron las instrucciones mínimas necesarias para retener los bytes recibidos en un arreglo de caracteres llamado `buffer[]`, de forma tal que los bytes son almacenados en la memoria RAM del PIC para que, una vez finalizada la transmisión, puedan ser interpretados sin riesgo de saturar el buffer del puerto serial.

El `buffer[]` tiene una capacidad de 256 caracteres. Al asignarle este tamaño al arreglo es posible recorrerlo de manera cíclica con un índice de tipo entero de ocho bits. Cuando una de estas variables con un valor de doscientos cincuenta y cinco es aumentada en uno, debido al sistema de numeración binario utilizado en el PIC, la variable regresa a un valor de cero. Utilizando una variable entero de ocho bits como índice para el arreglo `buffer[]` podemos recórrerlo de manera tal que la información más reciente sustituya a la más antigua. Para el programa del PIC, esta variable será llamada `tam`.

La primera instrucción que ejecuta nuestra rutina de servicio por RS232 es leer el byte recibido para guardarlo en la variable `dato`. Acto seguido, se realizan tres comparaciones para facilitar el procesamiento de las cadenas recibidas. El algoritmo completo para la recepción de caracteres por el puerto RS232 se muestra en la Figura 5.11 y se explica a detalle en los párrafos siguientes.

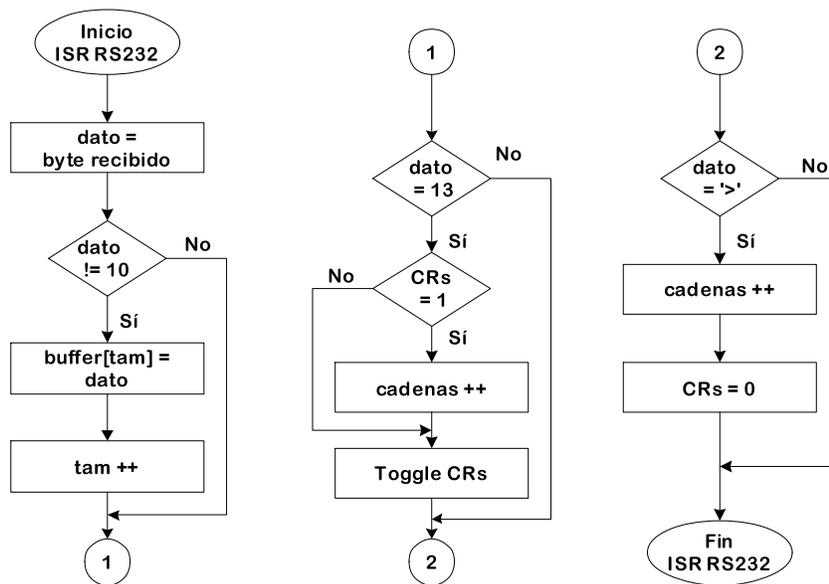


Figura 5. 8 Algoritmos de la rutina de servicio de interrupción por RS232

La primera comparación nos ayuda a reducir el número de bytes almacenados en `buffer[]`. El Módulo indica el principio y el final de cada cadena con los caracteres `<CR><LF>`, de modo que se puede almacenar sólo el carácter `<CR>` y pasar por alto el carácter `<LF>`. Con este ajuste, la cadena guardada en `buffer[]` queda delimitada por un carácter `<CR>` al principio y otro al final. En la Figura 5.12 se muestran los caracteres almacenados y la posición que ocupan en el `buffer[]`.

Actividad en el puerto RS232	-	<CR>	<LF>	C	A	D	E	N	A	<CR>	<LF>
<code>buffer[]</code>	0	<CR>	-	C	A	D	E	N	A	<CR>	-
<b>Tam</b>	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	7

Figura 5. 9 Delimitación de cadenas

Para verificar si el byte recibido es un `<LF>` se compara con un diez, su valor numérico asociado en la Tabla ASCII. Si el byte no es igual a diez se guarda en el `buffer[]`. Cada byte es guardado en la posición indicada por la variable `tam`. Para no sobrescribir los bytes recibidos, la variable `tam` es aumentada en uno tras la recepción de cada byte, de forma tal que apunte a la posición donde se guardará el siguiente byte.

La segunda comparación determina si ya se han terminado de enviar todos los caracteres de la cadena, con base en los caracteres `<CR>`. Para saber si el byte recibido fue un `<CR>`, el PIC lo compara con su valor numérico de trece. De ser el caso, se revisa el valor de una bandera llamada `CRs`. Si la bandera se encuentra en cero, significa que ha llegado el `<CR>` de inicio de cadena, por lo que la única acción realizada es el *toggle*<sup>10</sup> de la bandera, para activarla. Si la bandera se encuentra activada, significa que se trata del segundo `<CR>` de final de cadena y que la transmisión de ésta última ha concluido, evento que se registra aumentando en uno la variable que lleva la cuenta de las cadenas recibidas (`cadenas`). A continuación se realiza el *toggle* de la bandera, apagándola para la recepción de futuras cadenas.

Actividad en el puerto RS232	-	<CR>	C	A	D	E	N	A	<CR>	
<b>CRs</b>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
<b>cadenas</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 5. 10 Detección de final de cadena

<sup>10</sup> Si la bandera tiene un valor de uno, al realizar el *toggle* se le asigna un valor de cero, y viceversa.

La segunda comparación es útil para delimitar la gran mayoría de las cadenas recibidas, pero como se advierte en la Tabla 5.2, la cadena > sólo es enviada con el carácter <CR> al inicio, mas no al final. De no considerar esta excepción a la regla, se realizaría un conteo erróneo de las cadenas recibidas, lo que conduciría a una incorrecta interpretación de las mismas. Por ello, cada carácter que llega al PIC es comparado con el carácter >. Si son iguales se aumenta en uno la cuenta de cadenas recibidas y se asigna un cero a la bandera CRs, de modo que el primer <CR> de la siguiente cadena no sea confundido con un <CR> de final de carrera.

Actividad en el puerto RS232	-	<CR>		>		
	CRs	0	0	1	1	0
	cadenas	0	0	0	0	1

Figura 5. 11 Recepción de la cadena >

Esta rutina de interrupción por RS232 cumple con un doble propósito: almacenar los bytes recibidos desde el módulo en la memoria RAM del PIC y contar el número de cadenas que han sido recibidas por el puerto, información que será de gran utilidad para el resto del programa. Cabe recalcar que la capacidad del arreglo `buffer[]` se mide en caracteres, no en cadenas. Por lo tanto, se pueden almacenar varias cadenas en espera de ser interpretadas siempre y cuando no se sobrepasen los doscientos cincuenta y seis caracteres.

### 5.3 Interpretación de las cadenas

Una vez que la cadena entrante ha sido guardada en el `buffer[]` es necesario leerla lo antes posible para que la recepción de nuevas cadenas no sobrescriba información no interpretada. Para saber si existe alguna cadena en espera verificamos si nuestro contador de cadenas es mayor a cero.

Para comenzar la interpretación se busca el inicio de la cadena, indicado por un <CR>, con ayuda de un índice que recorrerá el `buffer[]` byte por byte. Este índice lleva el nombre de `ind_buffer` en el programa escrito y en los diagramas de flujo en adelante presentados. Es importante notar que este índice es distinto al utilizado para almacenar la cadena, por lo que pueden tener posiciones distintas. La variable `tam` apunta a la posición donde se almacenará el siguiente carácter recibido en el puerto RS232. La variable `ind_buffer` apunta a la posición cuyo contenido leeremos con fines de interpretar las cadenas.



Una vez identificada la cadena, se extrae la información pertinente contenida en ésta. El recuperar el contenido se facilita mediante la búsqueda de caracteres como comillas, comas, dos puntos, etc.; que delimitan los campos de información en la cadena y permiten ubicarlos sin ejecutar demasiadas comparaciones.

Finalmente, tras obtener la información de interés, se mueve `ind_buffer` a la posición que ocuparía el primer carácter de la siguiente cadena. Con tal fin, primero ubicamos el último carácter de la cadena que acaba de ser interpretada. En la mayoría de los casos se trata de un `<CR>`, siendo la excepción a la regla la cadena `>`.

Cuando esta cadena es interpretada, activa una bandera llamada `env_sms`. Antes de buscar el `<CR>` de final de cadena se verifica el estado de dicha bandera. Si se encuentra activada, debido a los pasos seguidos durante la interpretación de la cadena `>`, significa que `ind_buffer` ya apunta al inicio de la siguiente cadena. En caso contrario, se busca el final de cadena y, tras encontrarlo, se aumenta en uno `ind_buffer`, de modo que apunte al inicio de la siguiente cadena.

Finalmente, para mantener actualizado el contador de cadenas en espera de ser interpretadas, reducimos en una unidad el valor del mismo.

A continuación, en la Figura 5.17, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo explicado en los párrafos anteriores. Los algoritmos de interpretación de cada cadena dependen del formato con que llegan y de la información de interés de cada uno. Los algoritmos para cada cadena pueden encontrarse en el Anexo C.

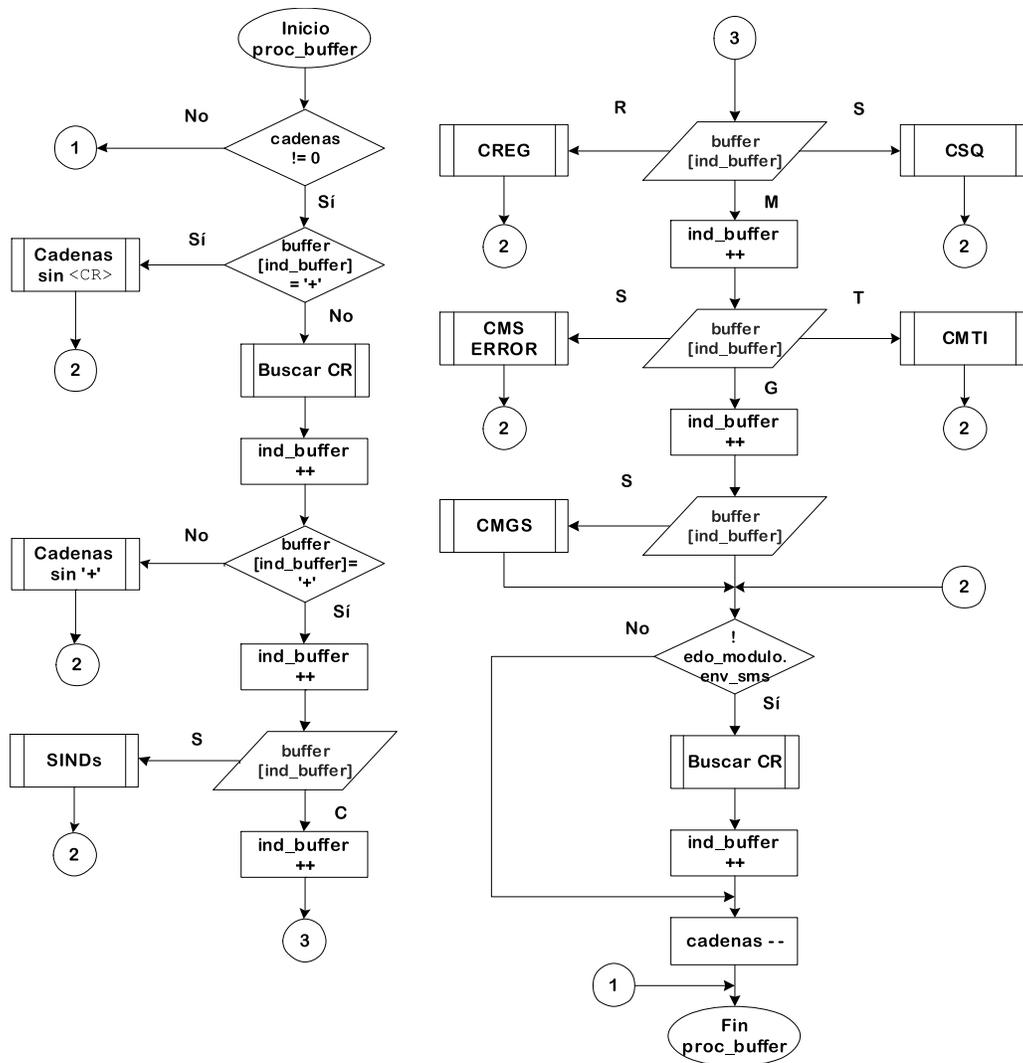


Figura 5. 14 Algoritmo de interpretación de cadenas

## 5.4 Estado del Módulo GSM

Para que las diversas tareas del Módulo GSM se lleven a cabo satisfactoriamente, el PIC18F4550 debe conocer su estado a la perfección. Por estado se hace referencia a si está conectado a la red, si la intensidad de señal es suficiente, si se encuentra en espera de información adicional para el envío de un mensaje de texto, etc. Es importante contar con información precisa pues muchas de las decisiones tomadas por el SMAG se basan en el estado del Módulo GSM.

En el programa desarrollado esto se logra por medio de un recurso de programación llamado estructura. Las estructuras permiten mantener variables de distintos tipos agrupadas dentro de un mismo campo, de modo que el programa se encuentre organizado, facilitando su lectura. En el caso particular del compilador CCS, las estructuras van más allá de la organización del programa y permiten definir el tamaño en bits de cada uno de sus elementos.

Para monitorear el estado del Módulo GSM se creó una estructura llamada `edo_modulo`. La Tabla 5.5 muestra las variables y banderas contenidas en dicha estructura, así como los valores que pueden tomar y el significado de cada uno de ellos.

**Tabla 5. 5 Variables de la estructura `edo_modulo`**

Variable	Bits	Comando AT	Valores
REG	2	AT+CREG?	0 - Valor inicial 1 - Registrado a la red 2 - Buscando red 3 - Acceso denegado
SIM	2	-	0 - Valor inicial 1 - SIM encontrada 2 - SIM no encontrada
senal	1	AT+CSQ	0 - Intensidad de Señal Insuficiente 1 - Intensidad de Señal suficiente
listo	1	-	0 - El Módulo GSM no está listo 1 - El Módulo GSM se encuentra listo
env_sms	1	AT+CMGS	0 - Valor inicial 1 - El Módulo espera el texto del mensaje de texto que será enviado
sms_env	1	AT+CMGS	0 - Valor inicial 1 - Mensaje de texto enviado
sms_rec	1	-	0 - Valor inicial 1 - El Módulo GSM ha recibido un mensaje de texto
OK	1	-	0 - Valor inicial 1 - Se ha recibido la cadena OK
SMS	1	-	0 - El Módulo GSM no reconoció la salida a controlar 1 - El Módulo GSM leyó correctamente la salida a controlar
espacio_enc	1	AT+CMGR	0 - Valor inicial 1 - Espacio vacío en memoria SIM encontrado

Al igual que el estado del Módulo GSM, el valor de estas variables cambia constantemente. Éstas se mantienen actualizadas gracias a las distintas cadenas recibidas por el puerto RS232. Los valores que representan el estado del Módulo GSM son asignados a las distintas variables durante la interpretación de las cadenas, como se puede observar en los diagramas de flujo correspondientes a la interpretación de cada una de ellas, incluidos en el Anexo C.

# Capítulo 6

## Modo de Monitoreo

Si al encender el SMAG éste no se encuentra conectado a la computadora se activará el Modo de Monitoreo, durante el cual el SERM se encargará de alertar al usuario cuando el SMCE detecte alguna anomalía en el entorno, así como de recibir las instrucciones de los usuarios, enviadas mediante mensajes de texto, para comunicarlas al SMCE, mismo que llevará a cabo las acciones correspondientes. El algoritmo del Modo de Monitoreo se presenta de manera general en la Figura 6.1.

### 6.1 Proceso de inicialización

Antes de que las funciones arriba descritas se lleven a cabo, tanto el SMCE como el SERM deberán de configurarse. Este proceso es controlado por el programa escrito para el PIC18F4550.

De acuerdo a la secuencia de inicialización presentada en el Capítulo 3, el primer subsistema en configurarse es el SC. En cuanto a la programación del PIC18F4550, esto implica configurar la comunicación I2C, establecer la velocidad de transmisión de datos y los pines por los que se realizará, etc. Una vez que el bus I2C se encuentre en condiciones de operar, será posible recuperar de la Memoria los parámetros configurados por el usuario para enviarlos a los subsistemas correspondientes.

El segundo subsistema en encenderse será el SMCE. Para dirigir la secuencia de inicialización, dos salidas digitales del PIC18F4550 fueron conectadas a las señales de RESET del SMCE y del Módulo GSM. Tras habilitar el funcionamiento del SMCE, mediante un valor lógico de uno en su pin de RESET, se le da un pequeño tiempo para que inicialice sus variables y configure el hardware para monitorear las entradas, para controlar las salidas y para conectarse al bus I2C.

La configuración del SMCE consiste en determinar que puertos del PIC16F887 servirán como entradas digitales, cuáles como analógicas y cuáles se utilizarán como salidas digitales. Acto seguido, se configurarán las entradas analógicas.

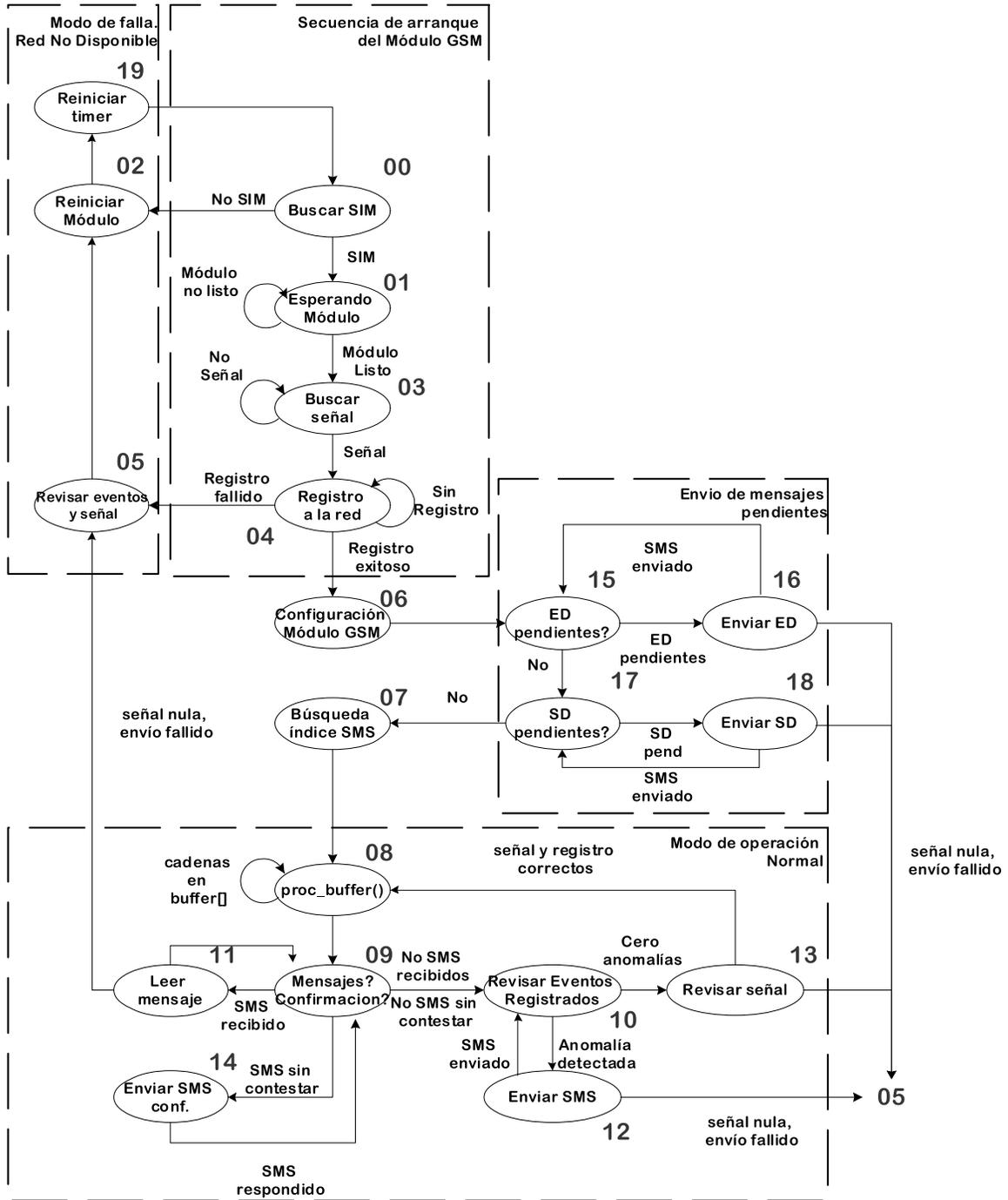


Figura 6. 1 Algoritmo del Modo de Monitoreo

A continuación, se le envían los intervalos de operación de las Entradas Analógicas por el bus I2C, lo que permitirá al PIC16F887 detectar las anomalías del entorno e identificar como tales. Posteriormente, se transfieren los permisos de las Entradas de cada contacto, de modo que una vez identificada la anomalía el SMCE determine si es necesario o no comunicarlo al SERM para el envío de los mensajes de aviso.

El último subsistema en configurarse es el SERM. Para su funcionamiento, requiere de los permisos de las Salidas, de modo que al recibir un mensaje de texto pueda decidir si el contacto que envió el mensaje puede o no controlar las Salidas indicadas en el texto del mensaje. Por ello, los permisos correspondientes a las Salidas Digitales son almacenados en la memoria RAM del PIC18F4550. A continuación se habilita la interrupción por RS232 para poder recibir las cadenas enviadas por el Módulo GSM y finalmente se enciende éste último.

## **6.2 Secuencia de Arranque del Módulo GSM**

Al proporcionar un valor lógico de uno en su pin de RESET, si el Módulo está alimentado, éste comenzará la ejecución de una secuencia de arranque interna que es necesario entender para poder monitorearla. Durante ésta, envía diversas cadenas por el puerto RS232, informando el progreso de la operación. Esta información es transmitida con las cadenas que describen el estado del módulo, denominadas en adelante cadenas SIND dado que comienzan con los caracteres +SIND.

El primer paso que realiza el Módulo es verificar si la tarjeta SIM ha sido insertada. De no ser así, continua con la secuencia de arranque pero es incapaz de establecer la comunicación con la red telefónica, por lo que se le solicita al usuario que la inserte. El proceso de inicialización del SMAG no continúa hasta que la SIM haya sido insertada. Tras verificar la presencia de la tarjeta SIM, el Módulo tarda unos cuantos segundos realizando una configuración interna cuya finalización avisa mediante las cadenas SIND.

Acto seguido, el Módulo intenta conectarse a la red de telefonía celular. Con la configuración de fábrica, el Módulo GSM informa si pudo realizar la operación o no mediante las cadenas SIND. Para controlar la cantidad de información enviada por el Módulo GSM, éste se configuró, con el comando `AT+SIND`, para no devolver el resultado de la operación durante el arranque del Módulo.

Un factor importante para el correcto desempeño del SMAG es una exitosa conexión a la red de telefonía celular, misma que se verifica en dos pasos. En primer lugar, se checa la calidad de la señal con el comando `AT+CSQ`. Si se tiene buena recepción se procede a revisar el registro a la red con el comando `AT+CREG?`. El Módulo GSM deberá de pasar ambas pruebas para poder enviar y recibir mensajes de texto. Estos dos factores dependen completamente de la operadora. Es sabido que la red de telefonía celular llega a presentar fallas, por lo que es necesario comprobar periódicamente la calidad de la señal y el registro a la red.

Adicional a la configuración interna del Módulo GSM, el PIC envía una serie de comandos AT para configurar el formato en el que se manejarán los mensajes de texto, la forma en la que el Módulo nos indicará la recepción éstos y la memoria en la que serán almacenados.

Los mensajes de texto entrantes son almacenados en el primer espacio vacío de la memoria del Módulo GSM. Antes de comenzar con las operaciones de monitoreo se busca tal registro para tener la referencia del índice a partir del cual se comenzarán a almacenar los mensajes de texto que sean enviados al SMAG mediante las variables IndSMSAtender e IndSMSResponder. Cuando los doscientos espacios disponibles se hayan ocupado, se borrarán los primeros diez para evitar saturar la memoria del Módulo y liberar espacio para nuevos mensajes entrantes.

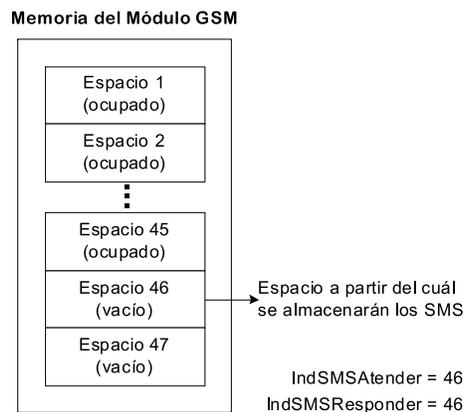


Figura 6. 2 Almacenamiento de los mensajes entrantes

Si bien ambos índices aumentarán al mismo ritmo, decrecerán de manera independiente. El utilizar una variable para leer los mensajes y otra para responderlos nos permite manejar ambas operaciones de forma separada, por lo que será posible leer primero los mensajes de texto recibidos y a continuación contestarlos. Así, de existir un problema con la red al momento de enviar los mensajes de confirmación, las acciones solicitadas por el usuario ya habrán sido interpretadas y ejecutadas.

### 6.3 Operaciones de Monitoreo

Tras la configuración de los subsistemas y del Módulo GSM, si las condiciones son adecuadas para la operación del SMAG, este último comienza a ejecutar sus operaciones de monitoreo. Estas consisten en verificar cinco eventos de manera consecutiva y, de ser el caso, atenderlos. En la Tabla 6.1 se presenta una lista con ellos, en el orden en el que son revisados y las acciones que son ejecutadas en caso de que alguno de ellos ocurra.

**Tabla 6. 1 Eventos revisados durante el Modo de Monitoreo**

Orden	Eventos	Acciones Requeridas
1	Cadenas enviadas por el Módulo GSM	Interpretar las cadenas en el <code>buffer[]</code>
2	Recepción de un SMS	Ejecutar las instrucciones solicitadas
3	Mensajes de confirmación pendientes	Enviar SMS
4	Anomalías detectadas	Enviar SMS de alerta
5	Periodo de revisión de la señal	Revisión de la señal

### 6.3.1 Cadenas enviadas por el Módulo GSM

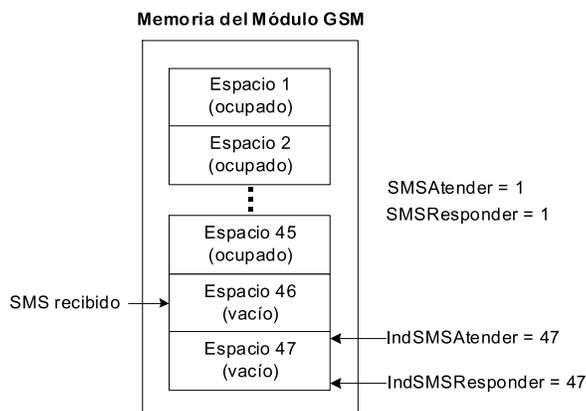
Muchas de las cadenas que son enviadas por el Módulo GSM son respuestas a los comandos AT, lo que implica que serán recibidas después del envío del comando al Módulo. Ejemplos de ellas son la cadena OK y la cadena >. Sin embargo, existen otras cuyo envío no está ligado a los comandos AT. En cambio, dependen de eventos registrados por el Módulo GSM, por ejemplo, la cadena +CMTI es enviada por el puerto serial cuando un mensaje es recibido. Gracias a la interrupción por RS232, el PIC es capaz de registrarlas y almacenarlas en su memoria RAM. Sin embargo, éstas deberán ser interpretadas antes de que el `buffer[]` se sature y la información sea sobrescrita.

Con tal fin, dentro del ciclo de monitoreo se incluye la revisión del `buffer[]`. Si existen cadenas por leer se efectúa su interpretación y se continúa con la verificación de los demás eventos. Esta revisión se realiza en el estado 08 del Modo de Monitoreo, como se puede apreciar en la Figura 6.1.

### 6.3.2 Recepción de un SMS

Con la configuración dada al Módulo GSM, cada vez que un mensajes es recibido, éste envía la cadena +CMTI por el puerto serial. Durante su interpretación, se aumentan en uno las variables `SMSAtender` y `SMSResponder` de modo que llevan la cuenta de los mensajes cuyo texto no ha sido interpretado y de los que deben de ser contestados con los mensajes de confirmación, respectivamente.

Durante el estado 09, se verifica el valor de las variables anteriores. Si `SMSAtender` es distinto a cero significa que se recibieron mensajes de texto, mismos que son interpretados en el estado 11. Tras leer el mensaje, se reduce en uno la cuenta `SMSAtender` y se regresa al estado 09. De esta forma el algoritmo se cicla hasta que todos los mensajes recibidos son leídos y las instrucciones contenidas en ellos son ejecutadas.



**Figura 6. 3 Registro de los mensajes entrantes**

Las Salidas Digitales se han nombrado con las cinco primeras letras del alfabeto. Para controlarlas, las instrucciones enviadas en el cuerpo de los mensajes de texto deberá seguir el formato ilustrado en la Figura 6.4. Para manipular una Salida se escribirá la letra que la identifica seguida de la palabra “on” para activarla y “off” para desactivarla. El algoritmo de interpretación permite el control de múltiples salidas con un solo mensaje de texto. Sin embargo, si alguna Salida se repite en el texto del mensaje, el SMAG hará caso omiso de las acciones solicitadas para dicha Salida. Asimismo, el algoritmo determina a que salidas tuvo acceso el usuario y a cuales le fue denegado.

**Formato:** < Nombre de la Salida > < acción> < Nombre de la Salida > < acción>  
**Ejemplo:** A on E off

**Figura 6. 4 Formato para el Control de las Salidas Digitales**

El proceso para interpretar un mensaje se describe a continuación. El primer paso es identificar y guardar el número telefónico que envió el mensaje. Si el teléfono pertenece a algún contacto registrado, el proceso continúa, de lo contrario se detiene. El siguiente paso es buscar el nombre de la primera Salida que se desea controlar. Una vez ubicada, se lee el estado deseado de la Salida. El proceso se repite hasta que todo el mensaje ha sido interpretado. El diagrama de flujo se incluye en el Anexo D.

### 6.3.3 Envío de los Mensajes de Confirmación

Otra comparación realizada en el estado 09 involucra a la variable `SMSResponder`. De ser mayor a cero significa que existen mensajes recibidos que ya han sido interpretados, pero que aún no han sido respondidos. En el estado 14 se responde el primer mensaje recibido y se reduce la cuenta `SMSResponder`. Por último, el algoritmo regresa al estado 09, entrando en un ciclo que termina hasta que todos los mensajes recibido la confirmación correspondiente.

Con el propósito de responder a los mensajes, el algoritmo del Modo de Monitoreo analiza nuevamente los mensajes para recuperar el número telefónico de los contactos a los que se les contestará y para determinar que texto de confirmación enviará con base en las Salidas manipuladas por el usuario.

### **6.3.4 Anomalías detectadas**

El monitoreo del entorno es llevado a cabo por el SMCE y se hace por poleo de las entradas, es decir, la lectura secuencial de las mismas. Debido a la velocidad con la que el microcontrolador ejecuta el programa y dado que la revisión de las entradas es la única tarea del SMCE<sup>11</sup>, se puede considerar que éstas son leídas de manera simultánea.

La única información que el SMCE requiere de la Memoria son los límites definidos por el usuario para cada Entrada Analógica y los permisos de las Entradas Digitales y Analógicas. Al detectar una anomalía, el SMCE verifica los permisos de cada número telefónico para la Entrada activada. Si el contacto tiene permiso de recibir los mensajes asociados a la Entrada en cuestión, la anomalía se registra y el SMCE transfiere la información al SERM.

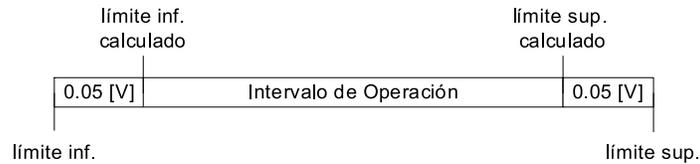
Antes de comenzar el poleo, se leen los valores de las Entradas para determinar su estado. En el caso de las Entradas Digitales, si se encuentran activadas, se tomará nota de forma que durante el poleo no se envíe el mensaje de aviso correspondiente hasta que esa entrada se haya desactivado y activado nuevamente. La misma lógica se aplica a las Entradas Analógicas, de forma que si durante el encendido del SMCE alguna de ellas se encuentra fuera de su intervalo de operación, el mensaje de aviso no será enviado hasta que ésta haya rebasado los límites nuevamente tras haber regresado a su intervalo de operación seguro.

Debido a la imprecisión presentada por el convertidor analógico-digital (ADC) del PIC, aun cuando los sensores Analógicos entreguen una señal estable, los valores leídos por el convertidor presentarán variaciones de  $\pm 0.05$  [V]. Por ello, es importante que las lecturas de las Entradas Analógicas presenten histéresis. Con tal fin, los límites de los intervalos de operación se ajustan para compensar el comportamiento del ADC.

Adicionales a los dos límites definidos por el usuario, por cada Entrada Analógica se calculan otros dos. Estos límites calculados se muestran en la Figura 6.5, donde se aprecia su relación con los parámetros asignados por el usuario.

---

<sup>11</sup> Con excepción del envío de la información al SERM, que sólo se ejecuta a petición de éste último.



**Figura 6. 5 Límites Calculados para el Ciclo de Histéresis**

De acuerdo a los límites mostrados, los mensajes de aviso se enviarán cuando el valor de la Entrada Analógica rebese el límite inferior o superior indicado por el usuario. Mientras el valor leído en la Entrada no regrese al intervalo delimitado por los límites calculados, se considerará que la anomalía persiste y, dado que ya se ha notificado al usuario, no se enviarán más mensajes. Una vez que el valor regrese al intervalo de operación seguro, si vuelve a rebasar los límites establecidos enviará el mensaje de aviso y se repetirá el ciclo de histéresis.

Cuando las anomalías sean detectadas, los datos de éstas se almacenarán en la memoria RAM del PIC16F887 y el pin digital de aviso se activará para dar aviso al SERM. Ya que es posible que más de una anomalía sea detectada antes de que el SERM solicite su información, el SMCE fue diseñado de forma tal que pueda mantener en memoria las últimas quince detectadas. Al momento de ser requeridas por el SERM, las primeras anomalías detectadas serán las primeras en ser atendidas.

El pin digital de aviso conservará un valor lógico de uno hasta que el SERM haya solicitado toda la información almacenada por el SMCE. En el estado 10 del Modo de Monitoreo, el SERM leerá el valor de tal pin y, de ser necesario, solicitará la información de las anomalías al SMCE con el fin de determinar qué mensaje será enviado y a qué números telefónicos. Tras atender la primera anomalía registrada por el SMCE, regresará al estado 10 para comprobar si más anomalías fueron detectadas. Los diagramas de los Algoritmos correspondientes al SMCE se incluyen en el Anexo E.

### **6.3.5 Periodo de revisión de la señal**

Debido a que la red de telefonía no es perfecta y puede saturarse o dejar de funcionar de manera inesperada, es necesario que se verifique su estado constantemente mediante el comando AT+CSQ.

El SMAG verificará la calidad de señal de manera periódica cada 60.144 [s], es decir, aproximadamente cada minuto. Este periodo es contabilizado con una interrupción por timer en el PIC18F4550, la cual se dispara cada 0.699 [s]. Al contar ochenta y seis ocurrencias se mide un intervalo de tiempo cercano a un minuto y se alza una bandera que es revisada en el estado 13. Ésta interrupción es aprovechada para encender y apagar un LED que indicará que el SMAG se encuentra operando.

La calidad de la señal no se verifica de manera continua debido a que consumiría tiempo y recursos que podrían ser dedicados a las funciones de monitoreo, las cuales poseen una prioridad mayor de acuerdo a las funciones del SMAG.

La revisión periódica es simplemente un indicador del estado de la red y no refleja su condición en todo momento. Por ello, antes de enviar los mensajes se verifica tanto la calidad de la señal como el registro a la red. Estas acciones constituyen un primer control que permite asegurar que los mensajes de alerta o de confirmación llegarán a su destinatario. Sin embargo, incluso si este control pasa la prueba, es posible que el mensaje no pueda ser enviado.

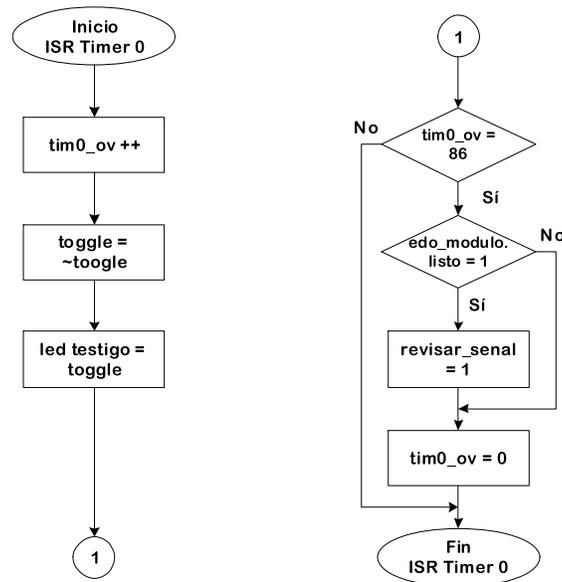


Figura 6. 6 Rutina de Servicio para la Interrupción por Timer0

De ser el caso, en lugar de recibir la cadena de OK tras el envío del mensaje se recibirá la cadena +CMS ERROR. Esta servirá como un segundo punto de control. El recibirla implica que el mensaje no fue enviado y que es probable que existan problemas con la red de telefonía celular. Esta condición no puede ser reparada por el SMAG. No obstante, este último puede adaptarse a ella.

## 6.4 Fallas en la Red de Telefonía Celular

En cuanto se detecte que la red no está disponible, ya sea antes o durante el envío de un mensaje de texto; o tras la revisión de diagnóstico de la misma, el SMAG será incapaz de enviar mensajes de texto. Aunque reparar la falla no es opción, es posible almacenar las anomalías que se detecten durante el intervalo de tiempo en el que la funcionalidad del SMAG se vea limitada. Asimismo, se postergará el envío de los mensajes de confirmación pendientes.

El estado 05 del Modo de Monitoreo fue pensado para compensar este modo de falla. A diferencia de la estrategia utilizada durante la operación normal del SMAG, cuando la red permanezca inhabilitada, la calidad de su señal se revisará continuamente, de modo que la detección de su reparación sea inmediata. En el mismo estado, se efectuará constantemente el monitoreo del pin digital de aviso del SMCE. De encenderse, el SERM solicitará la información correspondiente y la almacenará en su memoria RAM. Para cumplir con los requerimientos, se cuenta con un arreglo que le permite al SMAG guardar los datos de hasta quince anomalías detectadas de esta forma.

El SMAG permanecerá en el estado 05 hasta que la red de telefonía celular reestablezca sus funciones. Cuando la red vuelva a operar, el PIC18F4550 reiniciará el Módulo GSM para que reestablezca la conexión con la red, permitiéndole al SERM notificar al usuario sobre las anomalías detectadas y enviar los mensajes de confirmación pendientes (estados del 15 al 18).

# Capítulo 7

## Modo de Configuración

El Módulo de Comunicación USB, en adelante llamado Módulo USB, será el encargado de la transferencia de datos del SMAG a la computadora y viceversa. EL PIC18F4550 ya cuenta con el hardware necesario para establecer la comunicación. Asimismo, el compilador CCS cuenta con librerías que permiten controlar el flujo de datos por el puerto USB, lo que simplifica el uso del mismo.

Si bien la comunicación se efectuará a través del puerto USB, ésta no se regirá por el protocolo USB que utilizan los dispositivos como memorias, celulares, cámaras etc. Por simplicidad, y dado que cumple con las especificaciones, se utilizará la comunicación USB tipo CDC, misma que simula una comunicación serial por el puerto USB. Al conectar el PIC18F4550, la computadora lo detectará como un puerto serial COM y le asignará un número particular para diferenciarlo de los demás puertos seriales que ya se encuentren enumerados.

Para establecer la comunicación con la computadora, solo será necesario conectar el SMAG al puerto USB. Una vez que la computadora haya establecido la conexión, el SMAG entrará en Modo de Configuración. En este modo, el SMAG esperará las instrucciones de la IG y recibirá o enviará información de acuerdo a lo que el usuario especifique.

Mediante esta comunicación se transferirán los valores, asignados por el usuario mediante la Interfaz Gráfica, de los parámetros configurables del SMAG al PIC18F4550 y éste los redirigirá a la Memoria mediante el bus I2C. En adelante, se denominará Exportar al hecho de enviar datos de la IG al SMAG, e importar cuando la IG recupere los datos almacenados en la Memoria del SMAG y los presente en pantalla.

### 7.1 Interfaz Gráfica

Para la configuración del SMAG se desarrolló una Interfaz Gráfica que permitirá la comunicación con éste mediante un puerto USB. Ésta se escribió en el lenguaje de programación C# y fue pensada para trabajar con el sistema operativo Windows. Para guiar al usuario en su uso, la IG cuenta con un campo de texto que muestra mensajes de ayuda que explican el funcionamiento de sus distintos componentes.

Para facilitar la configuración del SMAG, ésta se ha dividido por categorías, de forma tal que sus parámetros se pueden modificar de forma independiente, con excepción de los Permisos, que están íntimamente relacionados con los Contactos. Cada categoría cuenta con su propia pestaña

en la IG. Las categorías se muestran en la Tabla 7.1, junto con los parámetros incluidos en cada una de ellas.

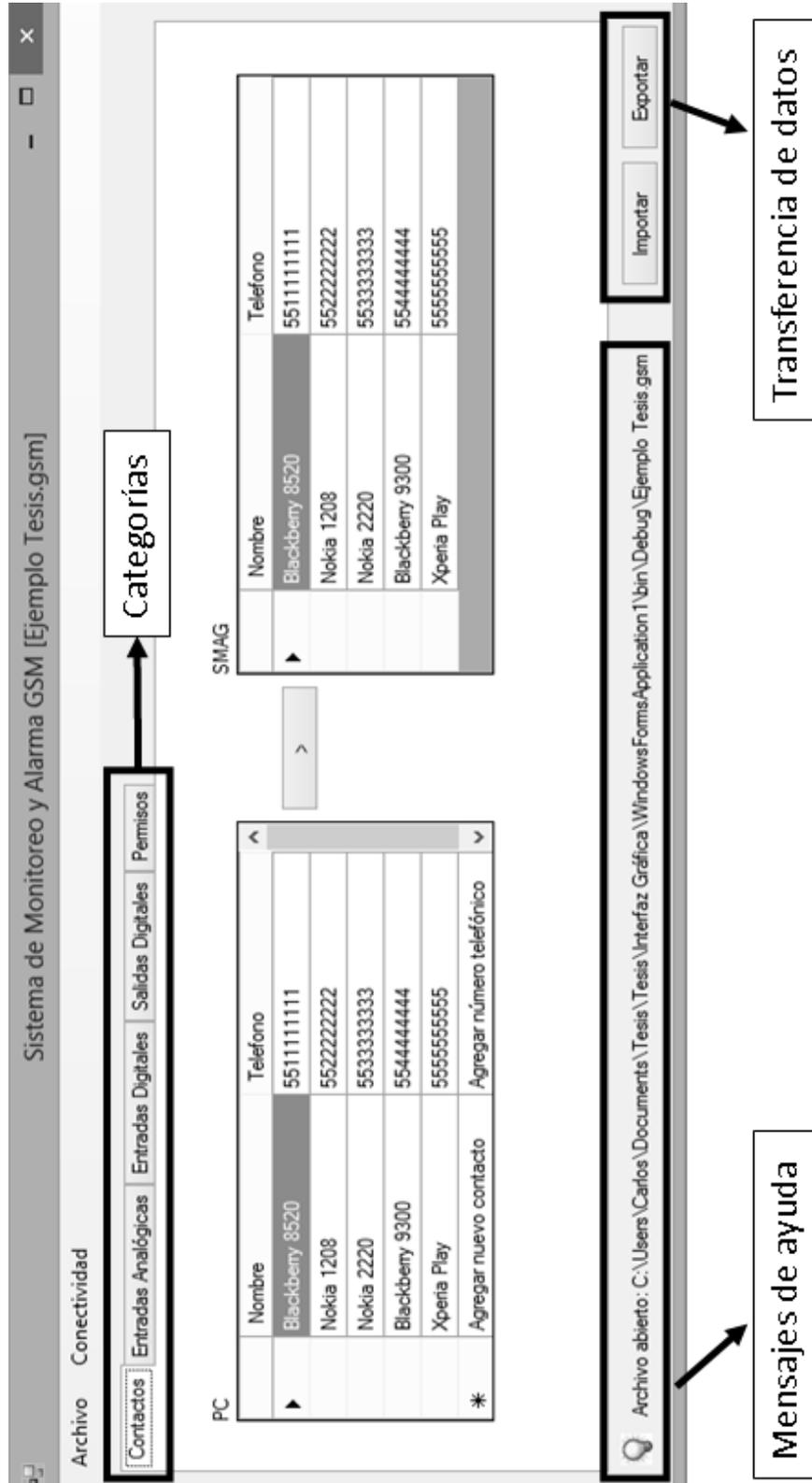


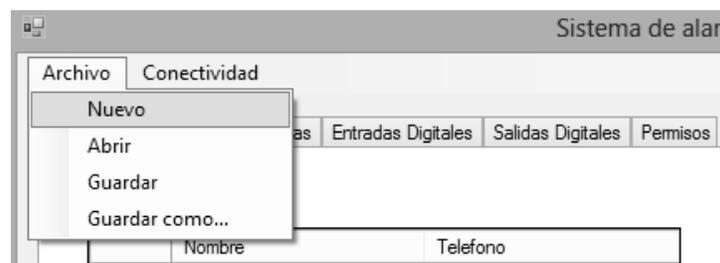
Figura 7.1 Interfaz Gráfica

**Tabla 7. 1 Categorías de configuración del SMAG**

Letra	Categoría	Parámetro
C	Contactos	Nombre de cada usuario
		Número telefónico de cada usuario
A	Entradas Analógicas	Nombre de las Entradas Analógicas
		Rango de Operación de las Entradas Analógicas
		Texto del mensaje de aviso (Límite superior rebasado)
		Texto del mensaje de aviso (Límite inferior rebasado)
D	Entradas Digitales	Nombre de las Entradas Digitales
		Texto del mensaje de aviso (E. Digital activada)
S	Salidas Digitales	Nombre de las Salidas Digitales
		Texto del mensaje de confirmación (S. Digital activada)
		Texto del mensaje de confirmación (S. Digital desactivada)
P	Permisos	Relación Entradas Analógicas / No. Telefónico
		Relación Entradas Digitales / No. Telefónico
		Relación Salidas Digitales / No. Telefónico

Antes de poder enviar y recibir datos del SMAG, es necesario que la IG encuentre el puerto USB en el que se encuentra conectada. Para ello se provee al usuario con la opción de Buscar Alarma en las herramientas de conectividad. Al seleccionar dicha opción, si el SMAG se encuentra conectado a la computadora, se establecerá la comunicación entre ambos dispositivos, se le notificará al usuario el éxito de la operación y se activarán las demás opciones de la barra Conectividad. De no encontrarse el SMAG, se le notificará al usuario para que verifique que el dispositivo se encuentre conectado y alimentado.

Además de establecer la comunicación con el SMAG, el menú de Conectividad permite exportar e importar las distintas categorías. Adicionalmente, los dos botones de la esquina inferior derecha permiten la transferencia de los datos de la pestaña que se encuentre activa al momento de presionarlos. Aparte de permitir la configuración del SMAG, la IG podrá guardar la configuración del usuario en un archivo con extensión .GSM. Cuando el usuario vuelva a abrir la IG, podrá abrir un archivo .GSM guardado previamente y los campos se actualizarán de acuerdo a la información contenida en éste. Asimismo, se incluyen funciones básicas de manejo de archivos, como Archivo nuevo, Guardar como, etc.



**Figura 7. 1 Menú Archivo**

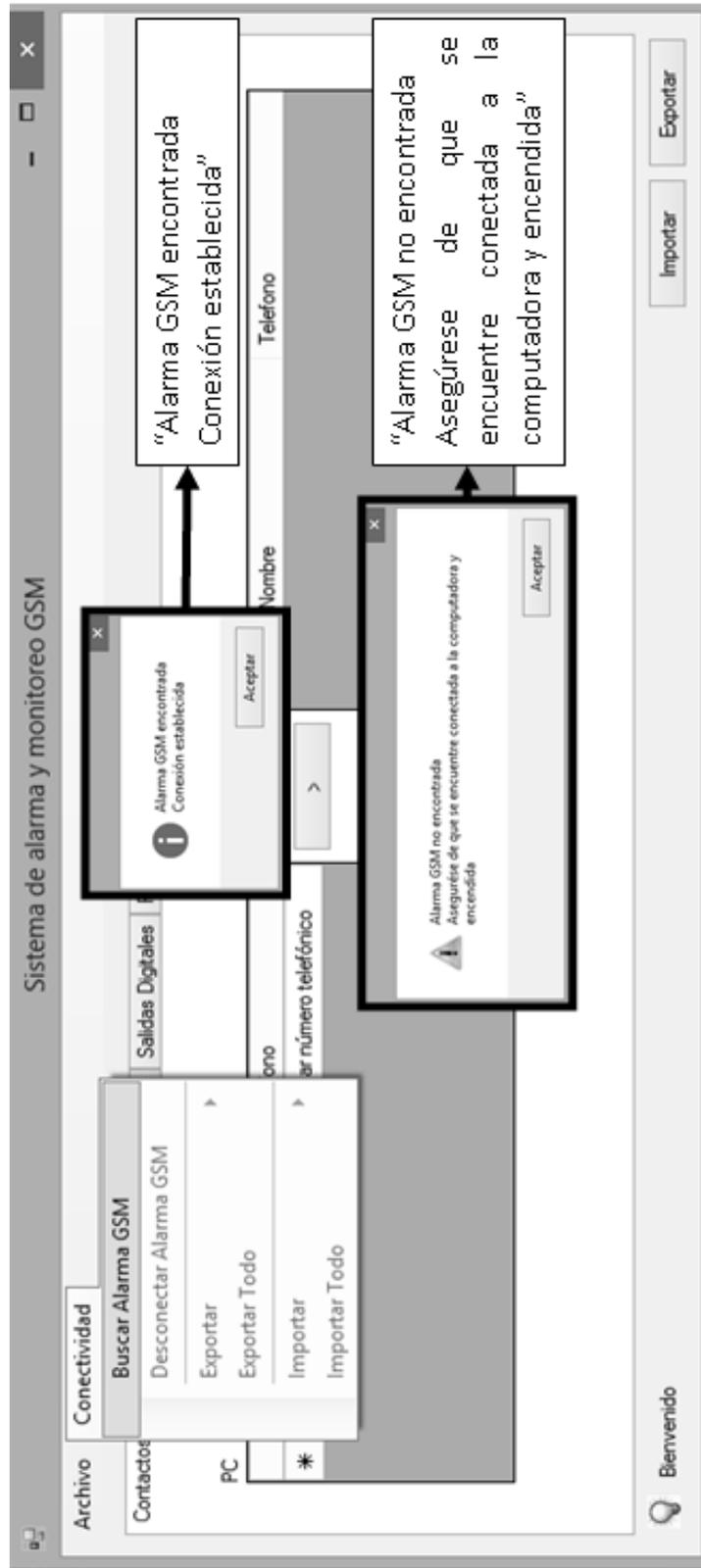


Figura 7.2 Menú Conectividad

## 7.2 Inicialización de la comunicación USB

Cuando el SMAG se encuentre conectado a la computadora entrará en Modo de Configuración, por lo que es necesario detectar tal conexión mediante el cable USB. En la Figura 7.4 se muestra el esquema eléctrico de un conector USB. El pin denominado VCC entrega un voltaje constante de 5V y un corriente de hasta 500 [mA].

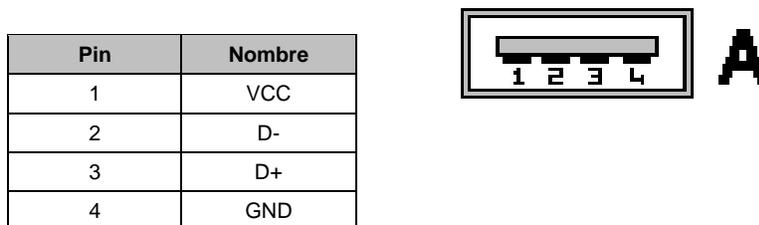


Figura 7. 3 Conector USB hembra tipo A [21]

Evidentemente, aunque el cable se encuentre conectado al SMAG pero no a la computadora, el voltaje en VCC será de 0 [V]. Por el contrario, cuando el cable sea conectado al puerto USB de la computadora, el voltaje será de 5[V]. Para detectar la conexión, el hilo VCC fue conectado a una entrada digital del PIC. De esta forma, al leer el valor lógico de la entrada digital, denominada `USB_SENSE`, se puede determinar si el SMAG se encuentra o no conectado a la computadora. De ser el caso, el PIC entra en Modo de Configuración y procede a inicializar y configurar la comunicación con la computadora.

Debido a que escapa a los alcances del presente proyecto, no se entrará en detalle a dicho proceso y sólo se explicará la secuencia de las instrucciones del compilador CCS utilizadas. Es importante mencionar que la configuración se debe de realizar una sola vez mientras el dispositivo permanezca conectado. De realizarse una segunda vez, se generarán conflictos en el puerto y éste perderá funcionalidad. En la Figura 7.5 se muestra el diagrama de flujo del proceso para iniciar y configurar la comunicación entre el PIC y la computadora.

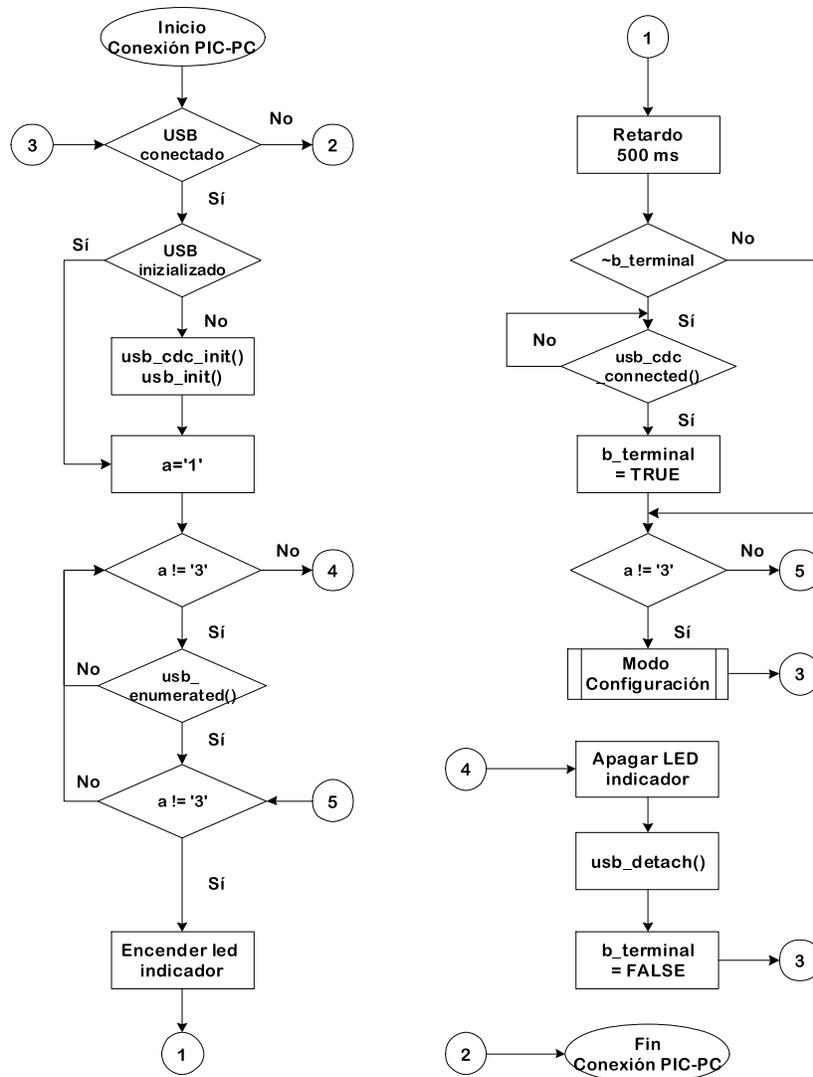


Figura 7. 4 Configuración e inicialización de la comunicación USB CDC

El compilador CCS brinda dos instrucciones que permiten inicializar la comunicación USB: `usb_cdc_init()` y `usb_init()`. El primero inicializa el modo CDC. El segundo inicializa el hardware del USB y entra a un ciclo infinito del que sale sólo cuando el PIC se encuentre conectado al bus.

Una vez que el PIC se haya conectado al bus USB, se verifica el estado de la comunicación. El primer paso es comprobar que el PIC ha sido enumerado por la computadora, es decir, que ha sido detectado por ésta, que se la ha asignado un número de puerto y que se encuentra listo para el envío y recepción de paquetes. Para que la computadora detecte el dispositivo se deberá proveer al usuario con un controlador, mismo que provee Microchip. Para personalizar la aplicación se pueden modificar las líneas de `DESCRIPTION` y `MFGNAME` en el archivo del controlador.

Para indicar que la conexión fue establecida con éxito, se encenderá el LED indicador amarillo. El establecer la comunicación con la computadora no implica que exista transferencia de datos. Antes de ello, por el tipo de comunicación seleccionada, es necesario abrir la terminal virtual por la que se enviarán y recibirán los paquetes de datos. Esta operación deberá realizarla la IG.

Como ya se explicó, la comunicación tipo CDC emula una comunicación serial por el puerto USB. Por ello, cuando la computadora detecte al SMAG, creará un puerto COM y le asignará un número. Éste número depende de la organización de los dispositivos en la computadora y no del puerto en el que se haya conectado, por lo que el número asignado puede cambiar cada vez que se conecta el dispositivo a la computadora.

Por ello, para detectar el puerto en el que se encuentre conectado nuestro dispositivo, se utilizará el nombre que figura en el controlador del SMAG. Éste se conoce como “nombre amigable”, pues es más descriptivo que la denominación COM $n$ . La relación entre los puertos COM de los dispositivos conectados a la computadora y sus nombres amigables puede ser encontrada en el Administrador de dispositivos de Windows. Al guiar la búsqueda del dispositivo por el nombre amigable y no por un número de puerto COM, aseguramos que la comunicación se establezca sólo con el SMAG.

Una vez encontrado el puerto correspondiente al SMAG, la IG abrirá la terminal, con lo que el PIC y la computadora se encontrarán listos para intercambiar datos por el puerto USB. Durante el Modo de Configuración, el PIC espera hasta recibir instrucciones de la IG y ejecuta las acciones solicitadas por el usuario.

Para la correcta transferencia de datos, el PIC y la computadora deben de estar en sincronía. El PIC no debe de enviar datos a la computadora mientras ésta no se encuentre lista para recibirlos, y viceversa. Si alguno de los dos dispositivos se adelanta, la funcionalidad del bus se perdería y sería necesario reestablecer la comunicación.

Durante la exportación de datos, la IG deberá de esperar hasta que el PIC termine de procesar la información recibida antes de enviarle la demás. Tras el envío de datos que requieren cierto tiempo de procesamiento, la IG entra en un ciclo del que no sale hasta que recibe un byte de reanudación de la transmisión (BRT) enviado por el PIC. Por su parte, este último recibe la información, ejecuta las operaciones correspondientes y, cuando se encuentra listo para recibir más datos, se lo indica a la IG enviando el BRT. Al momento de recibir el BRT, la computadora no lo interpreta, simplemente lo lee. El PIC podría enviar cualquier carácter por el puerto USB, pero para facilitar la comprensión del programa, se eligió la letra ‘C’, de Continuar, como el BRT.

Cuando el flujo de la información se invierte, el proceso es similar. Tras recibir información del PIC, la computadora ejecuta las instrucciones pertinentes e indica su disponibilidad al PIC enviando el BTR. Al recibirlo, el PIC envía la siguiente porción de información. Este proceso se repite hasta completar la transferencia de los datos. De manera análoga a la situación anterior, el PIC espera la indicación de la IG para continuar la transferencia de datos. De esta forma, ambos dispositivos envían la información sólo cuando su contraparte se encuentra disponible para recibirla, evitando la pérdida del bus.

Puesto que en realidad el Módulo USB sirve de intermediario entre la computadora y la Memoria, los datos a transferir son los mismos que los presentados en la Tabla 4.2. En resumen, se trabajará con tres tipos: enteros de ocho bits, caracteres y variables de punto flotante.

### 7.3 Variables de punto flotante

La misma metodología que fue usada para enviar variables de punto flotante en la comunicación I2C será aplicada a la comunicación USB: se extraerán los cuatro bytes que conforman la variable de punto flotante en la computadora, a continuación se enviarán uno por uno por el puerto y serán recibidos por el PIC, que los enviará a su vez a la Memoria mediante el bus I2C.

Existe un punto a considerar en este proceso: las variables de punto flotante utilizadas por la computadora y aquellas utilizadas por el PIC tienen distintos formatos. Ambas están conformadas por cuatro bytes, pero la distribución de la información en ellos cambia ligeramente. En la Tabla 7.2 se muestra el formato de las variables del PIC y aquel de las variables de la computadora [17].

Tabla 7. 2 Formatos de las variables de punto flotante

	eb	f0	f1	f2
<b>Microchip 32-bit</b>	xxxx xxxx	<i>s</i> • xxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx
<b>IEEE754 32-bit</b>	<i>s</i> • xxx xxxx	<i>y</i> • xxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx

eb - biased exponent (bias = 127), f - fracción, *s* - bit de signo, *y* - bit de signo

Para preservar la información intercambiada entre el SMAG y la computadora, son necesarios dos algoritmos: uno que cambie del formato Microchip al IEEE754 y otro que realice el proceso inverso. Dichos algoritmos sólo modificarán los bytes *eb* y *f0*, pues los dos restantes son idénticos en ambos formatos. Para realizar la conversión sólo es necesario cambiar de posición el bit de signo y el bit menos significativo (LSb) del byte *eb*.

Para convertir una variable de punto flotante del formato Microchip al IEEE754, acción realizada durante el envío de datos del PIC a la computadora, se sigue el algoritmo de la Figura 7.6. Debe tenerse en cuenta que el byte menos significativo de la unión utilizada para la manipulación de variables tipo float, `byte[0]`, es el byte más significativo del formato, *eb*, como se explicó en el Capítulo Cuatro.

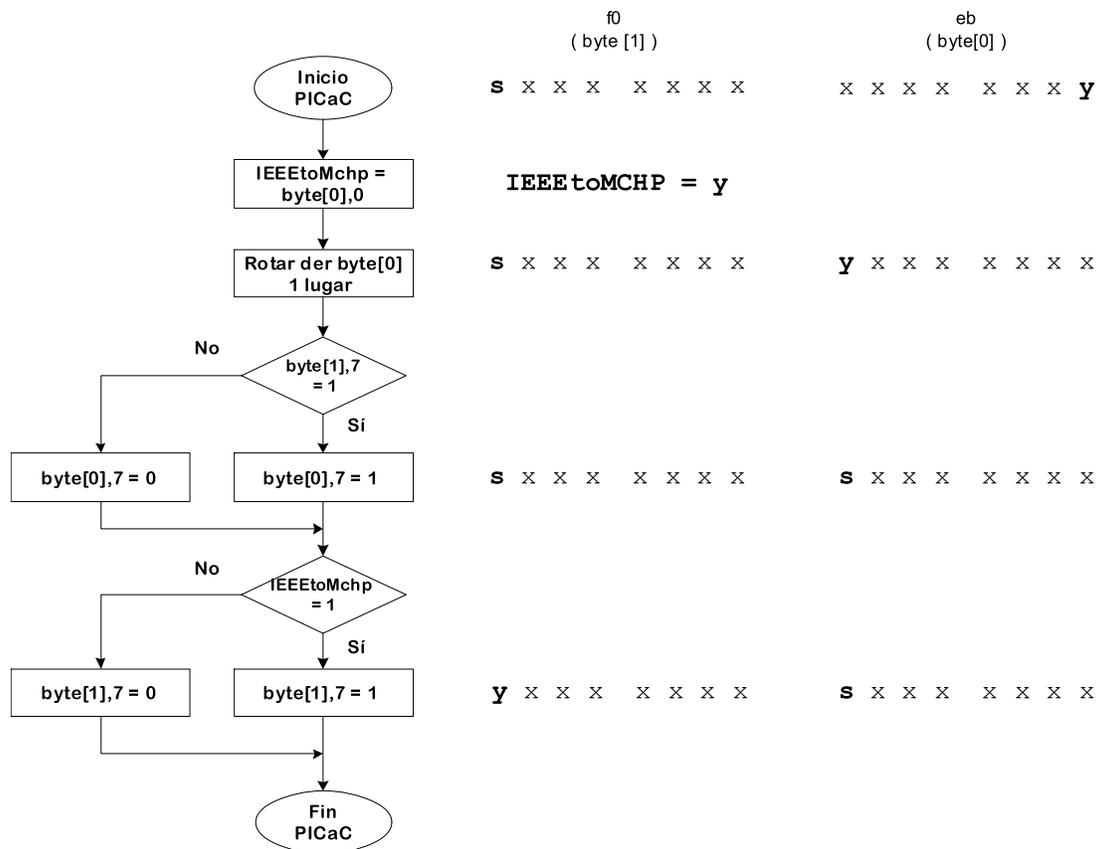


Figura 7. 5 Conversión del formato Microchip al IEEE754

El proceso inverso es muy similar, y es utilizado al recibir variables de punto flotante provenientes de la computadora (Figura 7.7). Ambas funciones son indispensables para que la diferencia entre formatos no impida la comunicación entre los dispositivos.

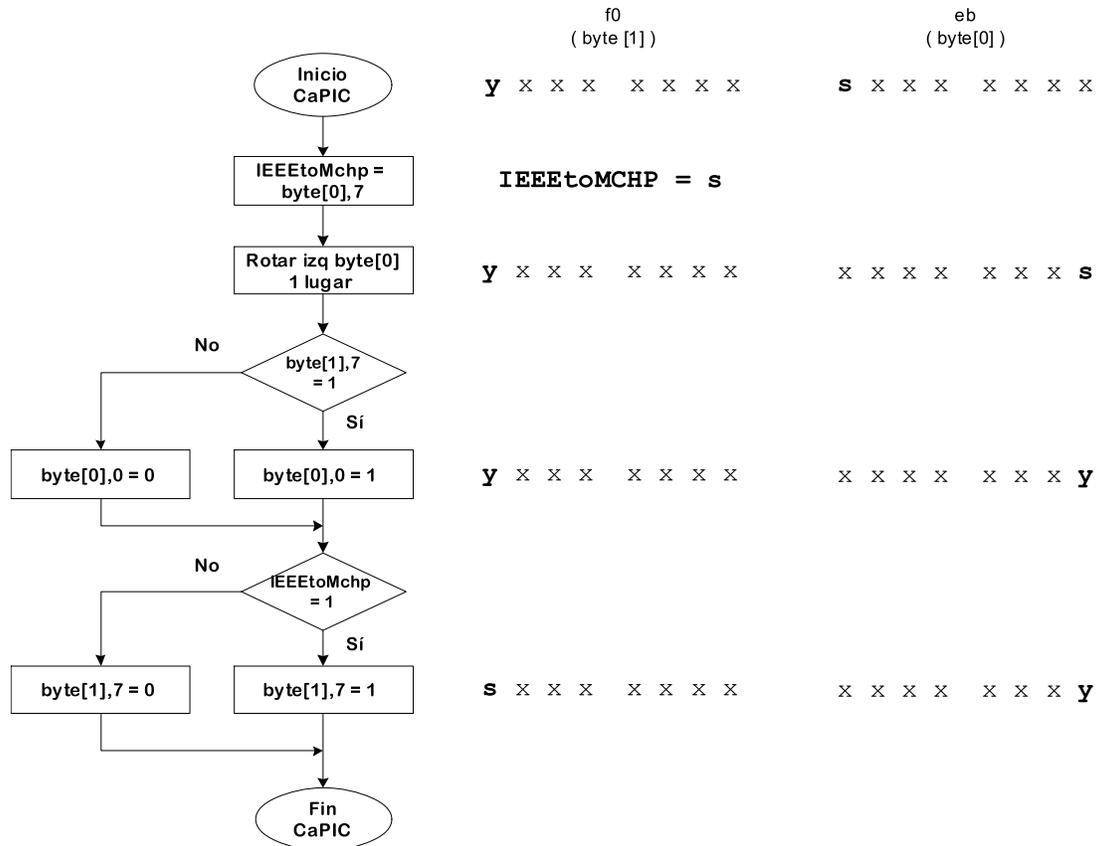


Figura 7. 6 Conversión del formato IEEE754 al Microchip

## 7.4 Modo de Configuración

Las categorías anteriores pueden ser exportadas o importadas. Para elegir entre una u otra acción, la IG enviará la letra E o la letra I, respectivamente. A continuación, la IG indicará al PIC la categoría cuyos datos serán transmitidos. Para ello, a cada una se le asignó una letra identificadora, al igual que en la comunicación I2C (Tabla 7.1). Mediante estas dos letras se controla la transmisión de datos por el puerto USB, de acuerdo al diagrama de flujo mostrado en la Figura 7.8.

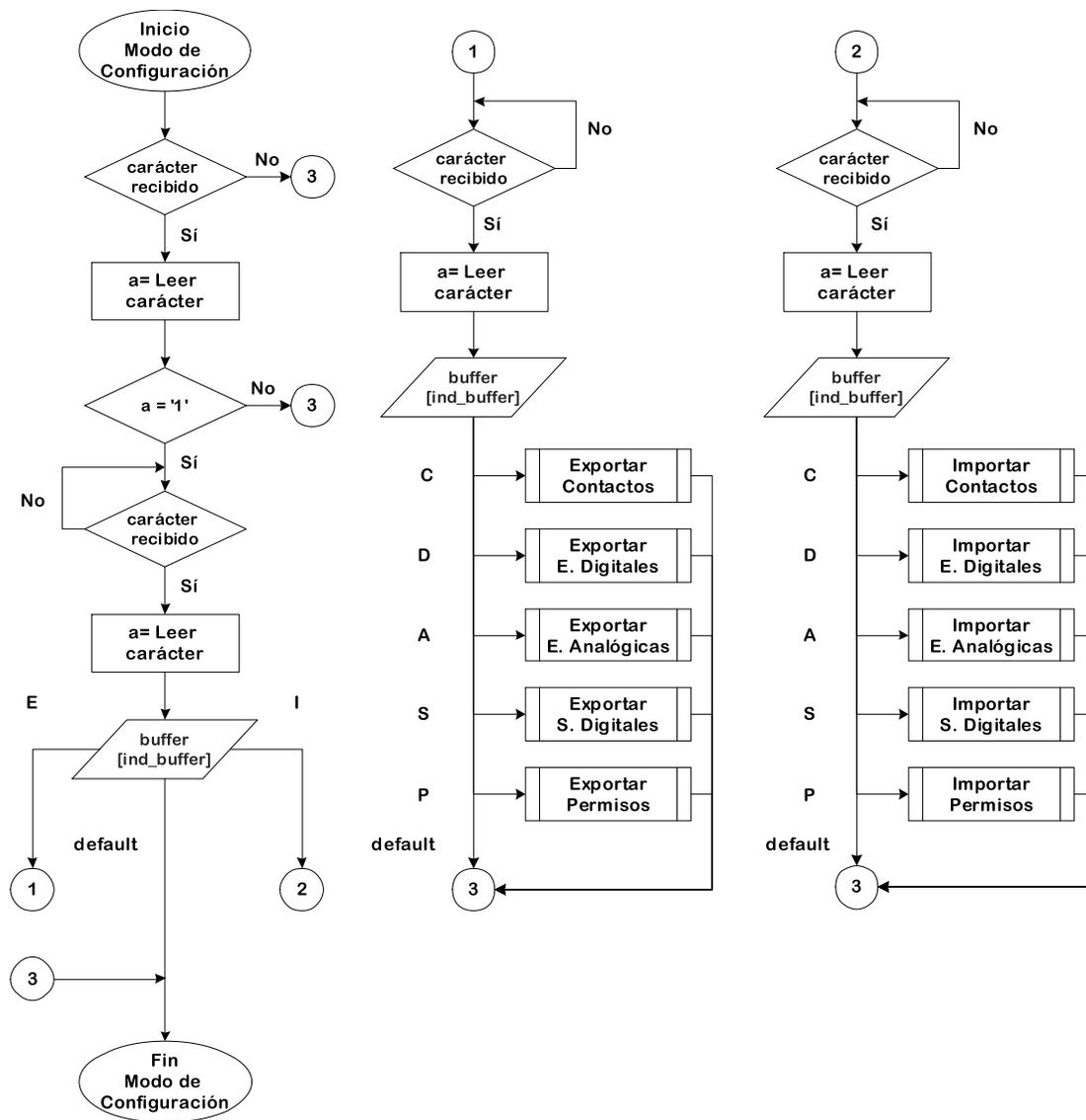


Figura 7. 7 Modo de Configuración

En las secciones siguientes se describirán las pestañas de la IG correspondientes a cada una de las categorías. Para guardar los parámetros en la Memoria se considerarán los registros asignados en la Tabla 3.11. Durante la recepción de los datos, el valor de la variable `dir` es controlado para almacenar cada byte en el registro de la Memoria que le corresponde.

### 7.4.1 Contactos

El SMAG permite almacenar hasta quince contactos, cada uno con un nombre asociado de hasta cincuenta caracteres y un número telefónico de diez dígitos. Durante la operación normal del sistema sólo se utilizará el número telefónico para el envío y recepción de los mensajes. Sin embargo, el nombre también es almacenado de modo que, al momento de importar la información en la IG, sea posible identificar al dueño de cada número telefónico.

La IG gráfica contiene dos tablas para el manejo de la información de los contactos. La primera, la Tabla de Contactos de la PC, permitirá añadir tantos contactos como sean necesarios. La información de estos será almacenada en un archivo \*.GSM, de modo que se tenga una base de datos y éstos no tengan que ser agregados cada vez que se configure el SMAG. La segunda, la Tabla de Contactos del SMAG, albergará los contactos cuya información será exportada al SMAG, por lo que tendrá un límite de quince contactos.

Los contactos de la Tabla de la PC podrán ser agregados dando doble click al campo que se desee modificar. Para agregar un contacto a la Tabla del SMAG se deberá seleccionar un contacto de la Tabla de la PC y presionar el botón '>'. De esta forma la información será transferida de una Tabla a la otra. El mismo contacto no podrá ser exportado dos veces a la Tabla del SMAG. Al dar click derecho sobre un contacto aparecerá un menú que permitirá eliminarlo de la tabla seleccionada.

Al presionar el botón de Exportar, el primer byte enviado por la IG indicará la cantidad de contactos introducidos por el usuario en la Tabla del SMAG. Acto seguido, se enviarán los números telefónicos de todos los contactos, seguidos por la lista de nombres de los contactos.

El envío de los números telefónicos no presenta mayor complicación pues siempre se transmiten diez dígitos por cada uno. Por otro lado, los nombres de los contactos son de longitud variable. Cada uno de ellos se enviará letra por letra. Para determinar el final del envío de cada nombre, si su longitud es menor a cincuenta caracteres se enviará el carácter nulo<sup>12</sup>, que indicará el final de la cadena.

Cuando los nombres son enviados de la IG al SMAG, cada carácter recibido es comparado con el carácter nulo. Cuando la comparación resulte cierta, significará que el nombre ha sido enviado en su totalidad. El carácter nulo también es almacenado en la memoria para indicar el final de los nombres, información útil al momento de recuperar la información del SMAG para presentarla en la IG. Para Importar la categoría el proceso es similar. La diferencia es que el sentido de la información se invierte.

---

<sup>12</sup> Valor entero de cero, de acuerdo a la Tabla ASCII



Figura 7. 8 Pestaña de Contactos

## 7.4.2 Entradas Digitales

La pestaña de la categoría Entradas Digitales permite al usuario configurar los mensajes de aviso, con una longitud no mayor a cincuenta caracteres, que serán enviados cuando alguna de las Entradas Digitales se active. El cuadro de texto de la derecha mostrará el texto del mensaje asociado a la Entrada Digital seleccionada en la Tabla de Entradas ubicada a la izquierda. Debido a que la denominación *Entrada Digital n* puede resultar poco descriptiva, el nombre de las Entradas puede ser modificado haciendo doble click sobre el mismo. Los nombres asignados no deberán pasar de cincuenta caracteres.

Al exportar esta categoría, primero se enviarán los nombres de las cinco Entradas, seguidos de los cinco mensajes de texto. Dado que ambos campos son cadenas de texto, serán enviadas de la misma forma que los nombres de los Contactos.

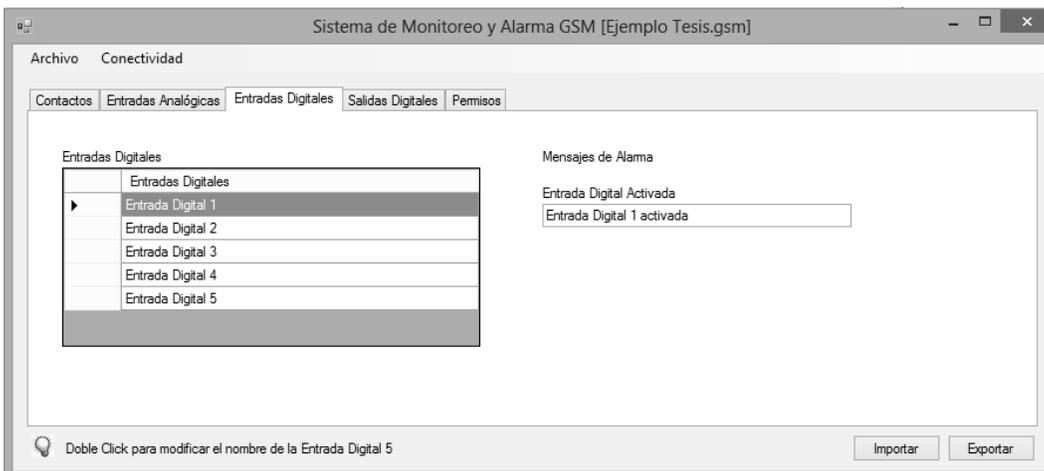


Figura 7. 9 Pestaña de Entradas Digitales

### 7.4.3 Entradas Analógicas

La pestaña de la categoría Entradas Analógicas permite al usuario configurar el nombre de las entradas Analógicas, los Rangos de Operación seguros de cada una de ellas y el texto de los mensajes que será enviado cuando se rebase el límite inferior o el superior. Antes de que la información de esta categoría pueda ser exportada al SMAG, la IG verificará la validez de los Rangos de Operación seguros. Para ello, revisa que el valor del límite inferior sea menor al del límite superior.

Al presionar el botón Exportar, se enviarán los nombres de todas las Entradas Analógicas. A continuación, se enviarán los Rangos de Operación, primero el límite inferior y después el superior. Por último, se transferirá el texto de los mensajes. Para este tipo de entradas se tienen dos mensajes distintos: uno para avisar cuando la entrada viole el límite inferior y otro que será utilizado cuando la entrada rebase el límite superior.

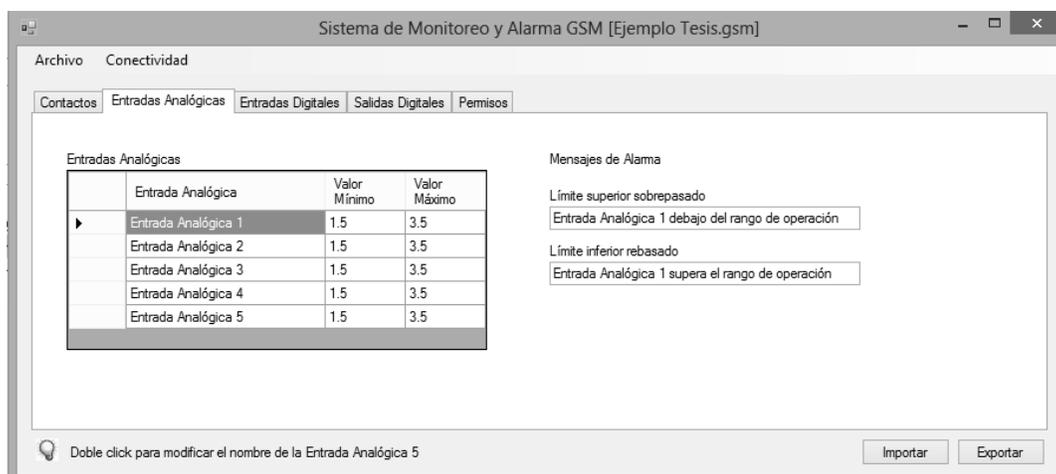


Figura 7. 10 Pestaña de Entradas Analógicas

### 7.4.4 Salidas Digitales

El nombre de las Salidas Digitales puede ser modificado dando doble click sobre el mismo. Al igual que en las pestañas anteriores, los cuadros de texto muestran el mensaje de confirmación asociado a la Salida Digital seleccionada. Para cada Salida Digital el usuario deberá definir dos mensajes de aviso: uno para confirmar que la Salida ha sido activada y otro para confirmar que la Salida ha sido desactivada. Al igual que los campos de las categorías anteriores, estas cadenas de texto pueden contener como máximo cincuenta caracteres.



Figura 7. 11 Pestaña de Salidas Digitales

## 7.4.5 Permisos

La pestaña de permisos contiene la relación entre números telefónicos y entradas y salidas. Esta información se presenta en forma de matriz. Las filas contienen los números telefónicos y las columnas representan las entradas y las salidas. Cada vez que un número telefónico es agregado a la Tabla de Contactos del SMAG, una fila para dicho contacto es agregada a la Matriz de Permisos con todas las casillas deshabilitadas.

Para relacionar un número telefónico con una entrada o salida en particular, el usuario deberá de activar la casilla correspondiente haciendo click sobre ésta. Una paloma indicará que se le ha concedido permiso al contacto en cuestión para recibir los mensajes de alerta asociados a la Entrada seleccionada, o bien, de controlar la Salida Digital mediante un mensaje de texto. Para facilitar el uso de la IG, se incluye la opción de activar o desactivar las casillas por campos (Entradas Digitales, Entradas Analógicas y Salidas Digitales) con un solo click. El menú que permite tal acción aparecerá al dar click derecho sobre cualquier fila de la matriz.



Figura 7. 12 Pestaña de Permisos

# Capítulo 8

## Pruebas y Resultados

Para verificar el cumplimiento de los requerimientos y la funcionalidad del SMAG, se diseñaron varias pruebas enfocadas a verificar la operación del dispositivo.

### 8.1 Modo de Configuración

La primera prueba realizada fue la de conectividad. Ésta consistió en conectar el SMAG a la computadora y verificar que al dar click a la opción de Buscar Alarma GSM, la computadora pudiera establecer la conexión, así como exportar e importar todas las categorías con las herramientas incluidas en la IG. La prueba se realizó con otros dispositivos conectados a los demás puertos USB para asegurar que la IG se comunica únicamente con el SMAG.

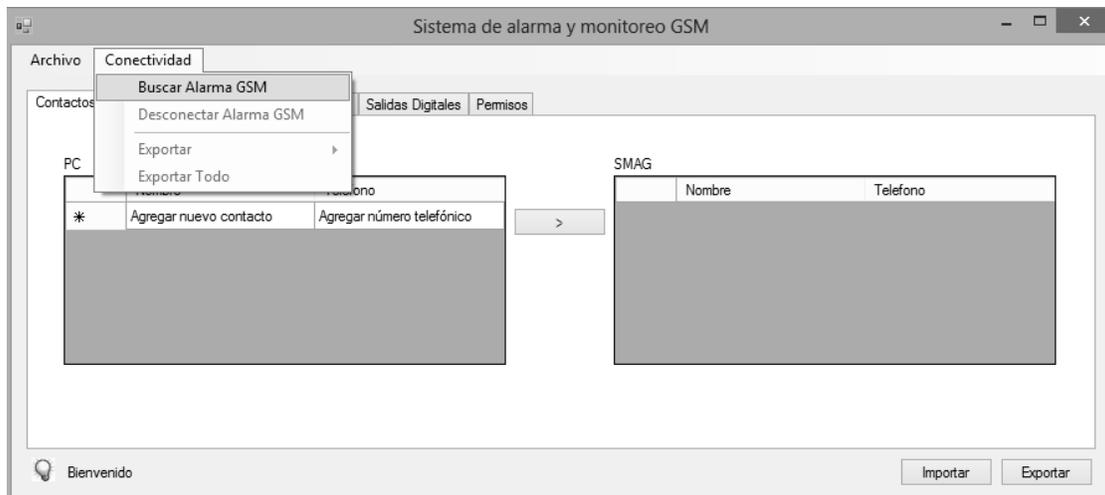


Figura 8. 1 Opción Buscar Alarma GSM del menú Conectividad

Cuando el dispositivo no se encontraba conectado, la IG mostró un mensaje de error. Por el contrario, cuando el SMAG se conectó, tras dar click al botón, la IG mostró el mensaje indicando que el SMAG había sido identificado y que la comunicación se había establecido.

No sólo se logró realizar la conexión del SMAG con la computadora, sino que además se pudieron exportar e importar todas las secciones al dispositivo de manera correcta, como se corrobora con las pruebas realizadas para calificar el Modo de Monitoreo del SMAG.

## 8.2 Modo de Monitoreo

Para demostrar la funcionalidad del SMAG en Modo de Monitoreo se utilizaron cinco equipos telefónicos. Con el propósito de comprobar la compatibilidad con todos los celulares con tecnología GSM, se buscaron dispositivos de distinta marca, año y modelo. Los números telefónicos fueron configurados en la categoría de Contactos como se muestra en la Figura 8.2. Los números telefónicos se alteraron con fines de seguridad.

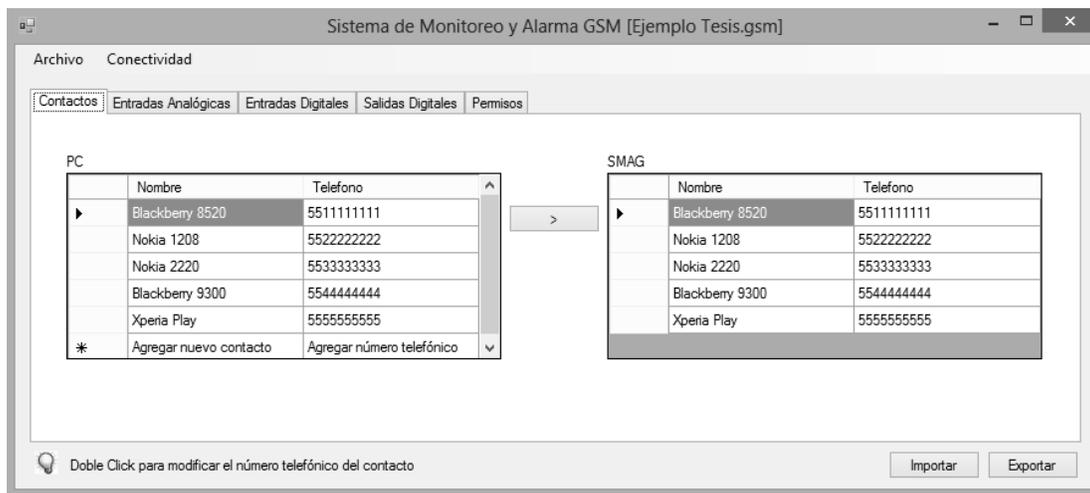


Figura 8. 2 Configuración de la categoría Contactos

Se conectó un botón a cada Entrada Digital y un potenciómetro a cada Entradas Analógica. Se escogieron estos sensores debido a que la manipulación de su señal es bastante fácil. Otro factor que influyó para su elección fue que, tanto su funcionamiento como el acondicionamiento de su señal, son sencillos. Po ello, de existir algún error en el funcionamiento del SMAG, la probabilidad de que la causa raíz se encuentre en el sensor es casi nula.

Cada prueba se llevó a cabo con una configuración de Permisos distinta para evaluar diferentes comportamientos del SMAG. En cada prueba realizada se presenta la hipótesis del comportamiento del dispositivo, seguida de los resultados obtenidos.

### 8.2.1 Envío de Mensajes de Alerta

Con la configuración de Permisos mostrada en la Figura 8.3, al activarse cada E. Digital el SMAG enviará un mensaje de alerta al número telefónico con el Permiso correspondiente activado. Para esta prueba, se tomará el tiempo desde que la Entrada es activada hasta que el mensaje es recibido en el teléfono correcto. También se verificará que ningún otro equipo reciba un mensaje de manera equivocada y que el mensaje de texto enviado corresponda con el ingresado en la IG.



**Figura 8. 3 Permisos para la prueba de envío de mensajes de alerta**

La misma prueba se realizará con las Entradas Analógicas. Para verificar que el SMAG envíe los mensajes de aviso sólo cuando la señal sale de su rango de operación, se conectará un multímetro que permitirá visualizar el valor de la señal durante su manipulación.

Resultados:

Todos los dispositivos recibieron el mensaje correcto. Ningún dispositivo recibió un mensaje de manera errónea. En la Tabla 8.1 se muestra el tiempo que tardó cada dispositivo en recibir el mensaje de texto. Existe variación de un modelo a otro, pero todos ellos se encuentran muy por debajo de las especificaciones establecidas al inicio del proyecto.

**Tabla 8. 1 Resultados del envío de mensajes de alerta**

Modelo	Año	E. Digitales [s]	E. Analógicas [s]
BB Curve 8520	2009	7	7
Nokia 1208	2007	8	8
Nokia 2220	2009	11	12
BB 9300	2010	6	6
Sony XPERIA PLAY	2012	7	7

La segunda prueba calificará la capacidad del SMAG de enviar mensajes de texto de manera consecutiva a distintos números telefónicos. Para ello, se asignó la configuración de Permisos mostrada en la Figura 8.4. Al presionar la Entrada Digital 3, el SMAG enviará el mismo mensaje de texto a los cinco contactos registrados. De igual manera, cuando la E. Analógica 3 abandone su intervalo de operación seguro, el mensaje de aviso correspondiente será enviado a los cinco teléfonos celulares.



**Figura 8. 4 Envío de mensajes de alerta consecutivos**

Resultados:

Todos los dispositivos recibieron el mensaje correcto. Ningún dispositivo recibió un mensaje de manera errónea. En la Tabla 8.2 se muestra el tiempo que tardó cada dispositivo en recibir el mensaje de texto. Una vez más el tiempo de respuesta se encuentra por debajo de los 90 [s] determinados por la especificación de diseño.

**Tabla 8. 2 Resultados del envío de mensajes de alerta consecutivos**

Modelo	Año	E. Digital [s]	E. Analógica [s]
BB Curve 8520	2009	7	8
Nokia 1208	2007	13	13
Nokia 2220	2009	20	21
BB 9300	2010	23	24
Sony XPERIA PLAY	2012	25	28

## 8.2.2 Recepción de Mensajes

Las pruebas siguientes validarán la interpretación de los mensajes de texto enviados por el usuario, el seguimiento de las instrucciones contenidas en ellos y el envío de los mensajes de confirmación a cada teléfono celular. Durante éstas, se evaluará que el teléfono celular sólo ejecute las instrucciones si el contacto tiene acceso a las Salidas que desea controlar. De darse dos instrucciones con instrucciones destinadas a una misma Salida, el SMAG deberá de hacer caso omiso a tales instrucciones, pero deberá de ejecutar aquellas que hayan sido enviadas correctamente.

La primera prueba se realizará con la configuración mostrada en la Figura 8.5. Cada teléfono celular tendrá permiso para controlar una Salida Digital. Se enviará un mensaje de texto con cada equipo y se medirá el tiempo que tarda en ejecutarse la instrucción y el tiempo que tarda en llegar el mensaje de confirmación. Con el propósito de visualizar el estado de las Salidas Digitales se conectó un LED a cada una de ellas.



**Figura 8. 5 Recepción de Mensajes**

Resultados:

En la Tabla se muestra el tiempo que tardó el SMAG en ejecutar la acción solicitada por el usuario, así como el tiempo que tardó el mensaje de confirmación en llegar a su teléfono celular.

Modelo	Año	S. Digital [s]	Mensaje de confirmación [s]
BB Curve 8520	2009	4	15
Nokia 1208	2007	12	25
Nokia 2220	2009	14	21
BB 9300	2010	5	14
Sony XPERIA PLAY	2012	5	8

Para comprobar que los teléfonos sólo pudieran activar las Salidas Digitales a las que se les concedió el permiso, se realizó una segunda prueba con el primer equipo: el Blackberry 8520. Éste equipo puede manipular libremente la Salida A, pero se le denegará el acceso a todas las demás. Se enviará un mensaje con el texto "A on Bon C on Don E on". El resultado esperado es que sólo se encienda el LED correspondiente a la Salida A y que el mensaje de confirmación llegue únicamente con el mensaje de confirmación de dicha Salida.

Resultado:

Como se previó, el SMAG recibió el mensaje y sólo ejecutó la acción asociada a la Salida A, ignorando el resto de las instrucciones.

La siguiente prueba comprobó que, de repetirse una salida en el cuerpo del mensaje, el SMAG hará caso omiso de la instrucción. Para ello, se utilizó nuevamente la Blackberry 8520 y se envió el mensaje "A on A off". Al no saber que instrucción es la correcta, el SMAG ignorará la instrucción.

Resultado:

El SMAG recibió el mensaje, pero hizo caso omiso de él pues, a pesar de que el teléfono celular cuenta con el permiso pertinente, la Salida se repite en el texto del mensaje.

A continuación, se verificó que terceras personas no pudieran manipular el SMAG desde sus teléfonos celulares. Para ello, se envió un mensaje desde un número telefónico no registrado, cuyas indicaciones debían ser ignoradas por el SMAG.

Resultados:

El mensaje es recibido por el SMAG pero, al identificar que se trata de un número desconocido, lo ignora y continua con sus tareas de monitoreo.

Por último, se insertó una tarjeta SIM sin crédito con el fin de obtener mensajes de error al momento de enviar los mensajes de texto. Esto permitirá simular una condición de falla en la red de telefonía celular. La prueba se realiza de esta forma porque es difícil alterar la condición de la red durante la operación del dispositivo.

Resultados:

Al presionar un botón para simular la activación de una Entrada Digital, el SMAG comienza a enviar el mensaje de texto, pero, debido a que no es posible el envío del mensaje, termina las operaciones de monitoreo y verifica la calidad de la señal. Al encontrar señal, reinicia el ciclo del Modo de Monitoreo y continúa con sus actividades.

# Capítulo 9

## Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto se comprobó la utilidad de la Ingeniería de Sistemas. El dividir un problema en varios más pequeños reduce su complejidad. Sin embargo, se deben tener en cuenta las interfaces entre los subsistemas para que el producto final opere de la forma esperada.

Por otro lado, el probar los subsistemas de manera separada no garantiza que lo harán una vez que operen en conjunto, por lo que, aparte de ser validados de manera independiente, una segunda verificación deberá de ser planeada y ejecutada para garantizar la funcionalidad del sistema completo.

Durante el diseño del SMAG, al realizar las pruebas de los subsistemas, se corrigieron varios errores asociados a las tareas de cada uno de ellos. Al momento de integrar los subsistemas se detectaron más errores, pero gracias a las pruebas previas, se limitó el origen de las fallas a las interfaces, factor que ahorró tiempo y dinero, asociado al costo del envío de mensaje, durante las pruebas.

Por otro lado, debido a la gran cantidad de componentes que forman parte del SMAG, se tuvieron que utilizar diversos protocolos de comunicación estandarizados. Gracias a éstos, los componentes pudieron ser intercomunicados con relativa facilidad. La ventaja que presenta utilizar protocolos de comunicación estandarizados es que el SMAG presenta compatibilidad con distintos dispositivos.

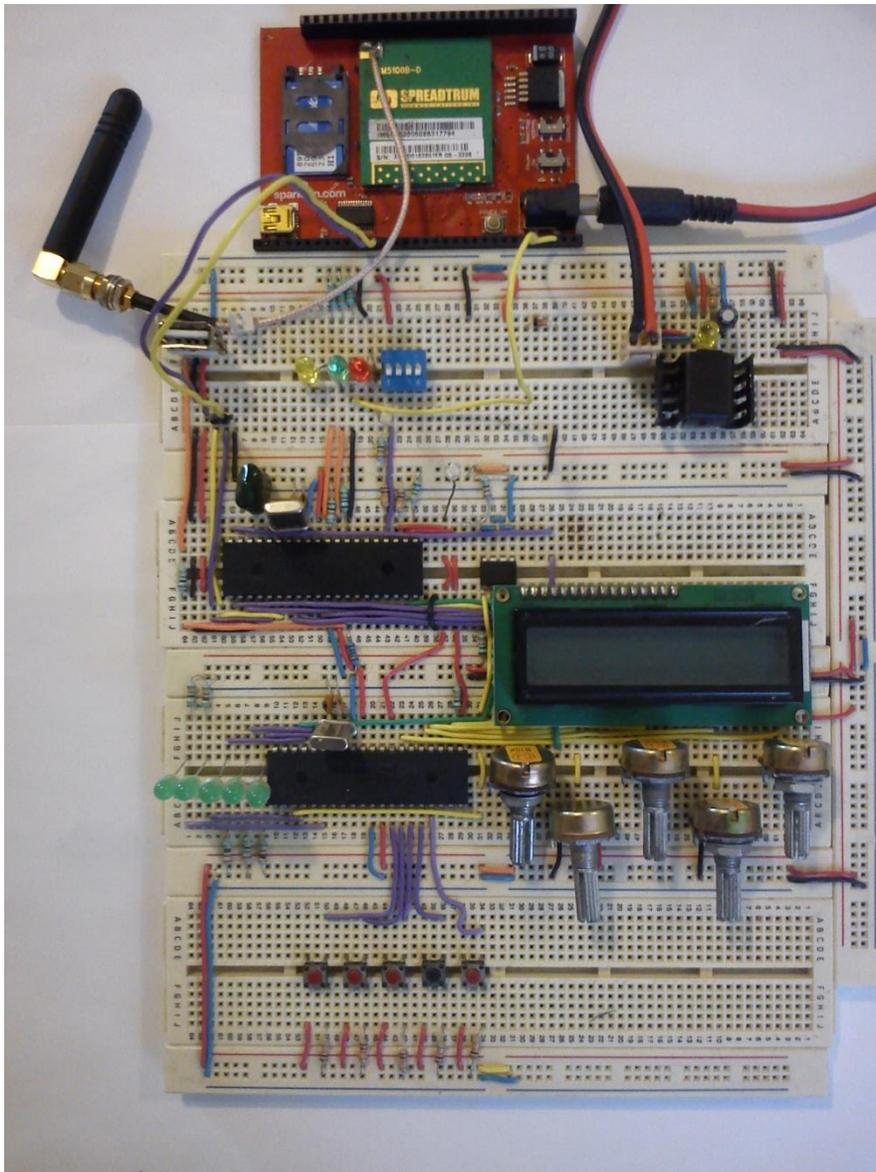
Por ejemplo, todos los módulos GSM se controlan mediante comandos AT, los cuales siguen un mismo formato. En caso de que no sea posible seguir utilizando el Módulo SM5100B, ya sea porque el fabricante lo deje de fabricar o porque se encuentre otro que se desee usar, tanto el hardware como el software del SMAG deberían de ser capaces de funcionar con otros módulos sin necesidad de realizar modificaciones mayores.

Por último, mediante las pruebas se comprobó la funcionalidad del SMAG. Los requerimientos se cumplieron, lo que califica positivamente al modelo funcional obtenido. Los mensajes son enviados de manera satisfactoria a los números telefónicos correctos con el texto correcto y dentro del tiempo de respuesta especificado. Por otro lado, al recibir los mensajes, éstos son interpretados de manera apropiada, y las instrucciones son ejecutadas de acuerdo a la configuración del usuario.

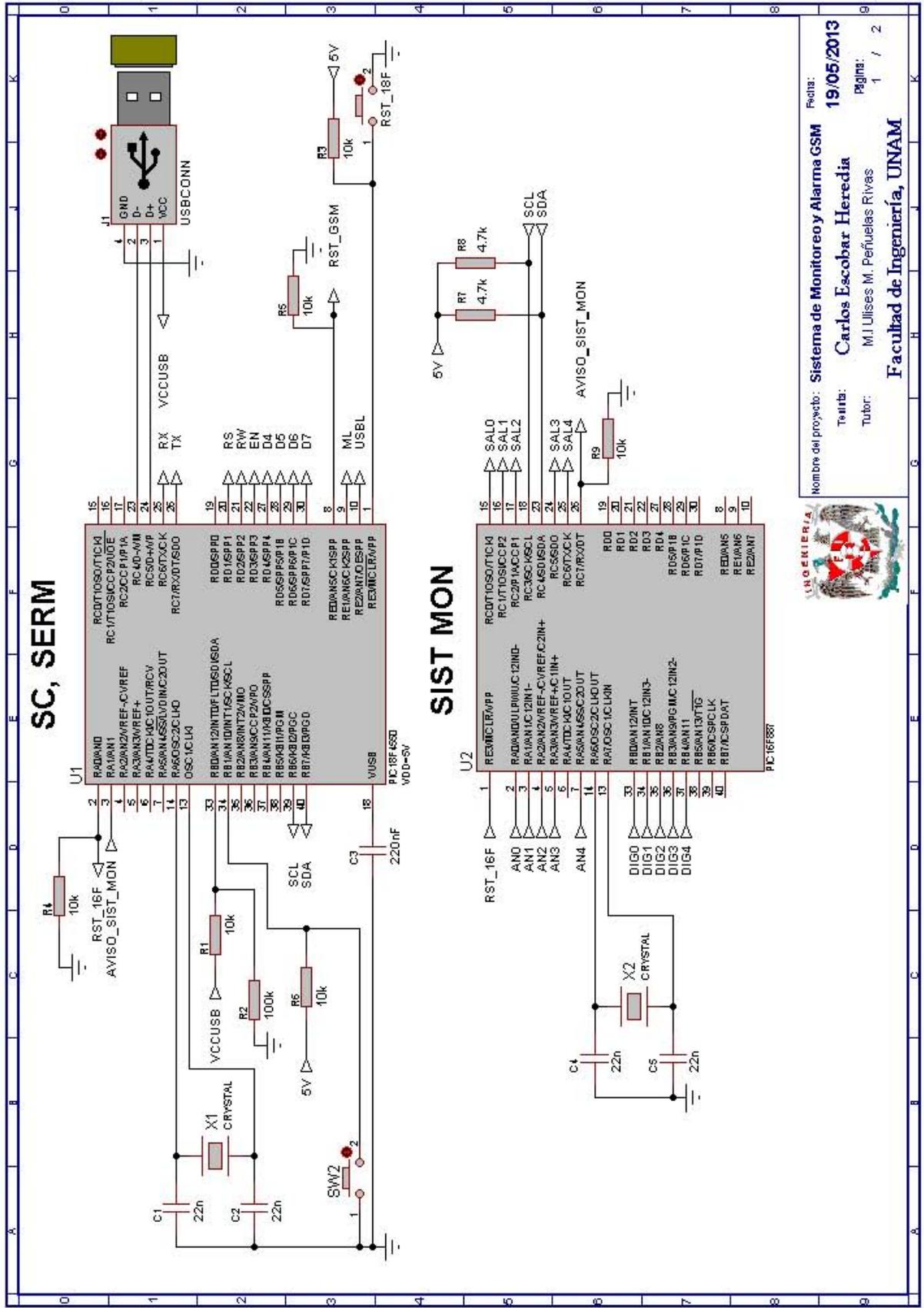
El presente trabajo concluye con la obtención de un modelo funcional cuya arquitectura presenta un alto grado de personalización de los mensajes y de su respuesta ante variaciones en el entorno, característica que le permite adaptarse a distintas situaciones, según lo requiera el usuario, con la configuración dada mediante un elemento de fácil uso: la Interfaz Gráfica. Asimismo, la arquitectura permite que tareas de monitoreo y de envío y recepción de mensajes se lleven a cabo de manera simultánea y las relaciona mediante la configuración dada por el usuario, con lo que se cumple el objetivo planteado al inicio del trabajo.

## Anexo A

### Esquemas Electrónicos del SMAG



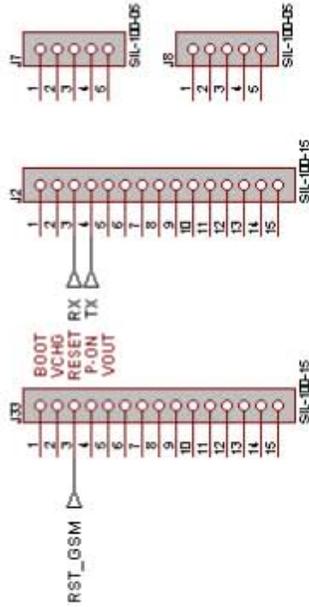




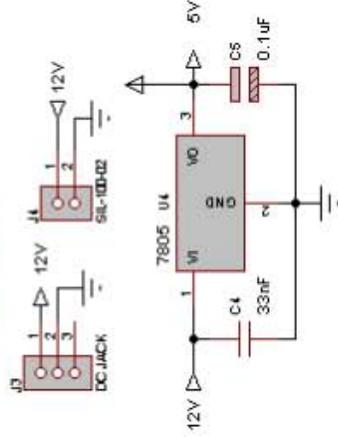
Nombre del proyecto: **Sistema de Monitoreo y Alarma GSM**  
 Fecha: **19/05/2013**  
 Ttulo: **Carlos Escobar Heredia**  
 Tutor: **M.I Ulises M. Peñuelas Rivas**  
 Pagina: **1 / 2**



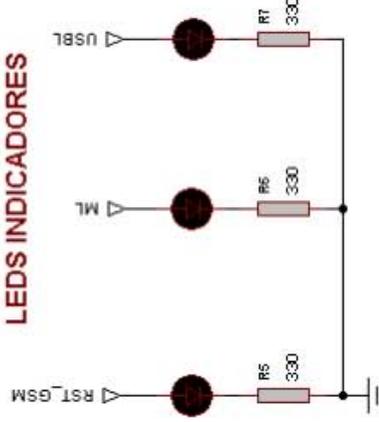
### HEADERS MODULO



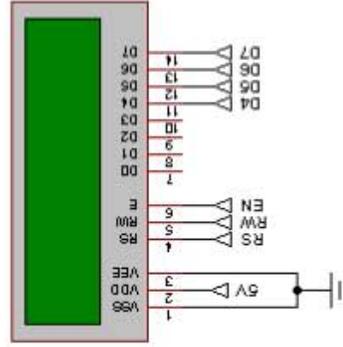
### POTENCIA



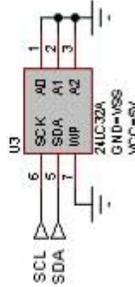
### LEDS INDICADORES



### LCD



### MEMORIA



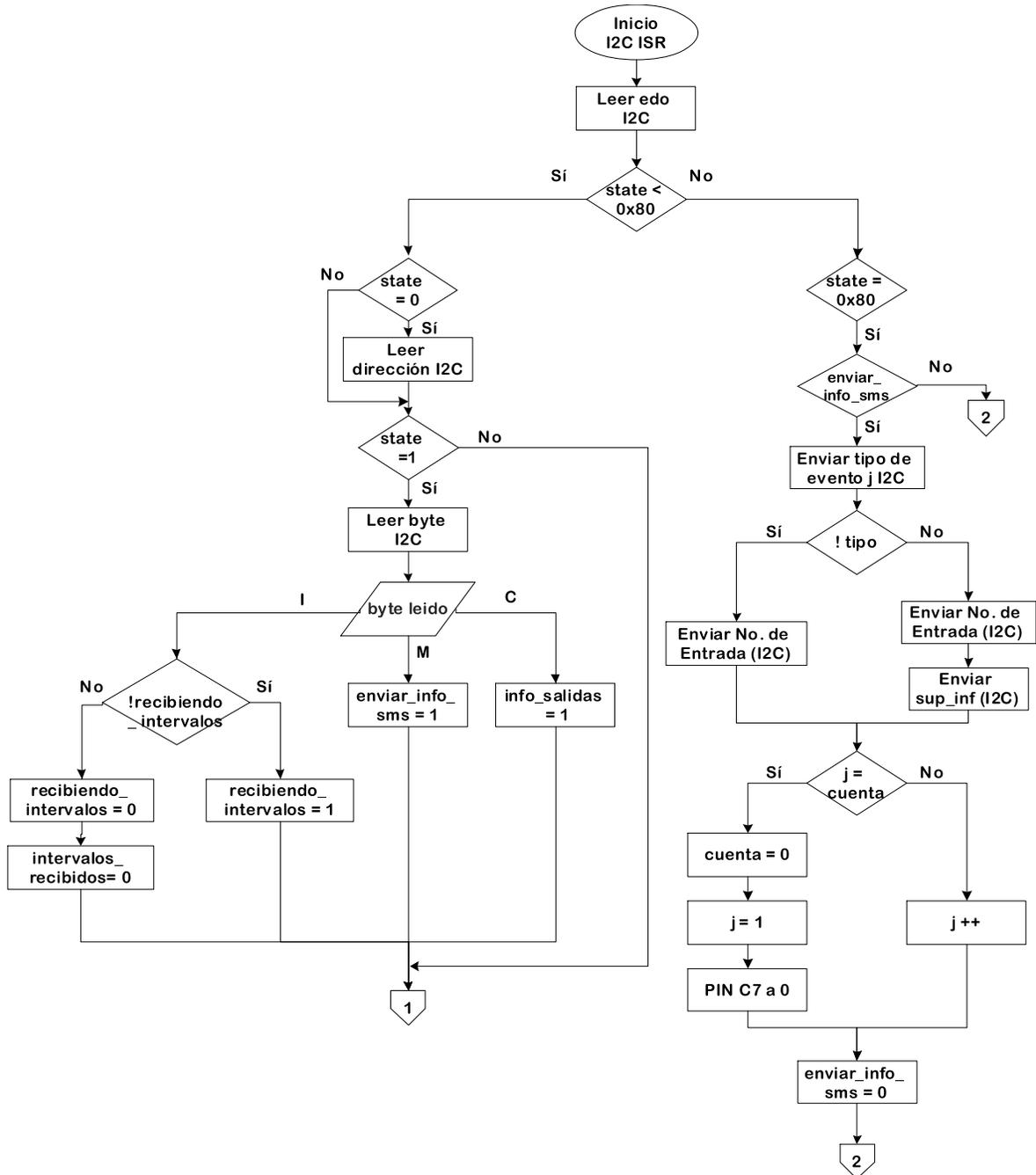
Nombre del proyecto: **Sistema de Monitoreo y Alarma GSM** Fecha: **19/05/2013**  
 Tema: **Carlos Escobar Heredia** Pagina: **2 / 2**  
 Tutor: **M.Julises M. Peñuelas Rivas**

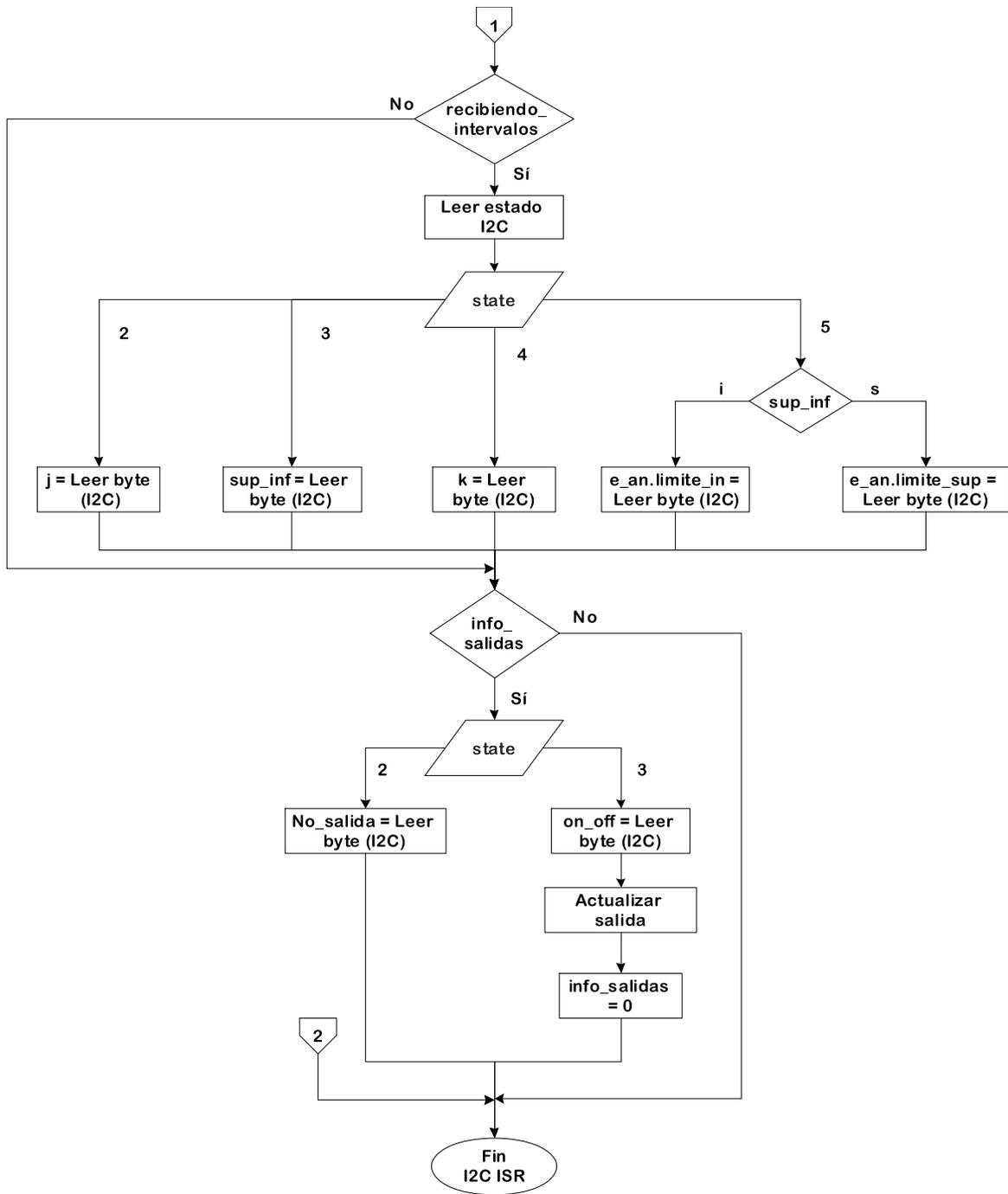
**Facultad de Ingeniería, UNAM**



# Anexo B

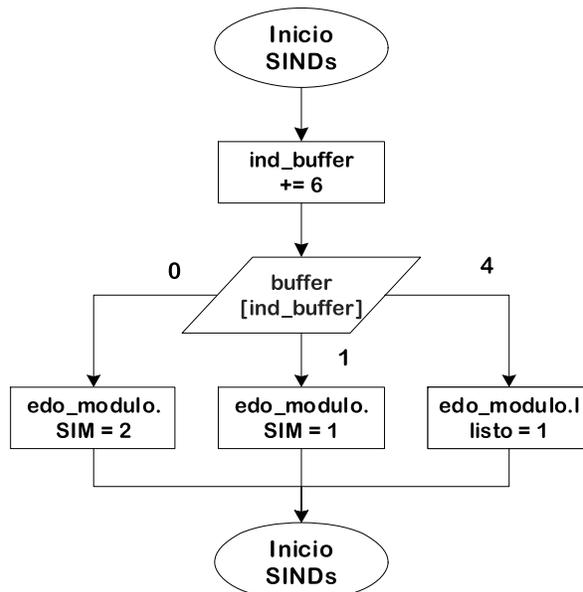
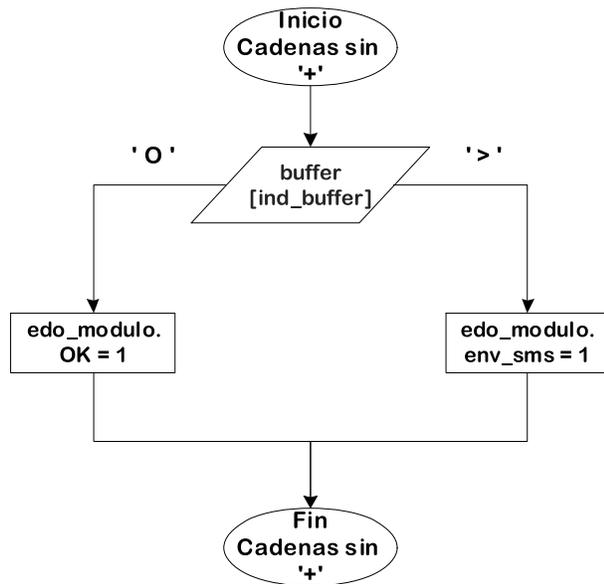
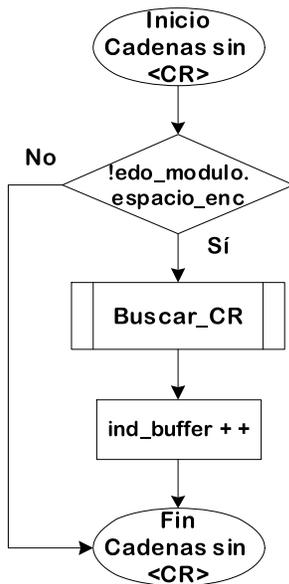
## Rutina de Servicio para la Interrupción por I2C

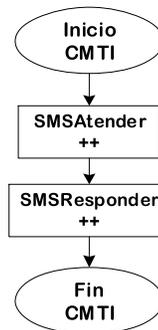
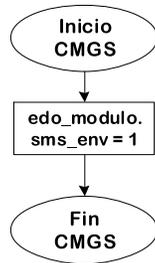
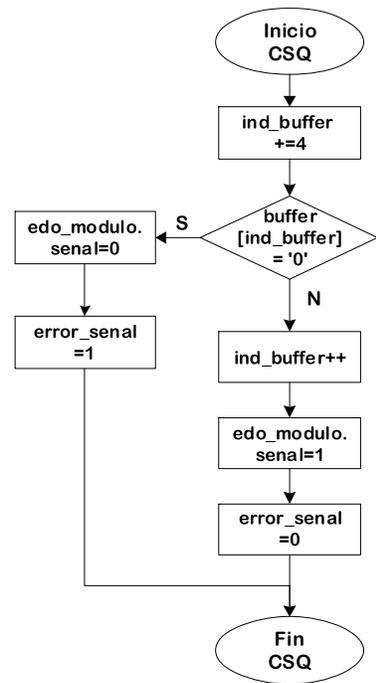
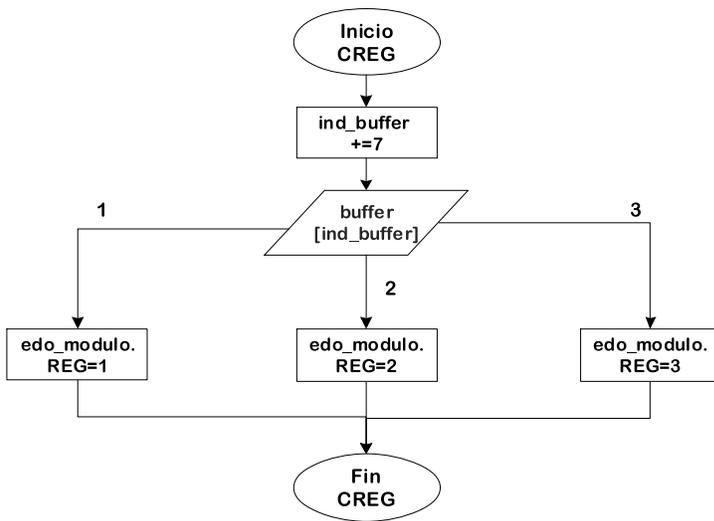


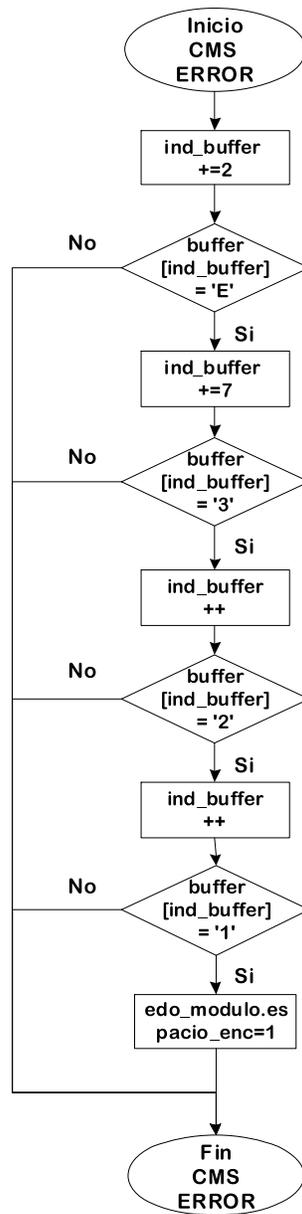


# Anexo C

## Algoritmos de interpretación de las cadenas enviadas por el Módulo GSM

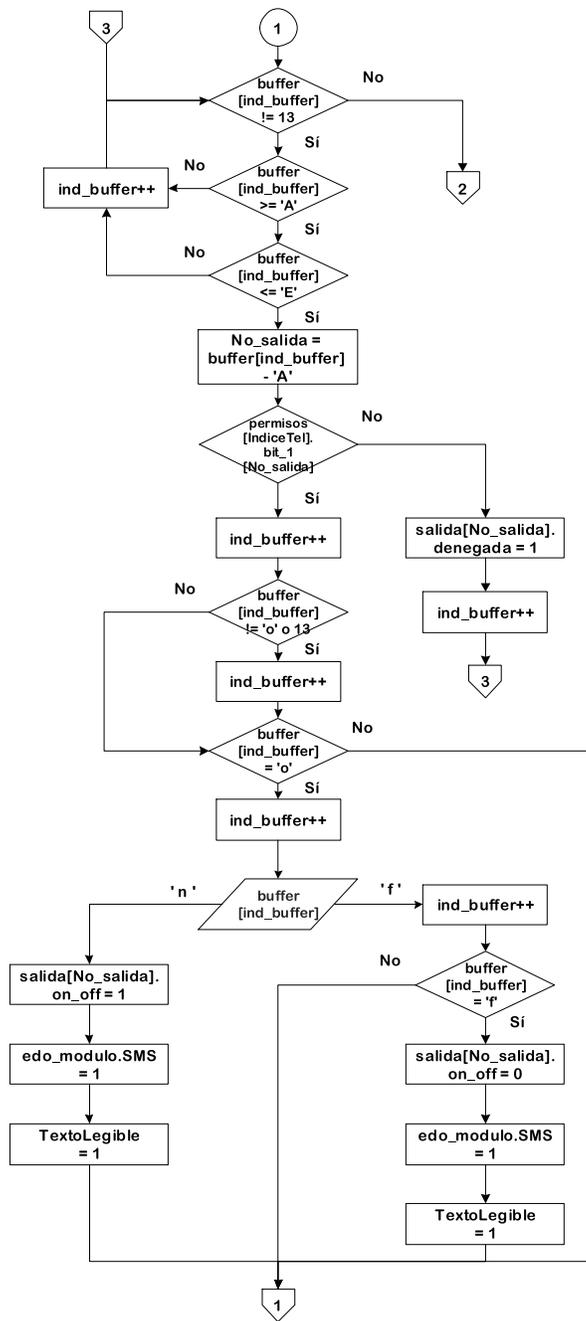
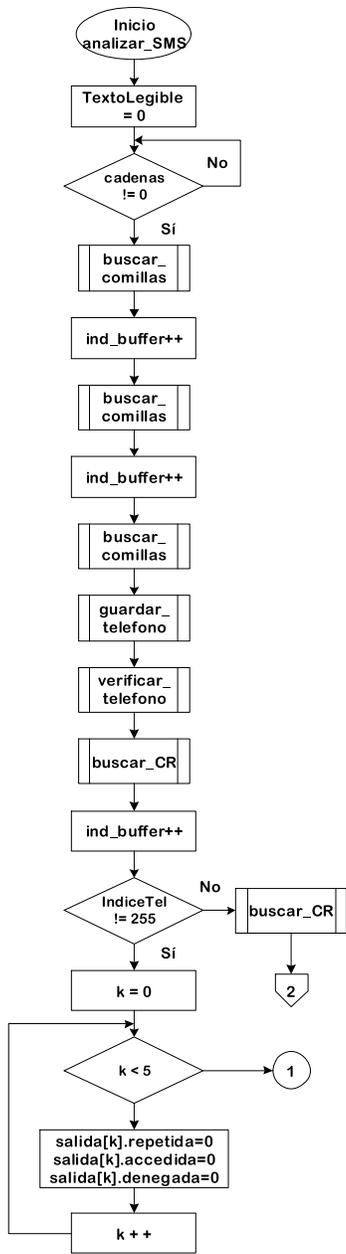


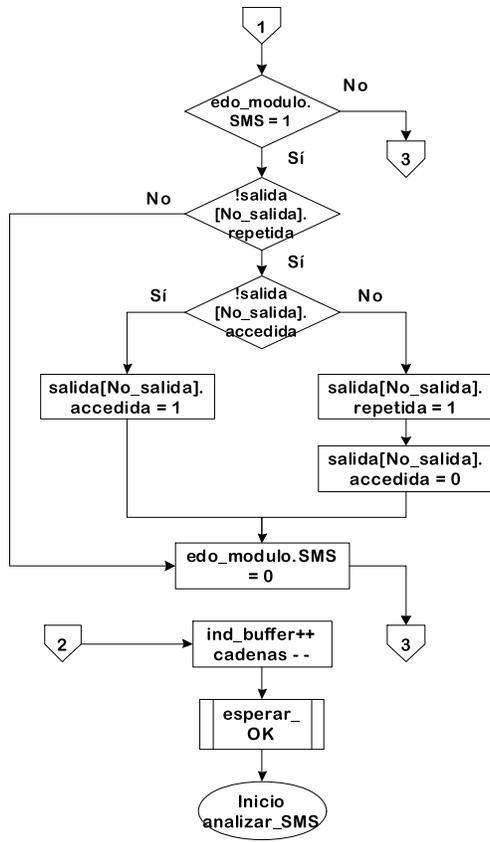




## **Anexo D**

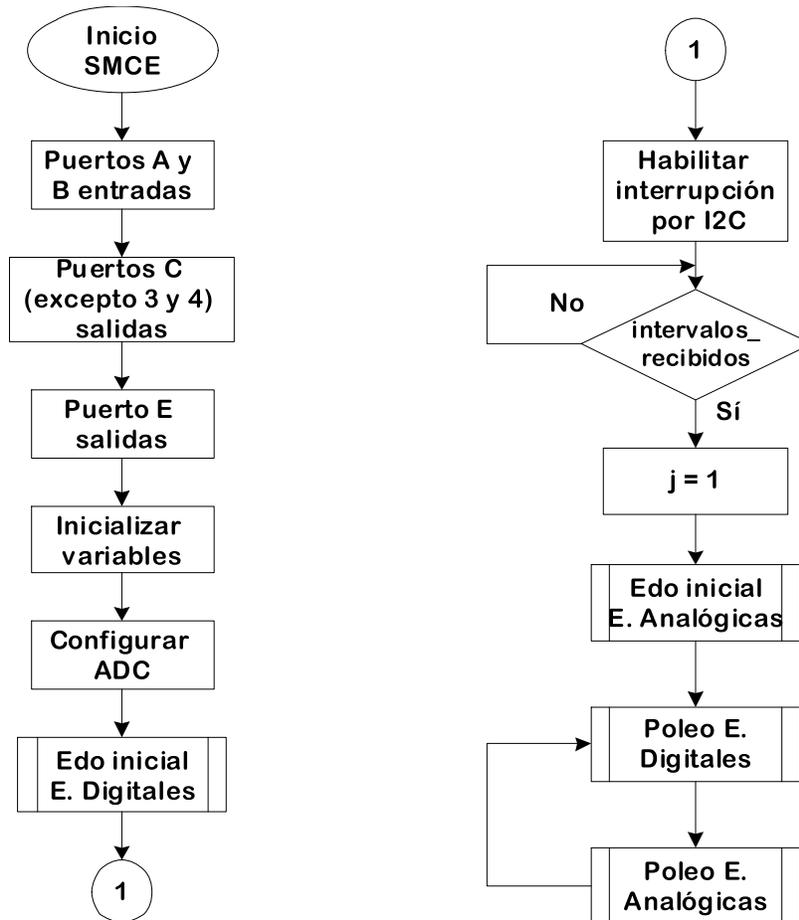
### **Algoritmo de Interpretación de los Mensajes de Texto**

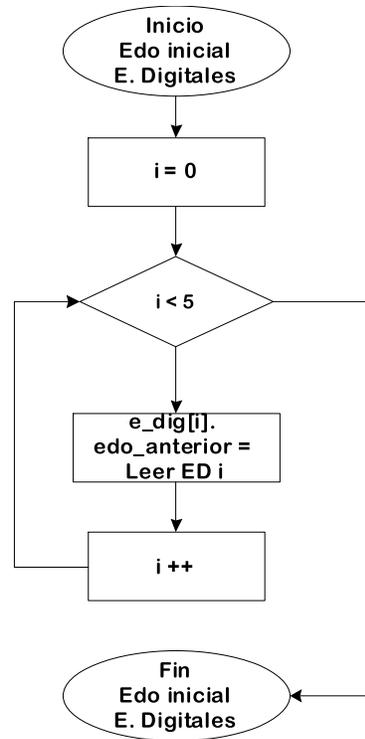
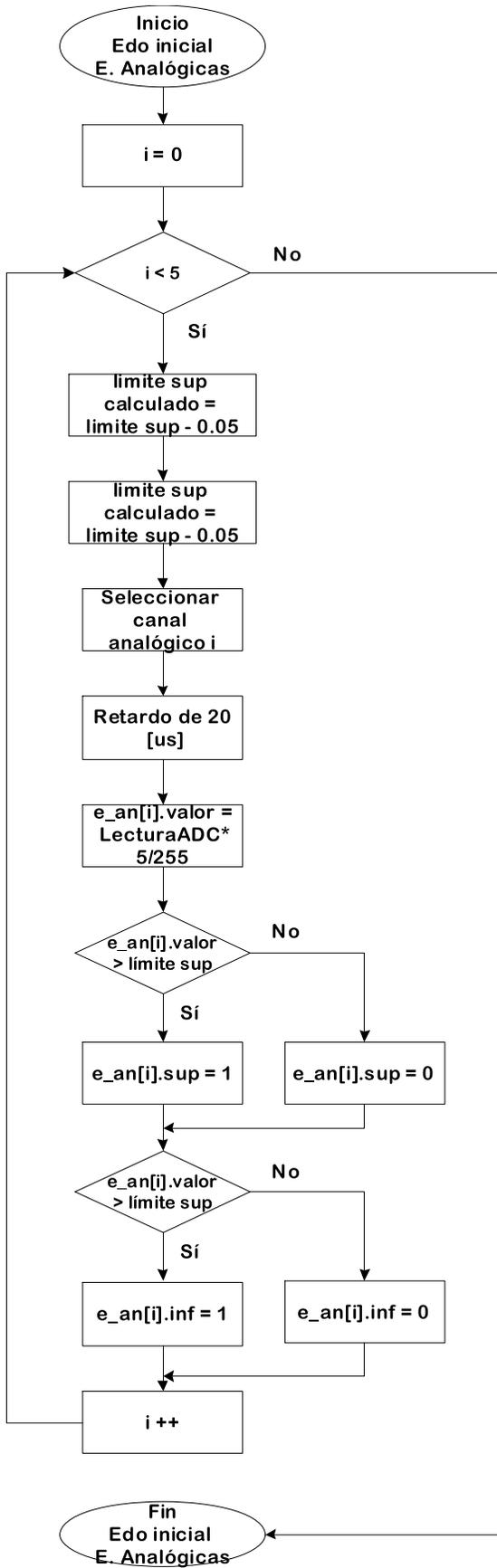


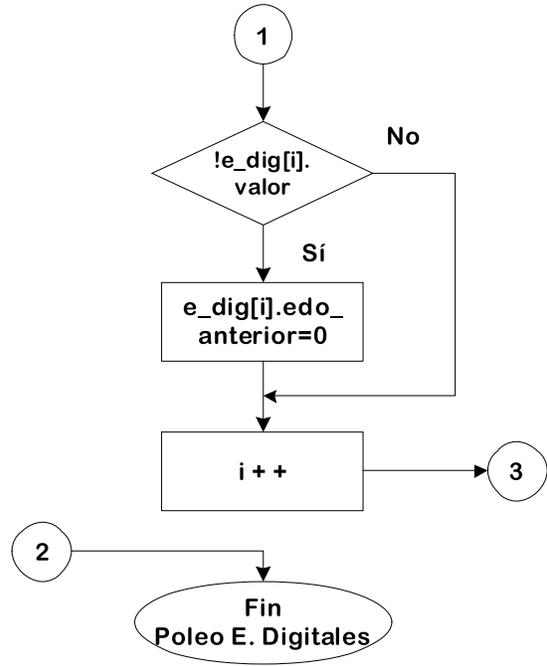
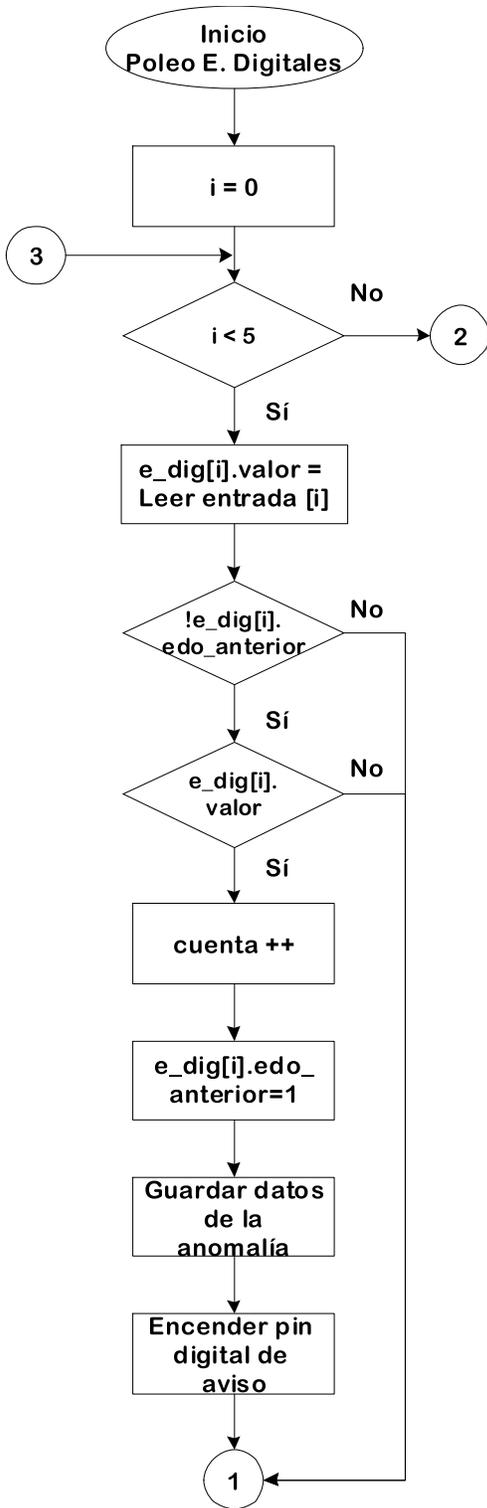


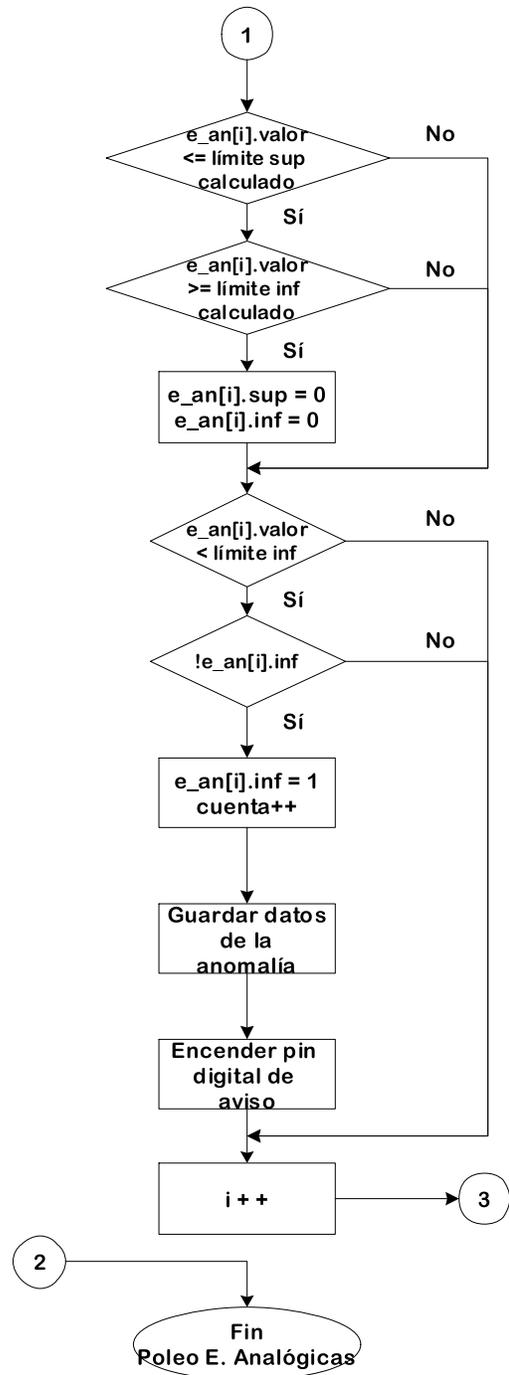
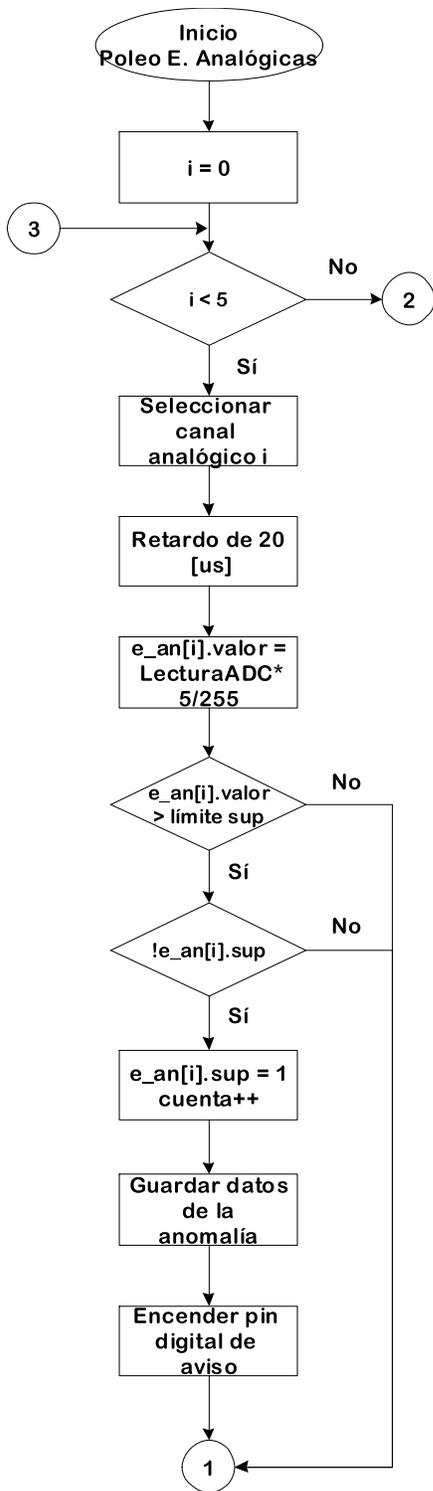
## Anexo E

### Algoritmo del Subsistema de Monitoreo y Control del Entorno









# Referencias

- [1] (Abril 2012). <http://www.domoticaviva.com/Tienda/articulos/AMS100p.htm>.
- [2] C.-L. Tseng, J.-A. Jiang, R.-G. Lee, F.-M. Lu, C.-S. Ouyang, Y.-S. Chen, *et al.*, "Feasibility study on application of GSM–SMS technology to field data acquisition," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 53, p. 4, 2006.
- [3] (Abril 2012). <http://www.in4ma.co.uk/RemoteMonitoring/RemoteTankLevelMonitoring.html>.
- [4] I. Eckhoff and A. E. Al-Qut, "GSM Personal Alarm for Crisis Situations," Universidad de Malmö, 2010.
- [5] (Abril 2012). <http://www.qsmalarmsystem.com/qsmalarmsystem.asp?BigClassName=GSM%20House%20Alarm%20Systems>.
- [6] J. Tisal, *La red GSM*, 2000.
- [7] J. Eberspächer, H.-J. Vögel, C. Bettstette, and C. Hartmann, *GSM- Architecture, Protocols and Services*, 3 ed. Gran Bretaña, 2009.
- [8] (Abril 2012). <http://www.darkclockers.com/foros/thread-3280.html>.
- [9] (Marzo 2013). <http://www.pearsonhighered.com/samplechapter/0139491244.pdf>.
- [10] W. Bolton, *Mecatrónica. Sistemas de Control electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica*, 2a ed.: AlfaOmega, 2001.
- [11] Bluetooth.org. (Mayo 2012). <https://www.bluetooth.org/Building/overview.htm>.
- [12] T. Paul and T. Ogunfunmi. (2008) Wireless LAN Comes of Age: Understanding the IEEE 802.11n Amendment. *IEEE CIRCUITS AND SYSTEMS MAGAZINE*.
- [13] TELCEL. (Marzo 2013). <http://www.telcel.com/portal/equipos/busqueda.do?mid=1300>.
- [14] C.-H. Won, D. Sale, R. R. Schultz, A. F. Johnson, and W. H. Semke, "Spacecraft Systems Engineering – The Initiation of a Multidisciplinary Design Project at the University of North Dakota," *Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 2001.
- [15] Microchip, "24AA32A/24LC32A Datasheet. 32K I2C™ Serial EEPROM", 2005.

- [16] I2C Org. (Mayo 2012). <http://www.i2c-bus.org/addressing/>.
- [17] Microchip, "AN575. IEEE 754 Compliant Floating Point Routines", 1997.
- [18] SENTRUE, "SM5100B-D AT Command", 2008.
- [19] Developer's Home. (Marzo 2013).  
<http://www.developershome.com/sms/qsmAlphabet.asp>.
- [20] Developer's Home. (Marzo 2013).  
<http://www.developershome.com/sms/cmqrCommand3.asp>.
- [21] (Marzo 2013). [http://pinouts.ru/Slots/USB\\_pinout.shtml](http://pinouts.ru/Slots/USB_pinout.shtml).
- [22] J. Amador Carrera, L. González Quezada, M. Morales Hernandez, M. Palacios Linares, and P. Salazar Gómez, "Descripción de un sitio celular GSM y parámetros de calidad Telcel," Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, México.
- [23] S. M. Redl, M. K. Weber, and M. W. Oliphant, *GSM and Personal Communications Handbook*. Estados Unidos, 1998.
- [24] Microchip, "PIC16F882/883/884/886/887. Data Sheet. 28/40/44-Pin, Enhanced Flash-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology", 2008.
- [25] Microchip, "PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet. 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology", 2006.