

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO  
DE MONITOREO REMOTO DE CONTAMINACIÓN  
AMBIENTAL UTILIZANDO TECNOLOGÍA GSM

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

JUAN CARLOS ESTRADA JIMÉNEZ  
[jancoej@yahoo.com](mailto:jancoej@yahoo.com)

DIEGO JAVIER REINOSO CHISAGUANO  
[djreinosot@hotmail.com](mailto:djreinosot@hotmail.com)

DIRECTORA: MSc. SORAYA SINCHE  
[ssinche@mailfie.epn.edu.ec](mailto:ssinche@mailfie.epn.edu.ec)

Quito, Febrero 2009

## DECLARACIÓN

Nosotros, Juan Carlos Estrada Jiménez y Diego Javier Reinoso Chisaguano, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Juan Carlos Estrada Jiménez

Diego Javier Reinoso Chisaguano

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Juan Carlos Estrada Jiménez y Diego Javier Reinoso Chisaguano, bajo mi supervisión.

MSc. Soraya Sinche  
DIRECTORA DE PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres, hermanos y familiares por su comprensión y apoyo incondicional en nuestra vida académica.

A la Msc. Soraya Sinche por ser nuestra guía y apoyo constante en la culminación de este proyecto.

Al Ing. Pablo Salinas, Ing. Miguel Parreño, Ing. Lucía Montenegro, Ing. Fernando Flores e Ing. Oswaldo Buitrón por su colaboración desinteresada en el desarrollo de este proyecto.

A nuestros amigos por su apoyo durante todo este tiempo.

Y a todos aquellos que de una u otra forma ayudaron para la culminación de este proyecto.

Juan Carlos, Diego Javier

## DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y fuerza para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Camilo y Mariana, por su esfuerzo, apoyo, guía y comprensión durante toda mi vida.

A mis hermanos Iván y Fernando, por su cariño y apoyo.

A mis tíos Walter y María, y mis primos por su confianza y ayuda.

A mi tía Gabrielita, mi abuelito Rafael y mi tía Berthita, que con su vida de esfuerzo y sacrificio me enseñaron a luchar y trabajar, por mis sueños y los demás.

A toda mi familia por su constante preocupación.

Y a todos quienes creyeron en mí.

Diego

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, Antonio Estrada y Laura Jiménez, por su apoyo incondicional y por ser una guía a lo largo de mi vida.

Dedico este proyecto a mis hermanos, José Antonio, María Cristina y Luis Alberto, por su apoyo y consejos.

A mi abuela Celia por su compañía y dedicación.

Y a todos mis maestros, amigos, y compañeros que de una u otra forma me apoyaron en mi vida estudiantil.

Juan Carlos Estrada Jiménez

## CONTENIDO

### ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN .....	xvi
PRESENTACIÓN .....	xviii

1	CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	1
1.1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.2	EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA CELULAR.....	2
1.2.1	PRIMERA GENERACIÓN .....	2
1.2.2	SEGUNDA GENERACIÓN.....	2
1.2.3	TECNOLOGÍA 2.5G.....	3
1.2.4	TERCERA GENERACIÓN .....	4
1.2.5	CUARTA GENERACIÓN .....	5
1.3	SISTEMA GLOBAL PARA LAS COMUNICACIONES MÓVILES.....	6
1.3.1	ARQUITECTURA DE LA RED GSM .....	6
1.3.1.1	Estación Móvil (MS).....	7
1.3.1.1.1	Equipo Móvil .....	7
1.3.1.1.2	<i>Subscriber Identity Module (SIM)</i> .....	7
1.3.1.2	<i>Subsistema de estación base (BSS)</i> .....	8
1.3.1.2.1	<i>Base Tranceiver Station(BTS)</i> .....	8
1.3.1.2.2	<i>Base Station Controller (BSC)</i> .....	9
1.3.1.3	<i>Network Switching Subsystem (NSS)</i> .....	9
1.3.1.3.1	<i>Mobil Switching Center(MSC)</i> .....	10
1.3.1.3.2	<i>Home Location Register (HLR)</i> .....	10
1.3.1.3.3	<i>Visitor Location Register (VLR)</i> .....	10
1.3.1.3.4	<i>Gateway Mobile Switching Center(GMSC)</i> .....	11
1.3.1.4	<i>OMSS (Operation and Maintenance Subsystem)</i> .....	11
1.4	SMS ( <i>SHORT MESSAGE SERVICE</i> ) .....	12
1.4.1	CARACTERÍSTICAS .....	12
1.4.2	ARQUITECTURA .....	14
1.4.2.1	<i>SME (Short Messaging Entity)</i> .....	14
1.4.2.2	<i>MSC (Mobile Switching Center)</i> .....	14
1.4.2.3	<i>SMSC (Short Message Service Center)</i> .....	14
1.4.2.4	<i>SMS-GMSC(SMS Gateway Mobile Switching Center)</i> .....	15
1.4.2.5	<i>SMS-IW MSC(SMS inter-working Gateway Mobile Switching Center)</i> .....	15
1.4.3	MODELO DE CAPAS .....	15
1.4.3.1	Capa Aplicación.....	16
1.4.3.2	Capa Transferencia .....	16

1.4.3.3	Capa Retransmisión .....	16
1.4.3.4	Capa Enlace .....	16
1.4.3.5	Tipos de transacciones SME-SMSC .....	16
1.4.3.6	Elementos del SMS .....	17
1.4.4	TIPOS DE SMS .....	19
1.4.4.1	Punto a punto .....	19
1.4.4.1.1	MO ( <i>Mobile Originated</i> ) .....	19
1.4.4.1.2	MT ( <i>Mobile Terminated</i> ).....	19
1.4.4.2	Punto multipunto.....	20
1.4.5	APLICACIONES .....	20
1.5	CONTAMINACIÓN AMBIENTAL .....	22
1.5.1	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	22
1.5.1.1	Fuentes de contaminación del aire .....	22
1.5.1.1.1	Fuentes Móviles .....	23
1.5.1.1.2	Fuentes Estacionarias.....	23
1.5.1.2	Principales gases contaminantes .....	24
1.5.1.2.1	Monóxido de Carbono(CO) .....	24
1.5.1.2.2	Dióxido de Carbono(CO <sub>2</sub> ) .....	26
1.5.1.2.3	Óxidos de Azufre .....	27
1.5.1.2.4	Óxidos de Nitrógeno.....	28
1.5.1.3	Medición de gases de contaminación ambiental .....	28
1.5.1.3.1	Métodos para la medición de gases.....	29
1.5.1.3.2	Tipos de sensores .....	30
2	<b>CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>34</b>
2.1	CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO.....	34
2.1.1	BLOQUE DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	35
2.1.2	BLOQUE DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS .....	35
2.1.3	BLOQUE DE APLICACIÓN .....	35
2.2	SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	35
2.2.1	CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DEL MICROCONTROLADOR .....	36
2.2.1.1	Disponibilidad de puertos .....	36
2.2.1.2	Convertidores Analógico-Digitales .....	36
2.2.1.3	Velocidad de procesamiento .....	36
2.2.1.4	Disponibilidad de herramientas de Programación.....	36
2.2.1.5	Memoria.....	37
2.2.2	MICROCONTROLADORES DISPONIBLES .....	37
2.2.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ATMEGA16 .....	38
2.2.3.1	Descripción de Pines.....	39
2.3	SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE COMUNICACIÓN GSM .....	41
2.3.1	CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DE LOS TERMINALES .....	42
2.3.1.1	Puerto Serial de Comunicaciones.....	42
2.3.1.2	Capacidad de envío y recepción de mensajes( <i>Short Message Service</i> ).....	42
2.3.1.3	Protocolo de comunicaciones.....	42
2.3.2	TIPOS DE TERMINALES .....	42
2.3.2.1	Teléfonos Nokia.....	43
2.3.2.1.1	Protocolo MBUS.....	43
2.3.2.1.2	Protocolo FBUS .....	43
2.3.2.2	<i>Modems</i> para PC y de circuito impreso.....	43
2.3.2.3	Teléfonos Sonyericcson .....	44
2.3.3	ELECCIÓN DEL TERMINAL.....	44
2.3.3.1	Teléfono T290a.....	45
2.3.3.1.1	Características del Teléfono.....	45
2.3.3.1.2	Distribución de pines del puerto de comunicaciones .....	46



2.3.4	COMANDOS AT .....	46
2.3.4.1	Comandos AT+ .....	47
2.4	SELECCIÓN DE LOS SENSORES A UTILIZARSE .....	49
2.4.1	CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DE LOS SENSORES .....	49
2.4.2	SENSORES DE CO Y CO <sub>2</sub> .....	50
2.4.2.1	Sensor MQ-7 .....	50
2.4.2.1.1	Especificaciones .....	51
2.4.2.1.2	Estructura y configuración, Circuito de medida básico .....	52
2.4.2.1.3	Circuito Estándar .....	53
2.4.2.1.4	Principio de operación .....	53
2.4.2.1.5	Ajuste de sensibilidad .....	54
2.4.2.2	Sensor MG811 .....	55
2.4.2.2.1	Estructura y Circuito de prueba .....	55
2.4.2.2.2	Especificaciones .....	56
2.4.3	Sensor de Humedad .....	56
2.4.3.1	Tipos de sensores de humedad .....	57
2.4.3.1.1	Sensores Mecánicos por Deformaciones .....	57
2.4.3.1.2	Sensores por condensación .....	57
2.4.3.1.3	Sensores electrolíticos .....	58
2.4.3.1.4	Sensores por conductividad .....	58
2.4.3.1.5	Sensores piezoeléctricos .....	59
2.4.3.1.6	Sensores Capacitivos .....	59
2.4.3.2	Elección del sensor de humedad .....	60
2.4.3.3	Sensor de humedad HS1101 .....	60
2.4.3.3.1	Estructura y Circuito de prueba .....	60
2.4.3.3.2	Especificaciones .....	61
2.4.4	Sensor de temperatura .....	61
2.4.4.1	Tipos de Sensores .....	61
2.4.4.2	Elección del sensor de temperatura .....	62
2.4.4.3	Sensor de temperatura DS18B20 .....	62
2.5	DESCRIPCIÓN DE LOS BLOQUES DEL SISTEMA .....	65
2.5.1	BLOQUE DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	65
2.5.1.1	Acoplamiento del sensor de Monóxido de Carbono(CO) .....	65
2.5.1.2	Acoplamiento del sensor de Dióxido de Carbono(CO <sub>2</sub> ) .....	67
2.5.1.3	Acoplamiento del sensor de Humedad HS1101 .....	69
2.5.1.4	Cámara de adquisición de muestra .....	69
2.5.1.4.1	Compuerta móvil .....	70
2.5.1.4.2	Ventilador .....	70
2.5.2	BLOQUE DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS .....	70
2.5.2.1	Hardware para la conexión Teléfono-Microcontrolador .....	70
2.5.2.1.1	Bloque de traslación de niveles .....	71
2.5.3	BLOQUE DE APLICACIÓN .....	72
2.5.3.1	Software para la aplicación .....	72
2.5.3.2	Computador Personal .....	74
2.5.3.3	Teléfono celular T290a .....	74
2.5.3.4	Cable de conexión DCU-11( <i>USB DATA CABLE</i> ) .....	75
2.6	PARÁMETROS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA .....	75
2.6.1	INTERVALO DE MUESTREO .....	75
2.6.2	TIPOS DE TRAMAS DE TRABAJO .....	76
2.6.2.1	Trama de datos .....	76
2.6.2.2	Tramas de configuración .....	78
2.6.2.2.1	Número de teléfono .....	78
2.6.2.2.2	Tiempo de muestreo .....	78
2.6.2.2.3	Falla de energía .....	79
2.6.2.2.4	Energía Restaurada .....	79

2.1.1	CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO <i>OUTDOOR</i> .....	79
3	<b>CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO</b> .....	82
3.1	<i>SOFTWARE</i> PARA EL MICROCONTROLADOR .....	82
3.1.1	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR .....	82
3.1.1.1	Subrutina de verificación del reloj .....	83
3.1.1.2	Subrutina de Verificación de Energía .....	84
3.1.1.3	Subrutina para configuración inicial .....	85
3.1.1.4	Lazo de fin de carrera.....	87
3.1.1.5	Adquisición de datos de la muestra.....	87
3.1.1.5.1	Subrutina para el sensor de CO .....	87
3.1.1.5.2	Sensor de CO <sub>2</sub> .....	89
3.1.1.5.3	Subrutina para el sensor de Humedad.....	91
3.1.1.5.4	Subrutina para el sensor de temperatura .....	93
3.1.1.6	Envío de mensaje .....	94
3.1.1.7	Interrupción.....	96
3.2	<i>SOFTWARE</i> PARA EL PROGRAMA DE APLICACIÓN .....	96
3.2.1	INTERFAZ GRÁFICA .....	96
3.2.1.1	Formulario de Presentación .....	97
3.2.1.2	Formulario de comprobación de usuario.....	97
3.2.1.3	Formulario Principal .....	97
3.2.1.4	Formulario de Filtrado de Registros .....	98
3.2.1.5	Formulario de Reportes.....	99
3.2.1.6	Formulario de Presentación de las Gráficas.....	99
3.2.2	DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA APLICACIÓN.....	100
3.2.2.1	Configuración del dispositivo celular .....	100
3.2.2.1.1	Configuración por comandos AT desde la aplicación.....	101
3.2.2.2	Servicio del sistema operativo .....	102
3.2.2.2.1	Características de los servicios de Windows.....	102
3.2.2.2.2	Servicio de Windows para el prototipo.....	102
3.3	CONSTRUCCIÓN .....	104
3.3.1	ELABORACIÓN DEL CIRCUITO IMPRESO .....	104
3.3.1.1	Diagramas esquemáticos.....	104
3.3.1.2	Diagramas circuitales.....	104
3.3.2	CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA DE RETENCIÓN DEL AIRE .....	109
3.3.3	CARACTERÍSTICAS DE LA CAJA.....	109
3.4	MONTAJE DEL PROTOTIPO .....	110
3.5	COSTOS DEL PROTOTIPO.....	111
4	<b>CAPÍTULO 4: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO</b> .....	113
4.1	PRUEBAS DEL SISTEMA .....	113
4.1.1	PRUEBAS DEL PROTOTIPO .....	113
4.1.1.1	Pruebas de configuración del prototipo.....	113
4.1.1.2	Pruebas de respuesta ante una falla de suministro eléctrico.....	115
4.1.1.3	Pruebas de retardo en el envío de mensajes .....	116
4.1.2	PRUEBAS DEL <i>SOFTWARE</i> DE APLICACIÓN .....	116
4.1.2.1	Pruebas de ingreso al <i>software</i> de aplicación.....	116
4.1.2.2	Prueba de comunicación con el teléfono.....	117
4.1.2.3	Prueba de descarga de datos.....	118
4.1.2.4	Verificación del funcionamiento del Servicio de <i>Windows</i> .....	119
4.1.2.5	Funcionamiento del formulario de filtrado de registros.....	120
4.1.2.6	Funcionamiento del formulario para desplegar gráficas .....	121
4.1.2.7	Funcionamiento de la creación de reportes .....	123
4.1.2.8	Prueba de compatibilidad con otros sistemas operativos .....	123

4.1.2.9	Prueba de funcionamiento del manual de usuario.....	123
4.2	PRUEBAS OUTDOOR E INDOOR .....	125
4.2.1	PRUEBA <i>OUTDOOR</i> .....	125
4.2.1.1	Análisis de la prueba <i>outdoor</i> .....	125
4.2.2	PRUEBA <i>INDOOR</i> 1.....	130
4.2.2.1	Análisis de la prueba <i>indoor</i> 1 .....	130
4.2.3	PRUEBA <i>INDOOR</i> 2.....	135
4.2.3.1	Análisis de la prueba <i>indoor</i> 2 .....	135
5	<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	140
5.1	CONCLUSIONES .....	140
5.2	RECOMENDACIONES .....	141

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	143
---------------------------	-----

ANEXO A:	CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DS18B20
ANEXO B:	CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR HS1101
ANEXO C:	CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR MQ-7
ANEXO D:	CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR MG811
ANEXO E:	COMANDOS AT DE TELÉFONOS SONY ERICSSON
ANEXO F:	CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16
ANEXO G:	CARACTERÍSTICAS DEL AMPLIFICADOR AD620
ANEXO H:	CARACTERÍSTICAS DEL AMPLIFICADOR AD822
ANEXO I:	CÓDIGO FUENTE DEL MICROCONTROLADOR
ANEXO J:	CÓDIGO FUENTE DE LA APLICACIÓN
ANEXO K:	MANUAL DE USUARIO

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Arquitectura GSM .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.2	Tarjeta SIM .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.3	Subsistema de Estación Base .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.4	Diagrama de Bloques BTS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.5	Subsistema de conmutación de Red .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.6	Estructura de la red SMS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.7	Stack de protocolos SMS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.8	Tipos de transacciones .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.9	<i>Mobile Originated</i> (MO).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.10	<i>Mobile terminated</i> (MT) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.11	Emissiones de CO <sub>2</sub> por Región .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.12	Tubos pasivos para NO <sub>2</sub> (color blanco) y para O <sub>3</sub> (color azul).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.13	Sensor de Cuarzo piezoeléctrico .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 1.14	Estructura Semiconductor Gasfet.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 2.1	Diagrama de Bloques del Sistema.....	34
Figura 2.2	Diagrama de Pines ATMEGA16.....	39
Figura 2.3	MODEM para conexión con PC Enfora 2208HR .....	43
Figura 2.4	MODEM SonyEricsson GSM GR64 para soldadura en placa.....	44
Figura 2.5	Teléfono T290a.....	45
Figura 2.7	Envío de comandos AT.....	47
Figura 2.8	Envío de comandos AT.....	49
Figura 2.9	Estructura del sensor de CO.....	52
Figura 2.10	Dependencia típica del sensor a la temperatura y humedad .....	53
Figura 2.11	Respuesta del sensor de CO .....	54
Figura 2.12	Sensor de CO <sub>2</sub> .....	55
Figura 2.13	Estructura y circuito de prueba del sensor de CO <sub>2</sub> .....	55
Figura 2.14	Sensibilidad CO <sub>2</sub> .....	56
Figura 2.15	Sensores por conductividad.....	58
Figura 2.16	Sensor de Humedad.....	60
Figura 2.17	Circuito de conexión HS1101 .....	60
Figura 2.18	Curva de Humedad vs Capacitancia.....	61
Figura 2.19	Encapsulamientos del sensor DS18B20.....	63
Figura 2.20	Diagrama para el manejo del calentamiento del sensor de CO .....	65
Figura 2.21	Diagrama del circuito de calentamiento.....	66
Figura 2.22	Circuito de calentamiento para CO .....	66
Figura 2.23	Señal de respuesta del sensor al monóxido de carbono.....	66
Figura 2.24	Diagrama para sensor de CO <sub>2</sub> .....	68
Figura 2.25	Circuito de calentamiento del sensor de CO <sub>2</sub> .....	68
Figura 2.26	Diagrama del circuito para el manejo del sensor de CO <sub>2</sub> .....	68
Figura 2.27	Circuito de conexión con el sensor.....	69
Figura 2.28	Conexión Teléfono Microcontrolador.....	70
Figura 2.29	Disparador <i>Smith-Trigger</i> .....	71
Figura 2.30	Circuito de traslación de niveles .....	72
Figura 2.31	Cable DCU-11.....	75
Figura 2.32	Trama de datos del mensaje .....	76
Figura 2.33	Trama de datos del PMRCA .....	77
Figura 2.34	Configuración del número de teléfono.....	78
Figura 2.35	ACK de la configuración del teléfono.....	78
Figura 2.36	Configuración del intervalo por hora para el muestreo .....	78
Figura 2.37	ACK de la configuración del tiempo de muestreo .....	79
Figura 2.38	Trama de configuración de falla de energía .....	79
Figura 2.39	Trama de configuración cuando la energía ha sido restaurada.....	79
Figura 3.1	Diagrama de bloques del programa a ser implementado.....	82

Figura 3.2	Diagrama de la Verificación del Reloj .....	83
Figura 3.3	Diagrama de la Verificación de Energía .....	84
Figura 3.4	Respuesta ante el comando <i>at+cbc?</i> .....	85
Figura 3.5	Diagrama de Configuración Inicial .....	85
Figura 3.6	Diagrama de la subrutina para el sensor de CO .....	87
Figura 3.7	Respuesta del sensor de CO .....	88
Figura 3.8	Diagrama de la subrutina para el sensor de CO <sub>2</sub> .....	89
Figura 3.9	Respuesta del sensor de CO <sub>2</sub> .....	90
Figura 3.10	Diagrama de la subrutina para el sensor de Humedad.....	91
Figura 3.11	Respuesta del sensor de Humedad .....	92
Figura 3.12	Diagrama de la subrutina para el sensor de Temperatura.....	93
Figura 3.13	Diagrama de la subrutina para el envío de mensajes.....	94
Figura 3.14	Comando AT+CMGS .....	95
Figura 3.15	Formulario de Presentación.....	97
Figura 3.16	Formulario de comprobación de usuario.....	97
Figura 3.17	Formulario Principal de la Aplicación .....	98
Figura 3.18	Formulario de Filtrado de Registros.....	98
Figura 3.19	Formulario de Reportes.....	99
Figura 3.20	Formulario de Presentación de gráficas (Configuración de parámetros) .....	100
Figura 3.21	Formulario de Presentación de Gráficas (CO, CO <sub>2</sub> , Humedad y Temperatura).....	100
Figura 3.22	Diagrama de la configuración del teléfono .....	101
Figura 3.23	Diagrama del servicio de Windows.....	103
Figura 3.24	Diagrama Esquemático Placa No. 1 .....	105
Figura 3.25	Diagrama Esquemático Placa No. 2 .....	106
Figura 3.26	<i>Top Layer, Bottom Layer</i> Placa No. 1 .....	107
Figura 3.27	<i>Top Layer, Bottom Layer</i> Placa No. 2 .....	107
Figura 3.28	Circuito impreso de las placas 1 y 2.....	108
Figura 3.29	Elementos soldados en la Placa No.1 .....	108
Figura 3.30	Elementos soldados en la Placa No.2.....	109
Figura 3.35	Placas montadas en la caja .....	110
Figura 3.36	Montaje final del prototipo.....	110
Figura 4.1	Configuración del número de teléfono desde la interfaz gráfica .....	113
Figura 4.2	Configuración del tiempo de muestreo .....	114
Figura 4.3	Mensajes de confirmación de los mensajes de configuración.....	114
Figura 4.4	LCD: Falla de Energía .....	115
Figura 4.5	Recepción de mensaje de Falla de Energía en la estación central .....	115
Figura 4.6	Mensaje de Energía Restaurada. ....	115
Figura 4.7	Falla de Energía en la Aplicación. ....	116
Figura 4.8	Ingreso a la Aplicación Gráfica.....	117
Figura 4.9	Ingreso Erróneo de la contraseña .....	117
Figura 4.10	Puertos disponibles en el PC .....	118
Figura 4.11	Configuración del teléfono.....	118
Figura 4.12	Registros-Actualizar.....	119
Figura 4.13	Servicio del Sistema Operativo .....	119
Figura 4.14	Almacenamiento de datos en un archivo de texto .....	120
Figura 4.15	Filtrado de registros por número de teléfono .....	120
Figura 4.16	Filtrado de registros por fecha.....	121
Figura 4.17	Filtrado de registros por hora .....	121
Figura 4.18	<i>Tab</i> de configuración de parámetros para las gráficas .....	122
Figura 4.19	Gráfica de los parámetros seleccionados.....	122
Figura 4.20	Formato del reporte generado .....	123
Figura 4.21	Presentación del manual de usuario .....	124
Figura 4.22	Ventana del manual de usuario .....	124
Figura 4.23	Dióxido de Carbono sector El Tejar.....	126
Figura 4.24	Monóxido de Carbono sector El Tejar .....	127

Figura 4.25	Temperatura sector El Tejar.....	128
Figura 4.26	Humedad Relativa sector El Tejar.....	129
Figura 4.27	Dióxido de Carbono Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales .....	131
Figura 4.28	Monóxido de Carbono Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales.....	132
Figura 4.29	Temperatura Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales.....	133
Figura 4.30	Humedad Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales .....	134
Figura 4.31	Dióxido de Carbono Cocina Casa-Sangolquí.....	136
Figura 4.32	Monóxido de Carbono Cocina Casa-Sangolquí .....	137
Figura 4.33	Temperatura Cocina Casa-Sangolquí .....	138
Figura 4.34	Humedad Cocina Casa-Sangolquí.....	139

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1	Volumen de un gas .....	29
Ecuación 1.2	Equivalencia entre ug/m <sup>3</sup> y ppm .....	29
Ecuación 2.1	Relación entre la resistencia superficial y la de carga.....	54
Ecuación 2.2	Capacitancia en función de la constante dieléctrica.....	59
Ecuación 2.3	Relación Rs/Ro .....	67
Ecuación 2.4	Frecuencia para el sensor de humedad.....	69
Ecuación 2.5	Intervalo entre cada mensaje.....	78
Ecuación 3.1	Función de respuesta logarítmica .....	88
Ecuación 3.2	Comportamiento logarítmico del sensor de CO.....	88
Ecuación 3.3	Respuesta del sensor de CO.....	89
Ecuación 3.4	Función de respuesta semi-logarítmica .....	90
Ecuación 3.5	Comportamiento semi-logarítmico del sensor de CO <sub>2</sub> .....	90
Ecuación 3.6	Respuesta del senso de CO <sub>2</sub> .....	91
Ecuación 3.7	Período de la señal generada por el TIMER1 .....	91
Ecuación 3.8	Frecuencia de la señal generada por el TIMER1 .....	91
Ecuación 3.9	Frecuencia generada por el 555 .....	92
Ecuación 3.10	Capacitancia en función de la frecuencia del 555.....	92
Ecuación 3.11	Humedad relativa versus Capacitancia .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Nivel de CO respecto al efecto físico .....	25
Tabla 2.1	Pines del Puerto B .....	40
Tabla 2.2	Pines del Puerto C .....	40
Tabla 2.3	Pines del Puerto D .....	41
Tabla 2.4	Características físicas T290a .....	45
Tabla 2.5	Características eléctricas T290a .....	45
Tabla 2.6	Descripción de los pines del Teléfono T290a.....	46
Tabla 2.7	Condiciones de trabajo estándar .....	51
Tabla 2.8	Condiciones de ambiente.....	51
Tabla 2.9	Características de sensibilidad.....	51
Tabla 2.10	Componentes del sensor de CO .....	52
Tabla 2.11	Características del sensor de CO <sub>2</sub> .....	56
Tabla 2.12	Características del sensor de humedad .....	61
Tabla 2.13	Distribución de pines DS18B20 .....	63
Tabla 2.14	Resolución del sensor de temperatura DS18B20.....	64
Tabla 3.1	Costos de elementos y materiales.....	111
Tabla 3.2	Costos de elementos y materiales (continuación).....	112
Tabla 3.3	Costos totales.....	112
Tabla 4.1	Prueba <i>Outdoor</i> .....	125
Tabla 4.2	Prueba <i>Indoor</i> No. 1 .....	130
Tabla 4.3	Prueba <i>Indoor</i> No. 2 .....	135



## RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolla un sistema que permite monitorear gases de contaminación atmosférica a través de un prototipo que realiza mediciones de forma automática.

El prototipo utiliza un sistema microprocesado para adquirir los datos de sensores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), temperatura y humedad. Los datos adquiridos son enviados en forma de SMS, a través de un teléfono celular, a una aplicación de monitoreo. Esta aplicación recibe los datos, los almacena y permite visualizarlos en forma de gráficas o reportes.

En el Capítulo 1, se presentan los fundamentos teóricos de los elementos que van a ser utilizados en el desarrollo de este sistema, así como las tecnologías a ser utilizadas. Se analiza la evolución de las comunicaciones celulares, la tecnología GSM, el servicio de mensajería corta y algunas definiciones de contaminación ambiental.

El Capítulo 2, contiene el diseño del prototipo. Se presenta un diagrama de bloques del sistema y se establece las funciones de las que se encargará cada bloque. Los bloques que conforman el sistema son: adquisición de datos, envío y recepción, y aplicación. Finalmente la aplicación comprenderá la interfaz y un servicio del sistema operativo, para el ordenamiento y presentación de la información; además se realiza la elección de los elementos a utilizarse.

El Capítulo 3, presenta los pasos para la construcción del prototipo del diseño planteado en el Capítulo 2. Aquí se establecen los diagramas de flujo del *software* del prototipo remoto y del *software* de aplicación. Se presenta los diagramas circuitales para la construcción del dispositivo remoto, así como los pasos para el montaje del prototipo y la presentación de los costos.

En el Capítulo 4, se presentan las pruebas de funcionamiento realizadas en ambiente *indoor* y ambiente *outdoor*.

En el Capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

Finalmente, se incluyen los anexos de las características técnicas de los sensores, comandos AT para el envío de SMS, el código fuente del microcontrolador y de la aplicación, y el manual de usuario de la aplicación.

## PRESENTACIÓN

La contaminación atmosférica es una realidad preocupante en la actualidad, por los efectos perjudiciales en las actividades humanas y el clima del planeta. Por esta razón es importante contar con sistemas de monitoreo de los principales gases contaminantes.

Este proyecto desarrolla un sistema de monitoreo automático de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para poder mantener un registro continuo de los niveles de estos gases dentro de la ciudad de Quito.

La información generada en cada uno de los puntos monitoreados es enviada utilizando un SMS a través de teléfonos celulares de tecnología GSM. Se utiliza esta tecnología ya que en el país existe una red celular GSM con una amplia cobertura.

El sistema se encarga de adquirir la muestra gaseosa, medirla y enviar los datos a la sección central mediante un SMS; permitiendo su configuración remota por medio de mensajes de texto.

La sección central está compuesta por un teléfono, una PC y un *software* de aplicación. El teléfono está conectado a la PC a través de un puerto USB. La aplicación se encarga de obtener los datos del teléfono, los almacena y permite presentarlos de forma gráfica.

# 1 CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Es indiscutible el hecho de que el desarrollo de nuevos productos ha mejorado la calidad de vida de las personas. La industrialización con la consiguiente disminución de los precios ha hecho más asequible al consumidor final la adquisición de autos, ropa, alimentos, celulares y otros. Lamentablemente estos procesos generan contaminantes que al ser soltados en la atmósfera afectarán a las personas. De igual manera la dependencia de los medios de transporte, parque automotor, aviones y trenes, al petróleo ha hecho que cada vez se dispersen grandes cantidades de gases tóxicos debido a la combustión de estos hidrocarburos. Por tales razones es importante la elaboración de herramientas para mantener un monitoreo y control de la contaminación utilizando los medios disponibles.

La sociedad ecuatoriana en la actualidad tiene conocimiento de la necesidad de mantener y conservar la calidad del aire que se respira en las principales zonas urbanas del país. El desarrollo urbano en la ciudad de Quito ha provocado una degradación de la calidad del aire en gran manera debido a la emanación de los productos resultantes de la quema de combustibles fósiles del parque automotor, procesos industriales y deforestación. Todos estos factores incluyendo la topología geográfica de la ciudad, que impide que los gases se dispersen, suman para que la ciudad se vea muy afectada por la contaminación atmosférica.

Existen más de 3 billones de usuarios de la tecnología GSM en el mundo<sup>1</sup> hasta Junio de 2008. En el Ecuador según estadísticas a octubre de 2008 habría 10.770.914 usuarios de telefonía celular (7.822.832 de usuarios de Conecel, 2.948.082 de usuarios de Otecel, 391.587 usuarios de Telecsa), de los cuales 10.210.706 (7.822.832 de Conecel, y 2.387.874 de Otecel)<sup>2</sup> son GSM, esto es aproximadamente el 91% de los usuarios de telefonía celular.

---

<sup>1</sup> <http://www.gsmworld.com/about/history.shtml>

<sup>2</sup> [http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t\\_celular/estadisticas/anual.htm](http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t_celular/estadisticas/anual.htm)

Debido a la gran cantidad de servicios y facilidades que ofrece GSM, se ha constituido en una tecnología predominante. Por tal razón el presente proyecto pretende utilizar las facilidades de la tecnología GSM para el envío de mensajes SMS que reporten los datos de contaminación ambiental tomados por el sistema.

## **1.2 EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA CELULAR**

La telefonía móvil ha evolucionado a partir de las nuevas necesidades del usuario. Su evolución se la puede explicar en cuatro generaciones que se describen a continuación.

### **1.2.1 PRIMERA GENERACIÓN**

Aparece alrededor de 1979. Se caracterizó por utilizar multiplexación por división en frecuencia. Fue un sistema analógico donde se prestaba servicio de voz. La tecnología más conocida de primera generación es AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*).

AMPS empezó a ser utilizado en Estados Unidos desde 1981. Estaba basado en tecnología FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Sólo podía tener a un usuario por canal de frecuencia. Tuvo problemas de capacidad y de seguridad.

### **1.2.2 SEGUNDA GENERACIÓN**

Aparece en el año de 1990. La generación 2G constituye un cambio de telefonía móvil analógica a digital. Con estos cambios se solucionaron problemas de calidad y seguridad de la comunicación, mejorando la capacidad. Se permite la integración de nuevos servicios como SMS (*Short Message Service*), fax y otros.

Las tecnologías más comercializadas en esta generación fueron: GSM(*Global System for Mobile Communications*), CDMA (*Code Division Multiple Access*), D-AMPS(*Digital Advanced Mobile Phone System*) entre otros.

- D-AMPS se presenta como una mejora del sistema analógico AMPS. Utiliza TDMA (*Time Division Multiple Access*) como protocolo de acceso

en la interfaz aire. Utiliza los canales existentes de AMPS. La capacidad se incrementó en relación a su predecesor. Las llamadas eran más seguras ya que el sistema fue más robusto. Utiliza conmutación de circuitos y permitía el envío de mensajes SMS. Permite tres usuarios *full-rate* y seis usuarios *half-rate* por canal.

- CDMA (IS-95) ofrece ventajas como un incremento de alrededor 8 veces la capacidad de sistemas analógicos<sup>3</sup>. Posee mejoras en calidad, cobertura y seguridad. CDMA utiliza una técnica de espectro ensanchado (*spread spectrum*) permitiendo una mayor privacidad en la comunicación. Su interfaz aire es más compleja y aparece como una tecnología propietaria de QUALCOM, por lo que es más costosa.
- GSM fue introducida en 1992 como un estándar abierto europeo. La principal funcionalidad que ofrece es la transmisión de voz, aunque también se pueden transmitir datos a bajas velocidades. Características como llamadas prepago, *roaming* Internacional entre otras, hicieron que esta tecnología se convierta en una de las más populares. Presenta nuevos servicios como *voice mail*, SMS, llamada en espera y otros, a costos más bajos.

### 1.2.3 TECNOLOGÍA 2.5G

Constituye un paso intermedio en la evolución entre la segunda y tercera generación. “Los operadores tanto en Estados Unidos como en Europa comenzaron a migrar a 2.5G en el 2001, mientras que Japón dio el salto directo a 3G”<sup>4</sup>. Entre las tecnologías más conocidas está GPRS, EDGE y CDMA 2000 1x.

- GPRS (*General Packet Radio Service*) es una evolución del sistema de comunicaciones GSM. Proporciona mayores velocidades y prestaciones en el acceso móvil al servicio de datos e Internet.<sup>5</sup> Localiza dinámicamente los

---

<sup>3</sup> MSc. Soraya Sinche/Folleto de Comunicaciones Inalámbricas/CDMA

<sup>4</sup> [http://www.radioptica.com/Radio/telefonía\\_movil.asp](http://www.radioptica.com/Radio/telefonía_movil.asp)

<sup>5</sup> MSc. Soraya Sinche/ Folleto de Comunicaciones Inalámbricas/ GPRS Pag 51.

canales de radio a cada usuario. GPRS permite tasas de 159 kbps<sup>6</sup>. Soporta *internetworking* con redes IP y X.25. Soporta tráfico intermitente y a ráfagas.

- EDGE posee tasas de transferencia de datos similares a las de 3G. Puede llegar a una velocidad de 473 Kbps<sup>6</sup>. Mediante EDGE se puede habilitar varios tipos de servicios tales como *e-mail*, multimedia, tráfico WEB, video-conferencia y otros. Puede implementar control de calidad de los enlaces. Usa la misma estructura TDMA que GSM y GPRS.
- CDMA 2000-1X permite tasas entre 9.6 kbps y 2Mbps. Posee servicios de acceso a Internet, email, descarga de tonos de llamada, servicios de información entre otros. Se constituye en una plataforma multimedia avanzada.<sup>7</sup>

#### 1.2.4 TERCERA GENERACIÓN

La tercera generación fue desarrollada para ofrecer al usuario una mayor velocidad y conexión multimedia a los usuarios. La ITU (*Internacional Telecommunications Union*) definió un estándar, bajo iniciativa de IMT2000 (*Internacional Mobile Telecommunications-2000*), para soportar altos niveles de tráfico desde 144 kbps hasta mayores a 2Mbps<sup>8</sup>.

Permite servicios para transferencia de voz y datos como también aplicaciones de descarga de programas, correo electrónico, mensajería instantánea entre otros. Entre las ventajas de 3G está una mayor velocidad de acceso, con la ayuda de IP se logra la implementación de servicios multimedia y nuevas aplicaciones de banda ancha como video-telefonía y video-conferencia. Soporta conmutación de paquetes IP.

---

<sup>6</sup>MOOI CHOO CHUAH/ Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs/Springer Science Business Media/2006. Pag 4

<sup>7</sup>MSc. Soraya Sinche/ Folleto de Comunicaciones Inalámbricas/ CDMA2000 1X

<sup>8</sup>AJAY R. Mishra/ Advanced Cellular Network Planning and Optimization/ WIKEY and Sons /Nokia Networks /United Kingdom 2007/ Pag 10

Las tecnologías que cumplen con los estándares de IMT2000 son: CDMA 2000 (1XEVDO, EVDV) y UMTS(*Universal Mobile Telecommunications System*).

- CDMA 1X-EV-DO constituye una mejora que pone los datos y la voz en canales separados para proveer tasas de 2.4 Mbps<sup>8</sup>.
- CDMA 1X-EV-DV promete rangos de 3 a 5 Mbps<sup>8</sup>. CDMA 2000-3X constituye en un estándar ITU aprobado por IMT 2000 con 3G que promete velocidades de 2 a 4 Mbps<sup>8</sup>.
- UMTS utiliza a W-CDMA como estándar. W-CDMA fue desarrollado por NTT (*Nippon and Telegraph and Telephone Corporation*) DoCoMo como la interfaz aire para la red de tercera generación FOMA(*Freedom of Mobile Multimedia Access*). WCDMA se caracteriza por la transmisión a velocidades variables, control adaptivo de potencia, cobertura y capacidad incrementada. Utiliza como técnica de acceso CDMA. Puede alcanzar velocidades de 2 Mbps. HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) permite tasas de hasta 10 Mbps y HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) permite hasta 14 Mbps.

### 1.2.5 CUARTA GENERACIÓN

Debido a que los estándares de tercera generación no han logrado romper los cuellos de botella para transferencia de datos y capacidad, se impulsó la formación de una nueva generación.

Los sistemas 4G se enfocan a servicios de video de alta calidad, con tasas de transferencia de datos de alrededor de 100 Mbps en una estación móvil y 1 Gbps en una estación fija<sup>9</sup>. 4G reensambla y converge algunas tecnologías existentes (GPRS, EDGE, WLAN, HIPERLAN).

LTE (*Long Term Evolution*) es una tecnología en estado de prueba y podría ser considerada como el estándar 4G. LTE alcanza tasas entre 16 y 154 Mbps<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> MSc. Soraya Sinche/ Folleto de Comunicaciones Inalámbricas/ Telefonía Celular Pag 72

<sup>10</sup> EDGE, HSPA and LTE Broadband Innovations / Septiembre 2008 / 3G Américas



### 1.3 SISTEMA GLOBAL PARA LAS COMUNICACIONES MÓVILES

GSM en un inicio consistió de un grupo de investigación para el desarrollo de un estándar de comunicaciones celulares digitales denominado *Groupe Spécial Mobile*. Fue desarrollado por la CEP(1982) y la ETSI(1991). Posteriormente GSM se convierte en un estándar utilizado mundialmente con el nombre de Sistema Global de Comunicaciones Móviles.

Los servicios de datos presentan una tasa de hasta 14.4 kbps.<sup>11</sup> Posee servicios adicionales como FAX, servicio de mensajería corta, desvío de llamadas, prohibición de llamadas, llamada en espera, identificadores de número, informe de costos, *roaming*, entre otros.

#### 1.3.1 ARQUITECTURA DE LA RED GSM

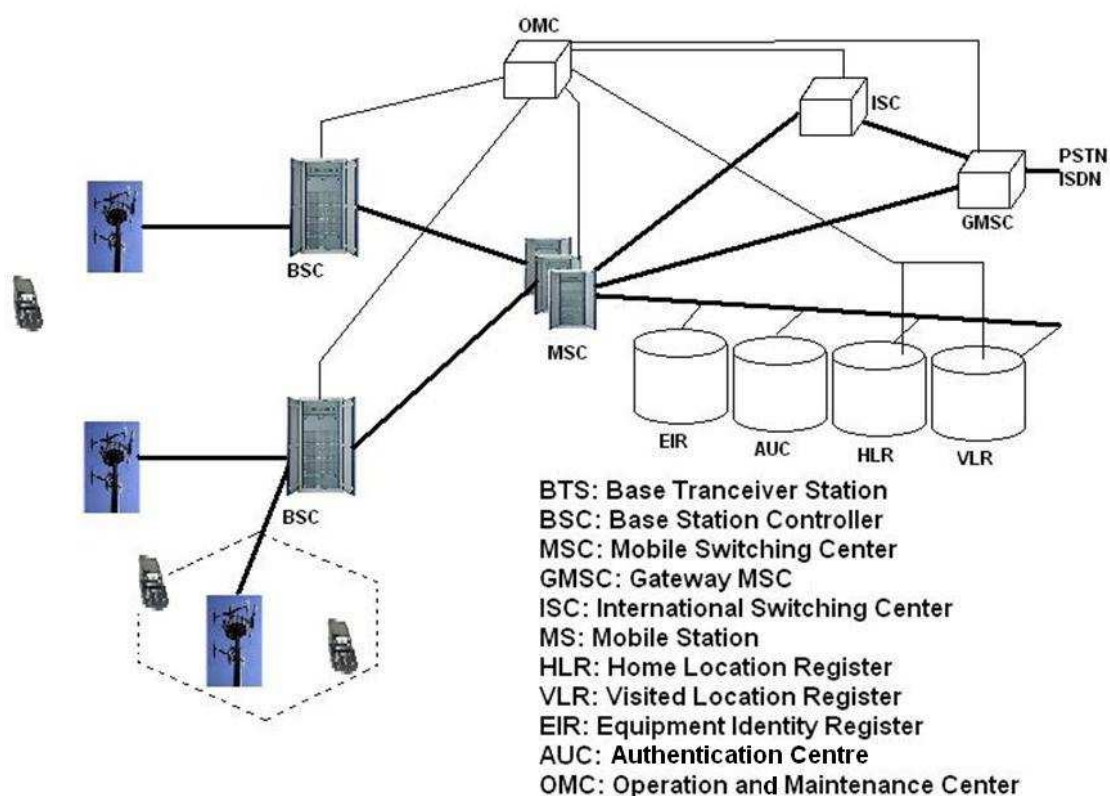


Figura 1.1 Arquitectura GSM <sup>12</sup>

<sup>11</sup> GWENAE" I Le Bodic, Mobile Messaging Technologies And Services Sms, Ems And Mms, Wiley, India, 2005, Pag 3

<sup>12</sup> MSc. Soraya Sinche/ Folleto de Comunicaciones Inalámbricas/ GSM Pag. 213

La red GSM se encuentra compuesta de algunas entidades funcionales. Se puede dividir en cuatro grandes secciones: la estación móvil (MS), el subsistema de estación base (BSS), el subsistema de red (NSS) y el subsistema de operación y mantenimiento (OMSS).

### **1.3.1.1 Estación Móvil (MS)**

La estación móvil es el terminal de usuario que se comunica a través del interfaz aire. Es la plataforma física para el acceso a la red. Está compuesta del equipo móvil (*ME*) y del *Subscriber Identity Module (SIM)*.

#### **1.3.1.1.1 Equipo Móvil**

Realiza funciones como transmisión por radio, codificación de voz, gestión de canales entre otros.<sup>13</sup> Posee un identificador conocido como IMEI.

El IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), está compuesto por 6 dígitos que representan el código de homologación del equipo, 2 dígitos que identifican al fabricante y 8 dígitos que representan el número de serie.

#### **1.3.1.1.2 Subscriber Identity Module (SIM)**

Personaliza a la terminal. Posee un PIN el cual es solicitado al momento de encenderlo. El PUK es una clave de desbloqueo cuando se ha ingresado incorrectamente el PIN por más de tres veces. Posee información para la autenticación del usuario entre los que están:

- Identidad Internacional Abonado Móvil (IMSI): Es un elemento particular y característico de cada abonado que posee la identidad del mismo. Está compuesto por el código celular del país, el código de la red celular y el número de identificación del subscritor.
- Identidad Temporal de Abonado (TMSI): Temporalmente el VLR asigna un número de identificación que asegura privacidad del IMSI.

---

<sup>13</sup> MSc. Soraya Sinche/ Folleto de Comunicaciones Inalámbricas/ GSM Pag. 228

- Identificación de Área de Localización (LAI): Posee un código de identificación del país, un código de identificación del operador, y un código de área de localización.

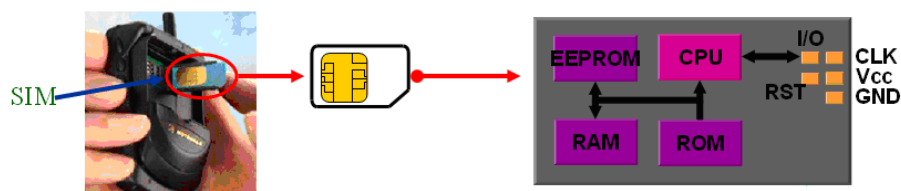


Figura 1.2 Tarjeta SIM<sup>14</sup>

### 1.3.1.2 Subsistema de estación base (BSS)

El subsistema de estación base está compuesto por dos partes, la *Base Transceiver Station (BTS)* y la *Base Station Controller (BSC)*.

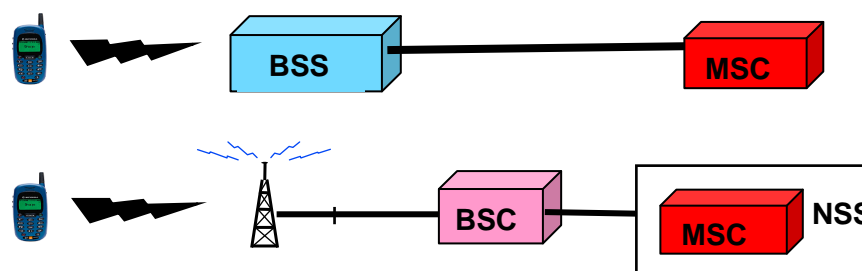


Figura 1.3 Subsistema de Estación Base<sup>15</sup>

#### 1.3.1.2.1 Base Tranceiver Station(BTS)

La BTS provee la comunicación entre la estación móvil y la red mediante la interfaz aire. Sincroniza la operación y mantenimiento. Se encuentra conectado al BSC. Contiene el equipo para la transmisión y recepción de señales de radio, antenas y equipos de comunicación con la BSC.

<sup>14</sup> [http://ceres.ugr.es/~alumnos/c\\_avila/gsm23.htm](http://ceres.ugr.es/~alumnos/c_avila/gsm23.htm)

<sup>15</sup> [http://ceres.ugr.es/~alumnos/c\\_avila/gsm23.htm](http://ceres.ugr.es/~alumnos/c_avila/gsm23.htm)

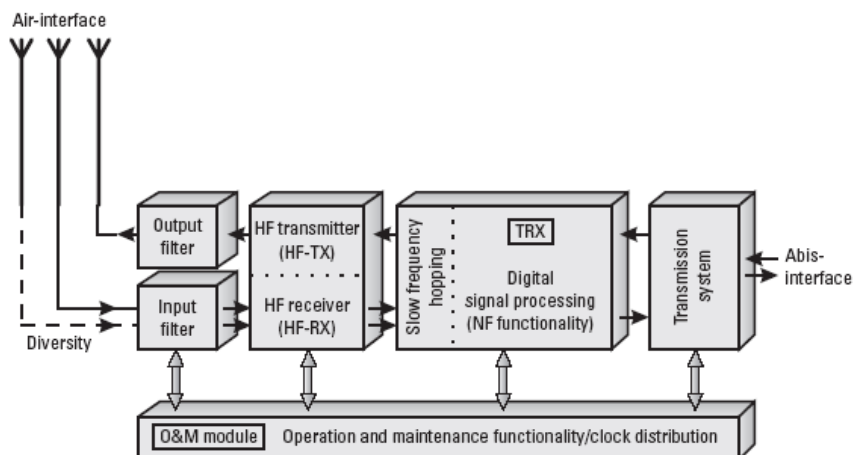


Figura 1.4 Diagrama de Bloques BTS <sup>16</sup>

### 1.3.1.2.2 Base Station Controller (BSC)

La BSC es la entidad que conecta la estación base y el centro de conmutación móvil (MSC). Constituye el primer punto de concentración de tráfico hacia la red. Se encarga de controlar y gestionar varias BTSs en función de su capacidad. Gestiona los procesos de transferencia (*handover*) entre BTS's. Puede encontrarse junto a una BTS, junto a una MSC o sola. También se encarga de ejecutar algoritmos de control de potencia y cifrado.

### 1.3.1.3 Network Switching Subsystem (NSS)

La NSS es la parte de una red GSM que conmuta y establece una llamada entre dos terminales.

Provee servicios básicos como gestión de llamadas, servicios suplementarios, llamadas de emergencia, SMS, autenticación de usuarios, operación entre celdas (registro de posición, traspaso o *handoff* y reestablecimiento de la llamada), y gestión de la red.

<sup>16</sup> HEINE, Gunnar, GSM Networks Protocols Terminology and Implementation, Artech House, United Kingdom 1998 Pag 20

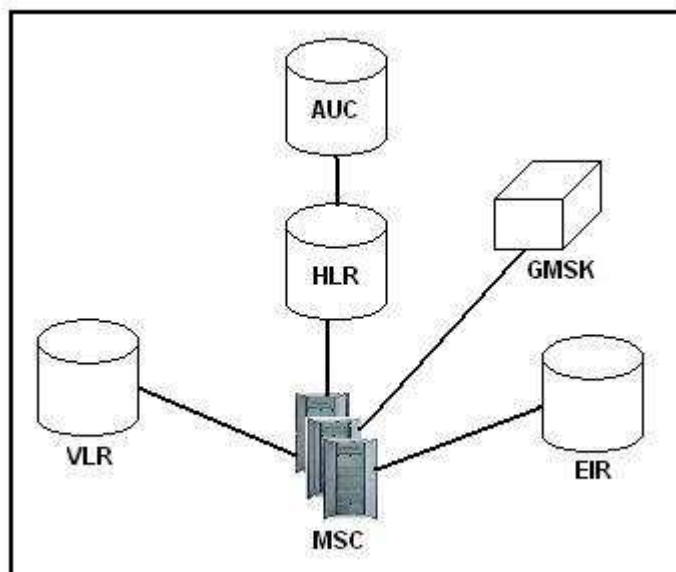


Figura 1.5 Subsistema de conmutación de Red<sup>17</sup>

#### 1.3.1.3.1 *Mobil Switching Center (MSC)*

Es el componente central del subsistema de la red denominado centro de conmutación de servicios móviles.

El MSC realiza conmutación y señalización básica. Gestiona llamadas entre usuarios GSM: establecimiento, encaminamiento, control y finalización.

#### 1.3.1.3.2 *Home Location Register (HLR)*

Es un elemento dentro del cual se registra de forma permanente perfiles de usuario de los clientes de la red GSM. Guía el proceso de registro y desregistro del terminal. Mantiene un apuntador del VLR donde reside información del área de localización del móvil. Puede almacenar la información de suscripción de algunos miles de abonados. La ubicación la realiza almacenando información del área en que el abonado se registro por última vez.

#### 1.3.1.3.3 *Visitor Location Register (VLR)*

El VLR es la base de datos en la que se guarda información temporal de los visitantes en el área de localización que está controlada por un MSC. Posee datos

<sup>17</sup> <http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/t.pagtzis/wireless/gsm/arch.html>

relativos al perfil del usuario que contiene el HLR. El VLR analiza el IMSI para poder localizar el HLR al que se debe consultar sobre una operación de registro. Contiene otros datos de gestión de movilidad de los usuarios activos en la *Location Area* (grupo de celdas contiguas) que se controla.

#### **1.3.1.3.4 Gateway Mobile Switching Center(GMSC)**

Es un nodo que conecta la red GSM con redes de otros operadores de telefonía celular y fija.

#### **1.3.1.4 OMSS (*Operation and Maintenance Subsystem*)**

La operación de la red es controlada por el subsistema de Operación y mantenimiento. Las funciones de control son monitoreadas desde el OMC (*Operation and Maintenance Center*). La OMC tiene acceso tanto a la GMSC como a la BSC. Entre las principales funciones se pueden nombrar: operación comercial y de administración, manejo de la seguridad, configuración de la red, y tareas de mantenimiento.

Este subsistema esta compuesto del OMC (*Operation and Maintenance Center*), NMC (*Network Management Center*), AuC (*Autentication Center*) y el EIR (*Equipment Identity Register*).

- ***OMC (Operation and Maintenance Center)***

Constituye una parte primordial dentro del subsistema de operación y mantenimiento. Está relacionado con las funcionalidades de administración de elementos que cumplen tareas de *billing* y que permiten gestionar la tarificación.

- ***NMC (Network Management Center)***

Esta relacionado con las funciones de administración de toda la red.

- ***AuC (Authentication Center)***

Gestiona los datos de seguridad y autenticación de los usuarios, y de la protección de la llamada. El AuC selecciona un número aleatorio (*Rand*), con una clave (*Ki*) y un algoritmo (*A3*), elabora una firma o respuesta firmada denominada SRES y mediante un algoritmo A8 elabora una clave de cifrado (*Kc*)<sup>18</sup>. Esta tripleta de valores [*Rand*, *SRES*, *Kc*] es específica para cada MS, y sólo es utilizada una vez en cada comunicación, luego son destruidos. El IMSI, RAND, SRES, Ki y Kc son almacenados en este centro.

- ***EIR (Equipment Identity Register)***

Es una base de datos que se encarga del registro de identificación de equipos mediante el IMEI. El EIR es usado para listar las identidades de los equipos de los suscriptores autorizados. Su función consiste en evitar que se utilicen equipos móviles robados y no autorizados en la red. La identificación es necesaria en cada intento de llamada.

## **1.4 SMS (*SHORT MESSAGE SERVICE*)**

El servicio de mensajería corta consiste en el intercambio de mensajes de texto que pueden incluir letras, números y otros caracteres a través de la red GSM. Los mensajes pueden ser recibidos en cualquier momento incluso durante llamadas telefónicas o transmisión de datos. Cada mensaje puede tener hasta 160 caracteres cuando se usa el alfabeto latino, y 70 caracteres si se usa otro alfabeto como el árabe o el chino. En los últimos años el volumen de SMS se ha incrementado significativamente.

### **1.4.1 CARACTERÍSTICAS**

El servicio de mensajería corta utiliza los canales de señalización SACCH(*Slow Associated Control Channel*) y SDCCH (*Slow Dedicated Control Channel*). El

---

<sup>18</sup> MSc. Soraya Sinche/ Folleto de Comunicaciones Inalámbricas/ GSM, Pag. 221

SACCH es usado durante el transcurso de una llamada y el SDCCH es usado si el receptor está libre. Las características generales de SMS son:

- **Concatenación**

Se pueden concatenar algunos SMS estándar para formar un mensaje largo. Se pueden concatenar hasta 255 mensajes. Cuando esta característica es usada se debe incluir información adicional para que la aplicación puede reensamblar correctamente los mensajes cortos concatenados.

Existe una versión mejorada que también permite concatenar hasta 255 mensajes pero utiliza un campo de referencia de 16 bits en vez de 8 bits que utiliza la versión normal. El campo de referencia de 16 bits reduce la probabilidad de errores en el proceso de concatenación.<sup>19</sup>

- **Compresión**

Permite comprimir los datos de usuario del mensaje. Esta característica es opcional, y se basa en un algoritmo donde la longitud de la secuencia de salida es inversamente proporcional a la frecuencia con que el carácter ocurre en la secuencia de entrada.<sup>20</sup>

- **Mensajería binaria**

El SMS puede ser configurado en modo carácter o binario. El modo binario permite mejorar la eficiencia de los datos transmitidos.

- **Facturación**

Cada mensaje tiene una referencia de facturación asociada, ésta le dice al sistema de facturación la tarifa que se le debe cargar al mensaje.

---

<sup>19</sup> 3GPP TS 23.040 V6.5.0, Pag. 73

<sup>20</sup> 3G TS 23.042 V3.1.0 Pag. 9



- **Soporte de diferentes alfabetos**

Se pueden utilizar dos alfabetos: UCS2 y Alfabeto por defecto GSM de 7 bits. El UCS2 (*Universal Multiple Octet Coded Character Set 2*) incorpora todos los principales lenguajes de todo el mundo. El alfabeto por defecto de 7 bits se deriva del conjunto de caracteres ASCII. También se puede utilizar un alfabeto GSM de 8 bits para datos en modo binario.

## 1.4.2 ARQUITECTURA

La figura 1.6 muestra la estructura básica de la red para soporte de SMS.



Figura 1.6 Estructura de la red SMS <sup>21</sup>

### 1.4.2.1 SME (*Short Messaging Entity*)

Entidad que puede ser un teléfono móvil, un computador o cualquier otro dispositivo capaz de enviar y recibir mensajes cortos en formato SMS.

### 1.4.2.2 MSC (*Mobile Switching Center*)

Realiza funciones de conmutación. Recibe y transfiere los SMS, además puede suministrar información sobre errores en la transferencia de los mensajes de texto.

### 1.4.2.3 SMSC (*Short Message Service Center*)

Es un centro de almacenamiento y retransmisión, responsable de garantizar la entrega de los mensajes de texto a través de la red. Puede ser parte integrante del MSC o una entidad de red independiente.

Almacena los mensajes hasta que el destino se encuentre disponible y luego los retransmite. Los SMS no pueden enviarse directamente entre SME's sin pasar por

<sup>21</sup> 3GPP TS 23.040 V6.5.0 Pag. 29

este centro. Además el SMSC intercambia con la red mensajes de confirmación de recepción/ envío de los mensajes cortos.

#### 1.4.2.4 SMS-GMSC(*SMS Gateway Mobile Switching Center*)

Es un MSC capaz de recibir SMS desde un SMSC. El SMS-GMSC interroga al HLR sobre la información de encaminamiento, localiza la MSC actual del receptor y le entrega el SMS para ser enviado al SME destino.

#### 1.4.2.5 SMS-IWMSC(*SMS inter-working Gateway Mobile Switching Center*)

Es un MSC capaz de recibir un mensaje corto de la red móvil y enviarlo hacia el SMSC apropiado. El SMS-GMSC y SMS-IWMSC están normalmente integrados en el SMSC.

### 1.4.3 MODELO DE CAPAS

El *stack* de protocolos SMS está compuesto de cuatro capas: Aplicación, Transferencia, Retransmisión y Enlace.<sup>22</sup>

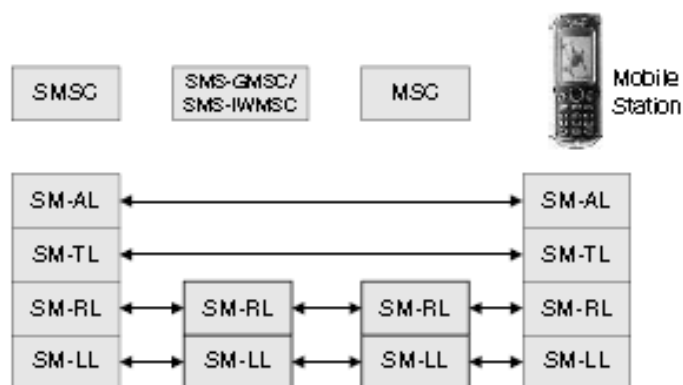


Figura 1.7 Stack de protocolos SMS<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Gwenael Le Bodic, *Mobile Messaging Technologies And Services Sms, Ems And Mms*, Wiley, India, 2005. Pag. 57

<sup>23</sup> Gwenael Le Bodic, *Mobile Messaging Technologies And Services Sms, Ems And Mms*, Wiley, India, 2005. Pag. 58

#### **1.4.3.1 Capa Aplicación**

Consiste en las aplicaciones (editor de mensajes, juegos, etc) implementadas en el SME para enviar, recibir e interpretar el contenido de los mensajes. Esta capa es también conocida como SM AL (*Short Message Application Layer*).

#### **1.4.3.2 Capa Transferencia**

En esta capa el mensaje es considerado como una secuencia de octetos que contiene información como la longitud del mensaje, creador y destinatario del mensaje, fecha de recepción, etc. Esta capa es también conocida como SM TL (*Short Message Transfer Layer*).

#### **1.4.3.3 Capa Retransmisión**

Permite el transporte de mensajes entre varios elementos de red. Un elemento de red puede almacenar temporalmente un mensaje si el siguiente elemento en la cadena no está disponible para recibir el mismo. Esta capa es también conocida como SM RL (*Short Message Relay Layer*).

#### **1.4.3.4 Capa Enlace**

Realiza la transmisión del flujo de bits del mensaje a través del medio físico, entre las entidades de la red SMS. Esta capa es también conocida como SM LL (*Short Message Link Layer*).

#### **1.4.3.5 Tipos de transacciones SME-SMSC**

El conjunto de transacciones que pueden ocurrir entre el SMSC y la SME son:

- ***SMS-SUBMIT***

Corresponde a la transferencia de un mensaje originado en el SME hacia SMSC.

- ***SMS-SUBMIT-REPORT***  
Consiste en el acuse enviado por el SMSC como respuesta de la transacción *SMS-SUBMIT*.
- ***SMS-DELIVER***  
Corresponde a la transferencia de un mensaje destinado al SME desde el SMSC.
- ***SMS-DELIVER-REPORT***  
Consiste en el acuse enviado por el SME como respuesta de la transacción *SMS-DELIVER*.
- ***SMS-STATUS-REPORT***  
Se da cuando el SMSC envía un reporte de estado de un SMS al SME.
- ***SMS-COMMAND***  
Se utiliza cuando el SME requiere ejecutar un comando en el SMSC.

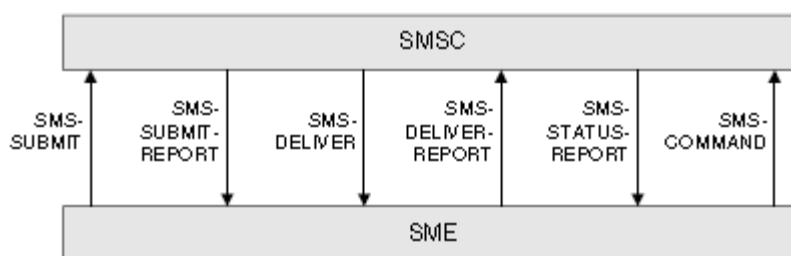


Figura 1.8 Tipos de transacciones <sup>24</sup>

#### 1.4.3.6 Elementos del SMS

El SMS para la recepción y transferencia de mensajes comprende siete elementos que son:

<sup>24</sup> Gwenaél Le Bodic, Mobile Messaging Technologies And Services Sms, Ems And Mms, Wiley, India, 2005. Pag. 61

- ***Validity Period***

Período durante el cual puede estar almacenado un SMS en el SMSC mientras no pueda ser entregado a su destino, si se supera este tiempo el mensaje es eliminado.

- ***Service Centre Time Stamp***

Elemento que informa el tiempo al que el SMSC recibió el SMS para ser entregado al SME.

- ***Protocol Identifier***

Este elemento indica la forma en la que la aplicación receptora maneja los mensajes entrantes.

- ***More Messages to Send***

Elemento que le permite al SMSC informarle al SME que más mensajes están esperando para ser entregados. Utiliza un parámetro booleano para indicar si hay más mensajes para enviar.

- ***Priority***

Elemento provisto por el SMSC o SME que indica la importancia relativa de un mensaje.

- ***Messages Waiting***

Cuando un mensaje no puede ser entregado porque el SME no está disponible, permite indicar al HLR que notifique al SMSC cuando ya esté accesible el SME para realizar la entrega del mensaje.

- ***Alert SMSC***

Permite avisar al SMSC de que un SME al que se le había intentado entregar un mensaje sin éxito ya está disponible.

#### 1.4.4 TIPOS DE SMS

Los SMS pueden clasificarse según el número de destinatarios en: mensajes punto a punto y punto multipunto.

##### 1.4.4.1 Punto a punto

En este tipo de mensajes el destinatario es único y se pueden clasificar según la dirección de envío en: *Mobile Originated* y *Mobile Terminated*.

##### 1.4.4.1.1 MO (*Mobile Originated*)

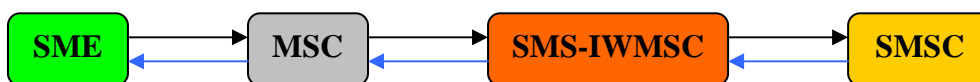


Figura 1.9 *Mobile Originated* (MO) <sup>25</sup>

Son los mensajes que se originan en el SME. El mensaje es transportado desde el SME hasta el SMSC (*SMS-SUBMIT*), el destino puede ser otro usuario móvil o una aplicación. Se puede configurar el SME para que el SMSC envíe un reporte de confirmación del mensaje recibido (*SMS-SUBMIT-REPORT*).

El mensaje puede ser enviado a un número corto (Ej. 5039), que previamente ha sido contratado a las operadoras móviles por parte de las empresas que prestan servicios utilizando SMS. Este tipo de mensajes son los que se emplean para participación en concursos, votaciones, petición de alertas o de recepción de información en el móvil

##### 1.4.4.1.2 MT (*Mobile Terminated*)

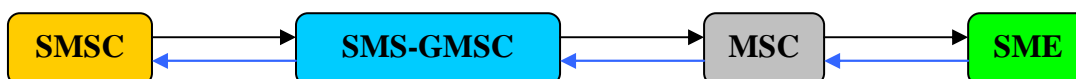


Figura 1.10 *Mobile terminated* (MT) <sup>26</sup>

<sup>25</sup> 3GPP TS 23.040 V6.5.0 Pag. 115

<sup>26</sup> 3GPP TS 23.040 V6.5.0 Pag. 103

Son los mensajes que se envían a un SME. El mensaje es enviado desde el SMSC hasta el terminal móvil (*SMS-DELIVER*), la fuente puede ser otro usuario móvil o una aplicación. Una vez que el mensaje llega al terminal móvil un reporte confirma al SMSC que la entrega fue completada (*SMS-DELIVER-REPORT*).

#### **1.4.4.2 Punto multipunto**

En este tipo, el mensaje es enviado a un conjunto de usuarios. A este tipo corresponde *Cell broadcast*.

*Cell Broadcast* permite el envío simultáneo de mensajes de hasta 93 bytes a múltiples usuarios en un área geográfica específica. El destino del mensaje está descrito en términos de identificadores de celda utilizados por la BSC para enrutar el contenido del mensaje a los usuarios de la BTS.

#### **1.4.5 APLICACIONES**

Las principales aplicaciones basadas en SMS son:

- **Mensajes de persona a persona**

Los usuarios de telefonía móvil utilizan comúnmente el servicio de mensajería corto para comunicarse con otro usuario móvil de su misma operadora e incluso de una operadora diferente.

- **Alertas de E-mail**

Los SMS permiten notificar al usuario que tiene un nuevo e-mail. Este mensaje usualmente contiene la dirección de quien envía, el título y unas pocas palabras del inicio de E-mail.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> Gwenaél Le Bodic, *Mobile Messaging Technologies And Services Sms, Ems And Mms*, Wiley, India, 2005. Pag. 49

- **Servicios de notificación**

Permite el envío de mensajes a ciertos usuarios que constan en una base de datos específica tales como: clientes de compañías de televisión, clubs deportivos, supermercados y otros minoristas, aerolíneas y bancos. Estos mensajes pueden ser publicitarios, o de notificación entre otros.

- **Servicios de información**

Permite enviar al terminal móvil mensajes con pequeños contenidos de información periódica, de un amplio rango como reporte del clima, reportes financieros, información deportiva.

- **Servicios de localización**

Aplicado a la localización de vehículos, integra un sistema de posicionamiento global (GPS). Los datos de longitud y latitud son transferidos a un terminal móvil. El terminal por medio de un SMS envía estos datos a un servidor donde se procesan para indicar la localización actual del vehículo en un mapa geográfico.

- **Supervisión Remota**

El servicio de mensajería corta puede usarse para gestionar máquinas en ambientes de supervisión remota. Esta aplicación proporciona valiosa información sobre el estado o el suceso de algún evento ocurrido sobre la máquina, que el usuario precisa saber.

- **Comercio electrónico**

Se pueden llevar a cabo transacciones financieras a través del terminal móvil, para las cuales será necesario tener convenios con algunas instituciones bancarias.



## **1.5 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

Es la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones; tales que sean nocivos para la salud de la población, vida vegetal y animal.

Los principales tipos de contaminación son los que afectan a los recursos naturales básicos como el aire, el suelo o el agua.

### **1.5.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

Consiste en la presencia en la atmósfera de sustancias producidas por actividades humanas o procesos naturales que causan efectos adversos al hombre y medio ambiente.

Los contaminantes atmosféricos más frecuentes y ampliamente dispersos son: el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el ozono, el dióxido de carbono o las partículas en suspensión. El nivel suele expresarse en términos de concentración atmosférica (microgramos de contaminantes por metro cúbico de aire) o, en el caso de los gases, en partes por millón, es decir, el número de moléculas de contaminantes por millón de moléculas de aire.

Bajo determinadas circunstancias, algunas sustancias químicas que se hallan en el aire contaminado pueden producir cáncer, malformaciones congénitas, daños cerebrales y trastornos del sistema nervioso, así como lesiones pulmonares y de vías respiratorias. A determinado nivel de concentración y después de cierto tiempo de exposición, ciertos contaminantes del aire son sumamente peligrosos y pueden causar serios trastornos e incluso la muerte.

#### **1.5.1.1 Fuentes de contaminación del aire**

Son las que emiten los gases y partículas contaminantes a la atmósfera. Entre estas fuentes se tiene: industrias, fábricas, plantas de producción de energía, vehículos, hogares, entre otros.

Estas fuentes pueden ser puntuales como una chimenea o afectar a una región a través de una serie de fuentes pequeñas.

Las fuentes de contaminación se pueden clasificar en: móviles y estacionarias.

#### **1.5.1.1.1 Fuentes Móviles**

Estas fuentes corresponden a los automóviles, autobuses, locomotoras, camiones y aviones.

La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, debido a la combustión de gasolina y diesel que produce grandes cantidades de monóxido de carbono y menores cantidades de óxidos de nitrógeno. Las emisiones de los automóviles también contienen plomo y algunos contaminantes peligrosos. Debido al creciente número de vehículos, estos siguen siendo la principal fuente móvil de contaminación del aire.

#### **1.5.1.1.2 Fuentes Estacionarias**

Existen cientos de miles de fuentes estacionarias de contaminación del aire, incluidas las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo, fábricas, hogares. Las fuentes estacionarias producen una amplia variedad de contaminantes del aire.

Una de las principales fuentes estacionarias de contaminación es la industria. Las principales actividades contaminantes que realiza son: quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, diesel, gasolina) para realizar los diferentes procesos, emisión de productos o desechos químicos volátiles (ácidos, solventes, catalizadores) y la modificación de las condiciones ambientales (calor y liberación de partículas inertes que modifican la visibilidad y la penetración de la luz).

Aunque la contaminación producida en los hogares en proporción pudiera parecer menor, comparada con la industria, también contribuye mediante la quema

incompleta de gas en la calefacción o cocción de alimentos, la incineración de basura o, el uso de insecticidas.

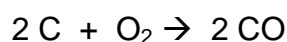
### 1.5.1.2 Principales gases contaminantes

Los gases más comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos son:

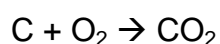
- Monóxido de Carbono(CO)
- Dióxido de Carbono(CO<sub>2</sub>)
- Óxido de Azufre
- Óxido de Nitrógeno

#### 1.5.1.2.1 Monóxido de Carbono(CO)<sup>28</sup>

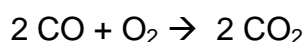
El monóxido de carbono (CO) es un gas no irritante, incoloro, inodoro, insípido y tóxico, que se produce por la combustión de materia orgánica como la madera, el carbón o el petróleo, en una atmósfera con insuficiencia de oxígeno; donde ocurre la siguiente reacción:



Si la combustión del carbono se hace en una atmósfera con oxígeno se produce el dióxido de carbono:



y por oxidación del monóxido de carbono:



El CO tiene como fuente natural (en una baja proporción): gases volcánicos, gases emanados de los pantanos y de las minas de carbón, las tormentas eléctricas, la fotodisociación del CO<sub>2</sub> en la atmósfera superior, los incendios, así como el metabolismo de plantas y animales acuáticos y terrestres.

El CO posee una concentración promedio en la atmósfera de 0.1 ppm. La mayor fuente de producción de CO es el motor de combustión interna (cuya

---

<sup>28</sup> [http://www.nl.gob.mx/?P=med\\_amb\\_mej\\_amb\\_sima\\_cont](http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_cont) Nuevo León/México

concentración puede alcanzar hasta 115 ppm en sectores con alto tráfico vehicular).

“El CO debe su toxicidad en los seres humanos a su capacidad para combinarse con la hemoglobina produciendo la carboxihemoglobina (COHb), la cual no puede transportar el oxígeno porque la COHb y el O<sub>2</sub> compiten por el mismo grupo funcional de la hemoglobina. Sin embargo, el CO se combina unas 10 veces menos que el oxígeno con la hemoglobina y se disocia unas 2200 veces menos que el oxígeno de la hemoglobina, lo que significa que la afinidad química de la hemoglobina por el CO es 220 veces mayor que el oxígeno.”<sup>29</sup>

El grado de toxicidad del CO depende de la concentración y del tiempo de exposición del individuo. Los daños que ocasionan pueden ser desde ligeros malestares hasta la muerte.

NIVEL (ppm)	EFEECTO FISIOLÓGICO
200 por 3 horas ó 600 por 1 hora	Dolor de cabeza
500 por 1 hora ó 1 000 por 30 minutos	Mareos, zumbido de oídos, náuseas, palpitaciones, embotamiento
1 500 por una hora	Sumamente peligroso para la vida
4 000	Colapso, inconsciencia, muerte

Tabla 1.1 Nivel de CO respecto al efecto físico<sup>30</sup>

El envenenamiento por CO puede agravarse por la acción de factores como:

- El humo de cigarro
- La realización de ejercicio físico
- La exposición en sitios localizados a más de 1 500 m sobre el nivel del mar
- La presencia de enfermedades cardiorrespiratorias

<sup>29</sup> [http://www.nl.gob.mx/?P=med\\_amb\\_mej\\_amb\\_sima\\_cont](http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_cont) Nuevo León/México

<sup>30</sup> [http://www.nl.gob.mx/?P=med\\_amb\\_mej\\_amb\\_sima\\_cont](http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_cont) Nuevo León/México

### 1.5.1.2.2 *Dióxido de Carbono(CO<sub>2</sub>)*

El dióxido de carbono CO<sub>2</sub> constituye el enlace indispensable que une al Sol con la Tierra, que permite que la energía luminosa se incorpore a los sistemas vivientes. A partir de la energía solar y con la intervención de moléculas como la clorofila y el agua participa en el proceso de la fotosíntesis en las plantas.

La energía contenida en los alimentos puede ser aprovechada dentro de la célula de la misma planta o de cualquier otro organismo, mediante procesos de oxidación que permiten quemar esos compuestos a través del proceso de respiración y así, el CO<sub>2</sub> regresa a la atmósfera.

Buena parte del ciclo del carbono tiene lugar en el agua, donde enormes cantidades de organismos acuáticos fotosintéticos lo fijan en moléculas orgánicas, mientras que otros lo liberan mediante la respiración. El dióxido de carbono liberado pasa a formar compuestos como los carbonatos. Mucho de estos carbonatos se encuentran sobre el fondo marino "arrastrados" por los organismos que mueren y caen a las profundidades.

El ciclo natural del carbono se ha alterado considerablemente como producto de la contaminación ambiental; la velocidad con la que las plantas pueden utilizarlo en la fotosíntesis no es suficiente como para evitar que este gas se acumule en la atmósfera.

El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando se mantenga dentro de un rango determinado. Sin dióxido de carbono, la Tierra sería un bloque de hielo. Por otro lado, un exceso de dióxido de carbono acentúa el fenómeno conocido como efecto invernadero, reduciendo la emisión de calor al espacio y provocando un mayor calentamiento del planeta.

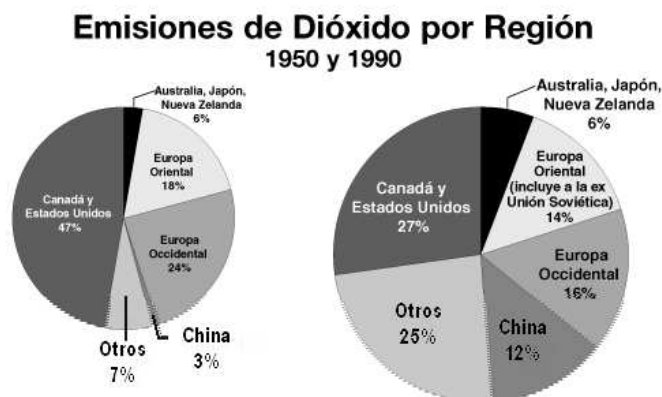


Figura 1.11 Emisiones de CO<sub>2</sub> por Región<sup>31</sup>

La emisión de dióxido de carbono se ha incrementado en todo el mundo y sus efectos probablemente tienen que ver con el calentamiento global que muchos investigadores afirman que está ocurriendo.

#### 1.5.1.2.3 Óxidos de Azufre

El desarrollo correspondiente a la metalurgia y el incremento en la producción de automóviles de combustión interna generan contaminantes peligrosos tales como: óxidos de azufre que mediante otras reacciones químicas se transforman en ácido sulfúrico, óxidos de nitrógeno que se transforman en ácido nítrico, además de aldehídos, ácido sulfhídrico, ácido fluorhídrico, arsénico y algunos derivados de metales como el plomo, el zinc, el mercurio, el cadmio y el cobre.

En 1952, en Londres, Inglaterra, el *smog*<sup>32</sup> con óxidos de azufre y partículas de hollín estuvo muy concentrado, y debido a las condiciones estáticas de la atmósfera (inversión térmica) en 5 días provocó la muerte de alrededor de 4000 personas.

<sup>31</sup> <http://www.sagan-gea.org/hojared/Hoja14.htm>

<sup>32</sup> La palabra smog se deriva del inglés smog (humo) y fog (niebla) y se refiere a un tipo de contaminación visible, que es una mezcla de humos (y otros productos de la combustión del carbón o del petróleo que contienen azufre) con el vapor de agua del aire.

El  $\text{SO}_2$ , dentro del conjunto de los gases  $\text{SO}_x$ , se produce, principalmente de la combustión de compuestos que contienen azufre y durante ciertos procesos industriales como en la producción de acero.

Este gas incoloro y con sabor ácido-picante, es percibido por el olfato en concentraciones de 3 ppm (0.003%) a 5 ppm (0.005%). Cuando se encuentra en niveles de 1 a 10 ppm induce al aumento de la frecuencia respiratoria y el pulso.

Cuando alcanza las 20 ppm produce una fuerte irritación en ojos, nariz, garganta, incrementa la crisis asmática y recrudece las alergias respiratorias. Si la concentración y el tiempo de exposición aumentan, se producen afecciones respiratorias severas. Una exposición a 400 - 500 ppm, aunque sea corta, puede resultar fatal para el organismo al producir y agravar ciertos padecimientos cardiovasculares.

#### **1.5.1.2.4 Óxidos de Nitrógeno**

El  $\text{NO}_2$  puede irritar los pulmones y predispone al organismo para contraer diferentes infecciones respiratorias, como gripe e influenza.

Puede permanecer en el medio hasta 3 años. El nitrógeno no reacciona fácilmente con el oxígeno (por eso el aire se mantiene como una mezcla de nitrógeno y oxígeno, principalmente) pero en condiciones favorables reaccionan produciendo los óxidos de nitrógeno que se representan como  $\text{NO}_x$  y son el óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ , gas café rojizo).

#### **1.5.1.3 Medición de gases de contaminación ambiental**

La medición de gases contaminantes consiste en la determinación de la concentración de cada uno de ellos en la atmósfera. La concentración consiste en la cantidad de un elemento o compuesto por unidad de volumen. Para expresar concentraciones en gases se utilizan las unidades ppm (partes por millón) y  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Una parte por millón (ppm) consiste en 1 parte en 1000000 de partes en volumen. El  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  relaciona la masa y el volumen de un gas. La equivalencia entre ppm y  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  es la siguiente:

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

V: Volumen de un gas<sup>33</sup>  
 n: número de moles  
 R: constante de Reynolds(0.082l.atm/°K.mol)  
 P: presión atmosférica

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{\text{ppm} * \text{PM} * 10^3}{V} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ : Equivalencia entre  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y ppm<sup>34</sup>  
 PM: peso molecular  
 V: volumen

#### 1.5.1.3.1 *Métodos para la medición de gases*

Existen algunos métodos de medición de gases de contaminación ambiental siendo los más comunes los métodos activos, pasivos y continuos.

Los métodos pasivos dejan acumular los contaminantes durante un cierto período y luego determinan la contaminación promedio durante dicho período. Los métodos activos se caracterizan por la succión de aire a través de una bomba de flujo constante por un período de tiempo. Los métodos continuos permiten mediciones de forma programable que puede variar desde minutos hasta horas.

Los principales métodos pasivos utilizados son:

- **Método de Palmes**

No requieren energía eléctrica para su utilización. Utiliza dispositivos en forma de tubos, los cuales colectan las moléculas del contaminante a investigar hacia un medio absorbente.

<sup>33</sup> [www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/anexos.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/anexos.pdf)

<sup>34</sup> [www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/anexos.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/anexos.pdf)





Figura 1.12 Tubos pasivos para NO<sub>2</sub> (color blanco) y para O<sub>3</sub> (color azul)<sup>35</sup>

- **Tubos Dräger**

Mediante una bomba de vacío se inyecta una muestra de aire al interior del tubo luego de lo que la muestra reacciona con los componentes del tubo indicando la concentración de éste gas.

Uno de los métodos activos que se utiliza es el *Impinger*. Este método necesita una bomba de succión capaz de mantener un flujo constante de aire durante por lo menos 30 minutos a través de un tubo de vidrio. La bomba mantiene el flujo de aire que pasa a través de una solución absorbente, donde el gas queda registrado.

Los métodos continuos se basan en analizadores automáticos que poseen sensores que permiten la medición continua de las muestras. Estos analizadores automáticos permiten el envío de la información a través de un sistema de comunicación hacia una central de monitoreo. La central se encarga de juntar y procesar la información obtenida.

#### 1.5.1.3.2 Tipos de sensores

Los tipos de sensores más utilizados como analizadores automáticos son:

- **Sensores Catalíticos**

Este sensor se compone de una célula que es recorrida por el gas analizado. Posee un filamento de platino el cual se calienta eléctricamente.

<sup>35</sup> [www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/cap4.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/cap4.pdf)

Cuando una mezcla de aire y gas inflamable se pone en contacto con la superficie, calienta el catalizador y se produce una combustión. Aumenta la temperatura de sus elementos, lo cual produce una alteración en la resistencia del filamento de platino que puede ser medido en un circuito estándar tipo puente.

- **Sensores Infrarrojos**

Detectan las bandas en la región infrarroja del espectro. Poseen un tiempo de respuesta inferior en un rango de dos a tres segundos. Se basan en un microprocesador. Los detectores infrarrojos comparan la intensidad obtenida al pasar el rayo IR y su reflejo con la fuerza de la señal de los gases de referencia y patrón para dar una medida de la concentración del gas.

Su principio de operación se basa en que los átomos de las moléculas del gas absorben la energía producida por la fuente infrarroja aumentando su temperatura. Este cambio de temperatura se mide como la concentración del gas.

Entre sus características principales se tiene que:

- Es robusto, al no estar expuestos directamente al gas no se queman ni se saturan.
- No son propensos a fallas.
- Son muy utilizados en aplicaciones de altas concentraciones de hidrocarburos.

- **Sensores de electrolito sólido**

Estos sensores están compuestos de óxidos metálicos de metales de transición. Estos óxidos están preparados y procesados en una pasta usada para formar un sensor en forma de burbuja. Un calefactor se inserta en el sensor para mantenerlo a una temperatura óptima para la detección del gas. Este óxido causa una disociación del gas en iones cargados,

resultando en una transferencia de electrones. La medida se obtiene de los cambios de conductividad en forma de una señal eléctrica.

Sus características principales son:

- Versátiles, ya que se pueden obtener diferentes tipos de respuestas en función de los materiales que componen los óxidos metálicos.
- Se utilizan para una gran cantidad de gases a diferentes rangos.
- Son de bajo costo.
- Llegan a tener expectativas de vida entre 10 y 25 años de trabajo continuo.

- **Sensores Resistivos**

Responde a la variación de la conductividad eléctrica de un sólido semiconductor debido a la absorción del gas sobre su superficie. La respuesta eléctrica del semiconductor se modifica según sea el ambiente gaseoso al que esta expuesto.

- **Sensor Piezo-eléctrico**

El funcionamiento de este sensor se basa en que la frecuencia de vibración de un cristal de cuarzo disminuye cuando una especie se absorbe sobre la superficie. Es usado principalmente en la detección de pesticidas.

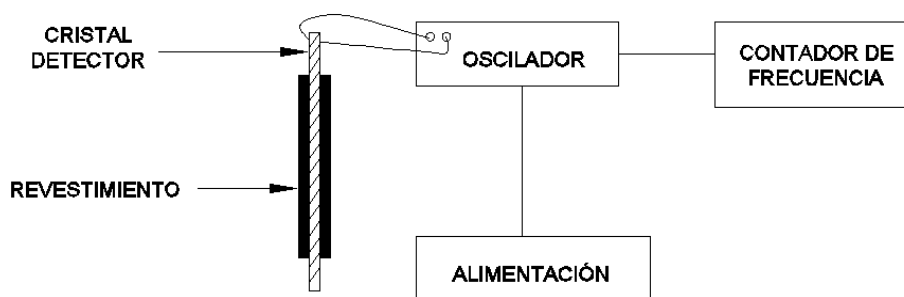


Figura 1.13 Sensor de Cuarzo piezoeléctrico<sup>36</sup>

<sup>36</sup> <http://www.ucm.es/BUCEM/tesis/19911996/X/0/X0008401.pdf> Pag. 14

- **Sensores Electroquímicos**

Estos sensores se basan en un electrodo sensor-cátodo, y un contra-electrodo-ánodo, separados por una delgada capa de electrolito. Se genera una reacción de óxido-reducción producida por el gas que entra en contacto con la superficie del electrodo sensor. Los materiales del electrodo catalizan la reacción y se genera una corriente proporcional a la concentración del gas.

Poseen un bajo consumo de energía, permiten el uso de baterías, buena sensibilidad, presentan buena selectividad a los gases objetivos, poseen una expectativa de vida de uno a tres años pero en determinados casos esta puede bajar al rango de horas.

- **Estructuras Semiconductoras GasFET**

Se basan en el funcionamiento de los MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), en los que un terminal es sensible al gas deseado. También dentro de esta familia se encuentran los dispositivos CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) en los que la concentración del gas hace variar de forma proporcional la capacidad del elemento.

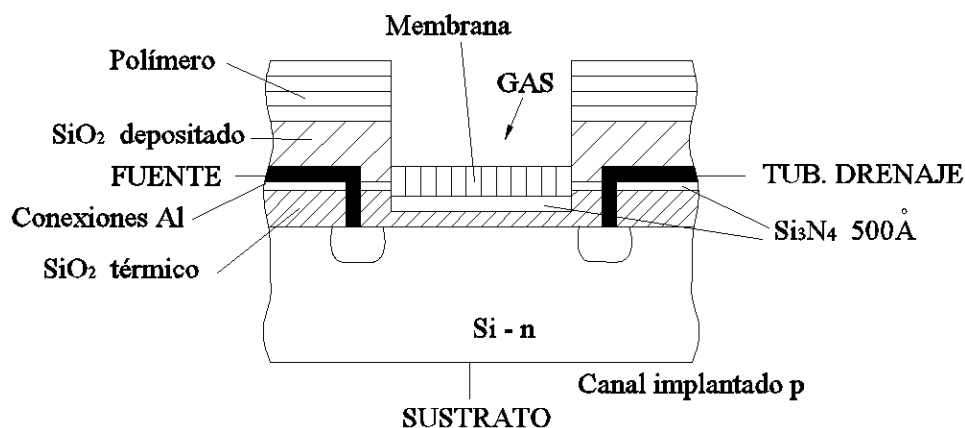


Figura 1.14 Estructura Semiconductor Gasfet <sup>37</sup>

<sup>37</sup> <http://www.ucm.es/BUCM/tesis/19911996/X/0/X0008401.pdf> Pag. 18

## 2 CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL PROTOTIPO

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO

Actualmente dentro del mercado ecuatoriano no existe un sistema de monitoreo automático de contaminantes atmosféricos que nos permita llevar un registro de este tipo de gases. Como solución a este problema, se plantea el siguiente esquema de tres bloques que son: adquisición de datos, envío y recepción, y, aplicación en la estación central.

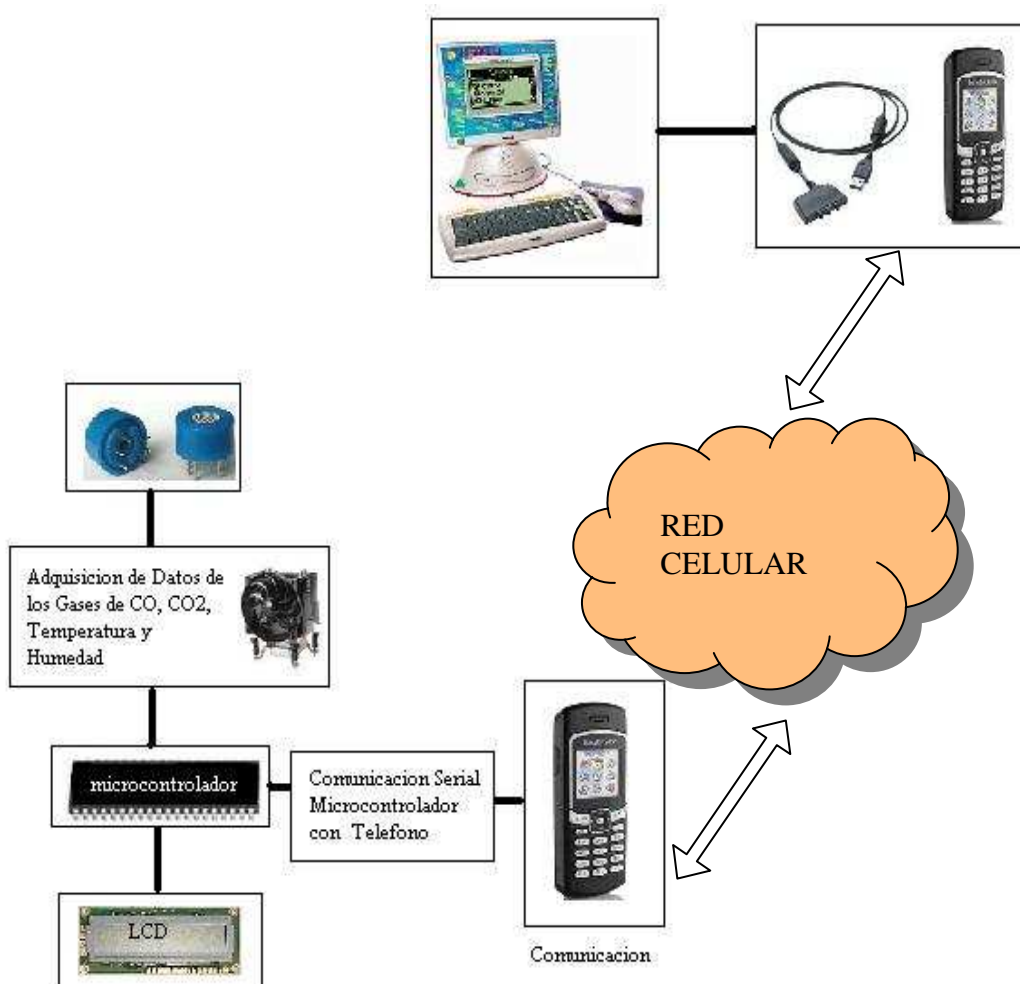


Figura 2.1 Diagrama de Bloques del Sistema

### **2.1.1 BLOQUE DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Este bloque se encargará de la recolección de datos. Está compuesto por los sensores que serán los encargados de tomar las medidas y luego de enviar esta información al microcontrolador para su procesamiento y posterior envío.

Los sensores a utilizarse son de cuatro tipos: de monóxido de carbono, de dióxido de carbono, de temperatura, y de humedad.

Tres de ellos emiten una señal de respuesta analógica por lo que es necesario el uso de conversores analógico-digitales para su interconexión con el microcontrolador. En el caso del sensor digital de temperatura no será necesaria la conversión A/D.

### **2.1.2 BLOQUE DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS**

Los datos obtenidos del bloque de adquisición son trasladados por medio de los mensajes SMS a la estación central utilizando un dispositivo celular para este propósito. Este bloque transmite y recibe los mensajes de configuración y de información tanto del dispositivo remoto como del equipo central.

### **2.1.3 BLOQUE DE APLICACIÓN**

Los datos que se toman de los sensores, serán enviados a la estación central para su procesamiento. Una interfaz gráfica presentará los datos obtenidos para la interpretación del usuario.

## **2.2 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR**

Dentro del mercado existe gran cantidad de microcontroladores con diferentes arquitecturas. Se pueden clasificar dependiendo del número de bits destinados al direccionamiento de la memoria en: 8,16 y 32 bits.

Los microcontroladores de 16 y 32 bits son los de mayor rendimiento con la desventaja de ser más caros. La mayoría de aplicaciones se desarrollan con microcontroladores de 8 bits, siendo estos los más populares.

### **2.2.1 CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DEL MICROCONTROLADOR**

Las principales características necesarias para la selección del microcontrolador son: disponibilidad de puertos, conversores analógico-digitales, velocidad de procesamiento, disponibilidad de herramientas de programación, y memoria.

#### **2.2.1.1 Disponibilidad de puertos**

De acuerdo al diagrama de bloques de la figura 2.1 se puede observar la necesidad de conexión de varios elementos: un LCD, 3 sensores, un ventilador, y comunicación con un teléfono. Por esta razón es importante tener disponible el suficiente número de pines y puertos para comunicación de entrada y salida en el sistema microprocesado.

#### **2.2.1.2 Conversores Analógico-Digitales**

Debido a que se utilizarán sensores analógicos es necesario que el microcontrolador a seleccionar posea esta capacidad con lo que el prototipo no aumentará de tamaño al adicionar conversores externos.

#### **2.2.1.3 Velocidad de procesamiento**

El prototipo tomará datos de cuatro sensores y controlará la transmisión de los datos por lo que se necesitará reducir los retardos en el proceso.

#### **2.2.1.4 Disponibilidad de herramientas de Programación**

Deben existir herramientas de programación que permitan la utilización de todas las capacidades del microcontrolador. Existen algunos programas que lo permiten como MIKRO C para PICs, BASCOM para microcontroladores ATMEL entre otros.

### 2.2.1.5 Memoria

Los microcontroladores poseen varios tipos de memoria. Una para guardar las instrucciones de manejo del microcontrolador, y otra para guardar variables y datos de trabajo (RAM).

## 2.2.2 MICROCONTROLADORES DISPONIBLES

Los principales microcontroladores utilizados para el desarrollo de aplicaciones electrónicas son: AT89C51, PIC 16F877A, ATMEGA16.

### AT89C51

- 4 KBytes de memoria *Flash*.
- 128 Bytes de memoria RAM interna.
- 2 temporizadores/contadores de 16 bits.
- Canales seriales de programación.
- 6 fuentes de interrupciones.
- Reloj externo.
- No posee conversores A/D internos.

### PIC 16F877A

- 14 KBytes de memoria *Flash*.
- 368 bytes de RAM interna.
- 2 Canales PWM de 10 bits.
- 256 bytes de memoria EEPROM.
- 33 líneas de líneas I/O programables.
- 8 canales ADC de bits.
- 2 temporizador/contador de 8 bits.
- 1 temporizador/contador de 16 bits.



## ATMEGA16

- Alto rendimiento
- Hasta 16MIPS (Millones de instrucciones por segundo)
- 16 KBytes de Memoria *Flash*. Resistencia: 10000 Ciclos escritura/ borrado
- 512 Bytes de memoria EEPROM. Resistencia: 100000 ciclos escritura/ borrado
- 1K Byte de SRAM interna
- 2 temporizadores/contadores de 8 bits
- 1 temporizador/contador de 16 bits
- 4 canales PWM
- 8 canales ADC de 10 bits
- Interface serial *TWI(Two Wire interface)*
- USART serial programable
- Interfaz serial *SPI(Serial Peripheral Interface)*, Maestro/esclavo
- Comparador analógico integrado
- Oscilador RC interno calibrado
- Fuentes de interrupción externas e internas
- 32 líneas I/O programables

Tomando en cuenta las características de los microcontroladores antes descritos se tomó la decisión de elegir el ATMEGA16 por las ventajas que este ofrece para el presente proyecto.

### 2.2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ATMEGA16

El ATMEGA -16 es un microcontrolador parte de la familia AVR de Atmel. Ejecuta una instrucción por ciclo de reloj, por lo que puede alcanzar hasta 16 MIPS(millones de instrucciones por segundo) con un oscilador de 16MHz. Posee cuatro puertos I/O bidireccionales y multifunción con resistores *pull-up* internos configurables. Además estos puertos pueden realizar funciones adicionales.

### 2.2.3.1 Descripción de Pines

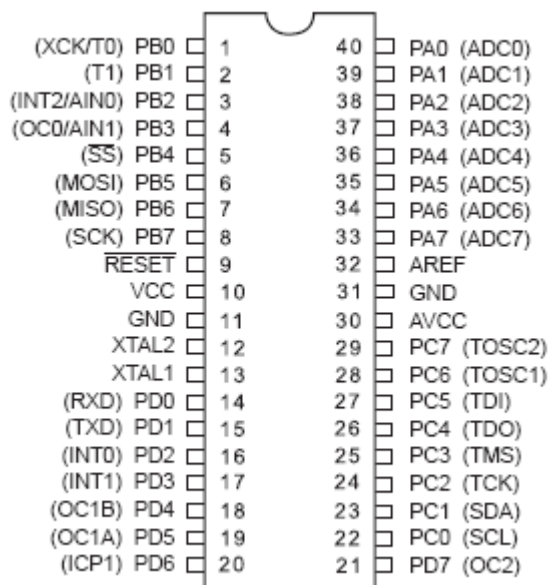


Figura 2.2 Diagrama de Pines ATMEGA16<sup>38</sup>

**VCC:** Voltaje de alimentación

**GND:** Tierra

**RESET:** Entrada de Reset.

**XTAL1:** Entrada al amplificador de oscilador inversor y entrada al circuito de operación de reloj interno.

**XTAL2:** Salida del amplificador de oscilador inverso.

**AVCC:** Pin para el voltaje de alimentación para el puerto A y el conversor A/D. Cuando se usa el ADC el pin debe conectarse a VCC a través de un filtro pasa bajos.

**AREF:** Es la referencia análoga para el conversor A/D.

**Puerto A (PA7..PA0):** Sirve como entradas analógicas al conversor A/D. El Puerto A también sirve como un puerto I/O bidireccional de 8 bits con resistores pull-up internos para cada bit si el conversor A/D no es utilizado.

**Puerto B (PB7..PB0):** Es un puerto I/O bidireccional de 8 bits con resistores *pull-up* internos para cada bit. Puede también operar con las siguientes funciones alternativas:

<sup>38</sup> [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc0265.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0265.pdf)

Pin	Función alternativa
PB7	SCK ( <i>SPI Bus Serial Clock</i> )
PB6	MISO ( <i>SPI Bus Master Input/Slave Output</i> )
PB5	MOSI ( <i>SPI Bus Master Output/Slave Input</i> )
PB4	SS ( <i>SPI Slave Select Input</i> )
PB3	AIN1 ( <i>Analog Comparator Negative Input</i> ) OC0 ( <i>Timer/Counter0 Output Compare Match Output</i> )
PB2	AIN0 ( <i>Analog Comparator Positive Input</i> ) INT2 ( <i>External Interrupt 2 Input</i> )
PB1	T1 ( <i>Timer/Counter1 External Counter Input</i> )
PB0	T0 ( <i>Timer/Counter0 External Counter Input</i> ) XCK ( <i>USART External Clock Input/Output</i> )

Tabla 2.1 Pines del Puerto B

**Puerto C (PC7..PC0):** Es un puerto I/O bidireccional de 8 bits con resistores *pull-up* internos para cada bit. Puede también operar con las siguientes funciones alternativas:

Pin	Función alternativa
PC7	TOSC2 ( <i>Timer Oscillator Pin 2</i> )
PC6	TOSC1 ( <i>Timer Oscillator Pin 1</i> )
PC5	TDO ( <i>JTAG Test Data Out</i> )
PC4	TDI ( <i>JTAG Test Data In</i> )
PC3	TMS ( <i>JTAG Test Mode Select</i> )
PC2	PC2 TCK ( <i>JTAG Test Clock</i> )
PC1	SDA ( <i>Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line</i> )
PC0	SCL ( <i>Two-wire Serial Bus Clock Line</i> )

Tabla 2.2 Pines del Puerto C

**Puerto D (PD7..PD0):** Es un puerto I/O bidireccional de 8 bits con resistencias de pull-up internas para cada bit. Puede también operar con las siguientes funciones alternativas:

Pin	Función alternativa
PD7	OC2 ( <i>Timer/Counter2 Output Compare Match Output</i> )
PD6	ICP1 ( <i>Timer/Counter1 Input Capture Pin</i> )
PD5	OC1A ( <i>Timer/Counter1 Output Compare A Match Output</i> )
PD4	OC1B ( <i>Timer/Counter1 Output Compare B Match Output</i> )
PD3	INT1 ( <i>External Interrupt 1 Input</i> )
PD2	INT0 ( <i>External Interrupt 0 Input</i> )
PD1	TXD ( <i>USART Output Pin</i> )
PD0	RXD ( <i>USART Input Pin</i> )

Tabla 2.3 Pines del Puerto D

### 2.3 SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE COMUNICACIÓN GSM

Para la selección del dispositivo es importante considerar: la interfaz de comunicación, los protocolos de comunicación, el modo de manejo de datos y la disponibilidad en el mercado.

Dentro del mercado ecuatoriano se pueden encontrar una gran cantidad de modelos de teléfonos que se ofrecen en cada una de las operadoras de telefonía celular, es importante tomar en consideración que solo ciertas marcas de ellos ofrecen un puerto de comunicación que permita interactuar con un microcontrolador. Entre las principales marcas en el mercado se puede distinguir tanto a SonyEriccson como Nokia las cuales poseen modelos con puertos manejables.

### **2.3.1 CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DE LOS TERMINALES**

Las principales características que se deben considerar para la selección de los terminales son: puerto serial de comunicaciones, capacidad de envío y recepción de mensajes, y protocolo de comunicaciones.

#### **2.3.1.1 Puerto Serial de Comunicaciones**

Es necesario que el dispositivo celular posea un puerto de comunicaciones accesible para la aplicación, mediante algún tipo de conector. De igual forma debe existir la suficiente información técnica del dispositivo de manera que no cause ningún tipo de daño en su manipulación. El puerto del dispositivo debe permitir la comunicación bidireccional con el sistema microprocesado y con el computador.

#### **2.3.1.2 Capacidad de envío y recepción de mensajes(*Short Message Service*)**

Uno de los servicios que ofrece GSM es la posibilidad de envío de mensajes SMS. Al elegir un terminal GSM se asegura que tanto el terminal de envío como el de recepción posean la capacidad de enviar y recibir mensajes SMS.

#### **2.3.1.3 Protocolo de comunicaciones**

El protocolo de comunicación del terminal debe permitir la comunicación entre el microcontrolador-teléfono y teléfono-computador. Debe ser estandarizado. De acuerdo a los diferentes tipos de marcas de teléfono se ha desarrollado diferentes protocolos de comunicaciones siendo los más utilizados los comandos AT.

### **2.3.2 TIPOS DE TERMINALES**

Dentro del mercado existen diferentes tipos de terminales. Entre los más importantes se encuentran: teléfonos *Nokia*, *MODEMS* para PC y de circuito impreso, y teléfonos *SonyEricsson*.

### 2.3.2.1 Teléfonos Nokia

Algunos modelos Nokia permiten comunicación por medio de comandos AT y otros por tramas FBUS y MBUS. Posee puertos de comunicaciones y todos los Nokia GSM permiten servicio de mensajería corta. No poseen guías para el desarrollo de aplicaciones con sus protocolos FBUS y MBUS al ser estos propietarios.

#### 2.3.2.1.1 Protocolo MBUS

MBUS utiliza un solo pin para la transmisión y recepción. La transmisión es *Halfduplex*. Son utilizados dos pines *DATA* y *GND*. La comunicación con el teléfono se da a 9600 bps, 8 bits de datos, paridad impar, y un bit de parada.<sup>39</sup>

#### 2.3.2.1.2 Protocolo FBUS

Utiliza un pin de transmisión de datos, un pin de recepción, y un pin de tierra. Se parece a un puerto de transmisión serial estándar. Trabaja a 115200 bps, 8 bits de datos, sin paridad y un bit de parada. Tanto la transmisión de MBUS como FBUS se da mediante un formato de trama propietario de Nokia.

### 2.3.2.2 Modems para PC y de circuito impreso

Los *modems* para circuito impreso son de tamaño reducido los cuales pueden ser utilizados para desarrollar *hardware* específico independiente de una PC. Un ejemplo de este tipo de *modems* es la tarjeta *DACER* de *Pulsar Technologies*. Los *modems* para PC son de tamaño bastante reducido, poseen un conector DB9, para conectarse a la computadora. Permiten el envío de mensajes desde cualquier computador de una intranet.

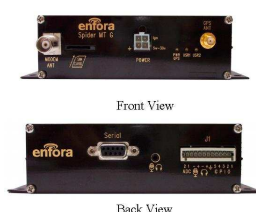


Figura 2.3 MODEM para conexión con PC Enfora 2208HR<sup>40</sup>

<sup>39</sup> <http://www.embedtronics.com/nokia/fbus.html>

<sup>40</sup> [http://www.enfora.com/index.cgi?CONTENT\\_ID=614&User:LANGUAGE=en](http://www.enfora.com/index.cgi?CONTENT_ID=614&User:LANGUAGE=en)

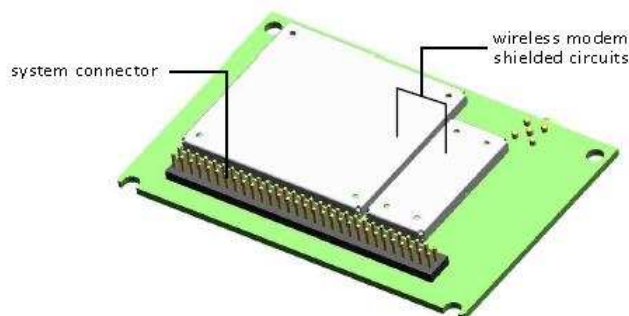


Figure 3: Wireless CPU viewed from below

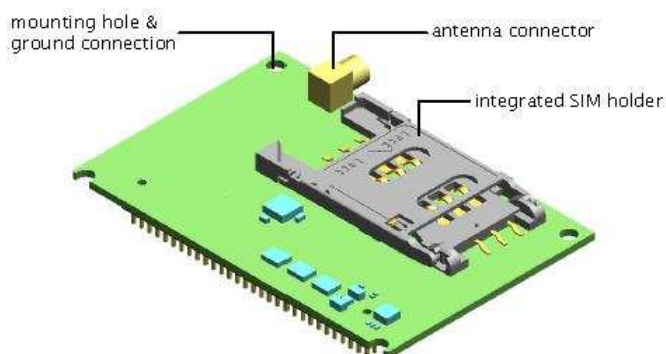


Figura 2.4 MODEM SonyEriccson GSM GR64 para soldadura en placa<sup>41</sup>

### 2.3.2.3 Teléfonos SonyEriccson

Existen varios tipos de teléfonos provistos por SonyEriccson que permiten la utilización de un puerto de comunicación a través de comandos AT. Se pueden distinguir modelos como: T68, T68i, T300, T310, T610, Z600, T230/T238/T226, T630, T290(a).

### 2.3.3 ELECCIÓN DEL TERMINAL

Dentro del mercado se pueden encontrar fácilmente terminales tanto SonyEriccson como Nokia.

Debido a que existe una mayor cantidad de soporte para aplicaciones con terminales SonyEriccson se eligió a un teléfono de esta marca para el desarrollo del proyecto.

<sup>41</sup> [http://www.sonyericcson.com/downloads/GR64\\_R1E.pdf](http://www.sonyericcson.com/downloads/GR64_R1E.pdf)

### 2.3.3.1 Teléfono T290a



Figura 2.5 Teléfono T290a

#### 2.3.3.1.1 Características del Teléfono

Entre las características generales del teléfono se pueden citar las siguientes:

Característica		Unidades
Potencia	1,85	W
Tipo de pantalla	A color	
Tipo de batería	Li-Ion	
Duración de batería en conexión de llamada	Hasta 12	horas

Tabla 2.4 Características físicas T290a<sup>42</sup>

	En banda GSM de 1800 MHZ	En banda GSM de 900 MHZ
<b>Corriente de Transmisión</b>	50.2 mA - 186.2 mA	52.9 mA - 230.8 mA
<b>Corriente en StandBy</b>	2.2 mA - 4.1 mA	2.2 mA - 4.1 mA
<b>Voltaje de operación</b>	3,6V	3,6V
<b>Voltaje para la SIM</b>	3 a 5V	3 a 5V

Tabla 2.5 Características eléctricas T290a<sup>43</sup>

<sup>42</sup> Sony Ericsson /Sony Ericsson T290i/T290c/T290a White Paper

<sup>43</sup> Sony Ericsson /Sony Ericsson T290i/T290c/T290a White Paper



Para la transmisión y recepción el teléfono maneja voltajes de 0V para el caso de 0L y 3.3 V para el caso de 1L.

### 2.3.3.1.2 Distribución de pines del puerto de comunicaciones

El puerto de comunicaciones esta comprendido de 11 pines. Los más importantes son: transmisión (5), recepción (4), de carga de batería (11) y tierra digital (10).



Figura 2.6 Pines T290a<sup>44</sup>

PINES	NOMBRE	DIRECCION	DESCRIPCION
1	ATMS	Entrada	Audio
2	AFMS/RTS	Salida	Audio/RTS
3	CTS/ONREQ		CTS
4	Data in	Entrada	Recepción de datos (Rx)
5	Data out	Salida	Transmisión de datos (Tx)
6	ACC in	Entrada	Control accesorio al Teléfono Usado como pin de transmisión en algunos modelos
7	ACC out	Salida	Control accesorio. Usado como pin de transmisión en algunos modelos
8	AGND		Tierra para la señal de audio.
9	Flash		Voltaje para la memoria interna.
10	DGND		Tierra Digital.
11	VCC		Pin para carga de batería.

Tabla 2.6 Descripción de los pines del Teléfono T290a<sup>45</sup>

### 2.3.4 COMANDOS AT

La comunicación con los *modems* se realiza a través de una línea serie y dependiendo del *MODEM* se pueden utilizar niveles RS-232 o TTL.

<sup>44</sup> [http://pinouts.ru/CellularPhones-P-W/erics\\_t28\\_pinout.shtml](http://pinouts.ru/CellularPhones-P-W/erics_t28_pinout.shtml)

<sup>45</sup> [http://pinouts.ru/CellularPhones-P-W/erics\\_t28\\_pinout.shtml](http://pinouts.ru/CellularPhones-P-W/erics_t28_pinout.shtml)

Inicialmente los *modems* se encuentran en *modo de comando* en el que este puede ser configurado por medio de comandos AT o AT+. Cuando se ha establecido la comunicación, el dispositivo transmite solo información. Cuando se ha terminado la comunicación el *MODEM* pasa nuevamente al modo comando.

Los comandos AT son cadenas de caracteres ASCII que comienzan con AT y terminan con un retorno de carro (ASCII 13). Cada vez que el *MODEM* recibe un comando este lo procesa y emite su respuesta dependiendo como se lo haya configurado al *MODEM*.

El software del teléfono se comunica con el *MODEM* por medio de comandos AT. Este software le permite al teléfono en si comunicarse por medio de menú y el programa de comunicaciones transmite estas selecciones al *MODEM* en el formato que este requiere. De esta manera el *MODEM* realiza la tarea que se le ha comunicado. Para el uso de aplicaciones más específicas se necesita el uso de aplicaciones como *Hyperterminal* en el caso de Windows, y *Minicom* en el caso de Linux.

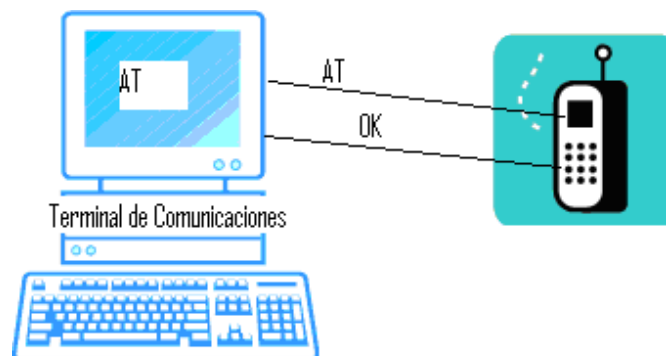


Figura 2.7 Envío de comandos AT

#### 2.3.4.1 Comandos AT+

Los *MODEM* GSM no solo se comportan de la misma manera que un *MODEM* normal, sino que al mismo tiempo poseen características típicas, como el manejo de mensajes SMS, una base de datos de teléfonos, lista de mensajes recibido, enviados y otros. Para poder alcanzar todas esas aplicaciones, fue necesario añadir comandos AT conocidos como AT+.

Algunos de los comandos AT y AT+ más importantes para el manejo de SMS son:<sup>46</sup>

AT+CPMS:	Selecciona el lugar de almacenamiento de SMS.
AT+CMGF:	Selecciona el formato de los mensajes SMS.
AT+CMGR:	Leer un mensaje SMS almacenado.
AT+CMGL:	Listar mensajes almacenados.
AT+CMGS:	Enviar mensajes SMS. Después de ingresar el número telefónico, se debe esperar un tiempo de aproximadamente 1 segundo a que aparezca el símbolo de > indicando que se debe ingresar el mensaje, luego se escribe la información. Con el carácter <b>ctrl.+Z</b> (ASCII 26) se la envía.
AT+CMGW:	Almacenar mensajes en memoria.
AT+CMSS:	Enviar un mensaje almacenado.
AT+CSCA:	Establecer el centro de mensajes a usar.
AT+CMGD	Borra mensajes por índices.

Entre los mensajes principales para configuración del teléfono se puede citar los siguientes:

ATS3:	Define carácter para indicar el fin de línea.
ATS4:	Define una carácter con el que finaliza la respuesta.
ATE=0 o 1	Desactiva o activa el Eco respectivamente.
ATQ=0 o 1	Desactiva o activa la respuesta del <i>MODEM</i> ( <i>OK</i> o <i>ERROR</i> )
ATV	Cambia el formato de la respuesta del <i>MODEM</i> de letras a números.

AT+CNMI= 2,1,0,0,0      De esta manera se predispone al teléfono para que cada vez que llegue un mensaje el teléfono informe con el índice en la memoria con el que fue grabado.

---

<sup>46</sup> [http://www.sonyericsson.com/downloads/dg\\_at\\_2003\\_r4a.pdf](http://www.sonyericsson.com/downloads/dg_at_2003_r4a.pdf)

A continuación se presenta algunos ejemplos de la ejecución de comandos AT.

El comando AT pregunta si el *MODEM* se encuentra en el puerto. A lo que el *modem* le responde *OK*.



Figura 2.8 Envío de comandos AT

Cualquier comando seguido de una incógnita, implica preguntarle al *modem* celular si lo soporta. Cualquier comando seguido de un signo igual (=), y de una incógnita implica preguntar que tipo opciones configurables posee.

## 2.4 SELECCIÓN DE LOS SENSORES A UTILIZARSE

Según lo analizado para el presente proyecto es de interés medir parámetros tales como: concentración de CO y CO<sub>2</sub>, temperatura, y humedad.

Para la selección de los sensores es necesario considerar varios aspectos como tiempo de respuesta, disponibilidad en el mercado, precisión y durabilidad.

### 2.4.1 CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DE LOS SENSORES

- **Tiempo de respuesta**

El tiempo de respuesta debe permitir tomar por lo menos datos cada 10 minutos, para mantener continuidad en la adquisición de muestras.

- **Disponibilidad en el mercado**

Dentro del Ecuador se pueden encontrar fácilmente sensores de humedad y de temperatura a diferentes precios. Los de CO y CO<sub>2</sub> no están

disponibles dentro del mercado nacional por lo que se deberá recurrir a la importación.

- **Precisión**

La precisión de los sensores no debe superar el 5% para obtener una medida muy próxima al valor real.

- **Durabilidad**

Es necesario que los sensores posean un tiempo de vida superior a un año para que el prototipo funcione a largo plazo.

## **2.4.2 SENSORES DE CO Y CO<sub>2</sub>**

De los tipos de sensores descritos en la sección 1.5.1.3 se puede observar que los sensores de electrolito sólido, a pesar de estar disponibles sólo por importación, poseen un precio bajo, y un tiempo de respuesta aceptable.

Para la medición de monóxido de carbono se seleccionó al sensor MQ-7. Es un sensor intercambiable, con un tiempo de respuesta menor a 150 segundos. Se lo puede encontrar fácilmente en el mercado estadounidense. Es estable y posee una durabilidad de hasta 5 años.

Para la medición de dióxido de carbono se eligió el sensor MG811 debido a que está disponible por importación, y posee un tiempo de respuesta menor a 60 segundos. Es muy utilizado en aplicaciones de medición de calidad del aire, alarmas, entre otros. Es pequeño y fácilmente incorporable.

### **2.4.2.1 Sensor MQ-7<sup>47</sup>**

Posee una alta sensibilidad al monóxido de carbono, además poseen estabilidad y larga vida.

---

<sup>47</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

### 2.4.2.1.1 Especificaciones

Símbolo	Nombre del parámetro	Condición técnica	Observación
Vc	Voltaje del circuito	$5V \pm 0.1$	AC o DC
Vh(H)	Voltaje de calentamiento(alto)	$5V \pm 0.1$	AC o DC
Vh(L)	Voltaje de calentamiento(bajo)	$1.4V \pm 0.1$	
RL	Resistencia de carga	Se puede ajustar	
RH	Resistencia de calentamiento	$33 \text{ ohm} \pm 5\%$	
TH(H)	Tiempo de calentamiento(max V)	$60 \pm 1\text{Seg}$	
TH(L)	Tiempo de calentamiento(min V)	$90 \pm 1\text{Seg}$	
PH	Consumo de calentamiento	Menos de 330mW	

Tabla 2.7 Condiciones de trabajo estándar<sup>48</sup>

Símbolo	Parámetros	Condiciones Técnicas	Observación
Tao	Temperatura de Uso	-20 a 50°C	
Tas	Temperatura de almacenamiento	-20 a 50°C	
RH	Humedad relativa	Menos del 95%	
O2	Concentración de O2	La concentración de oxígeno puede afectar la característica de sensibilidad	El valor mínimo esta por sobre 2%

Tabla 2.8 Condiciones de ambiente<sup>49</sup>

Símbolo	Parámetros	Parámetros Técnicos	Observación
Rs	Resistencia de superficie de cuerpo sensitivo	2-20k	En 100 ppm de CO

Tabla 2.9 Características de sensibilidad<sup>50</sup>

<sup>48</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

<sup>49</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

<sup>50</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

### 2.4.2.1.2 Estructura y configuración, Circuito de medida básico

El sensor esta compuesto por un micro tubo  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cerámico, una capa sensitiva de dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ), el electrodo de medida y el calentador están fijos dentro de la corteza hecha de plástico y una red de acero inoxidable.

El calentador provee las condiciones necesarias para el trabajo de los componentes sensitivos.

El sensor MQ7 tiene seis pines de los cuales 4 son usados para señales y los otros dos para proveer de corriente de calentamiento.

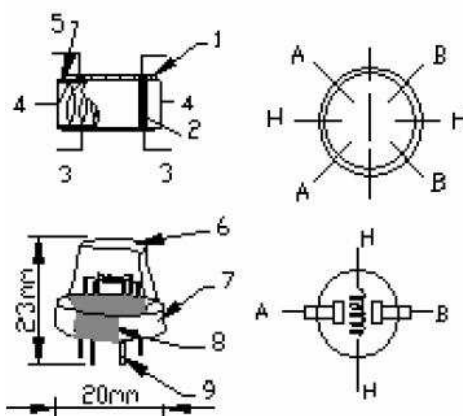


Figura 2.9 Estructura del sensor de CO<sup>51</sup>

	Partes	Materiales
1	Capa sensitiva al gas	$\text{SnO}_2$
2	Electrodo	Au
3	Línea del electrodo	Pt
4	Bobina de calentamiento	Aleación de Níquel y Cromo
5	Cerámica Tubular	$\text{Al}_2\text{O}_3$
6	Capa antiexplosión	Capa de acero inoxidable
7	Anillo abrazadera	Cobre plateado
8	Base de resina	Baquelita
9	Pin	Cobre plateado

Tabla 2.10 Componentes del sensor de CO<sup>52</sup>

<sup>51</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

### 2.4.2.1.3 Circuito Estándar

El circuito estándar para el manejo del sensor consiste en dos partes, una es el circuito calentador que tiene funciones de control de tiempo (el voltaje alto y bajo trabajan cíclicamente). El segundo es el circuito de señal de salida, este puede responder a los cambios de resistencia de superficie del sensor con precisión.

En la figura 2.10 se puede ver las características sensitivas típicas del sensor MQ-7 a: 20°C de temperatura, 65% de humedad, 21% de O<sub>2</sub>, RL=10kohm, R<sub>o</sub> resistencia del sensor a 100ppm de CO en aire limpio. R<sub>s</sub> será la resistencia del sensor a varias concentraciones monóxido de carbono.

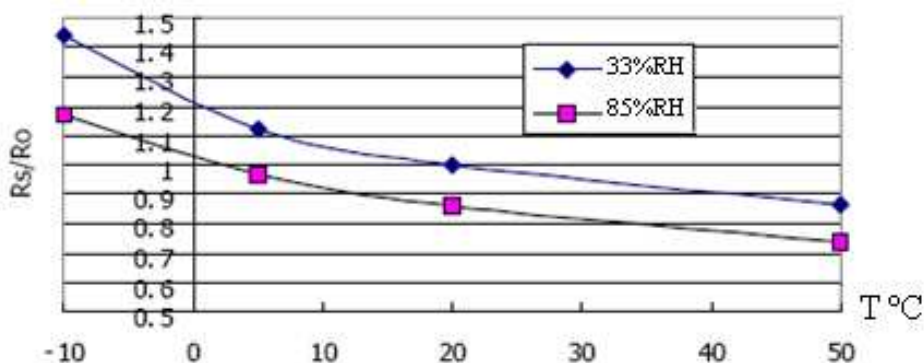


Figura 2.10 Dependencia típica del sensor a la temperatura y humedad<sup>53</sup>

En esta figura se muestra la dependencia típica del sensor MQ-7 con la temperatura y humedad. Donde, R<sub>o</sub> es la resistencia del sensor a 100ppm de CO en aire a 33% de RH y 20°C, y R<sub>s</sub> es la resistencia del sensor a 100ppm CO a diferentes temperaturas y humedades.

### 2.4.2.1.4 Principio de operación

La resistencia superficial (R<sub>s</sub>) del sensor es obtenida a través de la señal de voltaje de salida sobre la resistencia de carga. La relación es la siguiente:

<sup>52</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

<sup>53</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)



$$\frac{R_S}{R_L} = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$R_S/R_L$ : Relación entre la resistencia superficial y la de carga.<sup>17</sup>

$V_C$ : Voltaje del circuito.

$V_{RL}$ : Voltaje en la resistencia de carga.

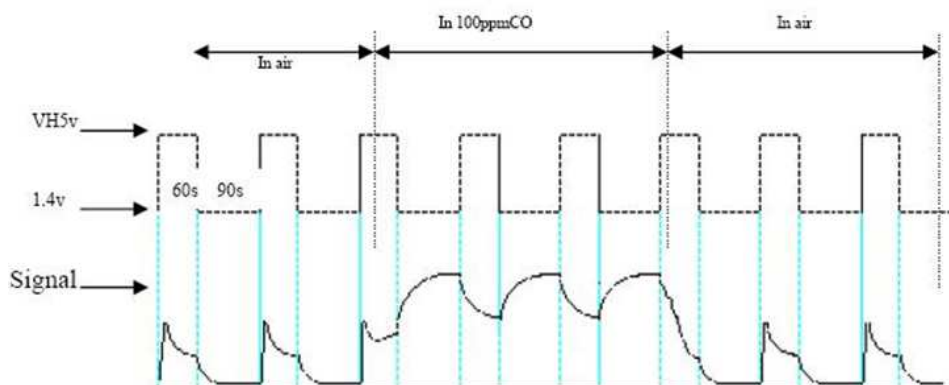


Figura 2.11 Respuesta del sensor de CO<sup>55</sup>

La figura 2.11 muestra la situación alterable de la señal de salida de  $R_L$ , cuando el sensor pasa de aire limpio a CO, la medida de la señal de salida es hecha dentro de uno o dos períodos completos de calentamiento (2.5 minutos desde voltaje alto a voltaje bajo)

La capa sensitiva de los componentes del sensor MQ-7 esta hecha de  $\text{SnO}_2$  con estabilidad, de modo que tiene una excelente sensibilidad a largo plazo. Su vida de servicio puede alcanzar 5 años.

#### 2.4.2.1.5 Ajuste de sensibilidad

El valor de la resistencia del MQ-7 es diferente para varios tipos y concentraciones de gases. Para estos componentes, el ajuste de sensibilidad es muy necesario, el fabricante recomienda que se calibre el detector para 200ppm de CO en aire y se use un valor de resistencia de carga  $R_L$  de  $10\text{K}\Omega$  ( $5\text{k}\Omega$  a  $47\text{K}\Omega$ ).

<sup>54</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

<sup>55</sup> [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)

### 2.4.2.2 Sensor MG811<sup>56</sup>



Figura 2.12 Sensor de CO<sub>2</sub><sup>57</sup>

- **Características**
  - Buena sensibilidad y selectividad de CO<sub>2</sub>.
  - Baja dependencia de humedad y temperatura.
  - Larga estabilidad
  
- **Aplicación**
  - Control de calidad de aire
  - Control de proceso de fermentado
  - Detección de concentración de CO<sub>2</sub> en cuartos de temperatura

#### 2.4.2.2.1 Estructura y Circuito de prueba

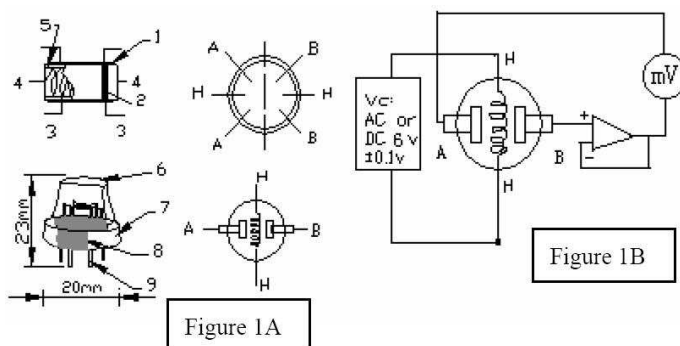


Figura 2.13 Estructura y circuito de prueba del sensor de CO<sub>2</sub><sup>58</sup>

El sensor está compuesto por una capa de electrolito sólido(1), electrodos de oro(2), plomo platino(3), calentador(4), tubo de porcelana(5), red de doble capa 100m (6), anillo plateado de níquel y cobre(7), baquelita(8), pin plateado de níquel y cobre (9).

<sup>56</sup> [http://www.futurlec.com/CO2\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO2_Sensor.shtml)

<sup>57</sup> [http://www.futurlec.com/CO2\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO2_Sensor.shtml)

<sup>58</sup> [http://www.futurlec.com/CO2\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO2_Sensor.shtml)

Como se muestra en la figura 2.13, el voltaje de calentamiento del sensor es provisto por un circuito externo. Cuando la temperatura de su superficie es suficientemente alta, sus dos lados darán una señal de voltaje equivalente al nivel de CO<sub>2</sub>. En las pruebas del sensor, la impedancia del amplificador debe estar dentro de 100-1000GΩ .

#### 2.4.2.2.2 Especificaciones

Símbolo	Nombre de parámetro	Parámetro técnico	Observación
V <sub>H</sub>	Voltaje de calentamiento	6.0 ± 0.1V	AC o DC
R <sub>H</sub>	Resistor de calentamiento	30.0 ± 5% Ω	
I <sub>H</sub>	Corriente de calentamiento	@200mA	
P <sub>H</sub>	Potencia de calentamiento	@1200mW	
Tao	Temperatura de operación	-20 a 50°C	
Tas	Temperatura de almacenamiento	-20 a 70°C	
EMF	Salida	30-50mV	350-10000ppmCO <sub>2</sub>

Tabla 2.11 Características del sensor de CO<sub>2</sub><sup>59</sup>

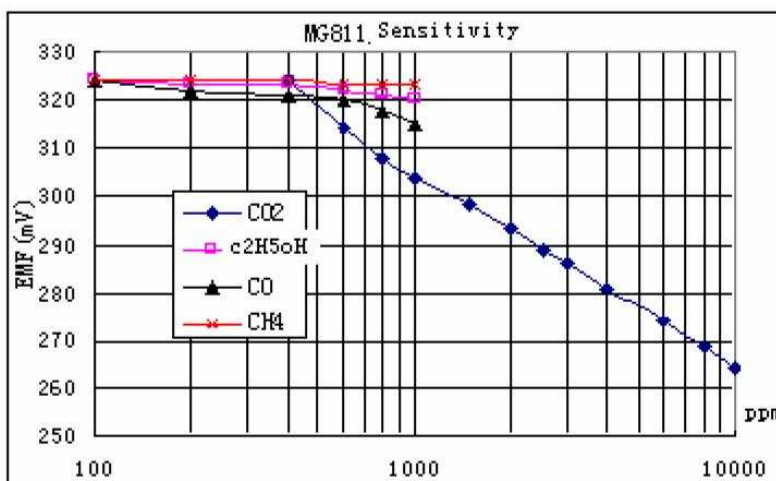


Figura 2.14 Sensibilidad CO<sub>2</sub><sup>60</sup>

#### 2.4.3 Sensor de Humedad

Para la elección del sensor de humedad se debe conocer los conceptos de humedad relativa.

<sup>59</sup> [http://www.futurlec.com/CO2\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO2_Sensor.shtml)

<sup>60</sup> [http://www.futurlec.com/CO2\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO2_Sensor.shtml)

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua existente en el aire con respecto a la máxima cantidad de vapor de agua contenida a una determinada temperatura ambiente. También a la humedad relativa se la puede definir como la relación entre las presiones de vapor existente en el ambiente y la presión de vapor de saturación (100%RH).

La humedad es uno de los factores que influyen en la comodidad humana. Una humedad relativa del 100% significa que en el ambiente no cabe más vapor de agua donde el cuerpo humano no puede transpirar causando una sensación de asfixia. Una humedad relativa de 0% implica un ambiente seco en el que el cuerpo humano transpira con facilidad.

#### **2.4.3.1 Tipos de sensores de humedad**

Entre los principales sensores de humedad se pueden enumerar los siguientes: mecánicos por deformaciones, por condensación, electrolíticos, por conductividad, piezoeléctricos y capacitivos.

##### ***2.4.3.1.1 Sensores Mecánicos por Deformaciones***

Este tipo de sensores aprovechan los cambios y redimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad.

Existen varios tipos de materiales sintéticos y orgánicos que tienen ese tipo de comportamiento como por ejemplo el cabello humano. Este tipo de deformación debe ser amplificada de alguna forma. Este tipo de sensores es fácil de reproducir pero no es de gran utilidad en aplicaciones industriales. Su rango de variación es de 15 a 95% y funcionan en un rango de temperatura de -20ª 70ºC.

##### ***2.4.3.1.2 Sensores por condensación***

En este tipo de elementos se hace circular una mezcla gaseosa por una cámara que posee un espejo en su interior. Este puede ser enfriado o calentado con la finalidad de que el vapor se condense en el espejo o se evapore según sea el caso. Mediante dos fotorresistencias se realiza una comparación entre la

intensidad luminosa real y una intensidad distorsionada según la cantidad de condensación en el espejo. Esta diferencia es amplificada y ofrece la señal a ser medida. Su rango de operación es de  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$  con una precisión del 99.5%. Este sensor está limitado a que la muestra debe ser transparente y libre de impurezas caso contrario su principio de operación sería alterado.

#### 2.4.3.1.3 Sensores *electrolíticos*

Estos sensores se basan en el principio de la electrólisis, cuando esto ocurre se liberan dos electrones por moléculas. Se basa en la medición de la corriente cuando se produce este fenómeno.

#### 2.4.3.1.4 Sensores *por conductividad*

Si se tiene una superficie cualquiera en presencia de una mezcla gaseosa con vapor de agua, siempre habrá cierta cantidad de moléculas de agua presentes en dicha superficie. La presencia de agua permite que a través de la superficie circule una corriente.

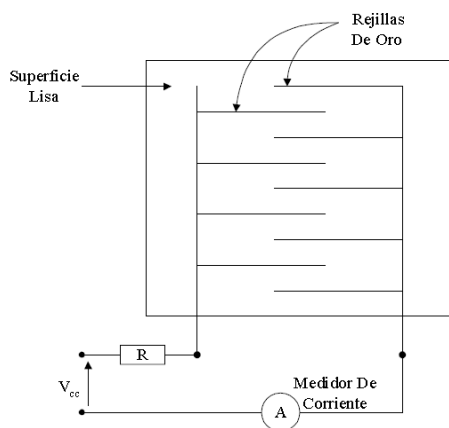


Figura 2.15 Sensores por conductividad<sup>61</sup>

Como se puede observar en la figura 2.15 se tiene una superficie lisa y dos rejillas de oro no unidas físicamente. El proceso de unión lo realizan las moléculas de vapor de agua. Se producirá una corriente que estará en directa relación con la cantidad de moléculas existentes en ese instante.

<sup>61</sup> <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/CIDGALLEGUILLOSc.pdf>

### 2.4.3.1.5 *Sensores piezoeléctricos*

Los cristales poseen frecuencias de oscilación bastante estables. Al cambiar la masa del cristal la frecuencia cambiará. Se utiliza materiales higroscópicos para que aumente la cantidad de agua sobre el cristal en forma proporcional a la humedad presente. Son muy sensibles y su respuesta la entregan en forma de frecuencia.

### 2.4.3.1.6 *Sensores Capacitivos*

Estos son los sensores más difundidos en la industria y meteorología, pues son de fácil producción y alta fidelidad.

Su principio se basa en el cambio que sufre la capacidad de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo.

$$C = \xi \frac{A}{d} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

C: Capacidad.<sup>25</sup>

$\xi$ : Permitividad del dieléctrico (Constante del dieléctrico).

A: Áreas de las placas del condensador.

d: Distancia entre las placas del condensador.

En presencia de un campo eléctrico se presenta la alineación de las moléculas por lo que la constante dieléctrica es de 80 y la del aire es de 1. Si se utiliza como dieléctrico al vapor de agua dependerá de la cantidad de moléculas de agua, existentes entre las dos placas, el valor de capacitancia. En este caso se puede utilizar un circuito astable<sup>63</sup> para la generación de una frecuencia en función de la capacitancia del sensor.

<sup>62</sup> <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/CIDGALLEGUILLOSc.pdf>

<sup>63</sup> Circuito que cambia entre dos estados. La frecuencia de cambio depende de la carga y descarga de un capacitor.

### 2.4.3.2 Elección del sensor de humedad

Como sensor de humedad se eligió al HS1101. Este sensor es fácilmente intercambiable, utiliza un tiempo de respuesta bastante corto (Típicamente 5S), es fácil de utilizar y dentro del mercado ecuatoriano este sensor es uno de los más utilizados y fácil de encontrar.

### 2.4.3.3 Sensor de humedad HS1101

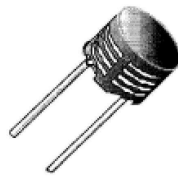


Figura 2.16 Sensor de Humedad<sup>64</sup>

Su construcción se basa en una célula capacitiva para aplicaciones de bajo costo, alta fiabilidad, largo tiempo de estabilidad, tiempo de respuesta rápido, es fácilmente intercambiable, entre otras.

#### 2.4.3.3.1 Estructura y Circuito de prueba

Al ser el sensor de naturaleza capacitiva, necesita de un circuito que convierta la señal a frecuencia. Esto se logra por medio de de un temporizador 555.

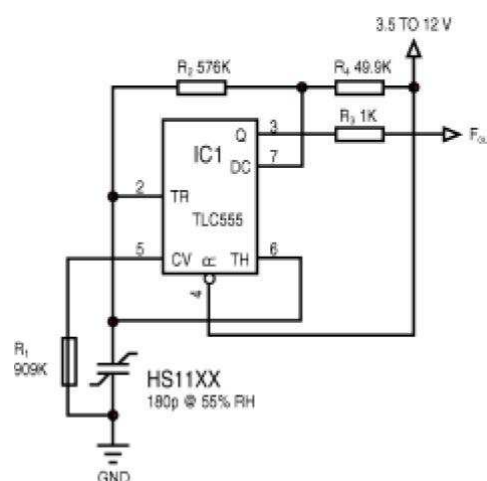


Figura 2.17 Circuito de conexión HS1101<sup>65</sup>

<sup>64</sup> [www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100](http://www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100)

<sup>65</sup> [www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100](http://www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100)

### 2.4.3.3.2 Especificaciones

Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura de Trabajo	-40° a 100°	°C
Temperatura de almacenamiento	-40° a 125°	°C
Tensión de Alimentación	10	V
Rango de humedad	0 a 100	%RH

Tabla 2.12 Características del sensor de humedad<sup>66</sup>

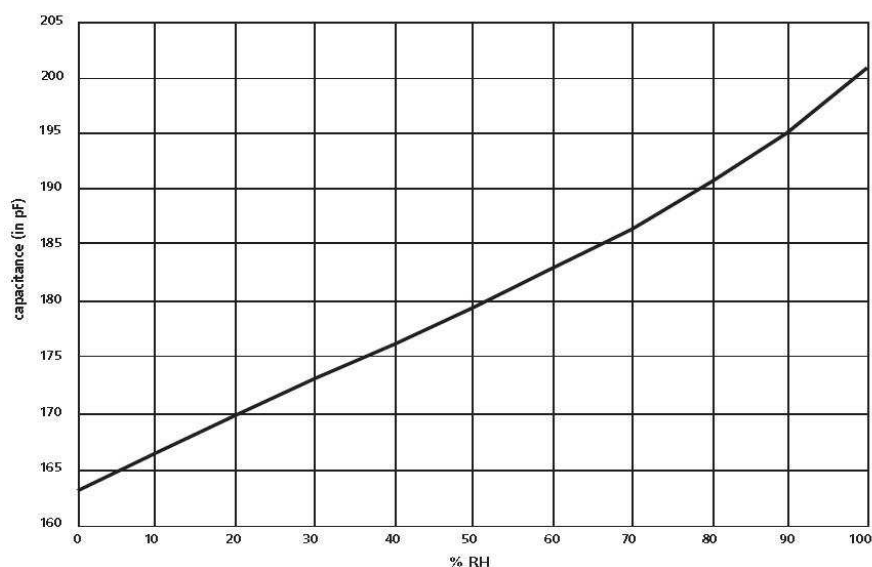


Figura 2.18 Curva de Humedad vs Capacitancia<sup>67</sup>

## 2.4.4 Sensor de temperatura

La temperatura consiste en una magnitud escalar que representa el grado de agitación de las partículas en un medio.

### 2.4.4.1 Tipos de Sensores

Entre los principales sensores de temperatura se pueden enumerar los siguientes:

- **Termorresistencias**

A medida que existen variaciones de temperatura el sensor variará su resistencia. Son construidos en base a platino, níquel y cobre. Su rango de variación es grande y posee una gran exactitud. Son de costo medio.

<sup>66</sup> [www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100](http://www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100)

<sup>67</sup> [www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100](http://www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100)



- **Termocuplas**

Las termocuplas están formadas por dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar una temperatura en esta unión se genera un voltaje muy pequeño, en el orden de los milivoltios. Poseen un rango de variación muy amplio en °C. Generalmente tienen una respuesta no lineal por lo que hay que linealizarlos. Requieren referencia de temperatura. Son de bajo costo.

- **Termistores**

Detectan una variación de entre -15 a 115°C. Poseen una respuesta no lineal. Son muy sensibles. Poseen un costo medio.

- **Integrados**

Poseen un rango de variación dependiente del fabricante. Entregan los valores de las medidas de forma digital. Poseen una alta precisión y una alta sensibilidad. En el caso del sensor DS18B20 posee una precisión de hasta 12bits. Es de bajo costo.

#### **2.4.4.2 Elección del sensor de temperatura**

El sensor DS18B20 de Dallas fue elegido para el prototipo. Este sensor cumple con los requerimientos del prototipo. Es de bajo costo, se puede encontrarlo con algunos importadores ecuatorianos o se puede traerlos directamente del mercado estadounidense, y posee un tiempo de respuesta bajo. Además es un sensor digital de alta precisión (9 a 12 bits) que no necesita ser calibrado.

#### **2.4.4.3 Sensor de temperatura DS18B20**

El dispositivo DS18B20 es un sensor digital de temperatura construido por la *DALLAS Semiconductor*. Este sensor utiliza el protocolo *1-Wire* propietario de la misma empresa. Se tiene la posibilidad de conectar varios de estos dispositivos a un solo pin de un microcontrolador mediante la modalidad maestro-esclavo. Posee un código de 64 bits grabado en su memoria ROM que lo identifica del resto de dispositivos. Posee una resolución de 9 a 12 bits controlada por el

usuario con un rango de operación de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ . Tiene la capacidad de operar sin una fuente de alimentación de forma parásita. Posee tres tipos de encapsulamiento.

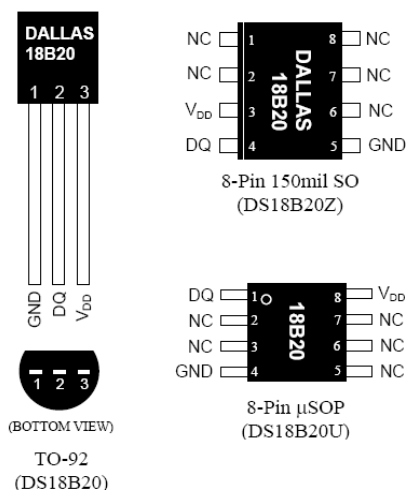


Figura 2.19 Encapsulamientos del sensor DS18B20<sup>68</sup>

El sensor digital DS18B20 tiene una resolución configurable de 9, 10, 11, 12 bits con los que se obtiene incrementos de  $0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $0.25^{\circ}\text{C}$ ,  $0.125^{\circ}\text{C}$  y  $0.0625^{\circ}\text{C}$  respectivamente. La salida del sensor esta calibrada para entregar respuestas en grados centígrados por defecto.

El encapsulado del dispositivo a utilizarse es el TO92. Este posee tres pines: tierra, entrada/salida y alimentación. La utilización de este último pin es opcional debido a que el dispositivo tiene la capacidad de operar de forma parásita.

uSOP	TO92	Símbolo	Descripción
4	1	GND	Tierra
1	2	DQ	Pin Entrada/Salida de datos
8	3	Vdd	Pin de alimentación

Tabla 2.13 Distribución de pines DS18B20<sup>69</sup>

<sup>68</sup> <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>

<sup>69</sup> <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>

R1	R0	Resolución	Tiempo de conversión máximo	
0	0	9 bits	93,75ms	Tconv/8
0	1	10 bits	187,5ms	Tconv/4
1	0	11 bits	375ms	Tconv/2
1	1	12 bits	750ms	Tconv

Tabla 2.14 Resolución del sensor de temperatura DS18B20<sup>70</sup>

El sensor utiliza el sistema de transmisión de 1 hilo(1Wire). Este sistema utiliza un solo bus maestro para el control de uno o más dispositivos esclavos. El sensor DS18B20 siempre es esclavo. La secuencia para acceder al sensor consiste en tres pasos que son:

- **Secuencia de inicialización**

La secuencia de inicialización consiste de un pulso de reset transmitido por el bus master, seguido de un pulso de presencia emitido por los dispositivos esclavos (el sensor de temperatura) que le hacen saber al bus maestro que están listos para operar.

- **Comandos de la ROM**

Después de que se ha detectado la presencia del esclavo se puede enviar peticiones a la ROM. Los comandos de la ROM permiten identificar a cada dispositivo presente. También se puede saber si el dispositivo ha experimentado una condición de alarma.

- **Comandos de función**

Estos comandos permiten leer o escribir en los registros de la memoria, iniciar conversiones de temperatura y determinar el modo de polarización de la fuente.

<sup>70</sup> <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>

## 2.5 DESCRIPCIÓN DE LOS BLOQUES DEL SISTEMA

Los bloques de los que está compuesto el sistema a ser implementado son: Adquisición de datos, Envío y Recepción de Datos y Aplicación.

### 2.5.1 BLOQUE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los sensores seleccionados de CO, CO<sub>2</sub>, y humedad poseen señales analógicas por lo que se utilizan los conversores analógico-digitales. Como se observa en las características del microcontrolador ATMEGA – 16, éste posee 8 conversores de 10 bits. Es importante utilizar la resolución completa del microcontrolador por lo que se debe realizar un proceso de acoplamiento de acuerdo a la naturaleza de cada sensor.

#### 2.5.1.1 Acoplamiento del sensor de Monóxido de Carbono(CO)

El sensor necesita una señal de voltaje para el calentamiento de sus componentes. Esta debe ser periódica, manteniéndose 60 segundos en 5V y 90 segundos en 1.4V.

Con este fin se debe utilizar un circuito que genere la señal de calentamiento mediante el uso del microcontrolador.

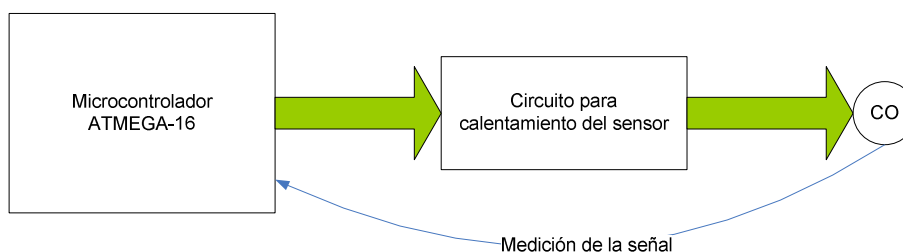


Figura 2.20 Diagrama para el manejo del calentamiento del sensor de CO

Para el circuito de calentamiento se utiliza dos transistores, un disparador (*Smith-Trigger*), y varias resistencias. El microcontrolador activa y desactiva dos pines con el fin de enviar señales de control a los transistores a través del disparador. El disparador es necesario debido a que la señal de 0L generada por el microcontrolador no satura correctamente al transistor. El *Smith-Trigger* también

es utilizado dentro del bloque de envío y recepción de datos. Los voltajes de 5V y 1.4V se los produce mediante divisores de voltaje.

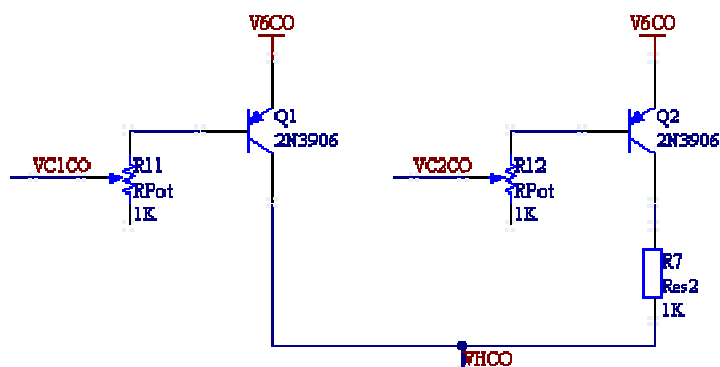


Figura 2.21 Diagrama del circuito de calentamiento

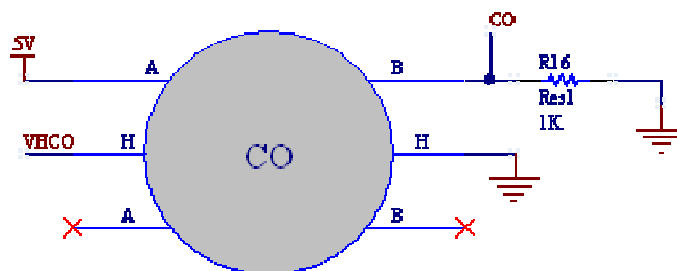


Figura 2.22 Circuito de calentamiento para CO

Como se observa en las especificaciones de este sensor, la señal emitida por este elemento es variable.

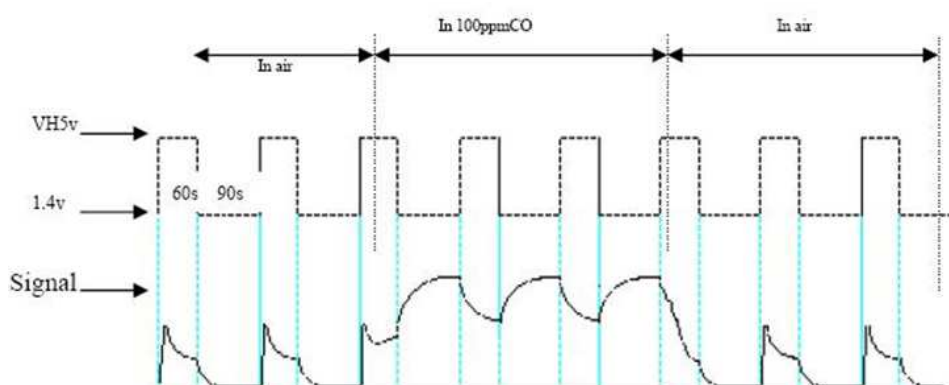


Figura 2.23 Señal de respuesta del sensor al monóxido de carbono<sup>71</sup>

<sup>71</sup> <http://www.devicemart.co.kr/mart7/upload/pdf/MQ-7.pdf>

Como se puede observar en la figura 2.43 la señal se estabiliza al final de los 90s a 1.4V. En este instante se puede tomar la medida de voltaje. Esta medida tomada del circuito estándar propuesto por el fabricante, corresponde a  $V_{RL}$ .

Como se observa en la sección 2.4 la gráfica de equivalencia en PPM esta en función de la relación  $R_s/R_o$  por lo que introduciendo  $R_o$  a la Ecuación 2.1, dada por el fabricante, se obtendrá datos correspondientes a la curva.

$$\frac{R_S}{R_O} = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} * \frac{R_L}{R_O} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$R_s/R_o$ : Relación entre la resistencia superficial y  $R_o$ .<sup>35</sup>  
 $V_C$ : Voltaje del circuito.  
 $V_{RL}$ : Voltaje en la resistencia de carga.  
 $R_L$ : Resistencia de carga.  
 $R_o$ : Resistencia del sensor a 100ppm.

Obtenido el valor de  $R_s/R_o$  se debe transformar este valor a ppm. Las medidas que emite el sensor varían de 0 a 5V por lo que no es necesaria una etapa de tratamiento de la señal.

### 2.5.1.2 Acoplamiento del sensor de Dióxido de Carbono( $CO_2$ )

El sensor debe ser alimentado mediante una señal de 6V. Para este fin se utilizará un regulador de 6V, LM7806. Según las especificaciones del fabricante se debe utilizar un amplificador operacional de manera que se tenga una impedancia de entrada lo suficientemente grande para que la medición del sensor sea la correcta. La señal de salida variará de 420mV a 360mV por lo que será necesario un proceso de tratamiento de la señal para utilizar toda la resolución de conversor AD.

<sup>72</sup> <http://www.devicemart.co.kr/mart7/upload/pdf/MQ-7.pdf>

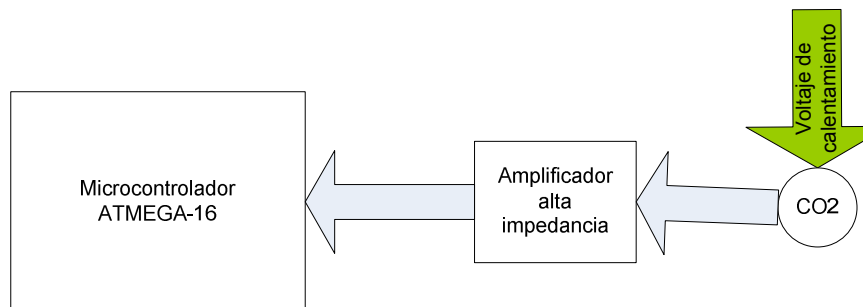


Figura 2.24 Diagrama para sensor de CO<sub>2</sub>

Para tener una impedancia alta se debe utilizar amplificadores operacionales en modo seguidor de emisor como se especifica en la documentación del fabricante. De esta forma cualquier instrumento o dispositivo que se agregue no influirá en la medición. Debido a que la señal del sensor varía en un rango de 420mV a 360mV es necesaria una etapa posterior de amplificación y adecuación con lo que se logra una respuesta que varía desde 0 a 5V.

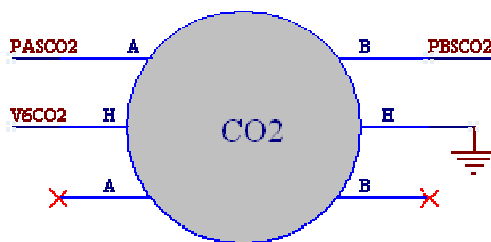


Figura 2.25 Circuito de calentamiento del sensor de CO<sub>2</sub>

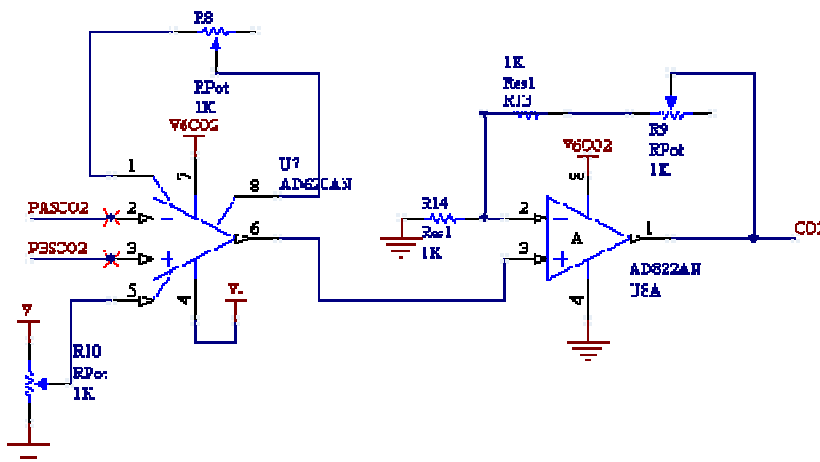


Figura 2.26 Diagrama del circuito para el manejo del sensor de CO<sub>2</sub>

Se utilizarán dos amplificadores operacionales. El primero es un AD620 que se utilizará como amplificador diferencial tomando la señal de los pines de salida del sensor. De esta forma se logrará amplificar la señal y referirla a tierra. El segundo amplificador es un AD822. Se utilizará para amplificar la señal resultante del AD620 en un rango de 0 a 5V.

### 2.5.1.3 Acoplamiento del sensor de Humedad HS1101

Al ser éste un sensor capacitivo el fabricante propone un circuito que genera una frecuencia en respuesta a una capacitancia. Por lo que a diferentes humedades emitirá frecuencias diferentes. El microcontrolador mediante la activación y desactivación del *TIMER1* calcula el periodo y así la frecuencia de la señal.

$$F = \frac{1.44}{C * (R15 + 2 * R17)} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

F: Frecuencia para el sensor de humedad

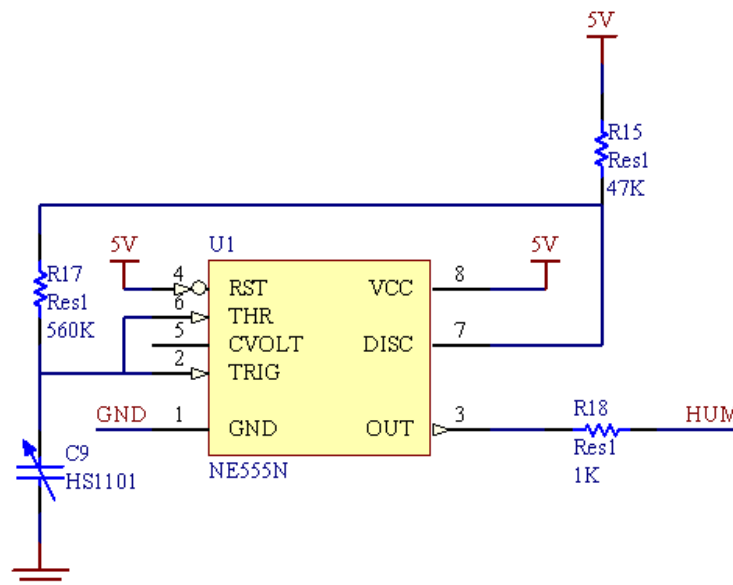


Figura 2.27 Circuito de conexión con el sensor

### 2.5.1.4 Cámara de adquisición de muestra

El tiempo de respuesta de los sensores determina la necesidad de mantener la muestra constante hasta que los valores sean tomados por los mismos.



Se utilizará una pequeña cámara para la retención del aire. Es necesario que cada cierto intervalo de tiempo la muestra cambie por lo que se necesita de una compuerta móvil y de un ventilador. Por este motivo se utilizará un motor a pasos que permita abrir y cerrar la compuerta. Cuando esta esté abierta el ventilador se encenderá durante un intervalo de tiempo para cambiar la muestra.

#### 2.5.1.4.1 Compuerta móvil

La compuerta móvil será desplazada por medio de un motor a pasos. Para esto se utiliza un *driver* ULN2003. Debido a posibles fallas de energía se puede descentrar la compuerta provocando un mal funcionamiento de la misma, por este motivo se requiere de un elemento de fin de carrera que le señale al microcontrolador si la compuerta está cerrada o no.

#### 2.5.1.4.2 Ventilador

Se necesita de un ventilador de bajo consumo de corriente para el cambio de la muestra, por lo que se seleccionó uno de 12V y 0.090 A. El funcionamiento de éste será controlado a través de un pin del microcontrolador ayudado por el *driver* ULN2003.

### 2.5.2 BLOQUE DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS

La información generada por el bloque anterior será enviada a través de mensajes de texto utilizando el dispositivo celular. Este bloque permite el control del teléfono por medio del microcontrolador.

#### 2.5.2.1 Hardware para la conexión Teléfono-Microcontrolador

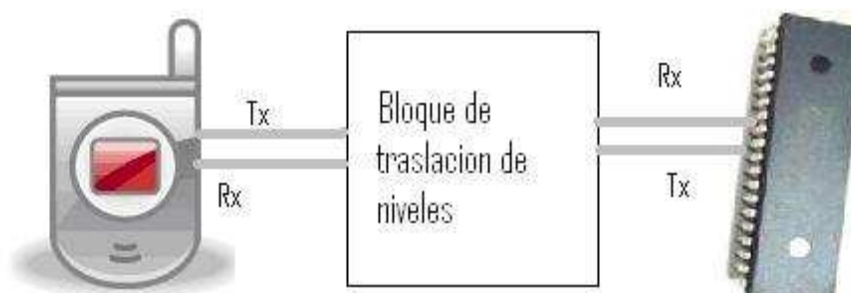


Figura 2.28 Conexión Teléfono Microcontrolador

Como se observó en las características eléctricas del teléfono T290A, este no maneja niveles TTL a diferencia del microcontrolador que si lo hace. El dispositivo celular utiliza un voltaje de operación de 3.6V, y una señal de transmisión y recepción cuyo 1L es de 70% del voltaje de operación; <sup>73</sup> esto es 2.6 V.

Los voltajes TTL poseen un 1L que varía entre 5-2.8V. El voltaje de transmisión del teléfono cae en una región que no pertenece a 0L o 1L (TTL). Si el teléfono es conectado directamente al microcontrolador puede haber riesgo de pérdida de información.

#### 2.5.2.1.1 Bloque de traslación de niveles

Este bloque permitirá que la comunicación entre el microcontrolador y el teléfono se dé de forma coherente sin pérdida de datos. Para esto se utilizará un disparador *Smith-Trigger*. Éste cambia su estado de salida cuando la [tensión](#) en su entrada sobrepasa un determinado nivel (umbral); la salida no vuelve a cambiar cuando la entrada baja de ese voltaje, sino que el nivel de tensión para el cambio es diferente, más bajo que el primero. Para el caso del 74LS14 el cambio de estado a 1L se da desde 2.5V y a 0L desde 0.8V. El 0L y 1L de salida del 74LS14 son niveles TTL.

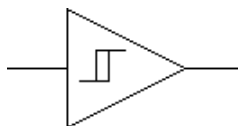


Figura 2.29 Disparador *Smith-Trigger*

Cuando el microcontrolador intente transmitir datos estos deberán ser trasladados a voltajes correspondientes a 1L y 0L del teléfono. Para este caso se utilizará un diodo y una resistencia como se observa en la figura 2.30.

<sup>73</sup> Sony Ericsson /Sony Ericsson T290i/T290c/T290a White Paper

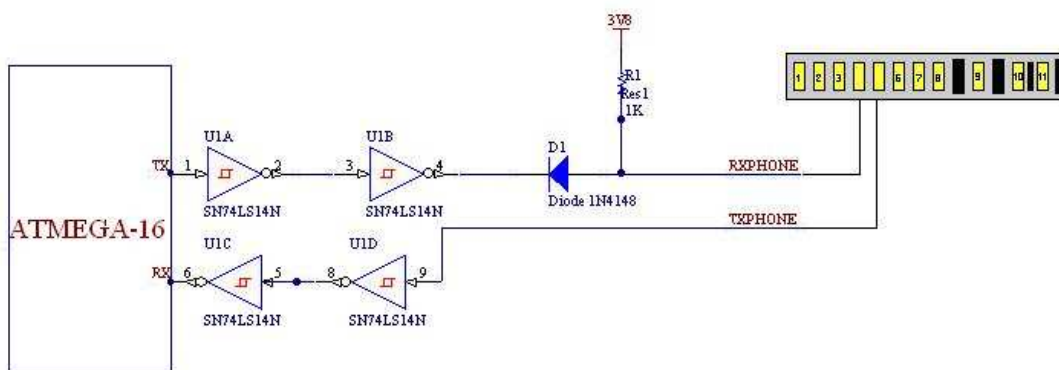


Figura 2.30 Circuito de traslación de niveles

Los pines correspondientes para transmisión y recepción del puerto del teléfono corresponden al 5 y 4 respectivamente.

### 2.5.3 BLOQUE DE APLICACIÓN

Éste bloque se encarga de varias funciones, como la de configuración y manejo del teléfono de la estación central. Al igual que el bloque anterior éste emplea comandos AT como protocolo de comunicación, pero en este caso, con el teléfono de la estación central. Éste recibe datos de medición de los sensores del punto remoto.

La aplicación debe ser desarrollada de manera que permita la visualización de las medidas extraídas del equipo remoto.

Este bloque esta compuesto por varios elementos: un PC, software de aplicación, un teléfono celular, y un cable de enlace entre el PC y el teléfono. Existen varios programas de desarrollo de aplicaciones en el mercado que permiten la creación de interfaces gráficas para aplicaciones. En este caso se utilizará el paquete de desarrollo *Visual Basic* de *Visual Studio 2005*.

#### 2.5.3.1 Software para la aplicación

Microsoft Visual Basic 2005 es una evolución del lenguaje Visual Basic que está diseñado para el desarrollo de aplicaciones orientadas a objetos. Visual Basic permite centrar el diseño en Windows, en Web y dispositivos móviles. Posee

beneficios como seguridad e interoperabilidad de lenguajes basados en *.NET Framework*.

El software debe permitir el almacenamiento de los datos que se reciben desde el punto remoto de tal forma que permita la clasificación y presentación de la información. A su vez éste configurará al teléfono para recibir y enviar datos sin problemas. El desarrollo del software con mayor detalle se puede observar en el siguiente capítulo.

- **Configuración Inicial**

Es importante tomar en consideración algunas características del manejo del equipo T290a. Al momento de enviar un comando AT hacia el teléfono, éste responde con un eco. Este eco dependiendo del caso puede eliminarse. También se debe especificar donde se almacenarán los datos y en que formato debe presentar el dispositivo la información (PDU o texto).

- **Espera de información**

Cada determinado intervalo de tiempo el programa de aplicación preguntará al dispositivo celular si han llegado nuevos mensajes. En caso afirmativo se ejecutará un algoritmo para desplegar la información de cada mensaje.

- **Envío de mensajes de configuración**

Puesto que el plan de mensajes escogido es limitado, es importante tomar en cuenta esquemas de toma de muestras que nos permitan recolectar mayor información en las horas cuando el tráfico vehicular aumenta y menos cuando éste disminuye. De esta forma se logrará optimizar el uso de mensajes.

Los mensajes de configuración permitirán al punto central modificar esquemas de muestreo de datos. Estos mensajes de configuración serán emitidos por parte de la estación central a la estación remota. La estación

remota responderá por medio de ACKs para indicar si la información llegó o no a la estación de medición.

- **Almacenamiento de datos**

Los datos que llegan al celular serán almacenados en un archivo de *ACCESS* controlado por medio de una interfaz gráfica desarrollada en Visual Basic 2005. Esta interfaz presentará varios modos de organización de la información.

- **Elaboración de reportes**

A medida que se ha ido obteniendo información desde el sitio remoto se elaborarán reportes de acuerdo a la información disponible.

- **Servicio del sistema operativo**

Debido a que el mantener la interfaz gráfica requiere de consumo de rendimiento de la maquina, se decidió desarrollar un servicio de *WINDOWS* de manera que mantenga ejecutando la lectura del puerto, donde está conectado el dispositivo celular, en espera de tramas de información.

### **2.5.3.2 Computador Personal**

La PC debe cumplir con los requerimientos técnicos de instalación de la aplicación desarrollada en Visual Basic 2005, y con un puerto USB. El PC (*Personal Computer*) no necesita permanecer prendido todo el tiempo, ya que el software leerá constantemente la información que ha llegado al celular, cuando el sistema operativo arranque nuevamente.

### **2.5.3.3 Teléfono celular T290A**

Al igual que en el bloque de envío y recepción de datos, aquí es necesario un dispositivo celular para el intercambio de información.

#### 2.5.3.4 Cable de conexión DCU-11(*USB DATA CABLE*)

El cable DCU – 11 se utiliza para la comunicación entre el teléfono móvil y una PC. Este cable permite el uso de la comunicación serial mediante USB. Éste permite la transferencia de datos, y utilizar la funcionalidad de *MODEM* del teléfono.

El cable se puede utilizar con los modelos de teléfonos: T200, T68i, T300, T310, T610, P800, A2618, A2628, R310, R320, R380 World, R380e, R380s, R520m, T20e, T20s, T28 World, T28s, T29, T39m, T65, y T68 de Sony Ericsson.<sup>74</sup>



Figura 2.31 Cable DCU-11

## 2.6 PARÁMETROS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Los principales parámetros que influyen dentro del funcionamiento del sistema son: intervalo de muestreo, tipos de tramas a utilizarse, y consideraciones de funcionamiento *outdoor*.

### 2.6.1 INTERVALO DE MUESTREO

Para determinar el intervalo de muestreo mínimo se consideró: la disponibilidad de mensajes del teléfono celular y el funcionamiento del sensor de CO.

---

<sup>74</sup> <http://www.cellularabroad.com/sonyDatacable.html>

El plan de mensajes ilimitados que ofrecen las operadoras celulares consiste de 5000 mensajes escritos en un período de un mes; por lo que al hacer un cálculo se podría utilizar hasta 166 mensajes por día.

Además hay que tomar en cuenta la recomendación del fabricante del sensor de CO de mantener una muestra constante durante tres ciclos (7,5 minutos) para alcanzar estabilidad en la medición.

Basándose en estos dos factores se determina como período mínimo de muestreo 7,5 minutos en el intervalo de horas pico de tráfico vehicular (6h00-20h00) y 4 muestras por hora en el intervalo nocturno (21h00-5h00).

## 2.6.2 TIPOS DE TRAMAS DE TRABAJO

Dentro del diseño del prototipo es importante establecer un formato de tramas para la comunicación de la estación remota con la estación central.

### 2.6.2.1 Trama de datos

La trama de datos que se diseñó para este prototipo es la que se coloca en la sección de información entregada por el usuario en la estructura del mensaje.

En la figura 2.32 se puede observar la localización de la trama de datos en un mensaje común.

```
+CMGL: 8,"REC UNREAD","+856",",",",08/01/06,01:48:18-20"
Su plan ha cambiado a Plan Tarifa Multicolor. Valido hasta el 26/04/08.
-----
OK
```

**Trama de datos**

Figura 2.32 Trama de datos del mensaje

Para el caso de la trama de datos de un mensaje del prototipo se utilizará la siguiente estructura:

**+CMGL: 4,"REC READ","095460983",",",",07/12/10,13:23:51-20**

**PMRCA/CO:100/CO2:500/T:20.5/H:61/\***

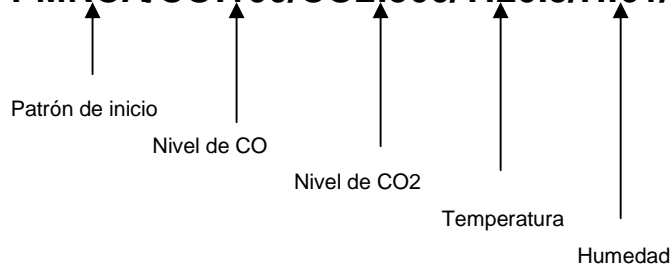


Figura 2.33 Trama de datos del PMRCA

- **Patrón de inicio**

Es el patrón con el que el sistema reconoce que es una trama de datos enviada por el dispositivo remoto. PMRCA significa Prototipo de Monitoreo Remoto de Contaminación Ambiental.

- **Nivel de CO**

Este dato es resultado del procesamiento del valor obtenido del sensor de CO.

- **Nivel de CO<sub>2</sub>**

Este dato es resultado del procesamiento del valor obtenido del sensor de CO<sub>2</sub>.

- **Temperatura**

Esta medida corresponde al dato del sensor digital de temperatura colocado en la trama por medio del microcontrolador.

- **Humedad**

Esta información es provista por el sensor HS1101 al microcontrolador.

Cada dato está separado por un *Slash (/)*, Para finalizar la trama se coloca un símbolo (*/\**).



### 2.6.2.2 Tramas de configuración

Algunos parámetros deben ser configurados de forma remota. Entre las variables configurables está el número de teléfono y el tiempo de muestreo.

#### 2.6.2.2.1 Número de teléfono

PMRCAC/NUMTEL:098818728/\*

Figura 2.34 Configuración del número de teléfono

Esta trama de configuración posee un patrón inicial, PMRCAC (Prototipo de Monitoreo Remoto de Contaminación Ambiental – Configuración), y el número de teléfono hacia donde enviar los datos (centro de datos).

La trama de confirmación de configuración emitida por el prototipo remoto es la siguiente:

PMRCAC/NUMTEL:#/OK/\*

Figura 2.35 ACK de la configuración del teléfono

#### 2.6.2.2.2 Tiempo de muestreo

PMRCAC/TMUESTREO:n/\*

Figura 2.36 Configuración del intervalo por hora para el muestreo

Esta trama muestra al dispositivo remoto el intervalo de envío de mensajes de datos. Debido a la disponibilidad de SMSs no se pueden enviar más de 8 mensajes por hora. Es decir 1 mensaje cada 7.5 minutos. n corresponde a la variable de la ecuación 2.5..

$$\text{Intervalo entre cada mensaje} = 7.5 + 2.5(n-1)$$

(Ec. 2.5)

n: intervalo de envío de los mensajes.

Desde las 6:00 hasta 20:00 horas el intervalo entre cada mensaje será configurado por medio de esta trama. En el resto de horas del día el intervalo de muestreo corresponde a 1 mensaje cada 15 minutos.

La trama con la que responde el prototipo es la siguiente:

PMRCAC/TMUESTREO:n/OK/\*

Figura 2.37 ACK de la configuración del tiempo de muestreo

#### **2.6.2.2.3 *Falla de energía***

PMRCA/FDE/\*

Figura 2.38 Trama de configuración de falla de energía

Cuando el dispositivo detecte que no hay suministro eléctrico enviará esta trama desde el dispositivo remoto a la estación central. El celular mientras se encuentre conectado con el prototipo a una fuente de energía, permanecerá en estado de carga por lo que si existe una falla de energía emitirá una respuesta negativa al comando AT+CBC.

#### **2.6.2.2.4 *Energía Restaurada***

PMRCA/ER/\*

Figura 2.39 Trama de configuración cuando la energía ha sido restaurada.

Luego de que se produjera una falla en la energía y ésta fuese restaurada, el dispositivo emitirá un mensaje de energía restaurada (ER).

### **2.1.1 CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO *OUTDOOR***

Las principales características a tomar en cuenta para el funcionamiento *outdoor* son:

- **Tamaño y peso**

Los elementos internos no deben ser muy pesados para que el prototipo pueda colocarse fácilmente en donde se va a realizar las mediciones. También la dimensión de dichos elementos debe ser la menor posible

- **Alimentación**

El peso y el tamaño del prototipo son importantes por lo que la incorporación de una fuente basada en un transformador no sería viable. Por este motivo la mejor solución es usar una fuente *switching* que tiene la ventaja de bajo peso y tamaño, gran estabilidad y alta capacidad de suministro de corriente.

- **Batería de Respaldo**

La batería del teléfono funciona como respaldo en caso de una falla de suministro de energía. Esto permite que el microcontrolador siga funcionando y se pueda enviar un mensaje notificando que hay una falla de energía para que se tome alguna medida para reestablecer el suministro. Esta batería no permite que sigan funcionando los sensores ni la cámara de retención de aire ya que éstos requieren de voltajes y corrientes altas lo que agotaría rápidamente la batería de respaldo.

- **Configuración Remota**

Es importante que el prototipo sea configurable de forma remota ya que esto evitaría la necesidad de trasladarse al lugar donde está instalado el prototipo y optimizar la operación del mismo.

- **Impermeabilidad**

Es importante que el prototipo no permita el paso de agua al interior de la caja de forma que no se produzca un daño en los dispositivos electrónicos internos.

- **Material de la caja contenedora**

El material de la caja debe ser resistente y también debe permitir la comunicación del teléfono sin interferencias. Por esto el material para la caja debe ser plástico y resistente.

- **Continuidad de servicio eléctrico**

Es importante monitorear el servicio eléctrico para que en caso de falla del mismo se pueda tomar acciones ya que el prototipo no funciona completamente sin energía eléctrica.

### 3 CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Este capítulo tratará acerca del desarrollo del *software* a implementarse dentro del microcontrolador, de la aplicación del equipo central de recolección de datos, además de la construcción del *hardware* del equipo.

#### 3.1 SOFTWARE PARA EL MICROCONTROLADOR

El *software* controlará al microcontrolador de manera que permita la recolección y envío de datos de forma eficaz. Por este motivo se presenta el siguiente diagrama de flujo del programa a realizarse.

##### 3.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

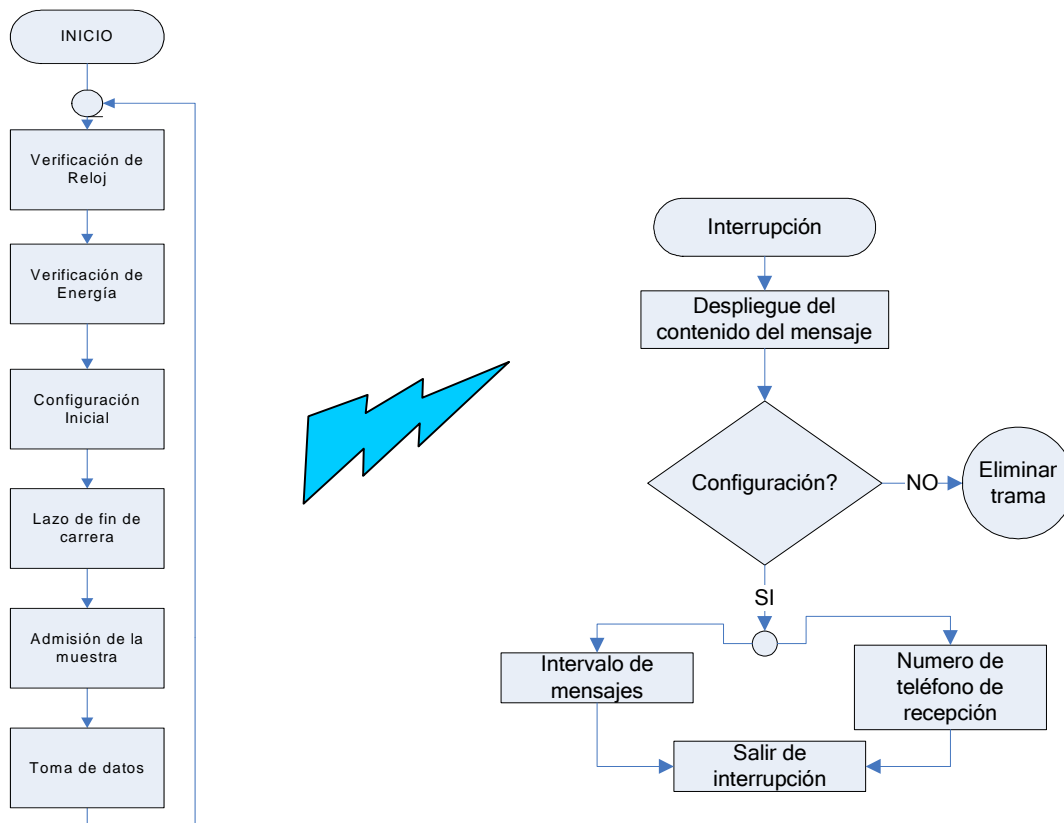


Figura 3.1 Diagrama de bloques del programa a ser implementado

### 3.1.1.1 Subrutina de verificación del reloj

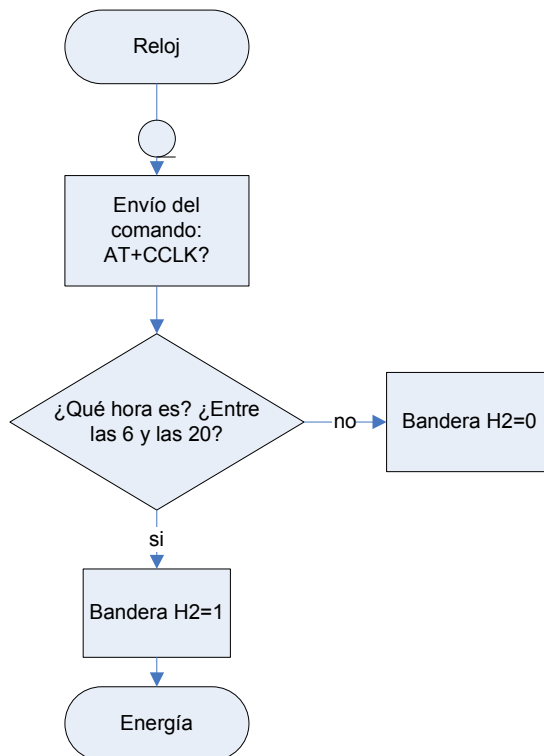


Figura 3.2 Diagrama de la Verificación del Reloj

Se debe verificar la hora interna del teléfono. Esto se realiza enviando un comando al celular. El comando utilizado es AT+CCLK, el cual entrega al usuario la información de hora y fecha en el siguiente formato.

yy / MM / dd , hh : mm : ss±zz

Donde:

yy: año

MM: mes

dd: día

hh: hora

mm: minuto

ss: segundo

zz: zona horaria

Luego, el programa pregunta si la hora obtenida del reloj está entre las 6 y 20 horas. Se toma mayor cantidad de muestras de aire entre las 6 y 20 horas. En el período de las 21:00 hasta las 6:00 el intervalo por defecto es de 15 minutos entre muestras. Si esta condición se cumple se activa una bandera, caso contrario no. Esta bandera utiliza el sistema para definir, luego, la frecuencia del muestreo de los datos.

### 3.1.1.2 Subrutina de Verificación de Energía

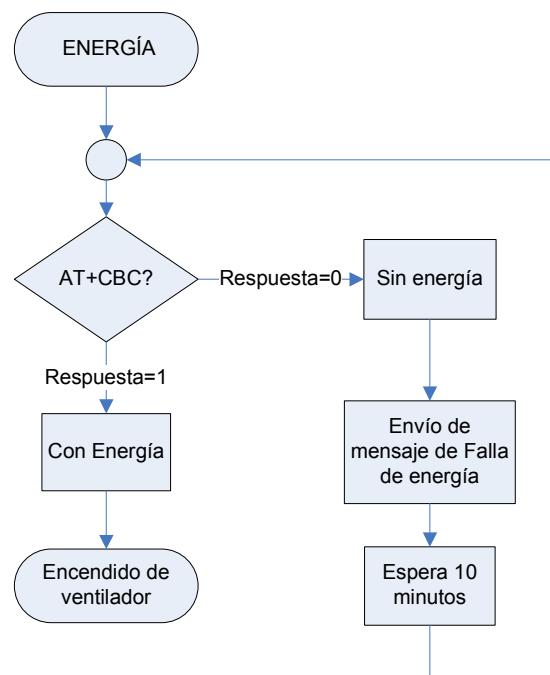


Figura 3.3 Diagrama de la Verificación de Energía

La verificación de energía se realiza por medio del comando AT+CBC. Este comando permite identificar si el dispositivo celular se encuentra en estado de carga o no. El dispositivo se encuentra en estado de carga siempre, por lo que sólo una falla de energía podría hacerlo cambiar de estado. La respuesta del comando se muestra a continuación.

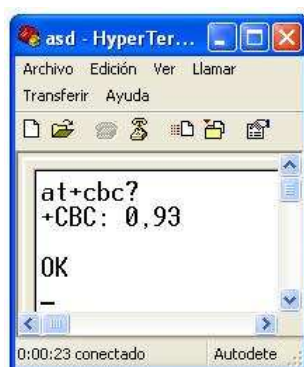


Figura 3.4 Respuesta ante el comando *at+cbc?*

En la figura 3.4 se puede observar la respuesta al comando AT+CBC?. “0” implica que el teléfono no se encuentra en estado de carga. “93” indica el nivel de carga, en porcentaje, que existe actualmente sobre la batería.

Si el teléfono se encuentra en estado de carga, el programa continúa sin ningún problema. En caso de que ésto no ocurra el dispositivo espera 10 minutos y envía un mensaje de falla de energía. Diez minutos después el microcontrolador vuelve a preguntarle al teléfono si hay energía. Si ha sido restablecido el suministro eléctrico, el dispositivo continúa con su trabajo.

### 3.1.1.3 Subrutina para configuración inicial

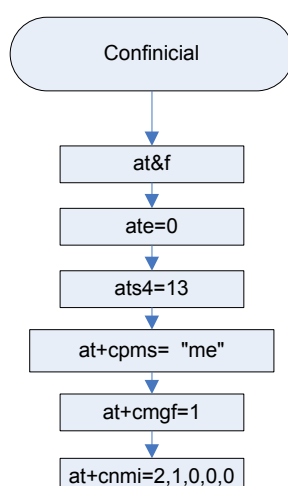


Figura 3.5 Diagrama de Configuración Inicial



El bloque de configuración inicial permite el uso de comandos AT del dispositivo celular, para comunicarse con el microcontrolador. Los comandos emitidos en este bloque son los siguientes:

- **AT&F:** Permite regresar a la configuración de fábrica del teléfono. Todo tipo de configuración previa será borrada.
- **ATE=0:** Permite configurar al teléfono para que no emita eco de la información que se le envía. ATE=1 vuelve a habilitar el eco del dispositivo celular.
- **ATS4=13:** Define el comando a ser utilizado como caracter de fin de línea. El número indica que caracter va a ser utilizado (13: *carry return*).
- **AT+CPMS="me":** Utilizado para especificar al dispositivo celular en donde se quiere guardar los mensajes SMS. Las opciones disponibles son "SM" memoria SIM, o "ME" memoria del teléfono. Por defecto los mensajes siempre se guardan en la memoria interna "ME" por lo que se debe leer esta memoria.
- **AT+CMGF=1:** Permite cambiar del formato PDU al formato TEXTO o viceversa. Para este dispositivo se utilizará el modo texto.

El modo PDU (AT+CMGF=0) se utiliza para enviar información en un formato de 7 y 8 bits. Se utiliza en el caso de que se deba enviar datos comprimidos, datos binarios, o si se necesita establecer una codificación de la cadena de bits.

El modo de texto (AT+CMGF=1), no disponible en algunos teléfonos, es una codificación de una cadena de bits del modo PDU. Permite manejar datos directamente en formato ASCII.

- **AT+CNMI=2,1,0,0,0:** Configura al teléfono para que emita información el momento en que llegue un mensaje SMS al dispositivo celular.

#### 3.1.1.4 Lazo de fin de carrera

En el momento de un reseteo o falla de energía no se puede saber en que lugar se encuentra la tapa del contenedor, por lo que es necesario, un lazo de fin de carrera para regresar la tapa a la posición inicial (embase cerrado).

El mecanismo para este lazo funciona por medio de un pulsador. Cuando la tapa se cierra el pulsador se activa indicando que la tapa se encuentra en la posición inicial.

#### 3.1.1.5 Adquisición de datos de la muestra

Corresponde al proceso en donde se obtienen los datos de los sensores. A continuación se explica cada una de las subrutinas.

##### 3.1.1.5.1 Subrutina para el sensor de CO

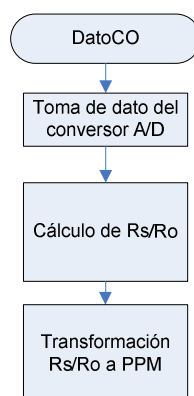


Figura 3.6 Diagrama de la subrutina para el sensor de CO

El valor del sensor de CO se toma por medio del pin 0 del puerto C del microcontrolador, el cual posee un conversor analógico-digital.

Primero se convierte el equivalente decimal de la lectura a voltaje. Con este valor se calcula la relación  $\frac{R_s}{R_o}$  que es necesaria para determinar el equivalente en ppm.

Para encontrar la ecuación que relaciona  $\frac{R_s}{R_o}$  con el nivel de ppm se analizó la gráfica de respuesta del sensor.

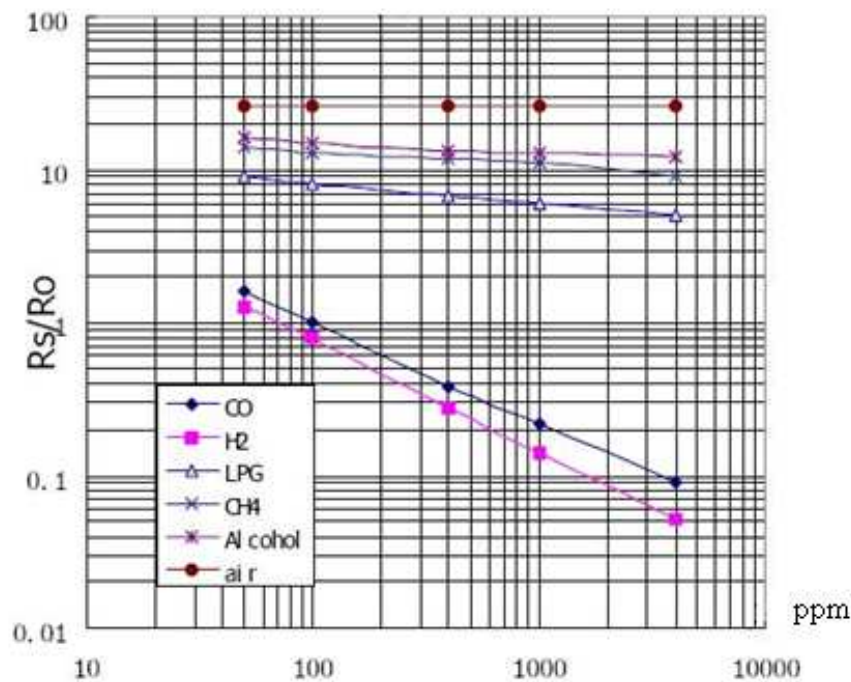


Figura 3.7 Respuesta del sensor de CO<sup>75</sup>

El sensor responde a la siguiente ecuación de respuesta logarítmica:

$$y = kx^n \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Analizando la gráfica se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 17.5x^{-0.63} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

<sup>75</sup> Sensor MQ7/ [http://www.alibaba.com/catalog/10301037/Co\\_Gas\\_Sensor.html/](http://www.alibaba.com/catalog/10301037/Co_Gas_Sensor.html/)

Despejando X de la ecuación se obtiene:

$$x = 10^{\frac{\log(17.5) - \log(y)}{0.63}} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

y: relación  $R_S/R_0$

x: concentración de CO expresada en ppm

La ecuación 3.3 se aplica en esta subrutina para tener el equivalente en ppm de la lectura del conversor A/D.

### 3.1.1.5.2 Sensor de CO<sub>2</sub>

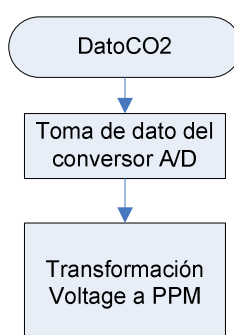


Figura 3.8 Diagrama de la subrutina para el sensor de CO<sub>2</sub>

La lectura del sensor de CO<sub>2</sub> se realiza por medio del pin 1 del puerto C del microcontrolador, el cual posee un conversor analógico-digital. Primero se convierte el equivalente decimal de la lectura a voltaje para realizar el cálculo del nivel de ppm de CO<sub>2</sub>.

Se realizó un análisis matemático de las gráficas de respuesta del sensor, provistas por el fabricante, con la finalidad de encontrar una ecuación que represente dicha gráfica.

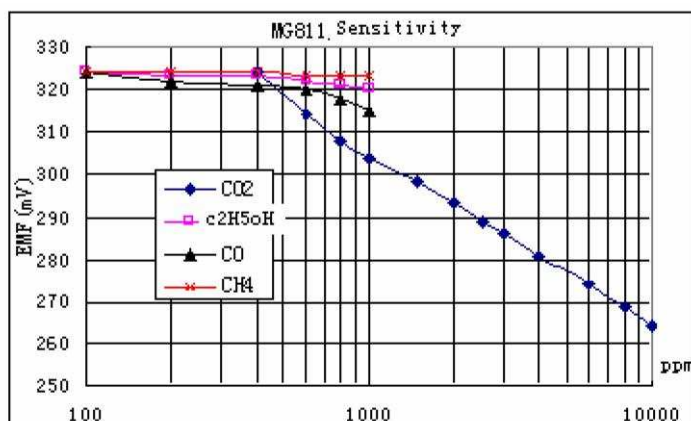


Figura 3.9 Respuesta del sensor de CO<sub>2</sub><sup>76</sup>

La gráfica en el eje X es logarítmica, por lo que responde a una ecuación semi-logarítmica de la siguiente forma:

$$y = m \log(x) + b \quad (\text{Ec. 3.4})$$

La gráfica se divide en dos partes debido a que la pendiente no es constante. La primera parte varía entre 400ppm y 1000ppm. La segunda parte varía entre 1000ppm y 10000ppm.

Analizando las dos partes se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= -50.2588 \log(x_1) + 454 \\ y_2 &= -38.5 \log(x_2) + 418 \end{aligned} \right\} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Ahora despejando X de las dos ecuaciones se obtiene lo siguiente:

$$\left. \begin{aligned} \text{Para } 400 \text{ ppm} < x_1 < 1000 \text{ ppm} & \quad x_1 = 10^{\frac{454 - y_1}{50.2588}} \\ \text{Para } 1000 \text{ ppm} < x_2 < 10000 \text{ ppm} & \quad x_2 = 10^{\frac{418 - y_2}{38.5}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

y: voltaje de salida del sensor en mV  
x: concentración de CO<sub>2</sub> expresada en ppm

<sup>76</sup> Sensor MG811/<http://www.compel.ru/images/catalog/339/MG811.pdf>

Al igual que en los casos anteriores estas ecuaciones se aplican dentro de esta subrutina para tener el equivalente en ppm de la lectura del conversor A/D.

### 3.1.1.5.3 Subrutina para el sensor de Humedad

El sensor de humedad es de naturaleza capacitiva, como se explicó en el capítulo anterior. El microcontrolador inicia un temporizador con lo que éste calcula el período y la frecuencia generada por el sensor de humedad y un circuito integrado 555.

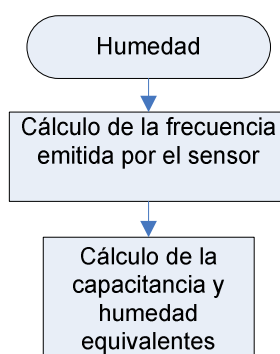


Figura. 3.10 Diagrama de la subrutina para el sensor de Humedad

Inicialmente se encera el contador *TIMER1* de 16 bits. Éste se inicia cuando el sensor emite un pulso en alto y termina cuando el pulso vuelve a alto. En el prototipo se utiliza un oscilador externo de 8MHZ con lo que cada ciclo será de 1/8MHZ.

$$T_{señal} = \frac{Timer1}{8} \quad (Ec. 3.7)$$

$$F_{Señal} = \frac{1}{T_{Señal}} \quad (Ec. 3.8)$$

La frecuencia generada por el 555 debido a la capacitancia del sensor es la siguiente:

$$F_{Señal} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) * C} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

$R_A, R_B$ : Resistencias del Circuito Astable.  
 $C$ : Capacitancia del circuito Astable.

Despejando la capacitancia de la ecuación anterior se tiene:

$$C = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) * F_{Señal}} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

$R_A, R_B$ : Resistencias del Circuito Astable.  
 $C$ : Capacitancia del circuito Astable.

La fig. 3.11 muestra la gráfica de respuesta del sensor de humedad provista por el fabricante, se pueden encontrar el equivalente matemático de la misma.

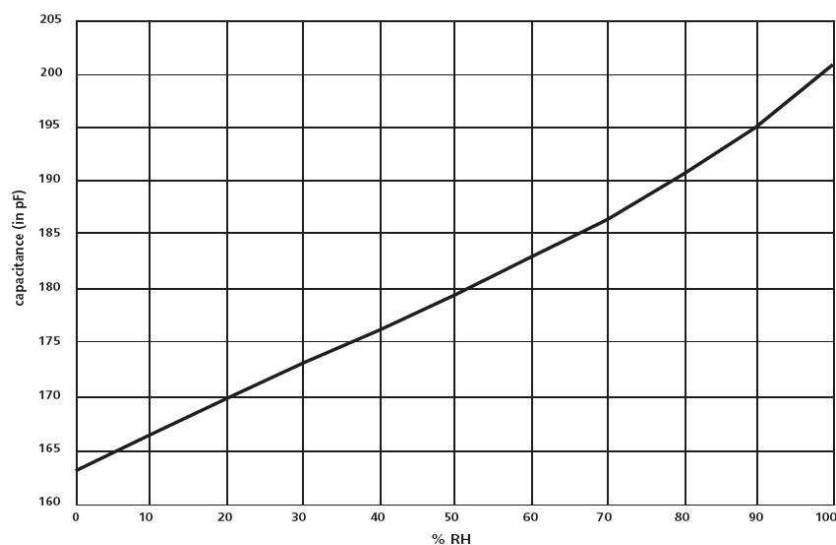


Figura 3.11 Respuesta del sensor de Humedad

Para su análisis la gráfica se divide en tres partes.

$$(Ec. 3.11) \quad \%RH \begin{cases} C(pF) < 186.25 pF & \%RH = \frac{(C - 163.5)pF}{0.325} \\ C(pF) > 195 pF & \%RH = \frac{(C - 138.75)pF}{0.625} \\ 186.25 \leq C(pF) \leq 195 pF & \%RH = \frac{(C - 155.62)pF}{0.4375} \end{cases}$$

%RH: Humedad Relativa  
C:Capacitancia

La Ec. 3.11 es utilizada en esta subrutina para determinar la humedad relativa.

#### 3.1.1.5.4 Subrutina para el sensor de temperatura

Como se puede observar en la figura 3.12 la recolección de los datos del sensor se da por tres procesos.

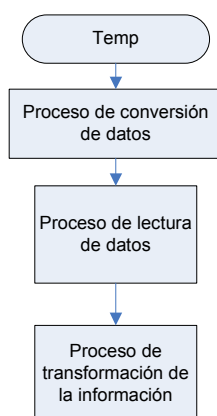


Figura 3.12 Diagrama de la subrutina para el sensor de Temperatura

El proceso de conversión de datos consiste en el envío de un código de inicio de secuencia mediante el cual se le comunica al sensor el inicio de un proceso. El comando es *1WRESET*. Luego se envía un comando de salto de la lectura de ROM (ccH). Consiste en evitar leer la dirección del dispositivo de la ROM, puesto que no



es necesario, ya que en el prototipo sólo se tiene un dispositivo *1WIRE*. El primer proceso termina con el envío del comando de conversión (44H) desde el microcontrolador con el objetivo de que el sensor obtenga la medida de la temperatura.

El segundo proceso permite la lectura del dato desde el microcontrolador. Se envía los comandos de inicio de secuencia y de salto de la memoria *ROM* al igual que en el primer proceso *1WRESET* y *cCH* respectivamente. Finalmente se envía la secuencia de lectura del dato (*beH*).

El tercer proceso corresponde a la multiplicación del dato obtenido en el proceso de lectura por un factor especificado por el fabricante. En este caso se eligió la resolución por defecto del sensor (12 bits). El factor de multiplicación será de 0.0625.

### 3.1.1.6 Envío de mensaje

El envío de un mensaje se da en caso de que se produzca un evento específico. El proceso de envío de un mensaje se describe en el diagrama de la figura 3.13.

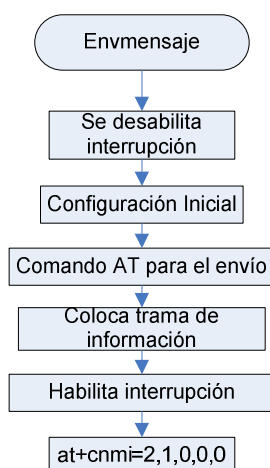


Figura 3.13 Diagrama de la subrutina para el envío de mensajes

Primero se envía a configuración inicial debido a que cada vez que se envía un mensaje el dispositivo celular elimina la configuración anterior. Luego se envía el comando AT+CMGS con el objetivo de enviar un mensaje. A continuación se coloca el número del teléfono con el que se comunicará. El celular responderá con el carácter ">".



Figura 3.14 Comando AT+CMGS

Luego, se coloca la trama de información o configuración. Para enviar el mensaje es necesario colocar un carácter especial (*Ctrl+Z*) que corresponde al número 26 en decimal. En este instante el teléfono responderá favorablemente (*OK*) o desfavorablemente (*ERROR*).

Cuando se envíen mensajes de configuración desde la estación central, el dispositivo remoto responde por medio de un mensaje de confirmación establecida.

En el caso de recibir un mensaje de configuración de la forma *PMRCAC/NUMTEL:#/\**, el programa emite un mensaje de confirmación de la siguiente forma: *PMRCAC/NUMTEL:#/OK/\**.

En el caso de recibir un mensaje de configuración de la forma *PMRCAC/TMUESTREO:n/\**, el programa emite un mensaje de confirmación de la forma: *PMRCAC/TMUESTREO:n/OK/\**.

### **3.1.1.7 Interrupción**

La secuencia del programa irá a la interrupción en caso de que el microcontrolador reciba datos desde el teléfono. Éste emitirá un comando de aviso a través de la interfaz de comunicación en el caso de que reciba un mensaje. En este instante el ATMEGA16 emitirá un comando para el despliegue de la información del mensaje. Si es un mensaje de configuración, se emitirá un acuse de recibo que corresponde a un mensaje indicando a la estación central que se ha configurado una característica, luego el mensaje es eliminado. Si el texto no corresponde a alguna de las tramas válidas también será eliminado.

## **3.2 SOFTWARE PARA EL PROGRAMA DE APLICACIÓN**

La aplicación se utiliza en la recolección de los datos que se envíen de la estación remota. Este software consta de una interfaz gráfica que permite la configuración del teléfono de la estación central, la recolección de datos, la manipulación, representación y almacenamiento de la información.

Los datos son guardados en una base de datos. Además posee un servicio de Windows el que permite, sin la necesidad de tener abierta la aplicación, se pueda iniciar la recolección de datos.

### **3.2.1 INTERFAZ GRÁFICA**

La interfaz gráfica está compuesta de seis formularios:

- Presentación
- Comprobación de Usuario
- Principal
- Filtrado de Registros
- Reportes
- Presentación de Gráficas

### 3.2.1.1 Formulario de Presentación

Este formulario da la bienvenida a la aplicación gráfica con los nombres de los integrantes del proyecto.



Figura 3.15 Formulario de Presentación

### 3.2.1.2 Formulario de comprobación de usuario

Este permite que sólo un usuario con contraseña válida ingrese a la aplicación. Dentro de este formulario se debe ingresar el nombre del usuario y su respectiva contraseña.



Figura 3.16 Formulario de comprobación de usuario

### 3.2.1.3 Formulario Principal

El formulario principal está compuesto de un conjunto de menús que permite utilizar las opciones de la aplicación. Posee una barra de herramientas que posee iconos que permiten acceder a las opciones de los menús de forma más rápida.

Este formulario inicialmente busca un archivo generado por un servicio de *Windows*, denominado PMRCA.txt y descarga todos los datos obtenidos mientras la interfaz gráfica estuvo inactiva.



Figura 3.17 Formulario Principal

### 3.2.1.4 Formulario de Filtrado de Registros

Este formulario permite mostrar los registros almacenados en una tabla de ACCESS, filtrados de acuerdo a: número telefónico, fecha y hora.

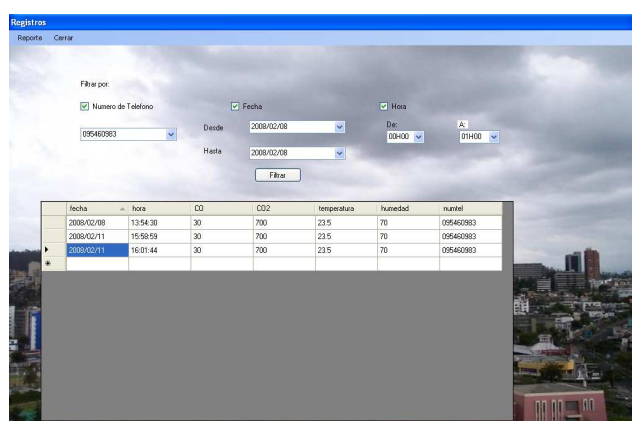
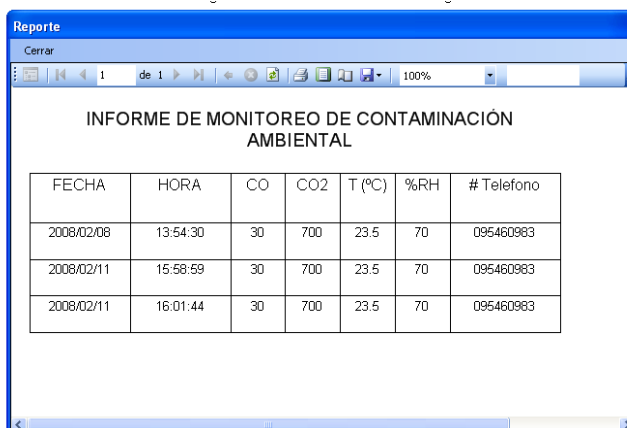


Figura 3.18 Formulario de Filtrado de Registros

### 3.2.1.5 Formulario de Reportes

Este formulario toma la información que resulta del filtrado de registros y la despliega con la opción de impresión o almacenamiento en archivo.



The screenshot shows a window titled 'Reporte' with a 'Cerrar' button. The main content is a table titled 'INFORME DE MONITOREO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL'. The table has seven columns: FECHA, HORA, CO, CO2, T (°C), %RH, and # Telefono. There are three rows of data.

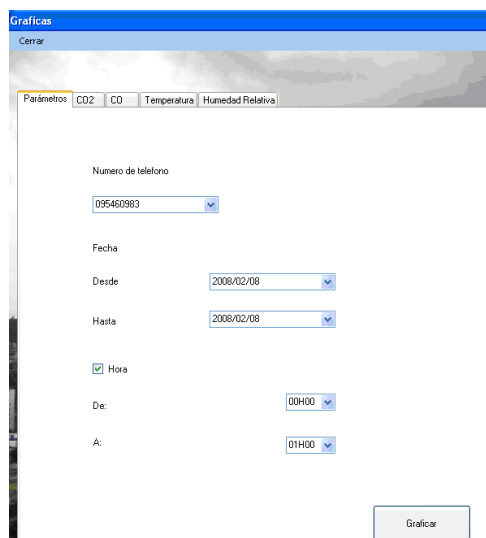
FECHA	HORA	CO	CO2	T (°C)	%RH	# Telefono
2008/02/08	13:54:30	30	700	23.5	70	095460983
2008/02/11	15:58:59	30	700	23.5	70	095460983
2008/02/11	16:01:44	30	700	23.5	70	095460983

Figura 3.19 Formulario de Reportes

### 3.2.1.6 Formulario de Presentación de las Gráficas

Este formulario muestra la representación gráfica de los datos almacenados. Permite listar los parámetros de dichas gráficas: por hora, fecha y número de teléfono.

Posee cuatro *TABS* que presentan las gráficas de los parámetros seleccionados.



The screenshot shows a window titled 'Graficas' with a 'Cerrar' button. Below the title bar is a tabbed interface with four tabs: 'Parametros', 'CO2', 'CO', 'Temperatura', and 'Humedad Relativa'. The 'Parametros' tab is active. It contains the following configuration options:

- Numero de telefono: 095460983 (dropdown menu)
- Fecha: Desde 2008/02/08 (dropdown menu), Hasta 2008/02/08 (dropdown menu)
- Hora
- De: 00H00 (dropdown menu)
- A: 01H00 (dropdown menu)
- Graficar button

Figura 3.20 Formulario de Presentación de gráficas (Configuración de parámetros)

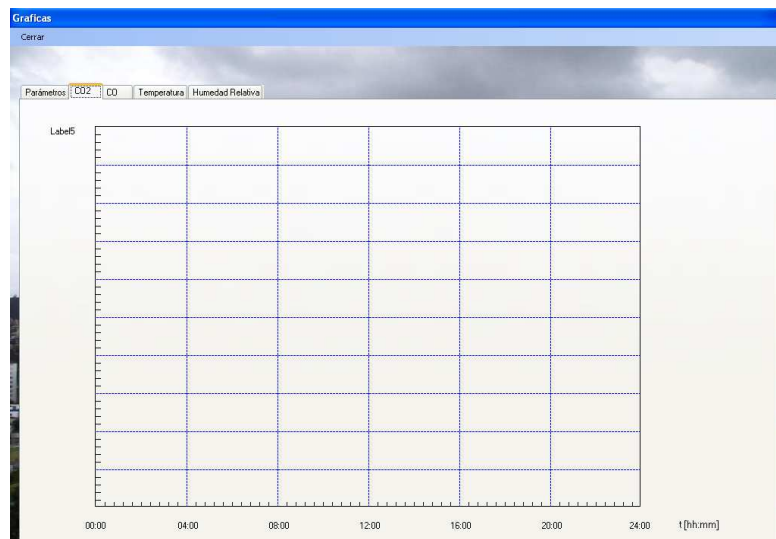


Figura 3.21 Formulario de Presentación de Gráficas (CO, CO<sub>2</sub>, Humedad y Temperatura)

### 3.2.2 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA APLICACIÓN

A continuación se detallan los diagramas de flujo correspondientes a la configuración del teléfono y al servicio de *Windows* dentro de la aplicación.

#### 3.2.2.1 Configuración del dispositivo celular

La configuración del teléfono inicia con la búsqueda de los puertos disponibles dentro de la computadora. Este proceso se realiza abriendo y cerrando cada interfaz.

Si ocurre algún error, implica que tal puerto no se encuentra disponible. En caso de que no exista ninguno disponible la subrutina termina. Si se encuentran puertos se busca *MODEMS* enviando comandos *AT* a cada uno de ellos. Los que respondan a este comando tendrán un *MODEM* conectado; el programa los identifica. Finalmente, el dispositivo celular es configurado para su manejo desde la aplicación.

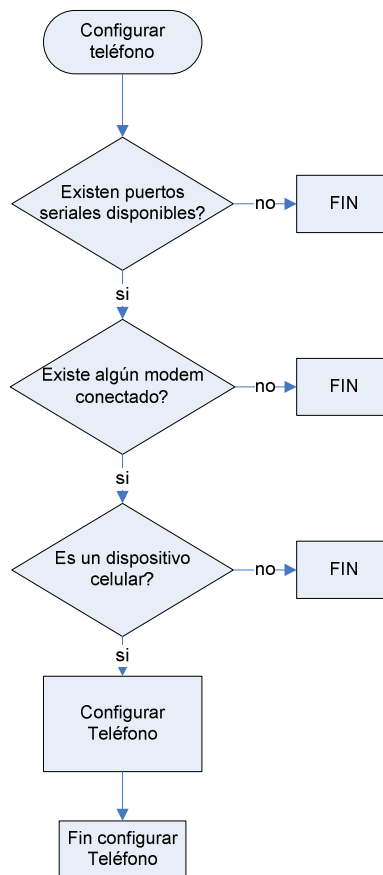


Figura 3.22 Diagrama de la configuración del teléfono

### 3.2.2.1.1 Configuración por comandos AT desde la aplicación

Los comandos AT que se envían son tres: configuración de la memoria, desactivación del eco y manejo de datos en forma de caracteres.

Si alguno de estos eventos falla, aparecerá un mensaje de error en la conexión. Este proceso de configuración es básico para el prototipo debido a que es necesario configurar el lugar de donde se leerán los mensajes. Por defecto todo mensaje que sea recibido se almacena en la memoria interna del teléfono. Los mensajes que llegan al teléfono por defecto siempre se guardan en la memoria interna del celular. El eco debe ser desactivado para evitar que exista duplicidad con los caracteres emitidos por el teléfono.



El manejo de datos en forma de caracteres, implica que toda la información provista por el teléfono esté en formato ASCII. Por defecto el teléfono maneja la información en formato PDU.

### **3.2.2.2 Servicio del sistema operativo**

El servicio de Windows para el sistema operativo que se desarrolla, configura el dispositivo celular de igual manera que la interfaz de la aplicación principal.

#### **3.2.2.2.1 Características de los servicios de Windows**

Para implementar un servicio de Windows es necesario conocer algunas de sus características.

- Un servicio de Windows puede empezar antes de que un usuario ingrese dentro de la interfaz gráfica del sistema operativo.
- Los servicios pueden ser instalados de manera manual si así se desea.
- No dependen del usuario que ha ingresado al sistema.
- Típicamente no tiene interfaz de usuario, por lo que puede ser utilizado en diferentes cuentas.
- Todos los servicios de Windows pueden ser visualizados mediante el *Service Control Manager* desde el panel de control. Éste permite parar o iniciar manualmente los servicios instalados.

Pueden ser desarrollados en diferentes tipos de lenguajes como C++, Visual Basic 6 o superiores, .NET entre otros.

#### **3.2.2.2.2 Servicio de Windows para el prototipo**

Para la elaboración del servicio se utilizó *Visual Basic 2005*. El servicio permite que la aplicación principal se cierre sin necesidad de que se cancele la espera y recepción de datos.

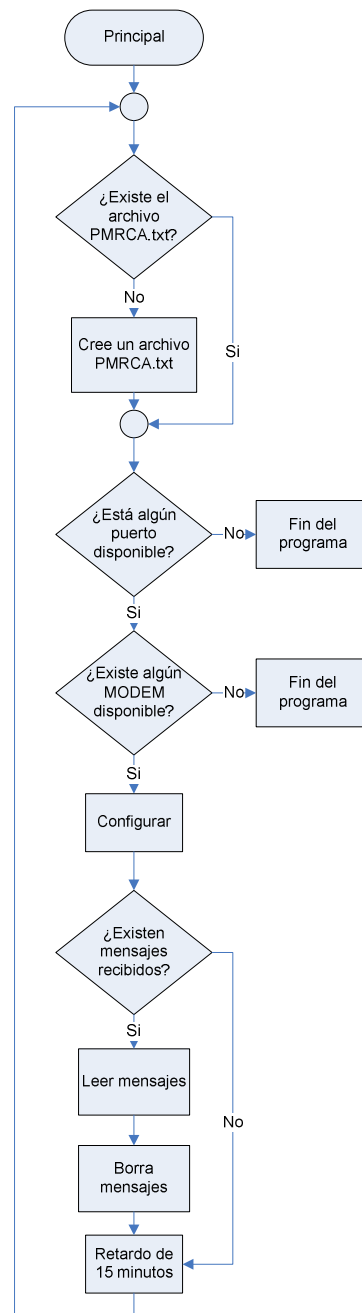


Figura 3.23 Diagrama del servicio de Windows

El proceso de lectura se explica en la figura 3.23. Inicialmente se crea un archivo de texto (PMRCA.txt) el cual servirá de contenedor en el caso de que la interfaz de la aplicación principal no se encuentre abierta.

Posteriormente se analiza si existe un puerto y *MODEM* disponibles. Finalmente, cuando se activa la interfaz principal de usuario se leen y borran los mensajes que se han acumulado en el archivo de texto, PMRCA.txt.

Para activar y desactivar los servicios se utilizan los métodos ON\_Start y ON\_Stop respectivamente, desde la interfaz de aplicación. Estos sirven para iniciar la subrutina principal, para detenerla y para cerrar el archivo de texto utilizado.

### **3.3 CONSTRUCCIÓN**

La construcción abarcará la elaboración del circuito impreso, diagramas esquemáticos y circuitales, las características de la cámara de retención del aire y las características de la caja contenedora.

#### **3.3.1 ELABORACIÓN DEL CIRCUITO IMPRESO**

El circuito impreso del prototipo está dividido en dos placas para tener mayor facilidad en la colocación de las partes dentro de la caja del prototipo. Los diagramas esquemáticos y circuitales se realizaron utilizando la herramienta DXP 2004.

##### **3.3.1.1 Diagramas esquemáticos**

En la placa No. 1, presentada en la figura 3.24, se encuentra el microcontrolador, la circuitería para alimentación, los circuitos para la comunicación con el teléfono, y los conectores para: el LCD, el manejo de la cámara de admisión, el ventilador, el teléfono y para la alimentación. En la placa No. 2, presentada en la figura 3.25, se encuentran los sensores y la circuitería para adecuación de las señales que provienen de ellos.

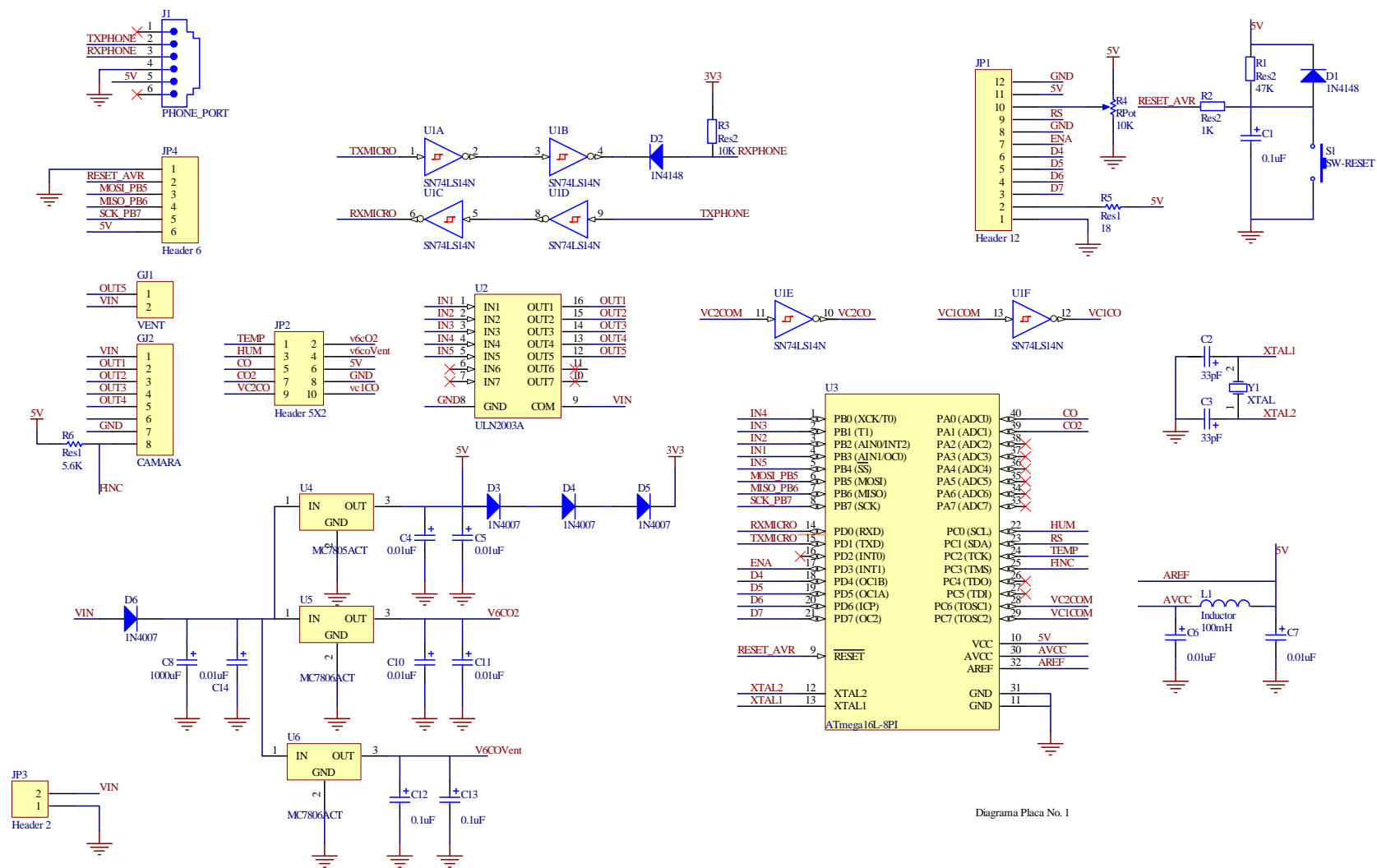


Figura 3.24 Diagrama Esquemático Placa No. 1

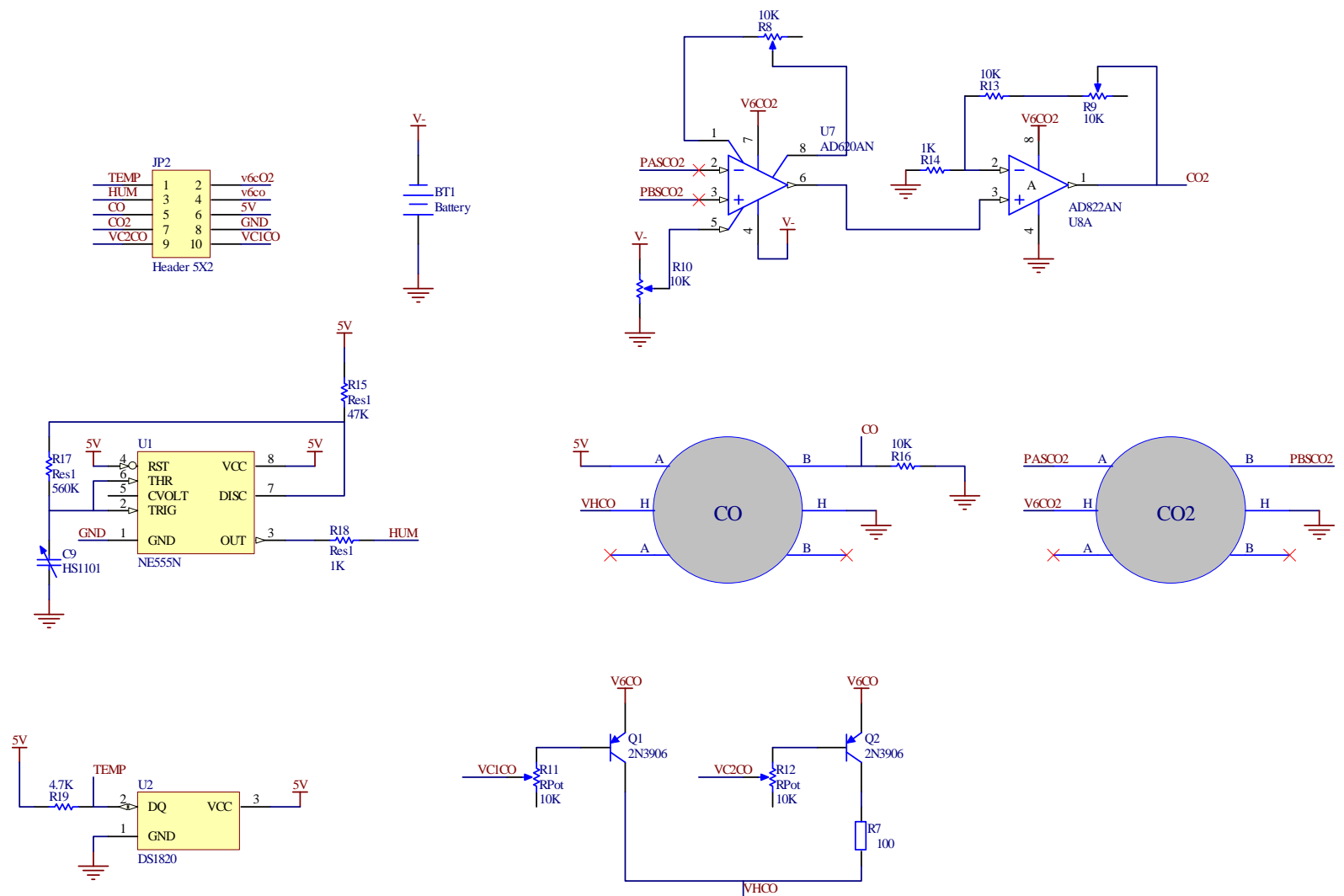


Diagrama Placa No. 2

Figura 3.25 Diagrama Esquemático Placa No. 2

### 3.3.1.2 Diagramas circuitales

La placa No.1 tiene 9cm (3550 mil) de alto x 7.8cm (3065 mil) de ancho.

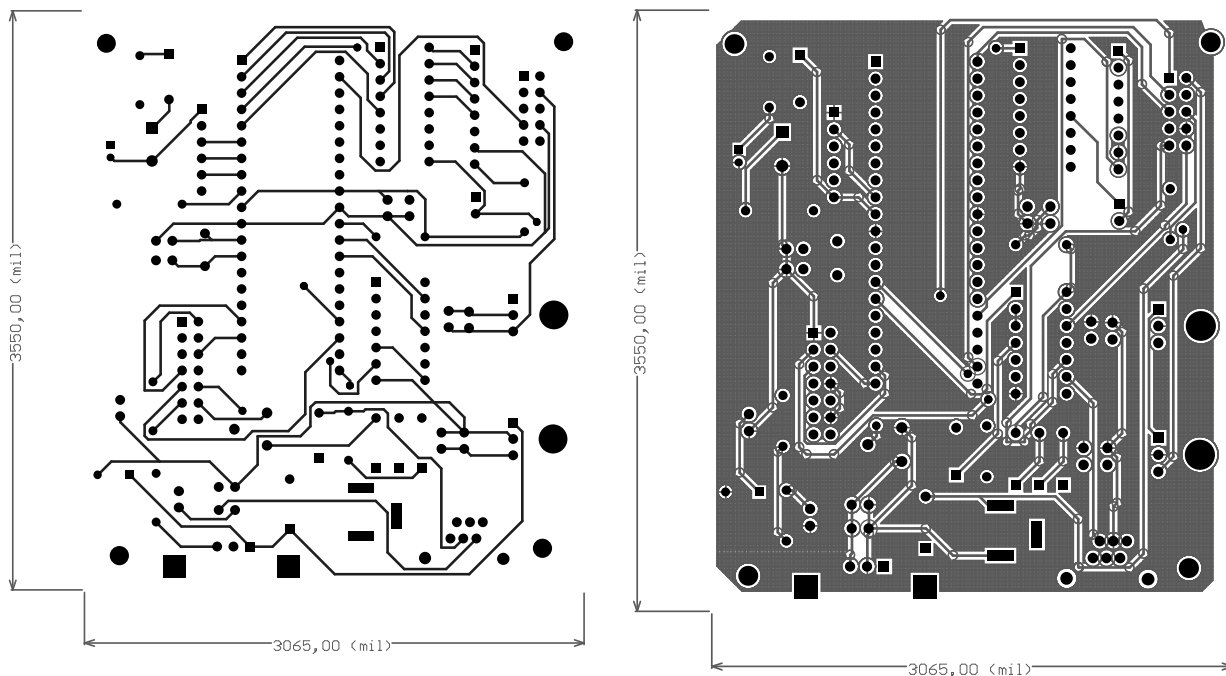


Figura 3.26 *Top Layer, Bottom Layer* Placa No. 1

La placa No.2 tiene 6.4cm (2520 mil) de alto x 8.45cm (3330 mil) de ancho

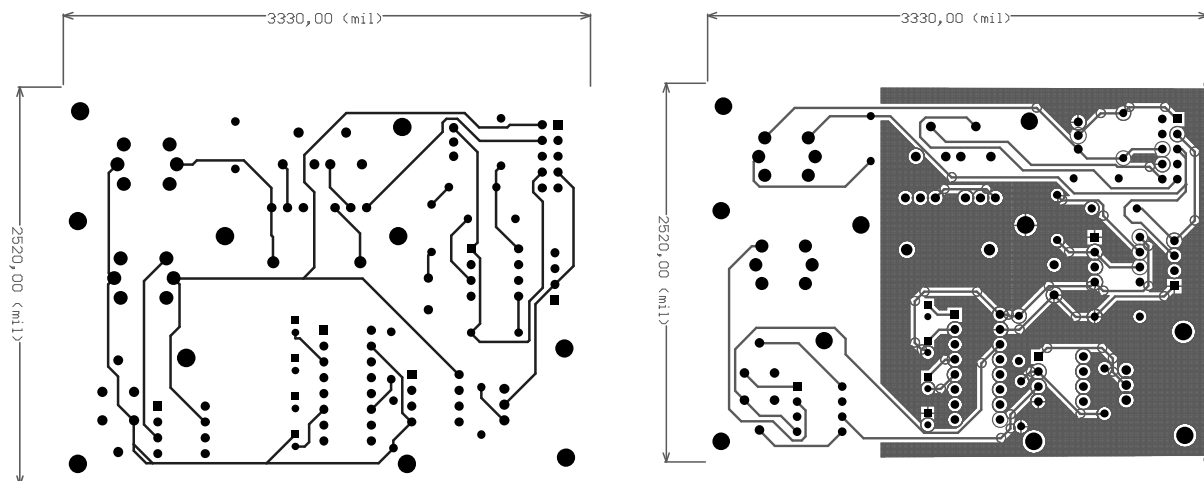


Figura 3.27 *Top Layer, Bottom Layer* Placa No. 2

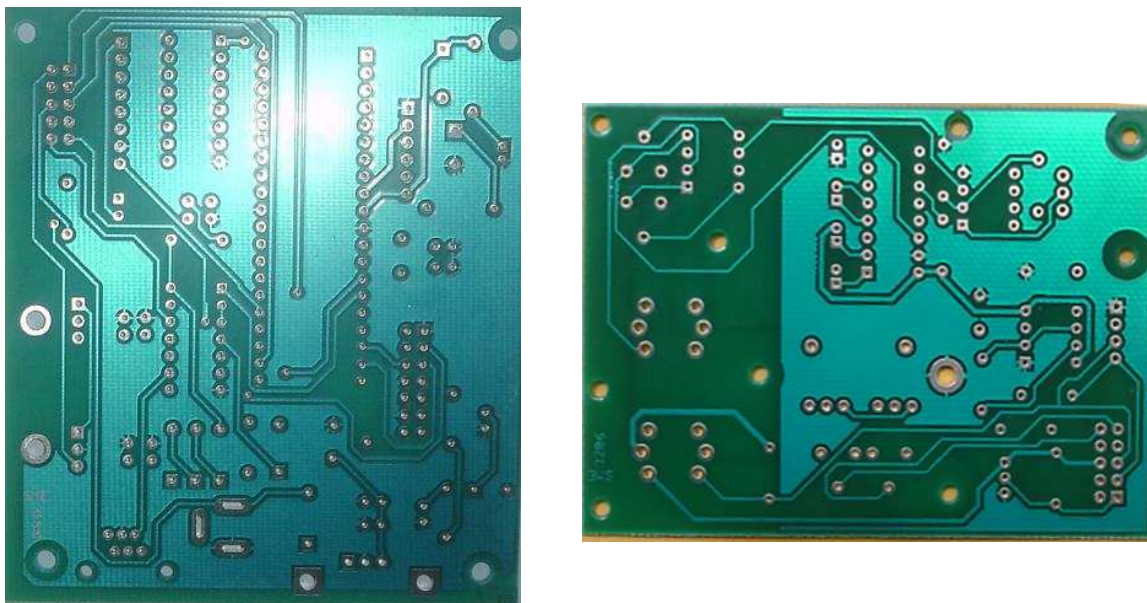


Figura 3.28 Circuito impreso de las placas 1 y 2.

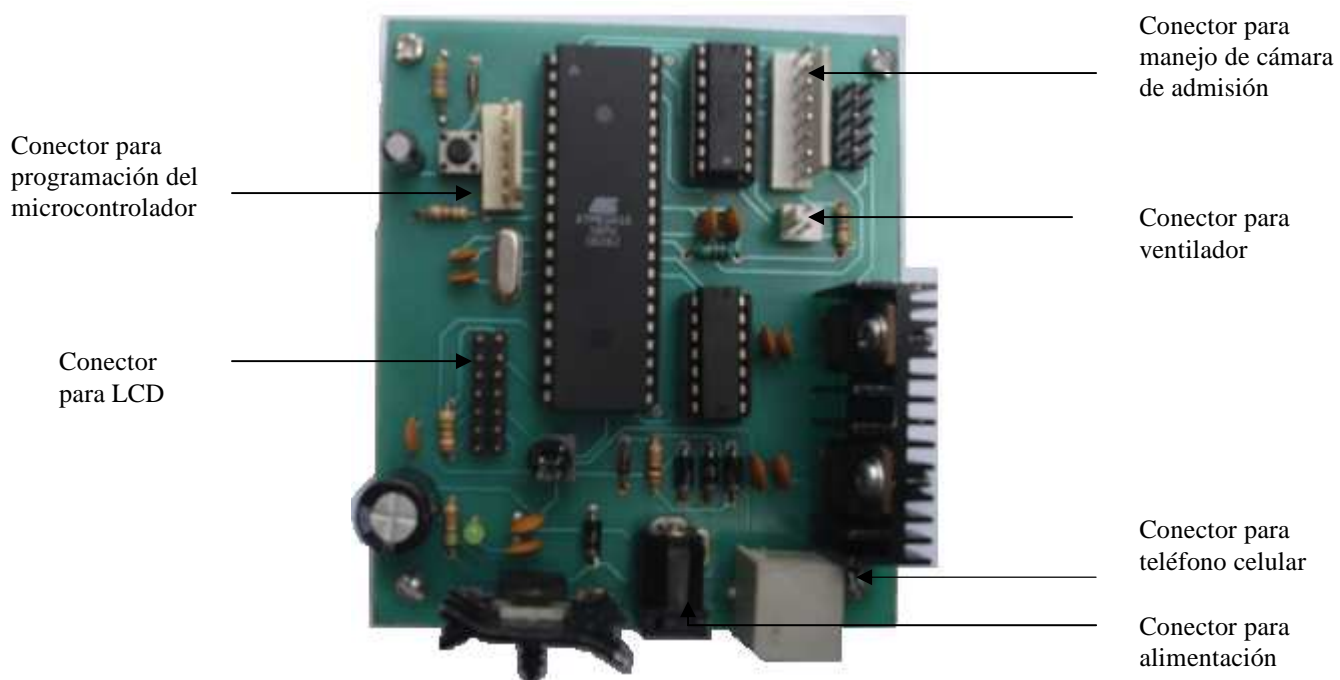


Figura 3.29 Elementos soldados en la Placa No.1

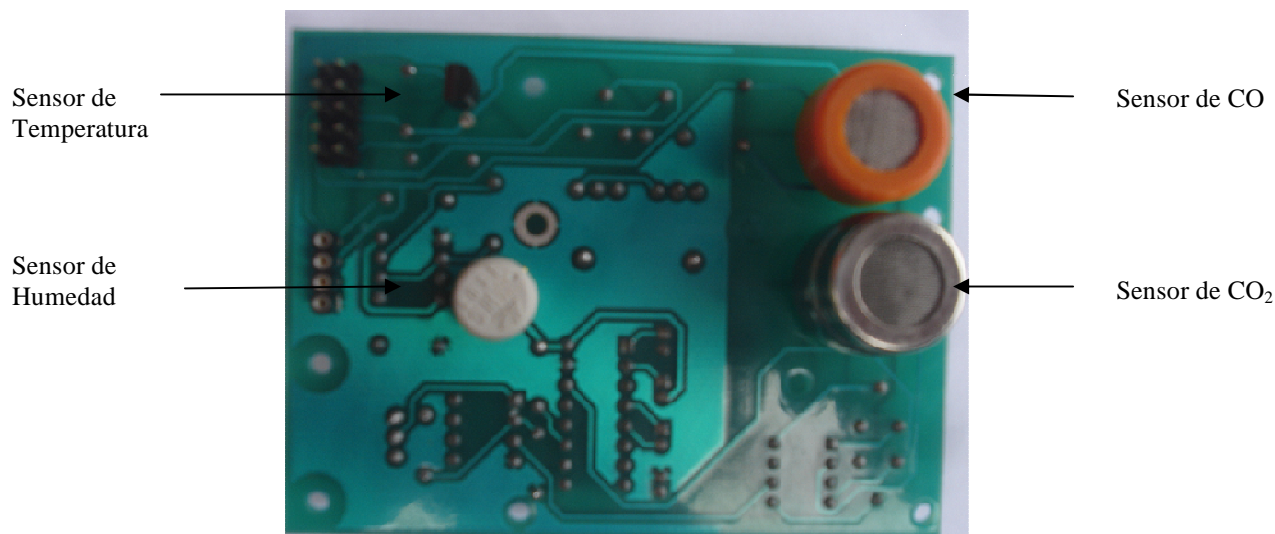


Figura 3.30 Elementos soldados en la Placa No.2

### 3.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA DE RETENCIÓN DEL AIRE

El embase a utilizarse posee las siguientes características:

- 9.5 cm de diámetro
- 5.2 cm de alto
- Plástico

### 3.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CAJA

La caja contenedora para proyectos mide 20cm de largo, 15cm de ancho y 8cm de profundidad. Es importante que dentro de ésta, entren tanto los dispositivos electrónicos como los elementos de retención del aire.

El embase de retención del aire posee una altura de 5cm, el motor a pasos de 1.5 cm y más 1 cm de la altura de la segunda placa. Se tiene espacio libre de 0.5 cm en relación a la caja adquirida.



### 3.4 MONTAJE DEL PROTOTIPO

Existen diferentes elementos que deben ser colocados dentro de la caja contenedora. Entre estos se tiene: dos placas armadas, cámara de retención del aire, compuerta móvil con el motor a pasos, fuente *swiching* y teléfono celular.



Figura 3.35 Placas montadas en la caja

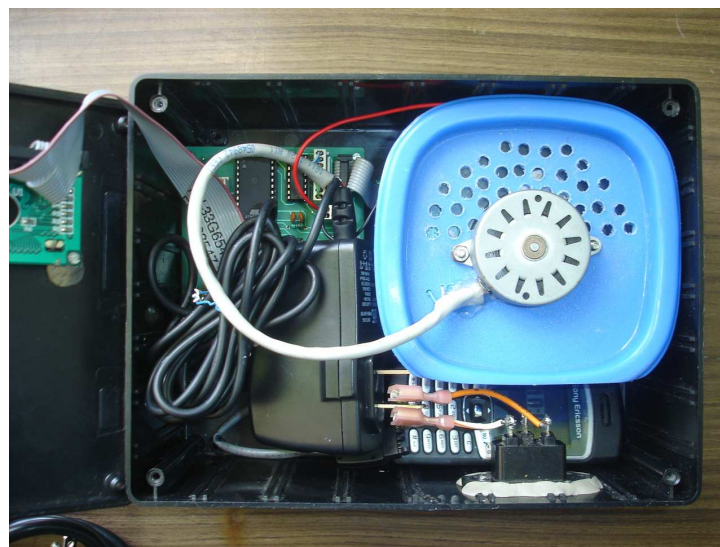


Figura 3.36 Montaje final del prototipo

### 3.5 COSTOS DEL PROTOTIPO

El presupuesto incluye los elementos descritos en la construcción del prototipo. Es necesario incluir los costos de desarrollo del diseño y del *software*. Los costos detallados a continuación incluyen el 12% del IVA.

Cantidad	Descripción	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
2	Teléfonos celulares SonyEricsson T290a	40	80
1	ATMEGA16	7,5	7,5
1	ULN2003	0,7	0,7
1	74LS14	0,4	0,4
1	MAX232	2	2
1	NTE955M(TIMER 555)	2	2
1	AD620	13,5	13,5
1	AD822	9,5	9,5
1	LCD 2*16	8,8	8,8
1	Disipador 1 posición	0,7	0,7
1	Disipador 2 posiciones	1,4	1,4
1	7805	0,36	0,36
2	7806	0,36	0,72
2	2N3906	0,08	0,16
11	Capacitores Cerámicos	0,06	0,66
1	Cristal de cuarzo 8MHZ	0,48	0,48
4	1N4007	0,05	0,2
2	1N4148	0,13	0,26
1	Potenciómetro de precisión 10K	1,5	1,5
5	Potenciómetros tipo araña	0,15	0,75
3	Zócalo 8 pines	0,05	0,15
1	Zócalo 14 pines	0,07	0,07
2	Zócalo 16 pines	0,08	0,16
1	Zócalo de 40 pines	0,2	0,2
15	Resistencias	0,015	0,225
1	Led Verde	0,1	0,1

Tabla 3.1 Costos de elementos y materiales

Cantidad	Descripción	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Bobina 100mH	0,25	0,25
1	Capacitor 1000 uF	0,25	0,25
4	Capacitores 10 uF	0,1	0,4
1	Capacitor de 1uF	0,1	0,1
1	Jack y Conector RJ12	0,6	0,6
1	Conector para alimentación	0,25	0,25
1	Motor a pasos	4,5	4,5
1	Ventilador de 12V	2,5	2,5
1	Pulsador	0,15	0,15
1	Conectores y Buses	7	7
1	Fuente <i>Switching</i> 12V	7	7
1	Conector DCU-11	2	2
1	Cable DCU-11 USB	11	11
1	DS18B20(Sensor de temperatura)	5,3	5,3
1	HS1101(Sensor de Humedad)	23	23
1	MG811(Sensor de CO2)	22	22
1	MQ7(Sensor de CO)	10	10
1	Fabricación Circuitos Impresos	40	40
1	Caja para proyecto( <i>RadioShack</i> )	10,5	10,5
1	Interruptor de fin de carrera	0,25	0,25
1	Recipiente 0,325 litros	1,25	1,25
	<b>Total</b>		280,795

Tabla 3.2 Costos de elementos y materiales (continuación)

El tiempo utilizado en la implementación de este proyecto fue de 300 horas aproximadamente. Se estableció un valor de \$20 por hora de diseño y desarrollo, basándose en los costos actuales de la hora técnica del mercado laboral ecuatoriano.

Elementos y Materiales	280,795
Diseño y desarrollo	6000
<b>TOTAL</b>	<b>\$6280,795</b>

Tabla 3.3 Costos totales

## 4 CAPÍTULO 4: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### 4.1 PRUEBAS DEL SISTEMA

Las pruebas que se realizaron en el sistema se han dividido en: pruebas del prototipo y pruebas del software de la aplicación.

#### 4.1.1 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Las pruebas que se realizaron al prototipo fueron:

- Pruebas de configuración
- Pruebas de respuesta ante una falla de suministro eléctrico
- Pruebas de retardo en el envío de mensajes

##### 4.1.1.1 Pruebas de configuración del prototipo

En la figura 4.1 se puede ver la opción del software que permite configurar en el prototipo el número de teléfono del centro de monitoreo.

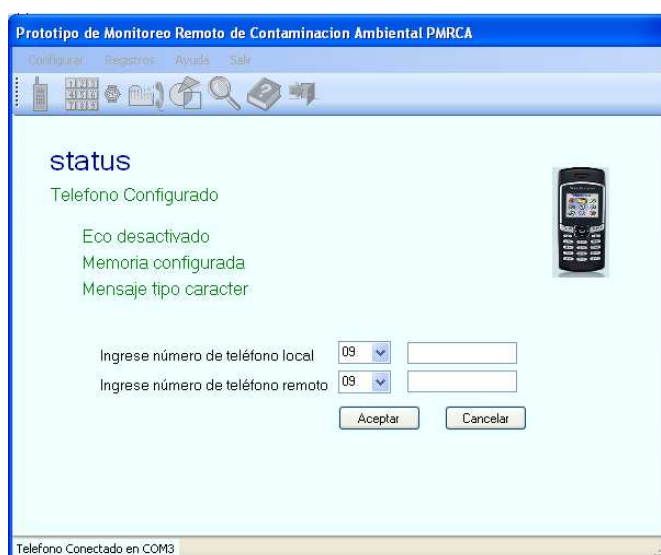


Figura 4.1 Configuración del número de teléfono desde la interfaz gráfica

Un mensaje de configuración permite cambiar el intervalo entre los mensajes de información emitidos por el prototipo (figura 4.2).

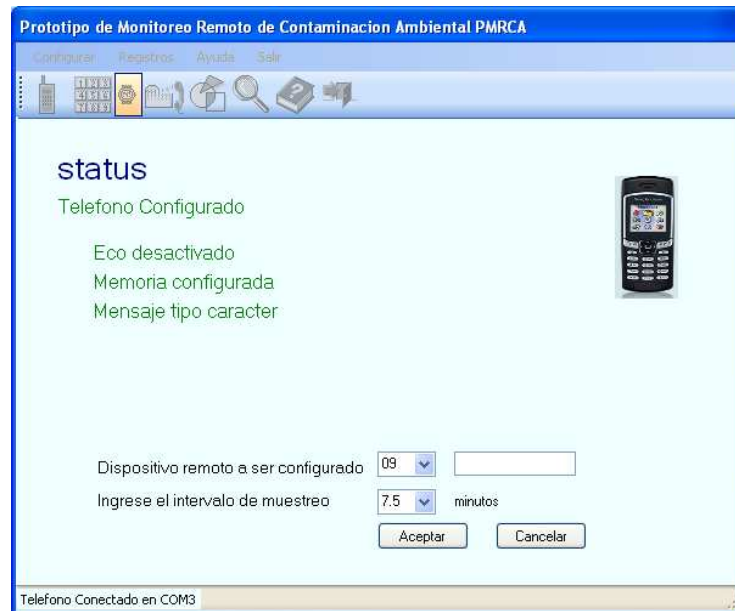


Figura 4.2 Configuración del tiempo de muestreo

El prototipo enviará un mensaje de confirmación del nuevo número e intervalo configurado como se observa en la figura 4.3.



a) Confirmación NumTel



b) Confirmación Tmuestreo

Figura 4.3 Mensajes de confirmación de los mensajes de configuración

#### 4.1.1.2 Pruebas de respuesta ante una falla de suministro eléctrico

Se desconectó al prototipo de la alimentación AC durante un pequeño intervalo de tiempo. El programa desarrollado dentro del microcontrolador detecta la falta de energía y presenta un mensaje de “FALLA DE ENERGÍA” en el *display*, alimentado por la batería de respaldo.



Figura 4.4 LCD: Falla de Energía

La falla de energía es notificada por medio de un mensaje de texto al teléfono de la estación central.



Figura 4.5 Recepción de mensaje de Falla de Energía en la estación central.

En caso de que la energía sea restaurada el prototipo enviará un mensaje con el código “ER” para indicar que el suministro eléctrico fue restaurado.

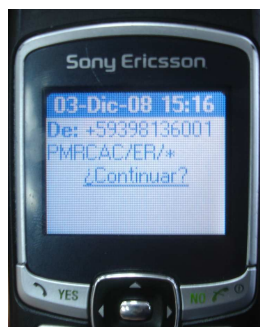


Figura 4.6. Mensaje de Energía Restaurada.

Los mensajes de confirmación se publican en la interfaz gráfica como se observa en la figura 4.7

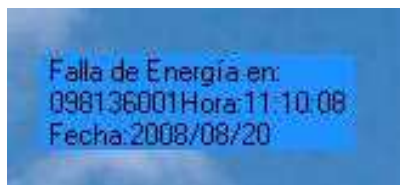


Figura 4.7 Falla de Energía en la Aplicación.

#### 4.1.1.3 Pruebas de retardo en el envío de mensajes

Durante una semana se tomaron datos de los retardos en el envío de mensajes entre la estación central y el prototipo. Se determinó que el retardo promedio en el envío de un mensaje de configuración, desde la estación central hasta recibir su respectiva confirmación enviada por el prototipo, es de 30 segundos. Este tiempo puede aumentar hasta 1 minuto en las horas de alto tráfico en la red.

#### 4.1.2 PRUEBAS DEL *SOFTWARE* DE APLICACIÓN

Se realizaron pruebas del funcionamiento de la aplicación las cuales consistieron en:

- Prueba de ingreso al *software* de aplicación
- Prueba de comunicación con el teléfono
- Prueba de descarga de datos
- Verificación del funcionamiento del servicio de *Windows*
- Funcionamiento del formulario de filtrado de registros
- Funcionamiento del formulario para desplegar gráficas
- Funcionamiento de la creación de reportes
- Prueba de compatibilidad con otros sistemas operativos
- Prueba de funcionamiento del manual de usuario

##### 4.1.2.1 Pruebas de ingreso al *software* de aplicación

El sistema requiere el nombre de usuario y contraseña para permitir el acceso a la aplicación.



Figura 4.8 Ingreso a la Aplicación Gráfica

Si se ingresa una clave errada en tres oportunidades el sistema se cierra automáticamente.



Figura 4.9 Ingreso Erróneo de la contraseña

#### 4.1.2.2 Prueba de comunicación con el teléfono

Para realizar tareas de administración y configuración del prototipo desde el software se debe establecer la comunicación con el teléfono.

Cuando se configura el teléfono, el software de aplicación detecta los puertos disponibles en el PC, señalándolos con un visto de color verde como se muestra en la figura 4.10, y posteriormente indica el puerto en el que fue conectado el teléfono (figura 4.11).

La figura 4.11 también muestra la configuración realizada sobre el teléfono bajo la leyenda *STATUS*.



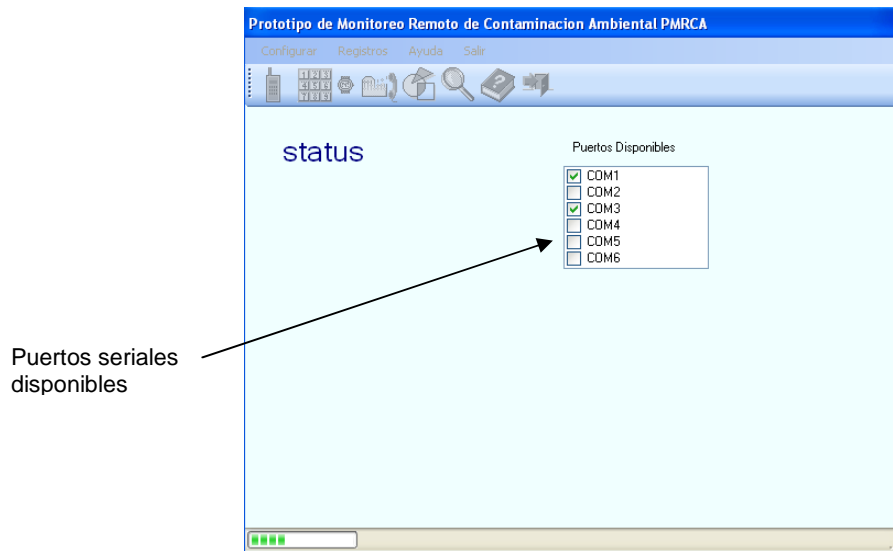


Figura 4.10 Puertos disponibles en el PC

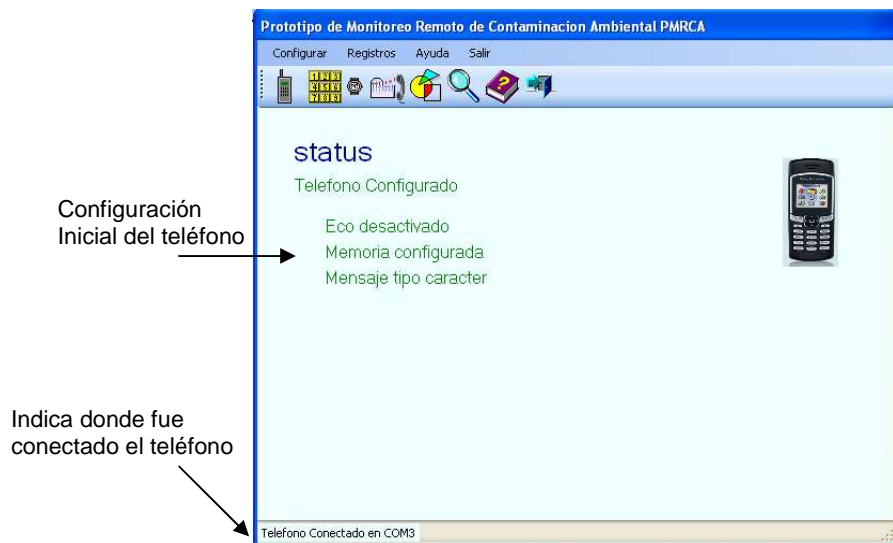


Figura 4.11 Configuración del teléfono

#### 4.1.2.3 Prueba de descarga de datos

La descarga de los datos se la realiza a través del menú Registros en la opción Actualizar.



Figura 4.12 Registros-Actualizar

#### 4.1.2.4 Verificación del funcionamiento del Servicio de Windows

Como se puede observar en la figura 4.13 el servicio denominado serv10.exe se encuentra ejecutándose como un proceso en el sistema operativo.

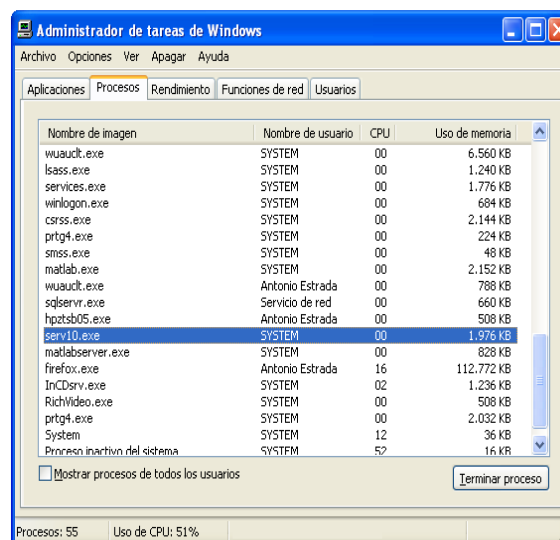


Figura 4.13 Servicio del Sistema Operativo

Cada 15 minutos, éste toma los datos del teléfono conectado y los almacena en un archivo de texto ubicado en la dirección

“C:\monitoreomoto\monitoreomoto\pmrca.txt”. El servicio se ejecuta mientras la interfaz gráfica está desactivada y el tiempo de 15 minutos que se da entre descargas no es configurable por el usuario. Un ejemplo del archivo generado con algunos mensajes de texto se muestra en la figura 4.14.

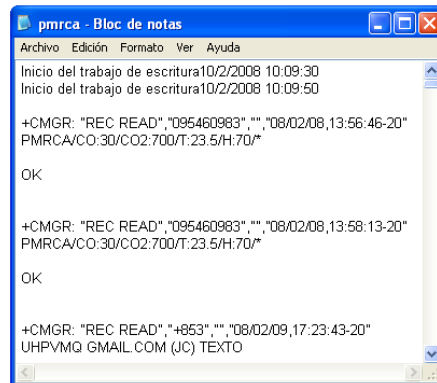


Figura 4.14 Almacenamiento de datos en un archivo de texto

Los datos del archivo de texto se almacenan en la base de datos cuando la aplicación se inicia nuevamente.

#### 4.1.2.5 Funcionamiento del formulario de filtrado de registros

Se puede filtrar los registros por número de teléfono, fecha y hora.

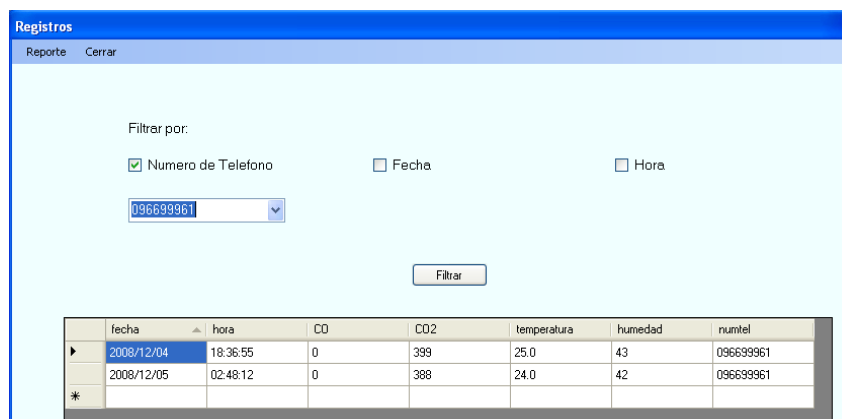


Figura 4.15 Filtrado de registros por número de teléfono

**Registros**  
Reporte Cerrar

Filtrar por:

Numero de Telefono       Fecha       Hora

Desde: 2008/12/04

Hasta: 2008/12/04

Filtrar

fecha	hora	CO	CO2	temperatura	humedad	numtel
2008/12/04	20:43:56	1	446	24.9	42	095779360
2008/12/04	20:54:28	1	453	24.8	42	098136001
2008/12/04	21:05:00	1	435	24.8	42	098136001
2008/12/04	21:20:32	1	401	24.8	43	098136001
2008/12/04	21:36:19	1	424	24.7	43	098136001
2008/12/04	21:51:51	1	430	24.7	42	098136001
2008/12/04	22:07:24	1	407	24.6	42	098136001
2008/12/04	22:22:57	1	407	24.5	43	098136001
2008/12/04	22:38:42	1	401	24.5	42	098136001
2008/12/04	22:54:15	1	399	24.5	42	098136001

Figura 4.16 Filtrado de registros por fecha

**Registros**  
Reporte Cerrar

Filtrar por:

Numero de Telefono       Fecha       Hora

De: 00H00

A: 01H00

Filtrar

fecha	hora	CO	CO2	temperatura	humedad	numtel
2008/12/05	00:12:13	1	392	24.4	42	098136001
2008/12/05	00:27:59	0	393	24.3	42	098136001
2008/12/05	00:43:31	0	391	24.3	42	098136001
2008/12/05	00:59:02	0	393	24.3	42	098136001
*						

Figura 4.17 Filtrado de registros por hora

#### 4.1.2.6 Funcionamiento del formulario para desplegar gráficas

El sistema permite establecer el intervalo de tiempo a ser analizado. Este intervalo puede ser especificado en términos de fecha y hora para cada uno de los puntos de monitoreo.

The screenshot shows a software window titled 'Graficas' with a 'Cerrar' button at the top. Below the title bar, there are tabs for 'Parámetros', 'CO2', 'CO', 'Temperatura', and 'Humedad Relativa'. The 'Parámetros' tab is active. The configuration area includes:

- 'Numero de telefono': A dropdown menu with the value '098136001'.
- 'Fecha': Two dropdown menus for 'Desde' (2008/08/07) and 'Hasta' (2008/08/08).
- 'Hora': A checked checkbox labeled 'Hora'.
- 'De:': A dropdown menu with the value '00H00'.
- 'A:': A dropdown menu with the value '23H00'.
- A 'Graficar' button at the bottom center.

Figura 4.18 Tab de configuración de parámetros para las gráficas

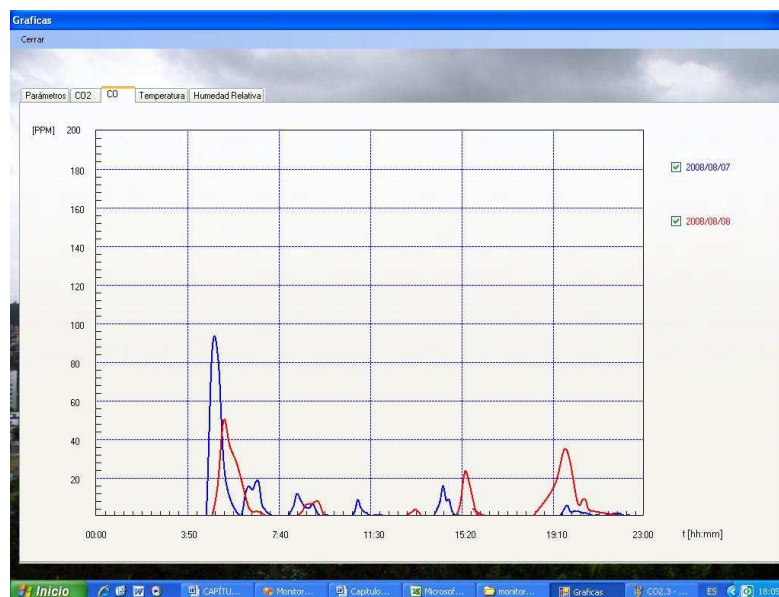


Figura 4.19 Gráfica de los parámetros seleccionados

#### 4.1.2.7 Funcionamiento de la creación de reportes

La opción “Reportes” permite imprimir los registros de la base de datos o exportarlos a una tabla de Microsoft Excel.



The screenshot shows a window titled 'Reporte' with a standard Windows interface. The main content is a table titled 'INFORME DE MONITOREO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL'. The table has seven columns: FECHA, HORA, CO, CO2, T (°C), %RH, and # Telefono. There are seven rows of data, all from the date 2008/12/04, showing various environmental readings over time.

FECHA	HORA	CO	CO2	T (°C)	%RH	# Telefono
2008/12/04	14:01:35	0	385	26.0	40	098136001
2008/12/04	14:12:07	0	387	26.1	40	098136001
2008/12/04	14:22:39	0	385	26.0	39	098136001
2008/12/04	14:33:30	0	385	26.1	40	098136001
2008/12/04	14:44:02	0	388	26.1	40	098136001
2008/12/04	14:54:34	0	418	26.2	41	098136001

Figura 4.20 Formato del reporte generado

#### 4.1.2.8 Prueba de compatibilidad con otros sistemas operativos

Para determinar la compatibilidad de la aplicación con otros sistemas operativos de la familia de *Windows*, se instaló el programa en *Windows 2003 Server*, *Windows 2000* y *Windows Vista*.

El programa funcionó correctamente en *Windows 2003 Server*. En *Windows Vista* solo se presentó una incompatibilidad al ejecutar la ayuda de la aplicación. Cuando se lo probó en *Windows 2000* se presentó un error al abrir la base de datos que maneja la aplicación por lo que el programa no pudo ser ejecutado correctamente.

#### 4.1.2.9 Prueba de funcionamiento del manual de usuario

El manual de usuario se lo encuentra en la pestaña de ayuda de la aplicación. El contenido se despliega en tres temas los cuales informan acerca de la instalación, la interfaz gráfica, y el servicio de *Windows*.

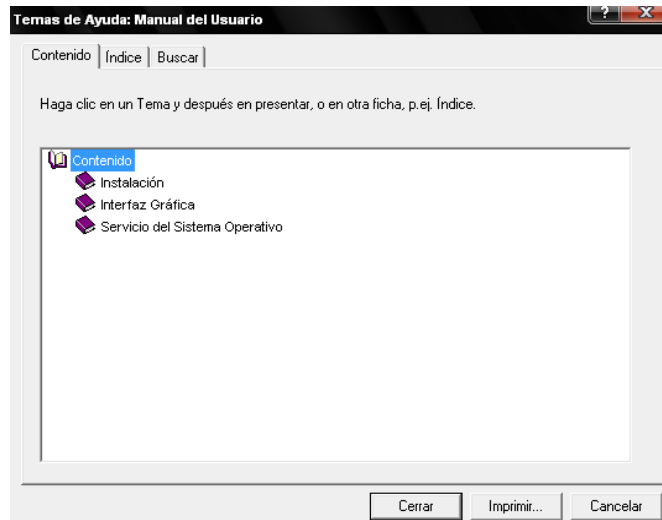


Figura 4.21 Presentación del manual de usuario

Cada tema del manual de usuario se presenta en una ventana. De esta manera se tiene al alcance ayuda referente a la aplicación e información acerca de los requisitos mínimos para que el software funcione correctamente.



Figura 4.22 Ventana del manual de usuario

## 4.2 PRUEBAS OUTDOOR E INDOOR

### 4.2.1 PRUEBA *OUTDOOR*

Las pruebas *outdoor* se realizaron en el sector del Tejar, cerca del túnel de San Juan en la ciudad de Quito, debido a es un lugar de alta circulación de transporte urbano y visualmente se puede notar que es uno de los sectores más afectados por la contaminación atmosférica en la ciudad. El intervalo en el que se tomaron las muestras es el siguiente:

Lugar	El Tejar
Fecha de inicio	27 de Julio de 2008
Fecha de finalización	31 de Julio de 2008

Tabla 4.1 Prueba *outdoor*

El prototipo se instaló en la terraza de una casa de este sector ubicada a 20 metros de la avenida Occidental por donde circula un alto número de buses y autos.

#### 4.2.1.1 Análisis de la prueba *outdoor*

De los datos obtenidos en esas fechas, que se muestran en la figuras 4.23, 4.24, 4.25, y 4.26; se puede observar que existe una mayor concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en las horas de mayor tráfico vehicular. Las horas de mayor concentración en esta zona son entre las 6:30 y las 9:00 y entre 17:30 a 21:00.

La concentración de monóxido de carbono (CO) no excede los valores recomendados en la Norma Ecuatoriana de Calidad de aire ambiente. La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se encuentra sobre las 1000 ppm en las horas pico.





Figura 4.23 Dióxido de Carbono sector El Tejar

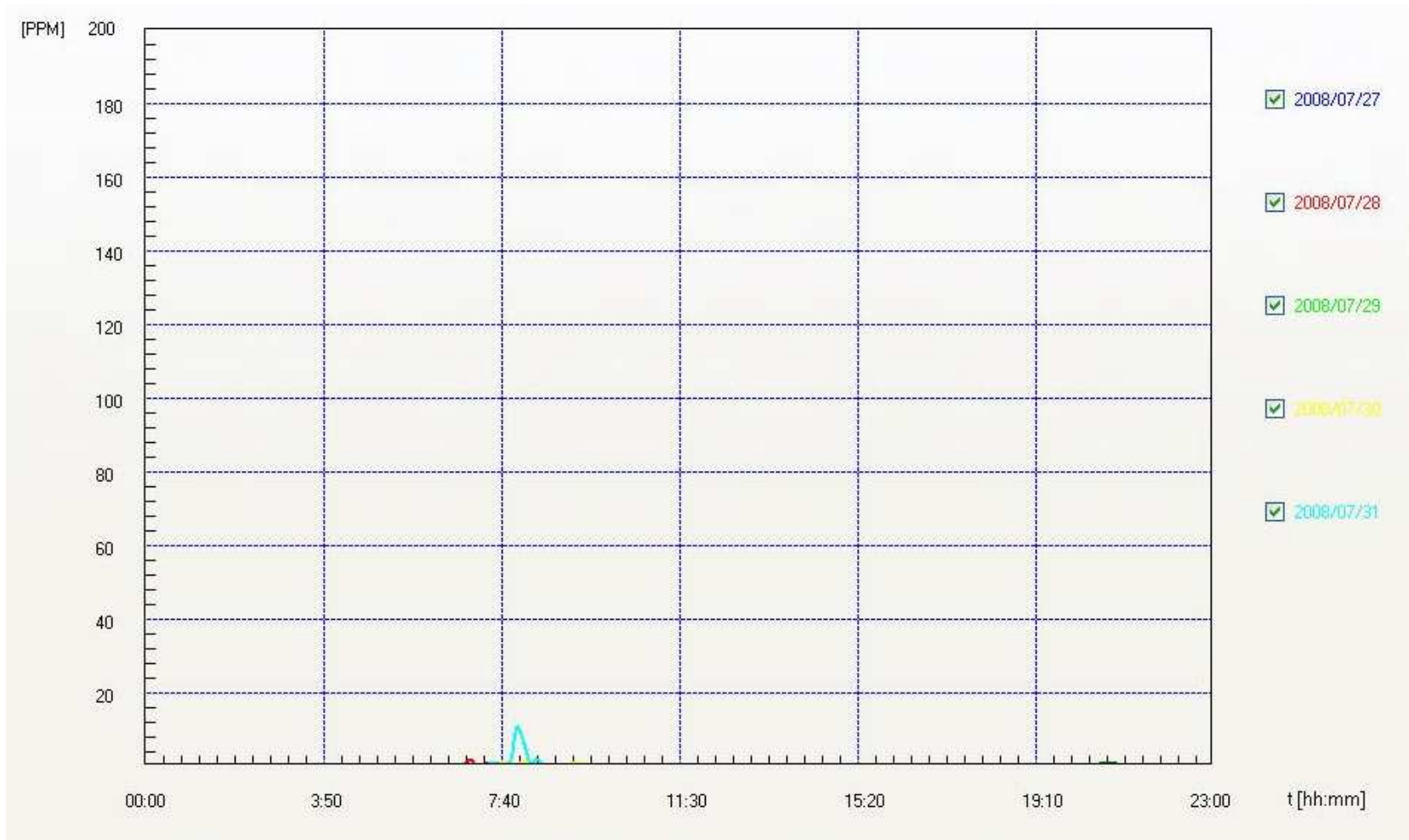


Figura 4.24 Monóxido de Carbono sector El Tejar

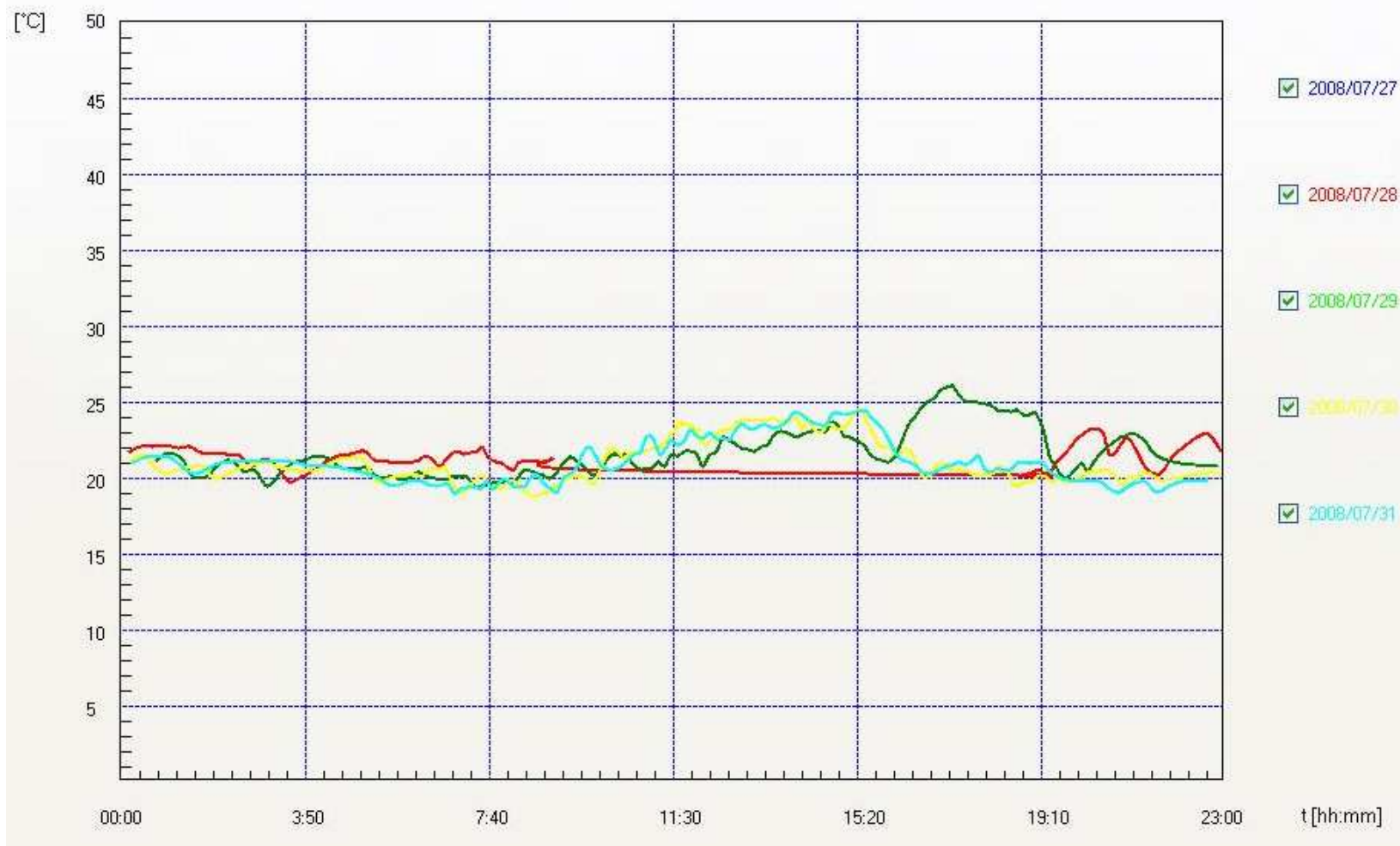


Figura 4.25 Temperatura sector El Tejar

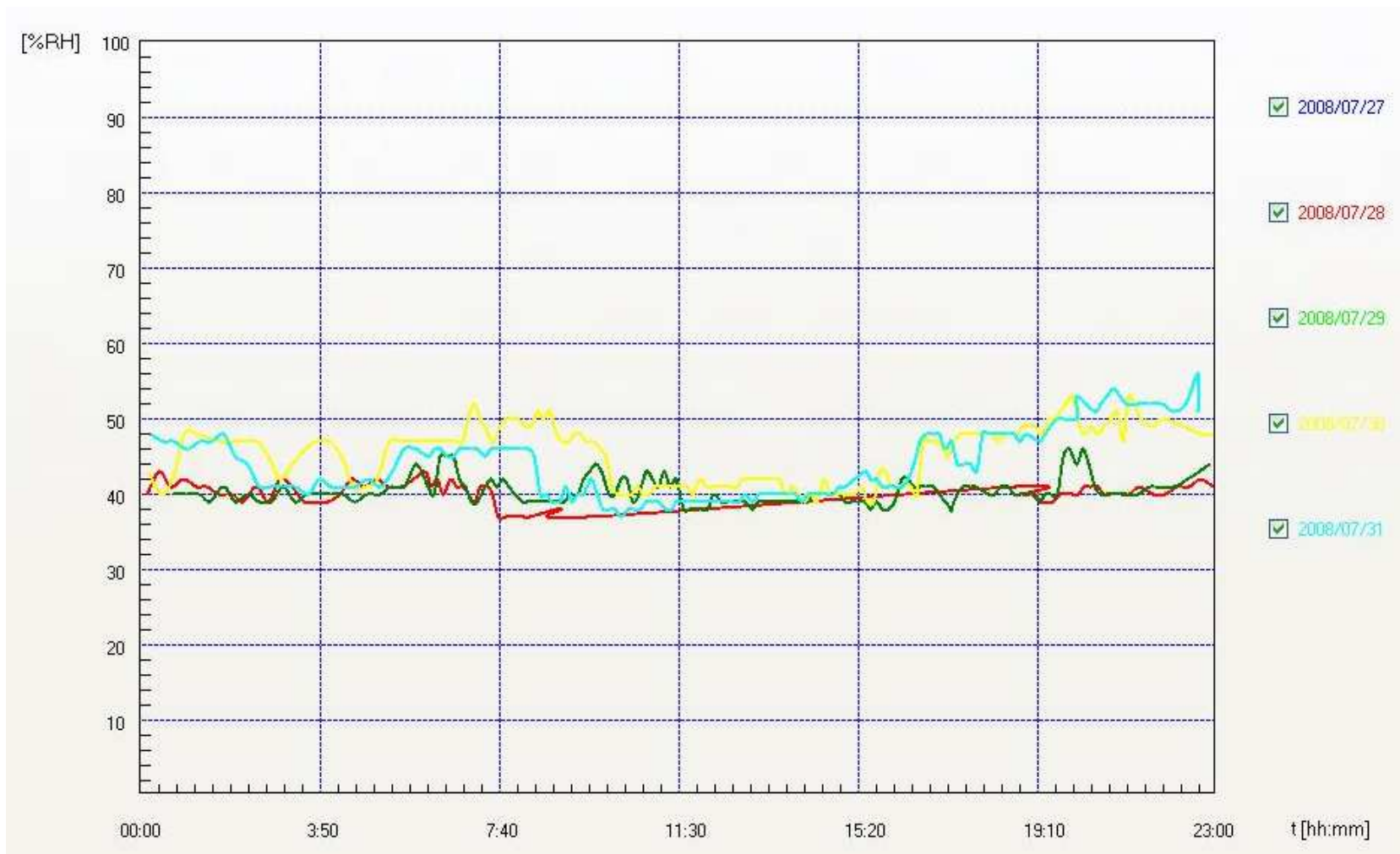


Figura 4.26 Humedad Relativa sector El Tejar

#### 4.2.2 PRUEBA *INDOOR* 1

La primera prueba en un ambiente *indoor* se la realizó en el laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales en el tercer piso del edificio antiguo de la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.

Lugar	Laboratorio de Sistemas A/D
Fecha de inicio	17 de Julio de 2008
Fecha de finalización	18 de Julio de 2008

Tabla 4.2 Prueba *Indoor* No. 1

En los días que se realizaron las pruebas, el laboratorio fue utilizado por un promedio de 15 estudiantes por cada sesión. Diariamente se imparten un promedio de 6 sesiones de laboratorio.

##### 4.2.2.1 Análisis de la prueba *indoor* 1

De los datos obtenidos en esas fechas, que se muestran en la figuras 4.27, 4.28, 4.29, y 4.30, se puede observar una concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) menor a 1000 ppm sin presencia de monóxido de carbono en las horas de utilización del laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales.

La concentración de dióxido de carbono observada indica que la calidad del aire dentro del laboratorio permite un desarrollo normal de las actividades que se realizan. No hay presencia de monóxido de carbono mostrando un ambiente con buena calidad de aire.

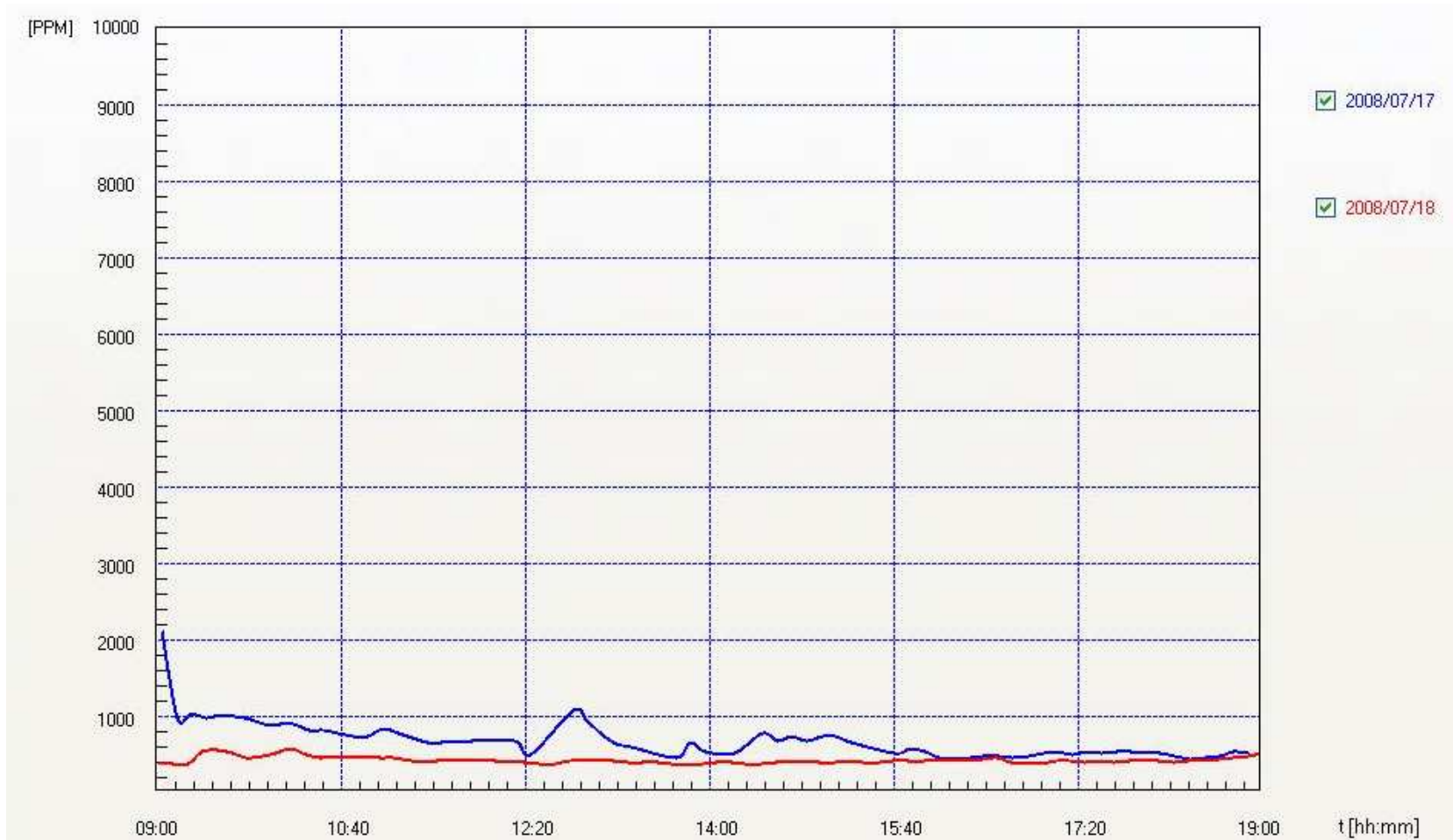


Figura 4.27 Dióxido de Carbono Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales



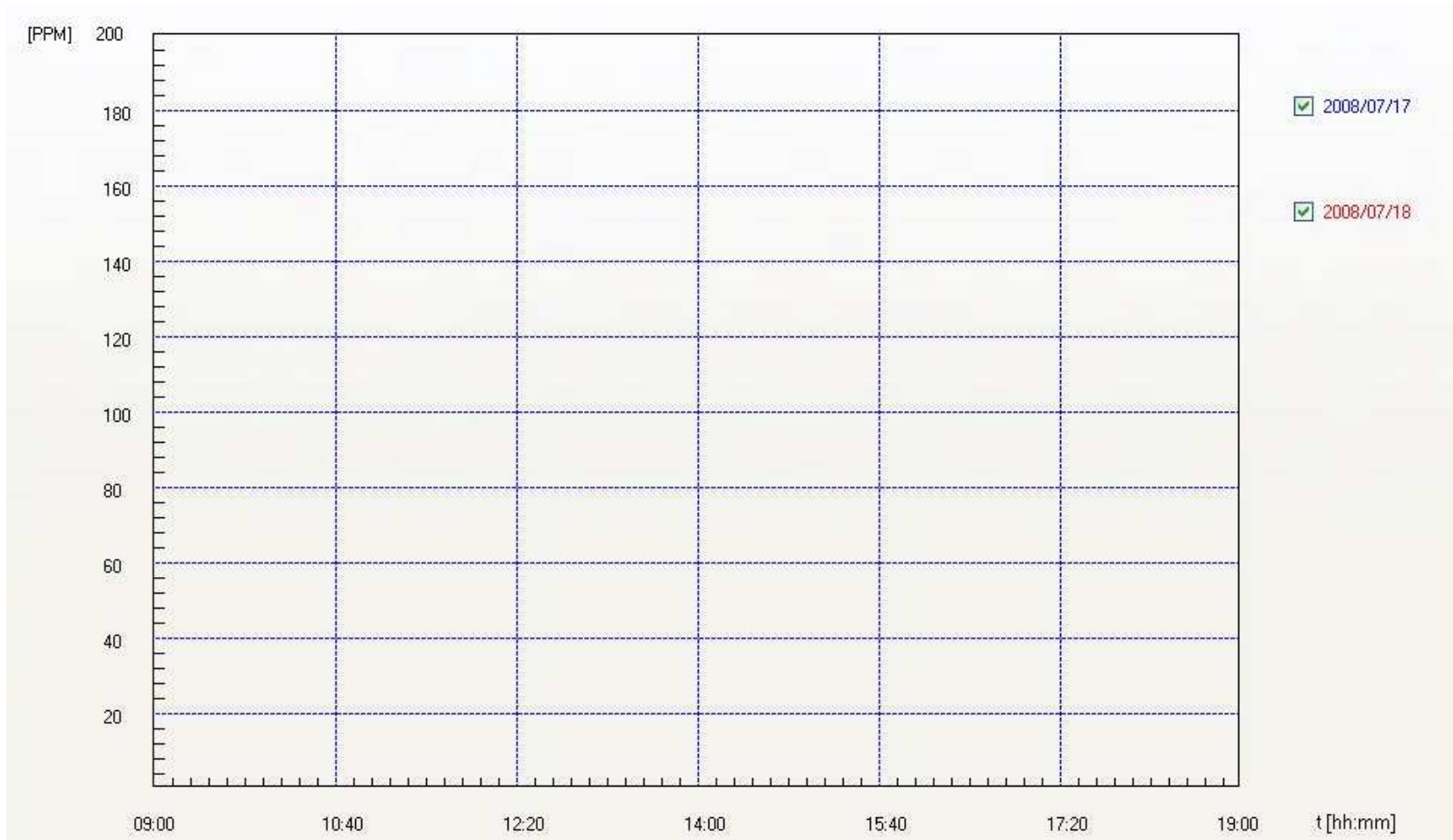


Figura 4.28 Monóxido de Carbono Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales

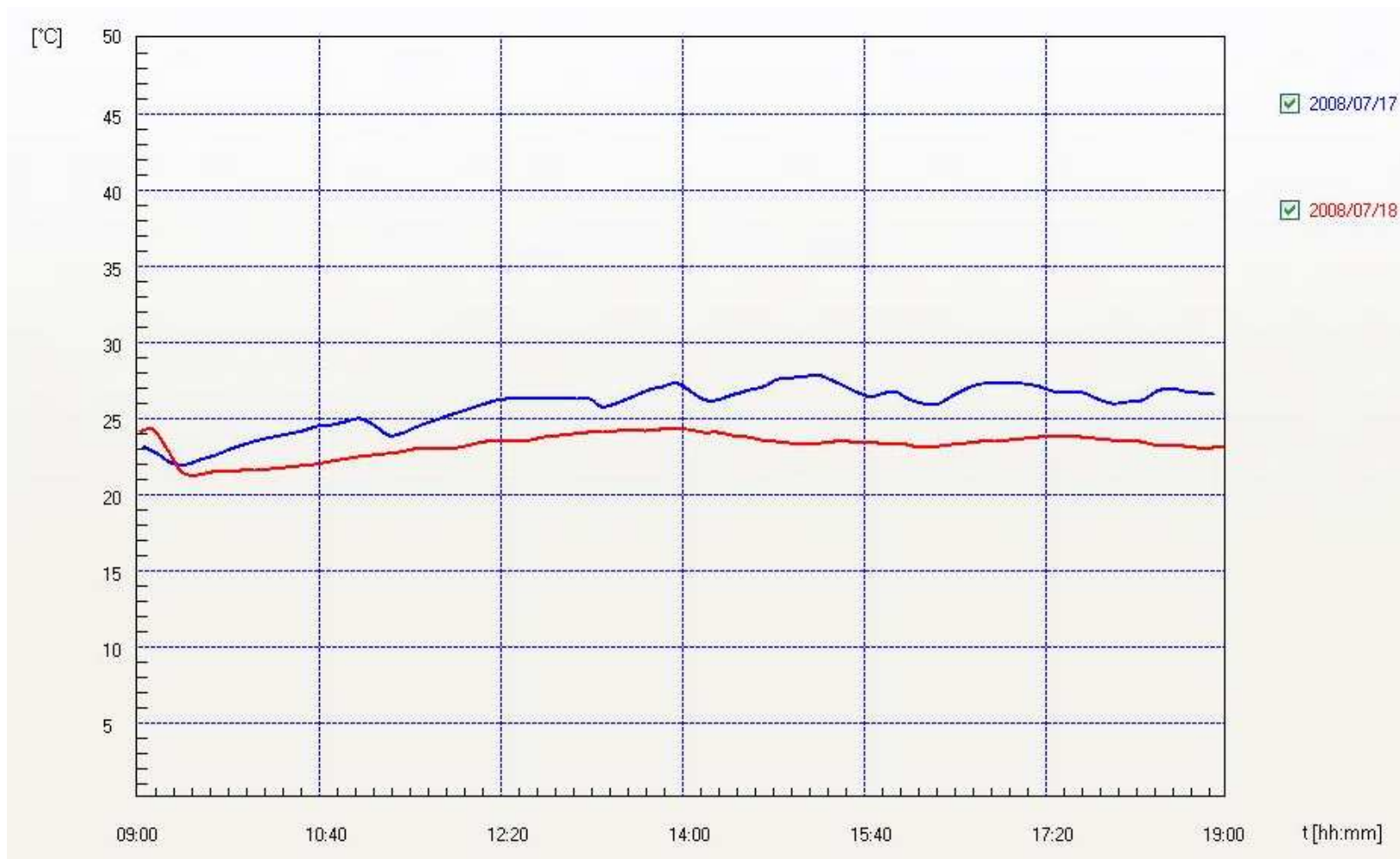


Figura 4.29 Temperatura Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales



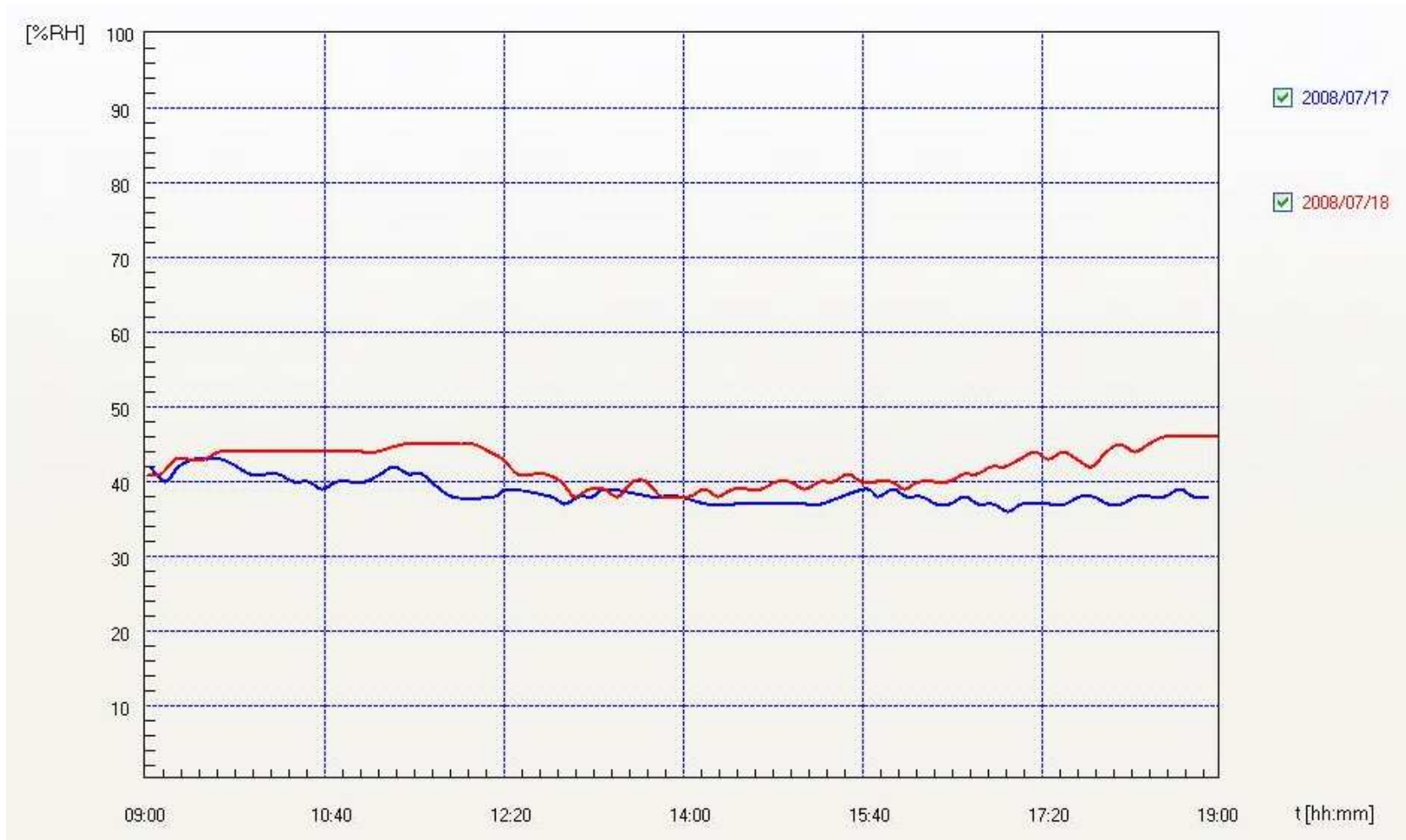


Figura 4.30 Humedad Laboratorio de Sistemas Analógico-Digitales

### 4.2.3 PRUEBA *INDOOR* 2

La segunda prueba *Indoor* se la realizó en la cocina de una casa para determinar los niveles de concentración a los que se encuentran expuestos los habitantes de un hogar al momento de cocer los alimentos. Los detalles de la prueba se indican a continuación.

Lugar	Urb. Santa Rosa, Sangolquí
Fecha de inicio	07 de Julio de 2008
Fecha de finalización	08 de Julio de 2008

Tabla 4.3 Prueba *indoor* No. 2

La casa donde se realizaron las pruebas es de 2 pisos, la cocina se encuentra en la primera planta. La cocina tiene como dimensiones: 4 metros de largo x 3 metros de ancho. En su interior posee una estufa de 6 quemadores.

#### 4.2.3.1 Análisis de la prueba *indoor* 2

De los datos obtenidos, que se muestran en la figuras 4.31, 4.32, 4.33, y 4.34, se puede observar una alta concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y una baja presencia de monóxido de carbono en las horas de cocción de los alimentos.

La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) llega a valores de 10000 ppm en las horas de preparación de los alimentos. Además se tienen concentraciones considerables de monóxido de carbono (CO).

Esto permitió determinar que la estufa se encontraba descalibrada. Al momento de inspeccionar la estufa se observó que la entrada de aire para la combustión se encontraba sucia por lo que se estaba dando una combustión incompleta que daba como resultado altos niveles de CO y CO<sub>2</sub>.

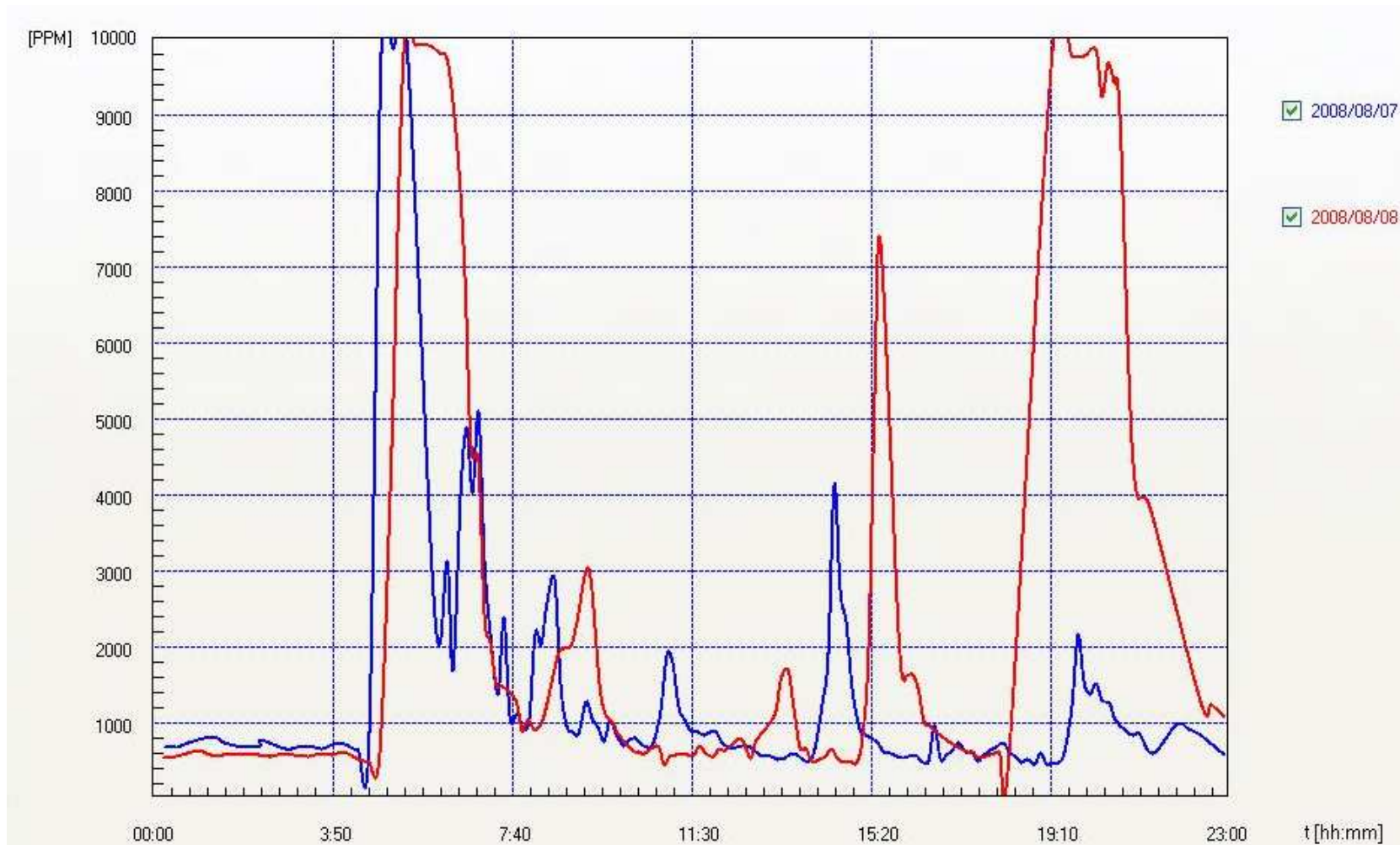


Figura 4.31 Dióxido de Carbono Cocina Casa-Sangolquí

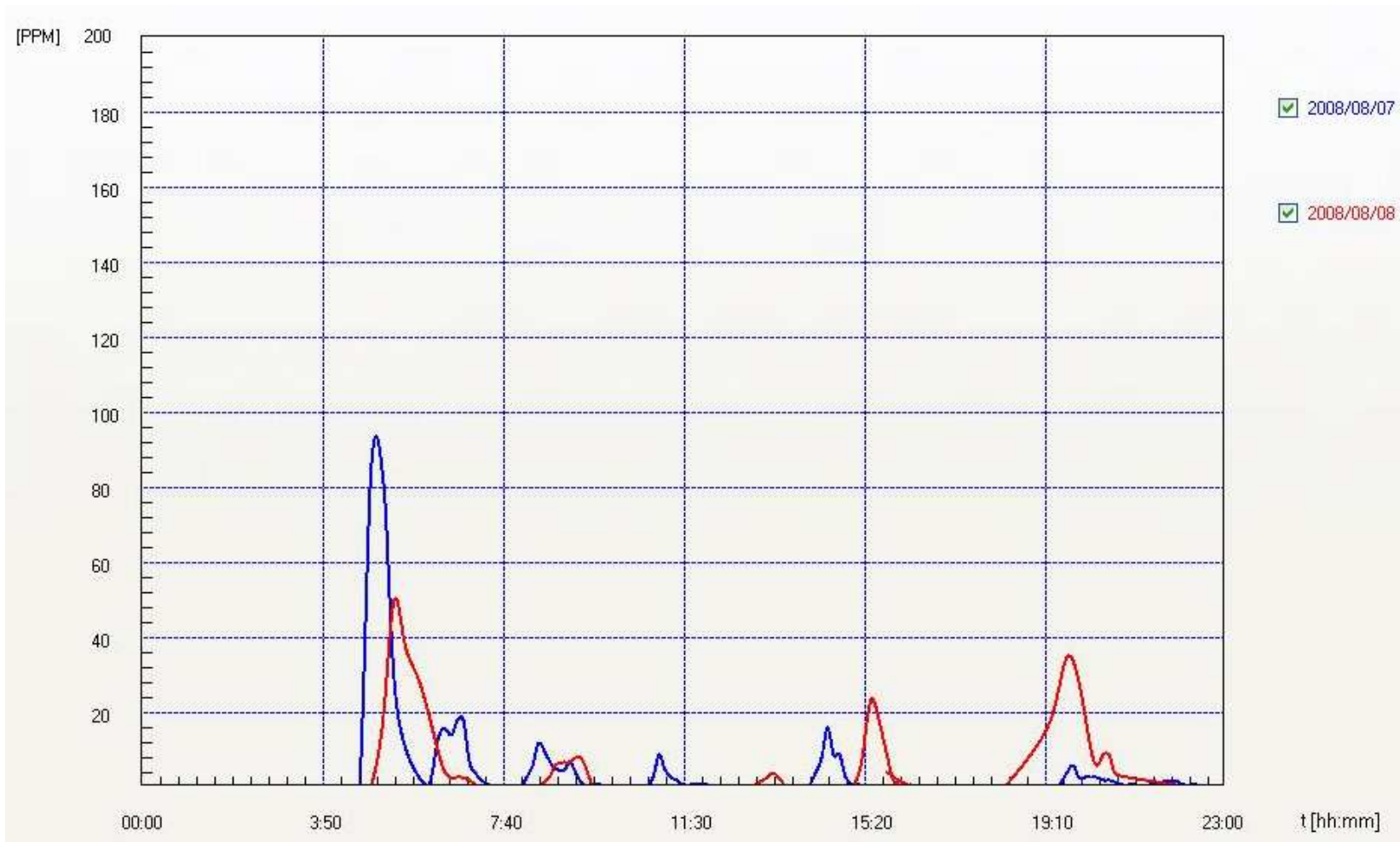


Figura 4.32 Monóxido de Carbono Cocina Casa-Sangolquí

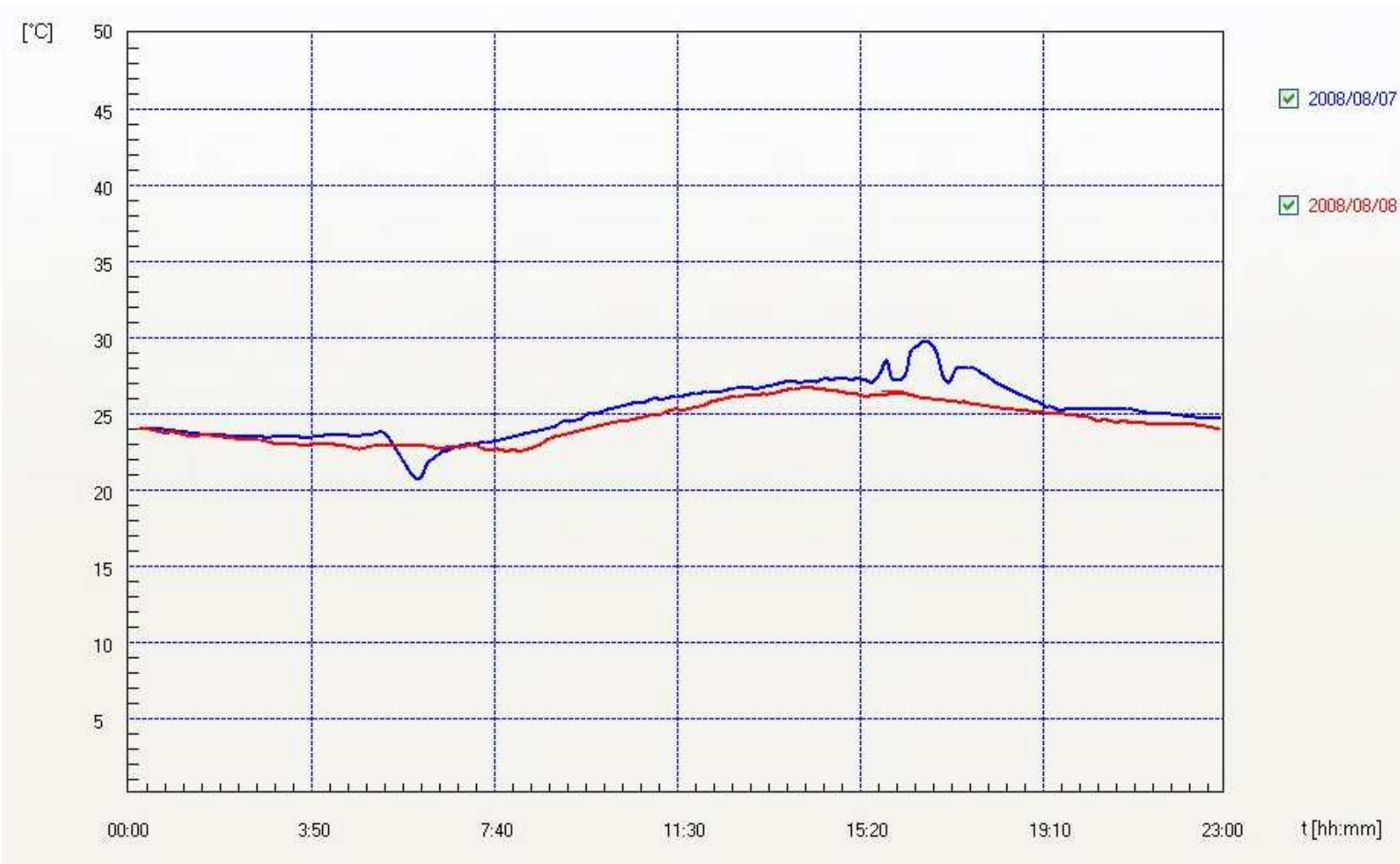


Figura 4.33 Temperatura Cocina Casa-Sangolquí

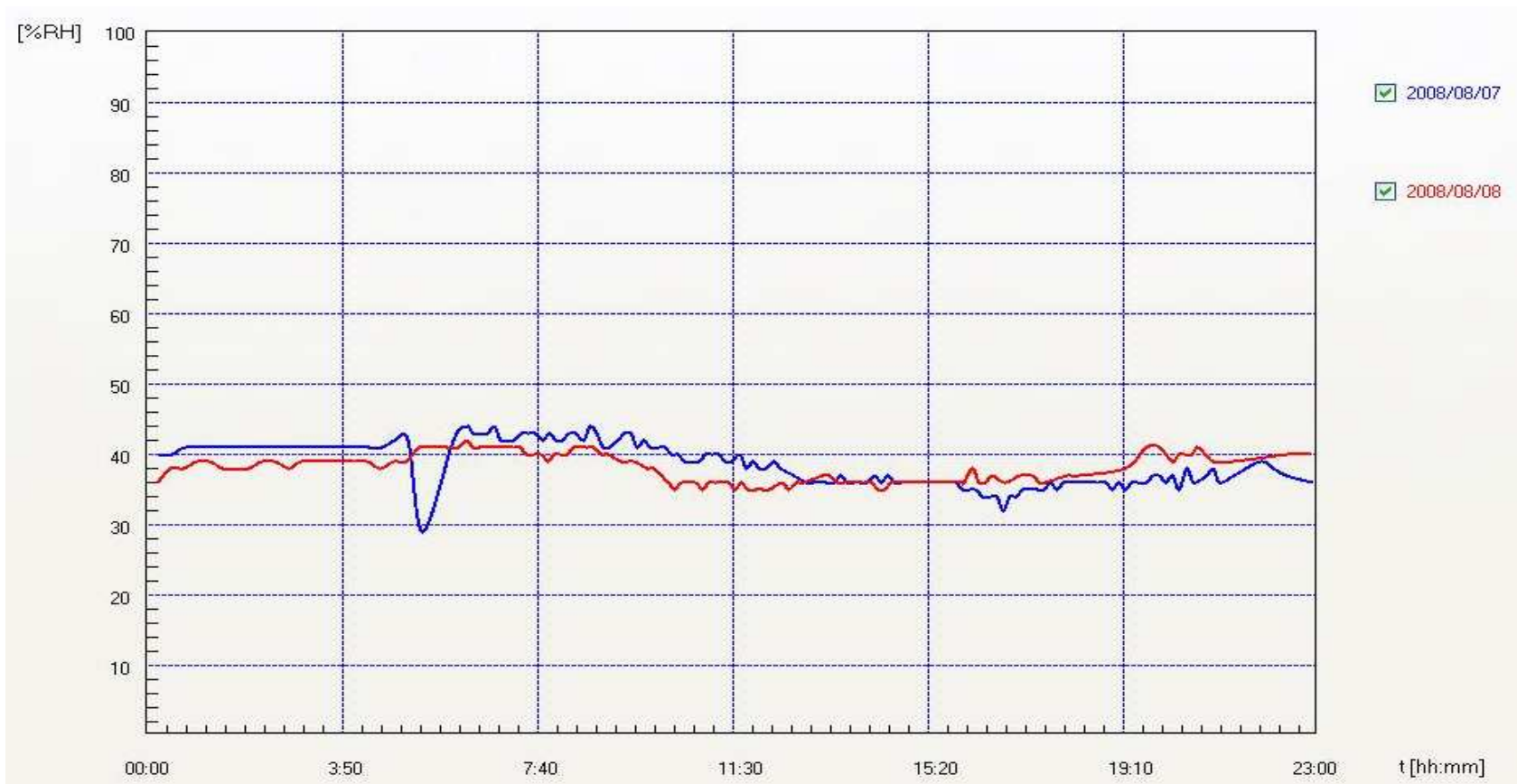


Figura 4.34 Humedad Cocina Casa-Sangolquí



## 5 CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema en *hardware* y *software* para la medición y monitoreo de contaminantes en el aire utilizando sensores de Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, humedad y temperatura.
- El intervalo de retardo en el envío y recepción de los mensajes según las pruebas realizadas ascienden a valores menores a 5 minutos, siendo esta medida imperceptible de acuerdo con la frecuencia con la que se envían los mensajes.
- El servicio de mensajería corta es un sistema muy utilizado actualmente en este tipo de aplicaciones. Se constituye en una solución de bajo costo, mediante la que se puede obtener información de forma permanente de diferentes lugares orientada al monitoreo de variables.
- Los equipos desarrollados por SonyEricsson son muy utilizados en el mercado para el desarrollo de prototipos, debido a su amplia disponibilidad de información y a su protocolo de comunicación orientado a un desarrollo abierto.
- Al observar las gráficas resultantes de las pruebas *outdoor* se puede comprobar que la concentración de contaminantes se incrementa en las horas de mayor tráfico vehicular.
- A medida que los alimentos son cocidos, en un ambiente *indoor*, también se produce un aumento en la cantidad de dióxido de carbono en el ambiente, siendo necesario tomar medidas dentro de los lugares cerrados para evitar problemas con la acumulación de estos gases.

- El prototipo elaborado y su aplicación satisface las necesidades de medición y reporte requeridas en el diseño del sistema de monitoreo.
- El plan de mensajes mensual (5000 mensajes) contratado a la operadora celular es suficiente para el envío periódico de la información hacia el centro de recolección de datos.
- Visual Basic 2005 es una herramienta muy útil para el desarrollo de aplicaciones que impliquen el manejo de puertos y el desarrollo de interfaces gráficas. También es muy importante en el desarrollo de programas denominados servicios, mediante los cuales se puede ejecutar operaciones sin necesidad de entrar dentro de un interfaz gráfica. En la aplicación, Visual Basic 2005, es muy útil para la descarga, presentación y manejo de la información.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Es importante que se incentive el desarrollo de proyectos similares en nuestro medio, aprovechando las tecnologías de comunicación inalámbricas.
- Es recomendable, en posteriores desarrollos de proyectos, la utilización de módulos integrados GSM y GPRS que reemplazarían al teléfono que en el sistema implementado se tiene para el envío de datos. De esta forma se logrará eliminar espacio y peso en los prototipos.
- Debido a las mediciones realizadas en ambiente *INDOOR*, se recomienda revisar el correcto funcionamiento de las cocinas a gas de uso doméstico, para evitar emanaciones de CO debido a la combustión incompleta.
- Se recomienda a las entidades responsables de la calidad del aire en Quito utilizar este prototipo para ampliar su capacidad de monitoreo de forma remota debido a las ventajas que éste presenta.



- Se recomienda mantener una suficiente ventilación de la cocina para evitar la acumulación de gases nocivos para la salud.

## BIBLIOGRAFÍA:

### LIBROS:

- Gwenae"l Le Bodic, Mobile Messaging Technologies And Services Sms, Ems And Mms, Wiley, India, 2005
- Sinche, Soraya, MSc, Folleto de Comunicaciones Inalámbricas, 2007
- AJAY R. Mishra, Advanced Cellular Network Planning and Optimization, WIKEY and Sons , Nokia Networks, United Kingdom 2007
- MOOI CHOO CHUAH, Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs, Springer Science Business Media,2006
- HEINE, Gunnar, GSM Networks Protocols Terminology and Implementation, Artech House, United Kingdom 1998

### PAPERS:

- 3GPP TS 23.040 V6.5.0
- 3G TS 23.042 V3.1.0

### PÁGINAS WEB:

- <http://kbs.cs.tu-berlin.de/~jutta/gsm/js-intro.html>
- [http://www.it.uc3m.es/~gavilan/apuntes/gsm\\_intro\\_2000.pdf](http://www.it.uc3m.es/~gavilan/apuntes/gsm_intro_2000.pdf)
- <http://www.sagan-gea.org/hojared/CAtm.html>
- <http://www.monografias.com/trabajos15/contaminacion-aire/contaminacion-aire.shtml>
- <http://www.ucm.es/BUCM/tesis/19911996/X/0/X0008401.pdf>
- <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/10CAtm1/100ConAt.htm>
- <http://www.conam.gob.pe/aire/abc/contaminantes.html>

- [http://www.gsmSpain.com/info\\_tecnica/sms](http://www.gsmSpain.com/info_tecnica/sms)
- <http://www.patentstorm.us/patents/6442159-description.html>
- [http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t\\_celular/estadisticas/anual.htm](http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t_celular/estadisticas/anual.htm)
- <http://www.gsmworld.com/about/history.shtml>
- [http://www.radioptica.com/Radio/telefonía\\_movil.asp](http://www.radioptica.com/Radio/telefonía_movil.asp)
- [http://ceres.ugr.es/~alumnos/c\\_avila/gsm23.htm](http://ceres.ugr.es/~alumnos/c_avila/gsm23.htm)
- <http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/t.pagtzis/wireless/gsm/arch.html>
- [http://www.nl.gob.mx/?P=med\\_amb\\_mej\\_amb\\_sima\\_cont](http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_cont)
- <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/anexos.pdf>
- <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/cap4.pdf>
- <http://www.ucm.es/BUCM/tesis/19911996/X/0/X0008401.pdf>
- [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc0265.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0265.pdf)
- <http://www.embedtronics.com/nokia/fbus.html>
- [http://www.enfora.com/index.cgi?CONTENT\\_ID=614&User:LANGUAGE=en](http://www.enfora.com/index.cgi?CONTENT_ID=614&User:LANGUAGE=en)
- [http://www.sonyericsson.com/downloads/GR64\\_R1E.pdf](http://www.sonyericsson.com/downloads/GR64_R1E.pdf)
- [http://www.sonyericsson.com/downloads/dg\\_at\\_2003\\_r4a.pdf](http://www.sonyericsson.com/downloads/dg_at_2003_r4a.pdf)
- [http://pinouts.ru/CellularPhones-P-W/erics\\_t28\\_pinout.shtml](http://pinouts.ru/CellularPhones-P-W/erics_t28_pinout.shtml)
- <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/CIDGALLEGUILLLOSc.pdf>
- <http://www.cellularabroad.com/sonyDatacable.html>
- [http://www.alibaba.com/catalog/10301037/Co\\_Gas\\_Sensor.html/](http://www.alibaba.com/catalog/10301037/Co_Gas_Sensor.html/)
- <http://www.compel.ru/images/catalog/339/MG811.pdf>
- <http://www.datasheetsite.com/datasheet/HS1100>
- <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>

- <http://www.devicemart.co.kr/mart7/upload/pdf/MQ-7.pdf>
- [http://www.futurlec.com/CO\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO_Sensor.shtml)
- [http://www.futurlec.com/CO2\\_Sensor.shtml](http://www.futurlec.com/CO2_Sensor.shtml)