



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES**

Tema:

**“SISTEMA DE TELEMEDICINA PARA MONITOREAR LOS NIVELES DE
GLUCOSA EN PACIENTES CON DIABETES”**

Proyecto de Trabajo de Graduación Modalidad: TEMI Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Comunicaciones Inalámbricas

AUTOR: Sánchez Zumba Andrea Patricia

PROFESOR REVISOR: Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.

Ambato – Ecuador

Noviembre 2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “SISTEMA DE TELEMEDICINA PARA MONITOREAR LOS NIVELES DE GLUCOSA EN PACIENTES CON DIABETES”, de la señorita Andrea Patricia Sánchez Zumba, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad al Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Noviembre 2014

EL TUTOR

Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: “SISTEMA DE TELEMEDICINA PARA MONITOREAR LOS NIVELES DE GLUCOSA EN PACIENTES CON DIABETES”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Noviembre 2014

Andrea Patricia Sánchez Zumba

C.C.: 1804310710

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “SISTEMA DE TELEMEDICINA PARA MONITOREAR LOS NIVELES DE GLUCOSA EN PACIENTES CON DIABETES”, presentado por la señorita Andrea Patricia Sánchez Zumba de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Geovanni Brito Moncayo
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Freddy Robalino
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi mamita hermosa Felipa, quien siempre estuvo presente en las buenas y en las malas, dándome todo su amor, fuerzas y comprensión; porque siempre me lleva al camino de la excelencia.

A mi adorado papi Segundo, quien con su amor y exigencia me motivó durante toda mi vida a buscar el éxito, me motivó a ser la mejor.

A mis hermanas Verónica y Diana, quienes desde pequeña me enseñaron a amar el estudio, me enseñaron como luchar por mis sueños, ellas quienes se convirtieron en mi ejemplo para seguir adelante.

A mi sobrino Gabrielito Vacacela, quien es y será siempre mi inspiración, mi ejemplo para ser una luchadora.

A mi amor incondicional Andrés Velasco, por ser el nuevo pilar fundamental de mi existencia.

Este trabajo va dedicado a ustedes, que son mi familia, mi vida y mi corazón.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, fortaleza e inteligencia,
por darme a mis padres Segundo y Felipe, y a
mi familia tan amada: Verónica, Diana,
Ignacio y Gabrielito; quienes siempre estuvieron
presentes a lo largo de mi vida y de mi carrera
universitaria. Gracias Dios por mi familia.

A mi amor Andrés Melasco Oña, gracias por
ayudarme en cada etapa del desarrollo de mi tesis,
tu aliento y fortaleza se ven reflejados en este
proyecto.

A la Universidad Técnica de Ambato, y en
especial a la Facultad de Ingeniería en
Sistemas, Electrónica e Industrial con todos
sus docentes, quienes oportunamente supieron
sembrar ciencia y humanismo para permitirme llegar
a ser quien soy.

Al doctor Eduardo Cabezas Cevallos, quien me
abrió las puertas de la institución médica a la que
dirige para la realización de mi proyecto de grado.

Al Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, por
brindarme su tiempo y conocimiento para desarrollar
mi tesis.

A todos ustedes, muchas gracias.

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS	xix
INTRODUCCIÓN.....	xxi
CAPÍTULO I.....	I
EL PROBLEMA	I
1.1. TEMA	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.3. DELIMITACIÓN.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.5. OBJETIVOS	4
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4

CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.2.1. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN	6
2.2.2. TELECOMUNICACIONES	6
2.2.3. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	7
2.2.4. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	7
2.2.5. SISTEMA DE TELEMEDICINA.....	8
2.2.6. TELEMEDICINA	8
2.2.7. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELEMEDICINA.....	10
2.2.8. TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN USADAS EN MEDICINA.....	14
2.2.9. TELEMEDICINA EN DIABETES	16
2.2.10. SISTEMAS DE TELEMEDICINA EN DIABETES.....	17
2.2.11. ENFERMEDADES CRÓNICAS.....	18
2.2.12. DIABETES	18
2.2.13. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA GLUCOSA.....	19
2.2.14. GLUCÓMETRO	19
2.2.15. FUNCIONAMIENTO DEL GLUCÓMETRO	20
2.2.16. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE UN GLUCÓMETRO	22
2.2.17. TELEMONITARIZACIÓN DE LA GLUCEMIA	23
2.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	23

CAPÍTULO 3	24
METODOLOGÍA.....	24
3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	24
3.2.1. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	24
3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	25
3.3.1. ANÁLISIS DE MEDICIONES DE GLUCOSA DE PACIENTES CON DIABETES	25
3.3.2. ENTREVISTA	30
3.4. DESARROLLO DEL PROYECTO	34
CAPÍTULO 4	35
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	35
4.1. ANTECEDENTES.....	35
4.2. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	36
4.2.1. FACTIBILIDAD OPERATIVA	36
4.2.2. FACTIBILIDAD TÉCNICA	36
4.2.3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	36
4.2.4. PROYECCIÓN A FUTURO	36
4.3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA	36
4.3.1. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	36
4.3.2. TELEFONÍA MÓVIL.....	38
4.3.3. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL.....	39
4.3.4. LA PRIMERA GENERACIÓN DE TELÉFONOS CELULARES (1G)....	39
4.3.5. 2G: EL NACIMIENTO DE LAS REDES GSM Y GPRS	39

4.3.6.	3G: EL VERDADERO USO DEL INTERNET MÓVIL.....	40
4.3.7.	4G: LAS REDES DE ALTA VELOCIDAD	40
4.3.8.	TECNOLOGÍA GSM	40
4.3.9.	MÓDEM GSM/GPRS.....	40
4.3.10.	COMANDOS AT.....	42
4.3.11.	COMANDOS AT PARA ENVIAR Y RECIBIR SMS	42
4.3.12.	SISTEMA DE MONITOREO EN PACIENTES	43
4.3.13.	MONITOREO EN PACIENTES CON DIABETES	43
4.3.14.	NIVELES DE GLUCOSA.....	45
4.3.15.	FORMAS DE REGISTRO DE NIVELES DE GLUCOSA	46
4.4.	PROPUESTA.....	47
4.4.1.	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE TELEMEDICINA.....	47
4.4.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEMEDICINA	48
4.4.3.	SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL ENTORNO DEL PACIENTE Y MÉDICO	49
4.4.3.1.	SELECCIÓN DE UN GLUCÓMETRO	50
4.4.3.2.	SELECCIÓN DE UN MICROCONTROLADOR	53
4.4.3.3.	CABLE DE DATOS	56
4.5.	SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN	56
4.5.1.	SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL MEDIO DE TRANSMISIÓN	57
a.	SELECCIÓN DE MÓDEM GSM.....	57
4.6.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	61
4.6.1.	ENTORNO DEL PACIENTE.....	61
a.	INTERFAZ DE ACOPLAMIENTO ENTRE EL GLUCÓMETRO Y EL MÓDEM GSM/GPRS.....	61

1.	ACOPLAMIENTO ENTRE EL GLUCÓMETRO DIGITAL Y EL ARDUINO UNO.....	61
2.	ACOPLAMIENTO ENTRE EL ARDUINO UNO Y EL MÓDEM GSM/GPRS	64
4.6.2.	MEDIO DE TRANSMISIÓN	73
	TRANSMISIÓN DE MEDICIONES A TRAVÉS DE LA RED MÓVIL	73
4.6.3.	ENTORNO MÉDICO	74
a.	RECEPCIÓN DE LAS MEDICIONES A TRAVÉS DE LA RED CELULAR, USANDO UN MÓDEM GSM/GPRS.....	74
b.	INTERFAZ SERIAL PARA INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN ENTRE MÓDEM GSM/GPRS Y EL COMPUTADOR DEL MÉDICO.	76
c.	INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA (HMI).....	87
4.7.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	99
4.7.1.	ENTORNO DEL PACIENTE.....	99
4.7.2.	ENTORNO MÉDICO	103
4.8.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	105
4.8.1.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN EL ENTORNO DEL PACIENTE	105
4.8.2.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN EL ENTORNO MÉDICO	110
4.9.	ANÁLISIS ECONÓMICO	112
4.9.1.	PRESUPUESTO	112
4.9.2.	BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	113
CAPÍTULO V.....	115	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115	
5.1. CONCLUSIONES	115	

5.2. RECOMENDACIONES	116
REFERENCIAS	118
ANEXOS	124
ANEXO 1.- MANUAL DE USUARIO PARA PACIENTES.....	125
ANEXO 2.- MANUAL DE USUARIO PARA EL DOCTOR ESPECIALISTA ...	134
ANEXO 3.- FORMATO DE ENTREVISTA AL DOCTOR EDUARDO CABEZAS CEVALLOS	157
ANEXO 4.- FORMAS DE REGISTRO USADAS POR PACIENTES CON DIABETES	159
ANEXO 5.- PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN DEL GLUCÓMETRO ONETOUCH ULTRAMINI	161
ANEXO 6. - HOJA DE DATOS ATMEL 328.....	169
ANEXO 7.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SIMCOM SIM900.....	172
ANEXO 8.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TARJETA GSM/GPRS	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 1”	25
Tabla 3.2.Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 2”	25
Tabla 3.3.Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 3”	26
Tabla 3.4.Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 4”	26
Tabla 3.5.Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 5”	26
Tabla 3.6.Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 6”	26
Tabla 4.1.Nivel de Glucosa.....	45
Tabla 4.2.Frecuencia de medición de glucosa	45
Tabla 4.3.Tabla comparativa para selección de un Glucómetro.....	50
Tabla 4.4.Tabla Comparativa para Selección de un Microcontrolador	53
Tabla 4.5.Tabla comparativa para selección de MÓDEM GSM/GPRS.....	57
Tabla 4.6.Trama para Lectura de glucosa y fecha del glucómetro OneTouch UltraMini.....	62
Tabla 4.7.Trama de Respuesta del glucómetro OneTouch UltraMini	63
Tabla 4.8.Presupuesto Sistema de Telemedicina para el Entorno del Paciente.....	112
Tabla 4.9.Presupuesto Sistema de Telemedicina para el Entorno Médico	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1.Telediagnóstico.....	9
Fig. 2.2.Red de Telemedicina	10
Fig. 2.3.Elemento del Sistema de Telemedicina “Paciente”	11
Fig. 2.4.Tecnologías inalámbricas usadas en Telemedicina	11
Fig. 2.5.Elemento del Sistema de Telemedicina “Médico o Especialista”	12
Fig. 2.6.Componentes del Sistema de Telemedicina	12
Fig. 2.7.Tira Reactiva para la determinación de Glucosa en Sangre	20
Fig. 3.1.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 1”	27
Fig. 3.2.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 2”	27
Fig. 3.3.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 3”	28
Fig. 3.4.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 4”	28
Fig. 3.5.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 5”	29
Fig. 3.6.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 6”	29
Fig. 3.7.Tendencias de Pacientes pasadas 6 semanas	30
Fig. 4.1.Monitoreo Remoto de Pacientes.....	37
Fig. 4.2.Celdas en Comunicación Móvil	39
Fig. 4.3.Distribución de las bandas de telefonía móvil a nivel mundial.....	41
Fig. 4.4.Esquema General del Sistema de Telemedicina.....	47
Fig. 4.5.Diseño del Sistema de Telemedicina.....	48
Fig. 4.6.a)Puerto de datos OneTouch UltraMinib) /Interfaz para infrarrojos AccuChek Active.....	52
Fig. 4.7.Cable DB9 a Estéreo 3.5mm	56
Fig. 4.8.Diagrama para elaborar un Cable estéreo 3.5mm a DB9	56
Fig. 4.9.SIMCOM SIM900 Cuatribanda - Módulo GSM/GPRS para Arduino.....	59
Fig. 4.10.Tramas de Petición y Respuesta del Glucómetro OneTouch UltraMini.....	62
Fig. 4.11.Conexión física entre el Glucómetro OneTouch UltraMini y el Arduino UNO.....	64
Fig. 4.12.Montaje físico del Módem GSM/GPRS y el Arduino UNO	65
Fig. 4.13.Diagrama de Flujo General del desarrollo del Entorno del Paciente	67

Fig. 4.14.Tarjeta SIM Movistar	73
Fig. 4.15.Esquema de pines de una tarjeta SIM.....	73
Fig. 4.16.Información del SMS de texto en el modo día	75
Fig. 4.17.Información del SMS de texto en el modo noche	75
Fig. 4.18.Diagrama de Flujo general del desarrollo del Entorno Médico	79
Fig. 4.19.Modelo Entidad-Relación del Sistema de Telemedicina para el Entorno Médico.....	88
Fig. 4.20.Tablas de la Base de Datos del Sistema de Telemedicina.....	90
Fig. 4.21.Ventana de Inicio de Sesión para utilizar el software	92
Fig. 4.22.Ventana de Selección del puerto COM y visualización de lo SMS	92
Fig. 4.23.Botones para todas las funciones del Sistema	93
Fig. 4.24.Diagrama de Flujo del Registro de Doctores y Pacientes	94
Fig. 4.25.Diagrama de Flujo de la Lectura de los SMS almacenados en el módulo GSM/GPRS SIM900 (parte 1).....	95
Fig. 4.26.Diagrama de Flujo de la Lectura de los SMS almacenados en el módulo GSM/GPRS SIM900 (parte 2).....	96
Fig. 4.27.Diagrama de Flujo de la Lectura en tiempo real de los SMS que llegan al módulo GSM/GPRS SIM900.....	97
Fig. 4.28.Diagrama de Flujo de Cierre de Sesión/Aplicación	98
Fig. 4.29.Elementos para la implementación del Sistema de Telemedicina en el entorno del Paciente.....	99
Fig. 4.30.Componentes del Dispositivo Electrónico del Entorno del Paciente	99
Fig. 4.31.Esquemático de la Placa Electrónica de Conexiones	100
Fig. 4.32.Distribución de elementos de la Placa Electrónica de Conexiones	101
Fig. 4.33.Diagrama de Pistas de la Placa Electrónica de Conexiones	101
Fig. 4.34.Prototipo del Sistema de Telemedicina para el Entorno del Paciente.....	102
Fig. 4.35.Prototipo del Sistema de Telemedicina para el Entorno del Paciente.....	102
Fig. 4.36.Elementos para la implementación del Sistema de Telemedicina en el Entorno Médico.....	103
Fig. 4.37.Componentes del Dispositivo Electrónico del Entorno Médico	104
Fig. 4.38.Prototipo del Sistema de Telemedicina para el Entorno Médico	104
Fig. 4.39.Medición de 88mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini	106

Fig. 4.40.Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS	106
Fig. 4.41.Medición de 392mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini	107
Fig. 4.42.Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS	107
Fig. 4.43.Medición de 91 mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini	108
Fig. 4.44.Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS	108
Fig. 4.45.Medición de 69 mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini	109
Fig. 4.46.Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS	109
Fig. 4.47.Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 88 mg/dl.....	110
Fig. 4.48.Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 392 mg/dl.....	111
Fig. 4.49.Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 91 mg/dl.....	111
Fig. 4.50.Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 69 mg/dl.....	112

RESUMEN

La necesidad de un monitoreo constante a pacientes que sufren de diabetes, constituye el punto de partida para el desarrollo de esta investigación. Pues éstos pacientes comúnmente están propensos a la automedicación, porque no cuentan con supervisión permanente y especializada de su enfermedad. Planteándose una solución a este problema mediante el empleo de Tecnologías de la Información y Comunicación, dentro de las cuales se mencionan las Comunicaciones Inalámbricas y las Móviles.

Se propone diseñar e implementar un Sistema de Telemedicina para Monitorear los niveles de Glucosa en pacientes con Diabetes, que permita el envío inmediato de cada medición que realice el paciente, usando un dispositivo electrónico “Arduino UNO” que facilita la conexión con su glucómetro, y utilizando un módem GSM/GPRS que establece conexión con la red de telefonía móvil.

A través de la red de telefonía móvil y del módem GSM/GPRS se enviarán mensajes de texto con el valor de glucosa y la fecha de medición, con la finalidad de que estas mediciones puedan ser supervisadas y controladas inmediatamente por el doctor, desde una interfaz que le permite al galeno monitorear a sus pacientes.

Esta interfaz es la encargada de extraer información de los mensajes de texto recibidos en el módem GSM/GPRS, y vincularla con la base de datos. En casos especiales, el sistema por sí mismo le notificará al paciente por medio de un mensaje de texto que debe acercarse a consulta médica porque sus niveles de glucosa están fuera de lo establecido.

ABSTRACT

The need for constant monitoring of patients suffering from diabetes, is the starting point for the development of research. Since these patients are often prone to self-medication, because they have no permanent and specialized supervision of their illness. Considering a solution to this problem through the use of Information Technology and Communication, within which the Wireless Communications and Mobile are mentioned.

It is proposed to design and implement a Telemedicine System to Monitor Glucose levels in patients with diabetes, which allows the immediate shipment of each measurement made by the patient, using an electronic device "Arduino UNO" for easy connection to their meter; and using a GSM/GPRS modem that connects to the cellular network.

Through the mobile network and the GSM/GPRS modem, text messages are going to be sent with the glucose value and the measurement date, in order that these measurements can be monitored and controlled by the doctor immediately from an interface that allows the physician to monitor their patients.

This interface is responsible for extracting information from text messages received on the GSM/GPRS modem and link it to the database. In special cases, the system itself will notify the patient via a text message that should approach medical consultation because their glucose levels are out of the set.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

- ADC: Analog to Digital Converter
- ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line
- AMPS: Advanced Mobile Phone System
- ASCII: American Standard Code for Information Interchange
- BTS: Base Transceiver Station
- BSC: Base Station Controller
- C.I.: Cédula de Identidad
- CDMA: Code División Múltiple Access
- CNT: Corporación Nacional de Telecomunicaciones
- dBm: decibelios
- EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
- SRAM: Static Random Access Memory
- GSMK: Gaussian Minimum Shift Keying
- GFSK: Gaussian Frequency Shift Keying
- FSK: Frequency Shift Keying
- EDGE: Enhanced Data rates for GSM of Evolution
- GND: Ground
- GPRS: General Packet Radio Service o servicio general de paquetes
- GPS: Global Position System
- GSM: Global System for Mobile Communications
- HMI: Human Machine Interface
- HSDPA: High Speed Downlink Packet Access
- Interfaz de usuario: Es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo.
- IP: Internet Protocol
- Kbps: Kilobits Per Second
- LAN: Local Area Network
- Mbps: Megabits Per Second

- MHz: Megahertz
- mm: milímetros
- MSC: Mobile Switching Center
- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- PDA: Personal Digital Assistant
- PIN: Personal Identification Number
- PWM: Pulse Width Modulation
- QoS: Quality of Service
- RFID: Radio Frequency IDentification
- Roaming: En telefonía, el roaming es la capacidad de hacer y recibir llamadas en redes móviles fuera del área de servicio local de cobertura.
- RTLS: Real-Time Locating Systems
- Rx: Recibir o Receptor
- SIM: Subscriber Identity Module
- SMS: Short Message Service
- Streaming: Es un término que hace referencia al hecho de escuchar música o ver vídeos sin necesidad de descargarlos, sino que se hace por fragmentos enviados secuencialmente a través de Internet.
- SQL: Structured Query Language
- TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación
- TTL: Transistor Logic (Lógica de Transistor a Transistor)
- Tx: Transmitir o Transmisor
- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
- USB: Universal Serial Bus
- WiFi: Wireless Fidelity
- WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

INTRODUCCIÓN

Con el Sistema de Telemedicina para Monitorear los Niveles de Glucosa en pacientes con diabetes, se pretende mejorar el control de la enfermedad en cada persona, pues el doctor tendrá información en tiempo real de cada paciente y con ello se garantiza que los tratamientos prescritos para el paciente sean los más indicados para su padecimiento.

La principal razón para desarrollar esta investigación es el deseo de ayudar a las personas que sufren de diabetes a sobrellevar de mejor manera su enfermedad. Aplicando las tecnologías disponibles en favor de la medicina. El desarrollo de la investigación se llevó a cabo mediante cinco capítulos, los cuales se detallan a continuación:

En el primer capítulo se plantea el problema que se quiere solucionar, se expone también las causas y consecuencias del problema investigado, junto a la delimitación y la justificación, que permiten explicar las razones por las que se desea desarrollar la investigación. Finalmente se proponen los objetivos que encaminarán la investigación.

En el segundo capítulo, se presentan los antecedentes investigativos relacionados al tema de investigación; así como la fundamentación teórica que permite involucrarse de manera profunda en el tema propio, para finalmente presentar la propuesta de solución, en la que se describe cómo se va a resolver el problema de investigación.

Dentro del tercer capítulo, se expone la modalidad básica de investigación usada para el desarrollo de este trabajo, así como el plan de recolección de información basado en entrevistas con el doctor. Para concluir con este capítulo, se expone el desarrollo del proyecto que consiste en los pasos que se deben seguir para cumplir con los objetivos planteados en el capítulo uno.

En el cuarto capítulo, considerado el capítulo más extenso de toda la investigación, contiene el desarrollo propio del proyecto. En otras palabras, se presenta la fundamentación científica que da el inicio al desarrollo de la propuesta. Dentro de este capítulo, se detalla claramente el diseño del Sistema de Telemedicina, así como la selección de equipos para la posterior implementación del prototipo, junto a las respectivas pruebas de funcionamiento que garantizan la fiabilidad del sistema.

Finalmente, en el quinto capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó una vez finalizado el proyecto de investigación, entre las que se menciona aspectos importantes que deben considerarse como apoyo científico para investigaciones futuras.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. TEMA

“Sistema de Telemedicina para Monitorear los niveles de Glucosa en pacientes con Diabetes”.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, según la “Federación Internacional de la Diabetes”, el número de personas diagnosticadas con diabetes ha aumentado de forma alarmante de 30 a más de 356 millones, convirtiéndose en una de las principales causas de muerte en jóvenes, adultos y ancianos. El principal motivo, es la falta de monitorización de la glucemia, aunque muchas veces el mal registro de los niveles de glucosa ha llevado a los pacientes a la muerte por errores asociados a la medición.

Aunque la mayoría de los medidores de glucosa existentes actualmente pueden mostrar el promedio de las mediciones de los últimos 14 días, resulta muy difícil llevar un registro permanente y constante de los niveles de glucemia en los pacientes, impidiendo que se proporcione un mejor tratamiento y control de la enfermedad.

En Latinoamérica, se han desarrollado otras alternativas para el registro de las mediciones de glucosa, como el uso de un computador, un Smartphone a través de aplicaciones Android, tablas de Excel, etc. Sin embargo, cada una de ellas son manipuladas y controladas por el paciente, generando también errores.

Tanto a nivel mundial, en Latinoamérica y más aún en Ecuador, el sistema de registro y monitoreo actual de los niveles de glucosa en pacientes es caduco, ya que todavía se lo realiza manualmente mediante la utilización de libretas o cartillas, en donde los propios enfermos son quienes anotan los resultados de cada una de sus pruebas de glucosa, produciéndose errores relacionados con la escritura, con la fecha y hora en la que se realizó la medición.

A pesar de los beneficios de la automonitorización en casa, los riesgos que se generan son considerables, pues al hacerlo en el hogar muchos enfermos con diabetes se automedican porque siguen los consejos erróneos de personas quienes padecen de la misma enfermedad, agravando el problema de la diabetes y provocándose a sí mismos terribles daños.

Es por ello, que debe existir un sistema para controlar el avance de la diabetes en los pacientes y emitir un tratamiento adecuado a través de la supervisión constante de un médico. Al mismo tiempo, para actuar en casos de emergencia, en los que los niveles de glucosa estén por debajo o por encima de los valores normales recomendados.

Por lo tanto, esta investigación estuvo enfocada a resolver la falta de monitorización y de control en los pacientes que sufren de diabetes, para que dispongan de tratamientos, además de dosis adecuadas.

1.3. DELIMITACIÓN

DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS

Área académica: Comunicaciones

Línea de investigación: Tecnologías de Comunicación

Sublíneas de investigación: Comunicaciones Inalámbricas

DELIMITACIÓN ESPACIAL

La presente investigación se desarrolló tanto en la ciudad de Ambato como en Riobamba; y el funcionamiento del prototipo fue verificado en el consultorio del Dr. Eduardo Cabezas Cevallos ubicado también en la ciudad de Riobamba.

DELIMITACIÓN TEMPORAL

La presente investigación se desarrolló en el período Noviembre 2013 - Julio 2014, a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El principal propósito del desarrollo de esta investigación estuvo enfocado a la falta de un control y monitoreo adecuados a pacientes con diabetes; lo cual ha provocado que esta enfermedad se convierta en una de las principales causas de muerte en el mundo y en el país.

Todas las complicaciones y consecuencias que suelen presentarse como resultado de la enfermedad, tales como ceguera, hipertensión arterial, daños renales, arterosclerosis, entre otras, son provocadas por la falta de un tratamiento apropiado o por descuidos de los propios pacientes. Generalmente, un paciente con diabetes estable no requiere de hospitalización, sin embargo es indispensable llevar a cabo controles periódicos para vigilar su estado de salud y prevenir futuras complicaciones.

Otro de los motivos que llevaron al desarrollo de este proyecto, fue el interés y la necesidad de contribuir al país con los conocimientos en tecnologías de comunicación enfocadas al campo de la medicina, pues existe un sinnúmero de personas que podrían salvar sus vidas al contar con sistemas que faciliten el control de sus enfermedades.

Por otro lado, el campo de la telemedicina no ha sido explotado en todo su potencial, ya que en la actualidad existen las herramientas necesarias para facilitar y unificar diagnósticos, para controlar enfermedades, compartir resultados y tratamientos, con la principal ventaja de que los pacientes puedan ser atendidos en cualquier parte del mundo y puedan continuar con sus tratamientos.

La utilidad de esta investigación estuvo enfocada a mejorar la calidad de vida de los enfermos de diabetes, para que al disponer de un monitoreo constante puedan disfrutar de muchos años más de vida, siendo de esta manera ellos los principales beneficiarios de este proyecto.

Para el desarrollo de esta investigación orientada a la telemedicina, se emplearon herramientas útiles y de fácil acceso que permitan brindar un sistema óptimo en beneficio de todos los pacientes, entre las que se menciona la utilización de software libre y de las conocidas TICs.

Por lo anteriormente mencionado, se asevera que el desarrollo de este proyecto resultó factible, no solo por el beneficio que generó al mejorar la salud de las personas, sino por el interés propio de desarrollar la investigación para su realización.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Implementar un sistema de Telemedicina para Monitorear los niveles de Glucosa en pacientes con diabetes.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la forma de registro y monitoreo actuales de los niveles de glucosa en pacientes con diabetes.
- Determinar los requerimientos técnicos para el desarrollo del sistema electrónico de telemedicina para el monitoreo de pacientes con diabetes.
- Diseñar un sistema electrónico de telemedicina que permita el monitoreo de los niveles de glucosa para que sea supervisado constantemente por el médico especialista.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La telemedicina ha existido desde mediados del siglo XX, en donde las primeras implementaciones se efectuaron en Estados Unidos, las mismas que consistieron en un circuito de televisión por microondas que permitieron el tratamiento a distancia y la educación médica[1]. Posteriormente, aparecieron también proyectos dirigidos a la teleconsulta, teleatención, todas a través de las telecomunicaciones.

Actualmente se han registrado proyectos relacionados a sistemas de telemedicina que utilizan la red GSM para proporcionar servicios médicos, uno de ellos titulado “Sistema de Comunicación Virtual para el mejoramiento del Control de la ingesta de medicamentos en enfermos crónicos del Centro de Medicina Integral[2]” cuyo autor es Santiago Oswaldo Valdiviezo Pulgar de la “Universidad Técnica de Ambato”, quien describe un sistema que utiliza módems GSM/GPRS y que a través de los mensajes de texto corto SMS ayuda a pacientes en la ingesta de sus medicamentos en las horas y dosis correctas para controlar sus tratamientos médicos.

De la misma manera, se ha registrado otro trabajo de investigación con el título “Implementación de un prototipo de una plataforma de Tele-Cuidado por medio de Tele-Ubicación de personas en riesgo (Ancianos, Discapacitados, Epilépticos, Enfermos del corazón, Diabéticos, Alzheimer, etc.)[3]”, desarrollado en la Escuela Politécnica Nacional, en donde sus autores Carlos Santiago Carrillo Sampedro y Brither Andrés Villagrán Sánchez, mencionan la implementación de un prototipo de telemedicina cuyo

propósito es el telecuidado por medio de la teleubicación de personas que sufren de enfermedades crónicas y que requieren de atención médica constante, para lograrlo hacen uso de un GPS y de los módem GSM/GPRS. En ambas investigaciones, se hace especial énfasis en la atención médica a distancia que se les proporciona a los pacientes que sufren de diversas enfermedades.

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN

Las tecnologías de comunicación estudian las técnicas y procesos que permiten el envío y la recepción de información a distancia, en donde los mensajes son instrucciones y datos que se transmiten entre emisor y receptor (usuarios) por un canal digital (hardware), establecidos por un código (software).

Estas tecnologías han cubierto un amplio campo en el desarrollo de nuevas tecnologías, una de sus principales clasificaciones describe tres principales grupos:

1. Redes: Telefonía fija y telefonía móvil, banda ancha, televisión, radio, satélites, es decir un amplio campo de las comunicaciones inalámbricas.
2. Terminales: televisores, computadoras, laptop, teléfonos móviles o Smartphone, software y sistemas operativos, etc.
3. Servicios: Radio, comercio electrónico, GPS, mensajería instantánea, etc.

“Una red inalámbrica tiene la capacidad de permitir el desplazamiento de los usuarios mientras están accediendo y utilizando los servicios de telecomunicaciones. La versatilidad que aporta esta independencia con respecto a la ubicación ha motivado que las comunicaciones móviles se conviertan en una de las áreas de las telecomunicaciones con mayor auge en los últimos años[4]”.

2.2.2. TELECOMUNICACIONES

“Las telecomunicaciones abarcan todas las técnicas, normas y procesos relativos a comunicación a distancia, desde la transmisión de voz, imágenes y datos hasta todo tipo de datos por las redes celulares, de satélite, redes de cable o redes inalámbricas[5]”.

2.2.3. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Un sistema de telecomunicación es una colección de hardware y software compatible dispuesto para comunicar información de un lugar a otro. Consiste en una infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hasta el destino, y con base en esa infraestructura se ofrecen a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones

A un sistema de comunicaciones se le conoce también como "red de telecomunicaciones". Estos sistemas pueden transmitir textos, gráficos, voz, documentos o información de video en movimiento completo.

2.2.4. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Los elementos que integran un sistema de telecomunicación son:

- **Emisor.-** Es el sujeto que envía el mensaje. Es el que prepara la información para que pueda ser enviada por el canal, tanto en calidad (adecuación a la naturaleza del canal) como en cantidad (amplificando la señal). La transmisión puede realizarse:
 - a) En banda base, o sea, en la banda de frecuencia propia de la señal, el ejemplo más claro es el habla.
 - b) Modulando, es decir, traspasando la información de su frecuencia propia a otra de rango distinto, esto permite adecuar la señal a la naturaleza del canal y además posibilita el multiplexar el canal, con lo cual varios usuarios podrán usarlo a la vez.
- **Receptor.-** Es la entidad a la cual el mensaje está destinado, puede ser una persona, grupo de personas, un dispositivo artificial, etc.
- **Lenguaje o protocolos de transmisión.-** Son el conjunto de códigos, símbolos y reglas que gobiernan la transmisión de la información.
- **Mensaje.-** Es la información que se va a transmitir, puede ser analógica o digital. Lo importante es que llegue el mensaje íntegro y con fidelidad.
- **Canal o Medio.-** Es el elemento a través del cual se envía la información del emisor al receptor. Debe considerarse que el medio tiene obstáculos como:
 - a) **La interferencia:** Todos aquellos fenómenos externos al medio que provocan deterioro en la comunicación.

- b) **Ruido:** Todos aquellos fenómenos inherentes al medio mismo que reducen la comunicación.

2.2.5. SISTEMA DE TELEMEDICINA

Un sistema de telemedicina se puede definir como un sistema de telecomunicaciones en el que los datos a enviarse consiste específicamente en información médica obtenida a través del empleo de dispositivos médicos, que son transmitidos a través de un canal de comunicación con la finalidad de llegar a un destinatario, quien es el encargado de procesar la información para emitir diagnósticos y tratamientos médicos. Se puede definir también como un sistema que combina la versatilidad de las tecnologías inalámbricas, con la telemedicina.

2.2.6. TELEMEDICINA

“Se define como Telemedicina a la prestación de servicios de Medicina a distancia. Para su implementación se emplean usualmente tecnologías de la Información y las Comunicaciones. La palabra procede del griego ὁλόεν (tele) que significa "distancia" y medicina[6]”.

“Su característica principal es la separación geográfica entre dos o más agentes implicados: ya sea un médico y un paciente, un médico y otro médico, o un médico y / o un paciente y / o la información o los datos relacionados con ambos[7]”.

“Entre las variaciones de la telemedicina cabe mencionar la tele-consulta, tele-diagnóstico, tele-cuidado, tele-educación, tele-cirugía, tele-radiología, y el tele-monitoreo, ésta última hace referencia al uso de las tecnologías para obtener datos e información rutinaria sobre el paciente[8]”.

Enfocado desde otro punto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) se refiere a la telemedicina como el suministro de servicios de atención sanitaria en los casos en que la distancia es un factor crítico, llevado a cabo por profesionales sanitarios que utilizan tecnologías de la información y la comunicación para el intercambio de información válida para hacer diagnósticos, prevención y tratamiento de enfermedades, formación continuada de profesionales en atención a la salud, así como para actividades de

investigación y evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de sus comunidades.

Por tanto, las aplicaciones de telemedicina están evolucionando desde los sistemas clásicos de conexión punto a punto para aplicaciones dedicadas hacia sistemas interactivos de multimedia en red distribuido como se muestra en la figura 2.1., en la que se observa un claro ejemplo de telemedicina, específicamente telediagnóstico.



Fig. 2.1.Telediagnóstico
Fuente: Evaluation of distance medicine technology [9]

Se puede considerar que la telemedicina se sirve de tres dimensiones: telecomunicaciones, ciencias informáticas y servicios de salud. De esta forma es posible la recolección, procesamiento, transmisión, análisis, almacenamiento y visualización de los datos médicos más relevantes en un corto periodo de tiempo, disminuyendo el tiempo de espera del diagnóstico.

Este suministro de servicios médicos hasta lugares distantes es posible gracias al uso de la tecnología en telecomunicaciones. Se utiliza desde servicios telefónicos estándar (sistemas clásicos) a modelos más evolucionados, y bandas anchas de transmisión de señales digitales conectadas a ordenadores, fibras ópticas, utilización de satélites y otra gran variedad de dispositivos periféricos y software sofisticados.

Dentro de la telemedicina cabe recalcar dos modos de operación básicos: a) En tiempo real o modo sincrónico, b) En tiempo diferido o modo asincrónico, o, como también se conoce, el modo de almacenar y enviar.

Para la modalidad sincrónica se requiere tener establecidas agendas conjuntas y disponibilidad simultánea de los agentes que estén interviniendo en la sesión.

Se utiliza el modo asincrónico en aquellos casos en los que el diagnóstico o la consulta de la información enviada no implican una situación de emergencia, y se puede diferir su consulta en minutos y horas, utilizando por ejemplo el correo como medio de transmisión de la información.

2.2.7. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELEMEDICINA

Una red de Telemedicina por lo general, está compuesta por Pacientes, Médicos Especialistas, periféricos médicos, equipos de comunicación y por un medio de transmisión, como se observa en la figura 2.2.

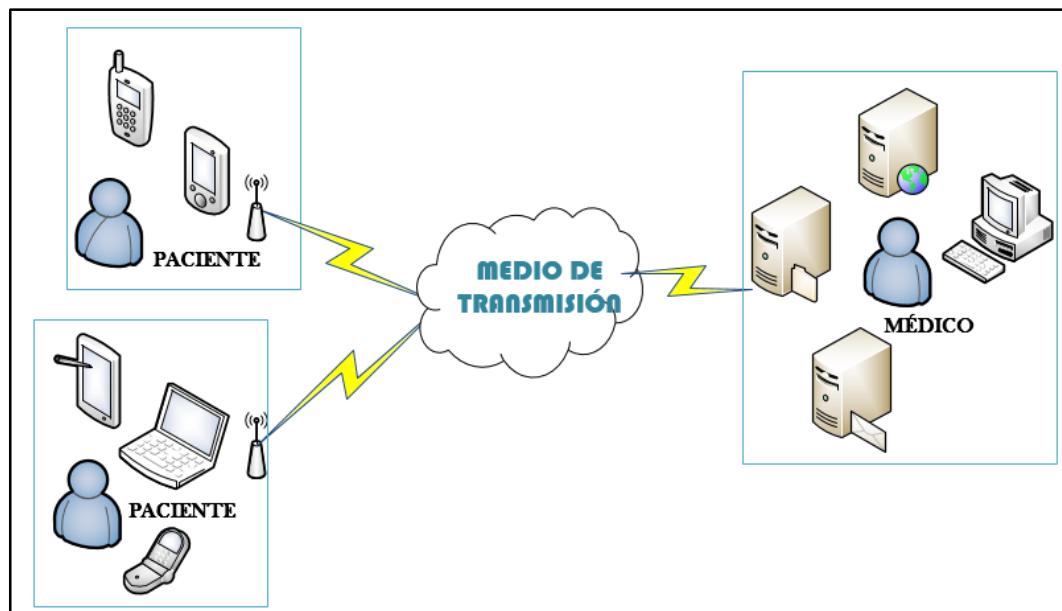


Fig. 2.2. Red de Telemedicina
Elaborado por: Andrea Sánchez

Por lo tanto en resumen, los elementos que intervienen en un sistema de Telemedicina son: Pacientes (Transmisor), Medio de Transmisión y Médicos (Receptores).

Paciente

El elemento Paciente está constituido por dos partes: por un dispositivo médico que genera la información a enviar y un equipo para transmitir la información adquirida. Como por ejemplo usar un glucómetro y transmitir la información del dispositivo

mediante el uso de un PDA; o emplear un electrocardiógrafo y enviar la información mediante un teléfono celular, tal y como se observa en la figura 2.3.

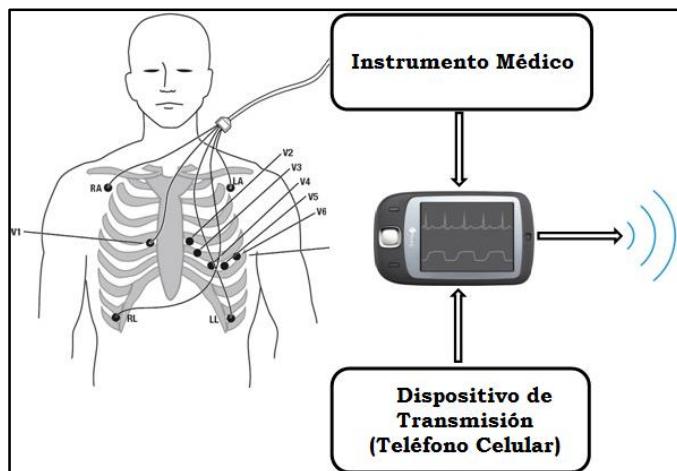


Fig. 2.3.Elemento del Sistema de Telemedicina “Paciente”

Red de Acceso o Tecnología de Transmisión

Es necesario conectar todos los elementos integrantes de la Telemedicina y ello se logra gracias a estas redes o tecnologías de transmisión. Entre las redes y/o tecnologías de transmisión que se utilizan se mencionan: WiFi, LAN, WiMax INTRANET, ADSL, GSM/GPRS, entre otras, tal y como se indica en la figura 2.4.

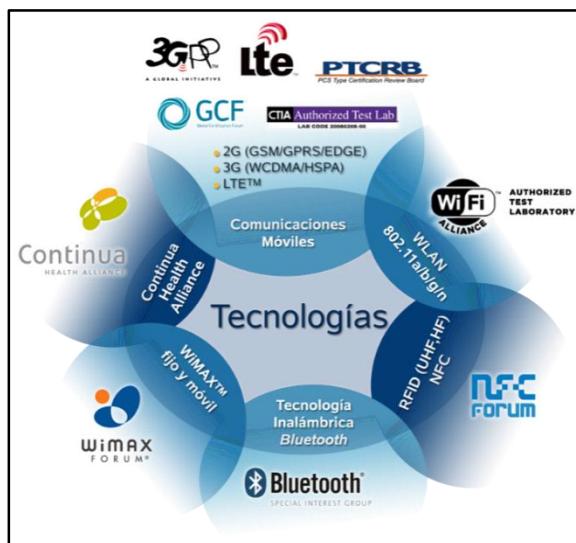


Fig. 2.4.Tecnologías inalámbricas usadas en Telemedicina
Fuente: AT4 Wireless[10]

Especialista o Médico

El especialista o médico constituye la parte del Receptor en el sistema de Telemedicina, pues es quien recoge los datos enviados por el paciente. Para recibir estos datos, se requiere de equipos encargados de recibir y traducir esta información para su posterior utilización, como se observa en la figura 2.5., donde se combinan médicos-dispositivos.



Fig. 2.5.Elemento del Sistema de Telemedicina “Médico o Especialista”

Fuente: De la medicina a distancia a la distancia de la medicina[11]

Los componentes del sistema de telemedicina se pueden apreciar de mejor manera en la figura 2.6.

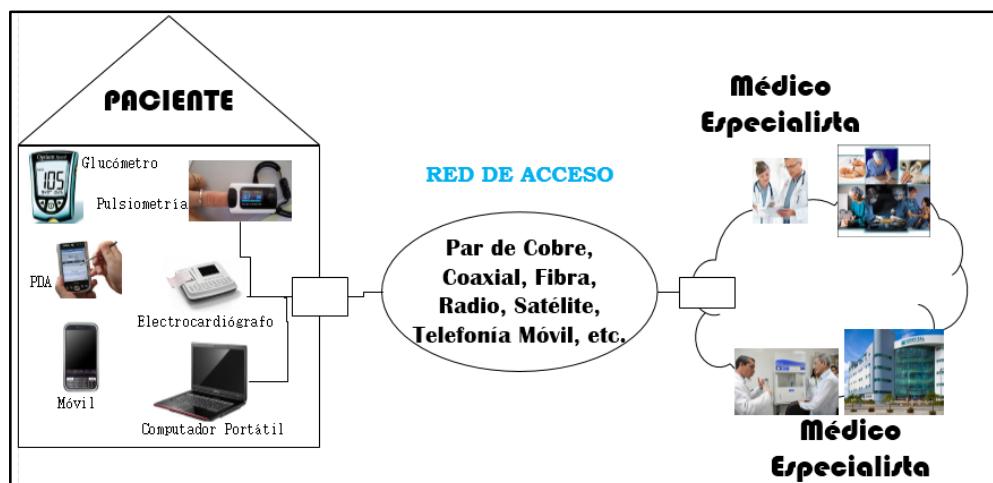


Fig. 2.6.Componentes del Sistema de Telemedicina
Elaborado por: Andrea Sánchez

Independientemente de las infraestructuras de telecomunicaciones que permiten el envío telemático de información, la telemedicina se apoya en un equipamiento que bien se puede denominar como dispositivos finales o equipamiento, como se mencionó tanto en el elemento del Paciente y del Médico o Especialista.

En un sistema de telemedicina existen dos tipos de equipamientos: los encargados de generar la información a enviar, y aquellos que se encargan de transmitir y recibir dicha información.

Los equipos radiológicos, los medidores de tensión arterial, los medidores de pulso cardíaco, los medidores de glucosa o las cámaras utilizadas en la cirugía laparoscópica, son algunos de los dispositivos finales capaces de generar la información a enviar.

El otro tipo de equipamiento, tiene como objetivo la interpretación de la información enviada, especialmente los dispositivos que confieren o aportan movilidad. Entre los que se menciona:

- Computadores Personales (PC): Es un dispositivo electrónico capaz de procesar información digital. Los PC son empleados, en telemedicina, para tres cuestiones fundamentales:
 - a) Interpretar y generar información.
 - b) Gobernar aparatos médicos electrónicos.
 - c) Enviar información a través de redes telemáticas.
- PDA (Personal Digital Assistant): Uno de los primeros dispositivos móviles que se utilizaron en telemedicina para la recepción de información fueron las PDA. Se trata de un dispositivo electrónico que podría definirse como un pequeño computador de bolsillo. La utilidad de las PDA en telemedicina proviene de su característica de movilidad y de su capacidad para conectarse a redes telemáticas. Así, un médico podría hacer uso de una PDA para visualizar el historial de un paciente o para grabar los datos de la ronda de consulta ordinaria de los hospitalizados.
- Tablet PC: Se podría definir como un dispositivo electrónico híbrido entre un ordenador portátil y una PDA. Las Tablet PC son dispositivos muy utilizados para la generación y visualización de información en condiciones de movilidad.

- Teléfonos móviles: Actualmente, la telefonía móvil despliega grandes redes de telecomunicaciones celulares capaces de llegar a lugares donde otros proveedores de servicios de telecomunicaciones no llegan. Esto, unido al avance de los terminales móviles (teléfonos móviles), que permiten capturar imágenes con una gran resolución, hace que los teléfonos móviles y en general cualquier dispositivo que funcione bajo la red de telefonía móvil, puedan ser muy útiles para la telemedicina.

2.2.8. TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN USADAS EN MEDICINA

El auge y desarrollo continuo de las TIC's y el acercamiento a los hogares de la banda ancha y la tecnología móvil está desplazando el modelo sanitario del hospital al hogar.

Las tecnologías de transmisión más importantes que se utilizan en telemedicina son: [12] banda ancha y las tecnologías inalámbricas.

✓ Banda Ancha

Las telecomunicaciones en banda ancha ofrecen una solución efectiva a esta necesidad, proporcionando transmisiones de datos a alta velocidad que permiten el envío de archivos digitales en tiempo real.

Permite transmitir en tiempo real, los resultados que arroja un determinado aparato médico (electrocardiogramas, pulsímetros, etc.), imágenes o video. Las distintas tecnologías de acceso a banda ancha se pueden dividir en dos grandes grupos: las que necesitan cable (también conocidas como guiadas) y las inalámbricas (también conocidas como no guiadas o radiadas).

Entre las guiadas las más importantes son:

- **ADSL** (Asimetric Digital Subscriber Line), que se basa en la utilización de la red telefónica de manera compatible e independiente del servicio telefónico. Básicamente, la tecnología ADSL es una técnica de modulación que permite transmitir datos a gran velocidad a través de un par de hilos.
- El **módem de cable**, es la tecnología más empleada en las redes desplegadas por operadores de cable; se soporta en un medio de transporte basado en cable coaxial.

En cuanto a las tecnologías de banda ancha inalámbricas o no guiadas se destaca:

- **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System). Es un servicio universal de telecomunicaciones móviles de banda ancha de tercera generación (3G). Basado en el sistema GSM, es capaz de transmitir paquetes de datos con contenidos digitales de texto, voz, video y servicios multimedia, a una velocidad de hasta 2 Mbps.
- **WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Es un sistema de transmisión inalámbrica por microondas basado en una tecnología llamada OFDM, capaz de proporcionar servicios de banda ancha a una velocidad de hasta 70 Mbps. Su funcionamiento, estructurado en celdas de hasta 50 Km. de distancia, hace que sea una tecnología idónea para proporcionar servicios de banda ancha en lugares donde el cable tenga dificultades para llegar.

Ambas tecnologías, UMTS y WIMAX están diseñadas para grandes áreas, son tecnologías WAN (World Area Network) o MAN (Metropolitan Area Network), es decir, son apropiadas para redes de gran extensión geográfica, de nivel metropolitano (una ciudad) o más grandes (una Comunidad Autónoma).

✓ **Tecnologías Inalámbricas**

A continuación se presentan algunas de las tecnologías inalámbricas más empleadas por la telemedicina.

- a. **Wi-Fi (Wireless Fidelity)**, Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance (anteriormente denominada Wireless Ethernet Compatibility Alliance). Esta organización tiene por objeto la prueba y certificación de aquellos equipos que cumplen los estándares IEEE 802.11x. Es una tecnología capaz de transmitir hasta 54 Mbps a una distancia máxima de 400 metros.

De hecho, es habitual en muchos hospitales que los profesionales empleen aparatos electrónicos móviles tipo PDA, Tablet PC u ordenadores portátiles, capaces de conectarse vía Wi-Fi al sistema central de información desde cualquier punto, disponiendo así de la información que precisen en cada momento.

- b. **Sistemas RTLS**, (Real Time Location System), constituyen otra de las aplicaciones más interesantes a la telemedicina de la tecnología Wi-Fi. Este sistema permite encontrar, a través de una red LAN Wi-Fi, archivos o personas en

- el interior de edificios. El sistema RTLS se basa en distintos niveles de señales que recibe de diferentes puntos de acceso.
- c. **RFid** (Radio Frequency Identification), se trata de una tecnología basada en la radiofrecuencia que permite el almacenamiento y recuperación de datos de manera remota y sin visión directa. Se podría definir como Identificación por Radiofrecuencia. Es especialmente crítica la distancia a la que un sistema RFid es capaz de leer, variando entre los pocos centímetros (1-10 centímetros) hasta varios cientos de metros (300-400 metros).
 - d. **Bluetooth**, es un estándar global de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales.

Sin embargo, a pesar de que mediante Bluetooth se podría transmitir a velocidades cercanas a los 11 Mbps, su rango de distancia es muy corto, en torno a 10 metros, por lo que no es una tecnología apropiada para crear redes LAN. Las aplicaciones de Bluetooth en la telemedicina se limitan a la descarga de datos desde un dispositivo a otro, sin necesidad de cable. Por ejemplo, en un hospital, un médico podría apuntar todas las incidencias de una ronda de revisión de pacientes en una PDA o en una Tablet PC, y después podría volcar esos datos a un ordenador mediante Bluetooth.

2.2.9. TELEMEDICINA EN DIABETES

La diabetes posee algunas características que la hacen especialmente adecuada para el uso de Telemedicina:

- ✓ Es una enfermedad crónica que requiere de un control continuado de la evolución que cursa por lo que el modelo tradicional de cuidado orientado a encuentro se muestra insuficiente.
- ✓ El paciente es parte fundamental de su propio cuidado y necesita una autonomía supervisada que evite que tome decisiones incorrectas y que le permita, por un lado ser lo más independiente posible, y por otro tener la seguridad de que sus decisiones son validadas aunque sea de manera implícita.
- ✓ Las decisiones terapéuticas se toman considerando una gran cantidad de datos y de información que son susceptibles de ser transmitidos y tratados automáticamente.

En los periodos de peor control metabólico, un correcto cuidado de la enfermedad obliga a continuas revisiones de la terapia, lo que conlleva numerosas visitas al centro sanitario.

2.2.10. SISTEMAS DE TELEMEDICINA EN DIABETES

Las primeras experiencias de Telemedicina en diabetes tenían como objetivo mejorar la comunicación y la cooperación entre los pacientes y los profesionales médicos. Otros sistemas permitían la transmisión de valores de glucemia hasta el centro sanitario utilizando la red de **telefonía fija**.

El objetivo de todos estos sistemas era proveer un servicio de Telemonitorización que facilitara el análisis de los datos de glucemia durante las visitas. En algunas ocasiones el servicio se complementaba con la posibilidad de recibir consejos del médico o nuevas pautas de dieta o de terapia de insulina.

Más recientemente la Telemedicina ha empezado a ser utilizada para el cuidado de la diabetes en experimentos a gran escala que involucran a un gran número de pacientes y profesionales y que proporcionan principalmente cuidado ambulatorio y educación.

Las últimas tendencias en el uso de la Telemedicina en diabetes apuntan en dos direcciones complementarias. Por un lado la creación de espacios virtuales de trabajo cooperativo que faciliten el cuidado compartido de pacientes diabéticos.

Y por otro, la creación de sistemas de lazo cerrado en los que el profesional médico es capaz, gracias a la telemedicina, de realizar modificaciones en tiempo real de las dosis de

insulina o actúa como supervisor de las modificaciones de terapia de insulina realizadas por el paciente[13].

2.2.11. ENFERMEDADES CRÓNICAS

Las enfermedades crónicas no transmisibles son condiciones persistentes que requieren un cuidado permanente, limitando las actividades diarias de los pacientes, entre las que se mencionan: la diabetes, problemas cardiovasculares, cáncer, problemas, renales, etc. Aunque no hay cura para estas enfermedades, éstas pueden ser manejadas de mejor manera para reducir sus efectos sobre el paciente.

2.2.12. DIABETES

“La diabetes es una enfermedad crónica causada por una producción insuficiente de insulina o bien, por el uso deficiente en el organismo de la insulina producida por el páncreas[14]”, ya que cuando la insulina es insuficiente, la glucosa se acumula en sangre. La diabetes se ve reflejada en ataques al corazón, derrames cerebrales, ceguera, neuropatías, amputaciones, enfermedades renales, entre otras.

La glucemia es la cantidad de azúcar (en realidad de glucosa) en la sangre. También se define a la glucemia, como la glucosa que circula por la sangre. Los niveles de glucemia, en los seres humanos, deben mantenerse entre unos valores relativamente estables.

Existen dos tipos principales de diabetes:

- La diabetes tipo 1 tiene lugar cuando el sistema inmunológico de la persona destruye las células beta del páncreas que crean la insulina. Como resultado, el cuerpo no forma insulina por sí mismo o produce una cantidad muy pequeña de ésta. Las personas con diabetes tipo 1 deben administrarse insulina diariamente. La diabetes tipo 1 se conocía hace años atrás como diabetes juvenil o diabetes insulinodependiente.
- La diabetes tipo 2 tiene lugar cuando el páncreas no produce suficiente insulina, o cuando el cuerpo no puede utilizar adecuadamente la insulina que produce el páncreas. Es posible que en algún momento el páncreas deje por completo de producir insulina. La diabetes tipo 2 puede afectar a personas de cualquier edad. Tanto a

hombres como a las mujeres, cuanto más sobrepeso tenga el individuo, mayor es el riesgo de desarrollar la diabetes tipo 2.

Además, existen casos específicos que se pueden encontrar con la hiperglicemia, hipoglicemia y la diabetes gestacional. La hiperglicemia[15] o nivel alto de azúcar en sangre, tiene lugar cuando el azúcar en sangre aumenta más allá del nivel recomendable. La hipoglicemia [16] tiene lugar cuando el nivel de azúcar en sangre baja demasiado.

La diabetes gestacional[17] tiene lugar cuando las hormonas y el aumento de peso a causa del embarazo interfieren con la capacidad de la madre para utilizar adecuadamente la insulina. Este tipo de diabetes puede afectar a mujeres que nunca hayan tenido diabetes previa al embarazo. La diabetes gestacional se desarrolla en el 7% de las mujeres embarazadas. Este tipo de diabetes puede desaparecer después que nazca el bebé, y en algunos casos reaparecer años más tarde.

2.2.13. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA GLUCOSA

MONITOREO AUTOMÁTICO

Es un sistema de monitoreo continuo de glucosa en tiempo real, que lleva un registro automático de los cambios del nivel de glucosa durante todo el día y la noche. Es un aparato pequeño que se lleva en el cinturón o correa. “El dispositivo tiene sensores que se fijan al abdomen y una aguja pequeña que se sujetta con cinta adhesiva. El sistema mide el nivel de azúcar con una frecuencia de cada 1 a 5 minutos[18]”.

AUTOMEDICIÓN

Cuando el paciente con diabetes tiene la posibilidad de medir sus niveles de glucosa en casa. Se usa un medidor de glucosa para medir el azúcar en la sangre. “En una tira de prueba, se pone una gota de sangre obtenida del dedo o antebrazo. El medidor lee la tira y presenta un número en la pantalla con el resultado, cabe recalcar que este es un método invasivo, aunque sea de forma mínima[18]”.

2.2.14. GLUCÓMETRO

Los glucómetros conocidos también como medidores de glucemia capilar, “son dispositivos electrónicos pequeños y portátiles diseñados para analizar los niveles de

glucosa en sangre que permiten al diabético llevar un control de sus niveles de glucosa[19]”.

Para que un glucómetro sea usado como parte del control de la diabetes, es necesario que este equipo sea fiable, exacto y preciso. Se debe considerar el peso, tamaño, la vida media de la batería. Existen otros aspectos a tener en cuenta con los glucómetros, “la amplitud de lectura de glucemias, los métodos de calibración y control, o la posibilidad de uso de aplicaciones informáticas para el análisis de los datos[19]”.

Otro aspecto importante, es que disponga de sistemas de seguridad que adviertan de posibles errores de manipulación por parte del usuario. “El funcionamiento y la utilización de estos dispositivos es, y debe ser, sencillo y rápido ya que la franja de edad que los utiliza va desde adolescentes a personas muy mayores[20]”.

2.2.15. FUNCIONAMIENTO DEL GLUCÓMETRO

Para medir la glucosa en la sangre, el mecanismo cuenta con una lanceta, que permite obtener una muestra de sangre; tiras reactivas que recolectan una muestra y la analizan como se muestra en la figura 2.7. , en la que se puede apreciar que las tiras son pequeños soportes plásticos rectangulares alargados de distinto tamaño (según el fabricante).

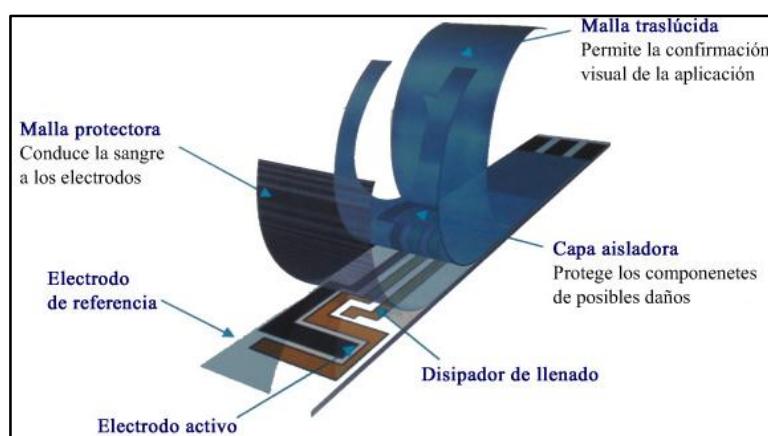


Fig. 2.7.Tira Reactiva para la determinación de Glucosa en Sangre
Fuente: estudiabetes.org [21]

Estas tiras contienen en uno de sus extremos un Reactivo especial (Enzima) que al contacto con una muestra de sangre, produce una reacción con dicho Reactivo produciendo un cambio de color en el mismo o generando una pequeñísima corriente electroquímica con los cuales permite conocer el nivel de Glucemia, mediante el uso de

un pequeño medidor llamado “Glucómetro de **tecnología Fotométrica** (Mide Cambio de Color del Reactivo) o de **tecnología Electroquímica** (Mide corriente electroquímica generada en contacto con el Reactivo) según sea el Tipo de Tira Reactiva utilizada[21]”.

En el Extremo opuesto de la Tira Reactiva, la que se introduce en el Glucómetro para efectuar la Medición, existen una serie de Contactos que realizan una extensa cantidad de chequeos antes y durante cada operación, con la finalidad de mejorar la conductividad eléctrica para corrientes tan pequeñas, por ello están revestidos en Oro que es el mejor material conductor.

Los Glucómetros disponibles en el mercado utilizan métodos Ópticos o Electroquímicos para determinar los niveles de Glucosa en Sangre. “En los Sistemas Ópticos, una gota de sangre es expuesta a una membrana semipermeable cubierta de un agente reactivo. La reacción química modifica significativamente el color de la membrana; la intensidad del cambio es directamente proporcional a la cantidad de Glucosa en la muestra. Este cambio de color es determinado por un sistema óptico[21]”.

La mayoría de los glucómetros en la actualidad realiza esta lectura a través de la reacción de una enzima que se llama **glucosa oxidasa** que se encuentra en las tiras reactivas es decir el método **electroquímico** – aunque también se utilizan otras enzimas.

MÉTODO ELECTROQUÍMICO

“La glucosa en sangre se mide mediante una corriente eléctrica que se produce al mezclar la muestra de sangre con un reactivo (glucosa oxidasa) de la tira de prueba[22]”

Además, “usan una interface a un electrodo dentro del medidor. Cuando la tira se inserta en el medidor, el flujo de la reacción de la glucosa genera una señal eléctrica. El glucómetro se calibra de tal manera que el número que aparezca en la pantalla corresponda a la fortaleza de la corriente eléctrica, entre mayor sea el contenido de glucosa en sangre mayor es la corriente eléctrica[23]”.

Para lo cual, dicha información pasa a través de un circuito de acoplamiento o convertidor análogo digital (ADC) para ser convertidos como su nombre lo dice a un formato digital

para ser leídos por el sistema embebido o microcontrolador del glucómetro, es decir debe ser convertida a un voltaje para ser procesada.

La información que es procesada pasa por el circuito de acoplamiento, y la que adquiere el sistema embebido es dirigida hacia dos destinos:

- a) A una pantalla LCD que permite visualizar de forma digital los datos censados.
- b) A un puerto de datos que permite la conexión hacia el mundo exterior.

En la actualidad la mayoría de glucómetros cuenta con un puerto de datos que permite la conexión con un computador, entre los que se mencionan: plug estéreo de 3.5mm, puerto infrarrojo, bluetooth, entre otros.

2.2.16. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE UN GLUCÓMETRO

VENTAJAS

- Ayudan a prevenir y detectar hipoglucemias e hiperglucemias severas.
- Proporciona mayor autonomía al paciente
- Facilita autoajustes del tratamiento si se toman otros medicamentos o hay cambios importantes en el estilo de vida o dieta.
- Mejora la disciplina dietética, puesto que el paciente es consciente de cómo los alimentos alteran su glucosa.

DESVENTAJAS

- Produce dolor en la zona de punción.
- Requiere agudeza visual y habilidad manual
- Existe posibilidad de error por toma incorrecta de la muestra, desajuste del aparato o higiene deficiente de la zona de punción.
- En algunos pacientes puede causar trastorno obsesivo que lleve a autocontroles continuos e injustificados.
- Es frecuente que el diabético esté tentado de sustituir la necesaria visita al médico por el autoanálisis.

2.2.17. TELEMONITARIZACIÓN DE LA GLUCEMIA

Para los usuarios acostumbrados a un Smartphone y al uso intensivo de Internet, un glucómetro con aspecto de teléfono Nokia de los 90 puede ser bastante desalentador, ya que los pacientes deben anotar en un papel los resultados y al cabo de semanas o meses entregar esta cartilla al médico o la enfermera que controla su diabetes para ajustar su tratamiento.

Pero en la actualidad, con la telemedicina se ha innovado la forma de medir la glucosa con la aparición de una nueva gama de glucómetros cargados de funciones, que son una verdadera ayuda para el paciente y para el doctor.

Entre ellos cabe recalcar glucómetros que poseen tecnologías inalámbricas como lo son bluetooth, todos ellos con la facilidad de conectarse a otros dispositivos del exterior. Sin embargo, la principal desventaja de estos nuevos dispositivos es el elevado costo que significaría para los pacientes adquirir un dispositivo actual.

2.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Con el desarrollo del prototipo del sistema de telemedicina para monitorear los niveles de glucosa en pacientes con diabetes, se va a eliminar la automedicación y se va a proporcionar una oportuna atención médica a los enfermos en sus hogares, pues los datos de las mediciones de glucosa se envían hacia el médico especialista usando un glucómetro digital y una red inalámbrica

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente fue una investigación aplicada, la que se desarrolló utilizando:

Investigación bibliográfica, porque la explicación científica de las variables del tema de investigación, la resolución del problema planteado y la propuesta de solución fueron sustentados consultando en libros, revistas, artículos técnicos, artículos médicos, publicaciones en internet y en antecedentes de proyectos similares referentes a la telemedicina y a las redes de telefonía móvil.

Investigación de campo, ya que se acudió al lugar en el que se producen los acontecimientos y se estableció un contacto directo con pacientes que sufren de diabetes y con doctores especialistas en la enfermedad para obtener la información más relevante sobre el monitoreo de los niveles de glucosa y comprender la situación actual de los pacientes.

3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.2.1. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de información se realizó a través de documentos de registro relacionados con los pacientes que sufren de diabetes, y de textos médicos. Adicionalmente se emplearon entrevistas al doctor especialista, que permitieron determinar información específica que encaminaron el desarrollo de la propuesta de solución.

3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información recolectada se sometió a un análisis crítico para descartar información de poca relevancia con la finalidad de utilizar solo los datos específicos y concretos que ayuden al desarrollo del prototipo del sistema de telemedicina para resolver todos los problemas existentes relacionados a los pacientes con diabetes.

3.3.1. ANÁLISIS DE MEDICIONES DE GLUCOSA DE PACIENTES CON DIABETES

Se han seleccionado aleatoriamente cinco pacientes con diabetes, de los cuales se ha recolectado información durante seis semanas con la finalidad de analizar las tendencias de los valores de glucosa al inicio de un tratamiento, y después de 6 semanas para de esta manera determinar la importancia de mejorar el monitoreo de los pacientes con diabetes, obteniéndose los siguientes resultados.

TABLA DE CONTROL DE GLUCOSA POR PACIENTE

Tabla 3.1. Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 1”

Medición Semana 1

Paciente	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio Semanal
Paciente 1	195	200	198	205	207	204	200	201
Paciente 2	180	193	197	201	200	207	210	198
Paciente 3	187	185	183	181	184	186	184	184
Paciente 4	225	230	235	240	253	261	267	244
Paciente 5	303	289	290	297	295	300	298	296

Elaborado por: Andrea Sánchez

Tabla 3.2. Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 2”

Medición Semana 2

Paciente	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio Semanal
Paciente 1	197	200	195	193	193	180	184	192
Paciente 2	205	200	203	200	197	198	196	200
Paciente 3	180	181	179	179	176	174	180	178
Paciente 4	265	265	263	260	256	256	242	258
Paciente 5	297	293	290	284	284	280	279	287

Elaborado por: Andrea Sánchez

Tabla 3.3. Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 3”
Medición Semana 3

Paciente	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio Semanal
Paciente 1	183	180	181	179	177	178	174	179
Paciente 2	194	189	188	183	180	180	176	184
Paciente 3	172	170	165	164	160	156	153	163
Paciente 4	236	230	229	226	224	220	217	226
Paciente 5	274	269	264	255	249	251	243	258

Elaborado por: Andrea Sánchez

Tabla 3.4. Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 4”
Medición Semana 4

Paciente	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio Semanal
Paciente 1	169	165	160	160	157	155	148	159
Paciente 2	174	170	165	163	159	157	153	163
Paciente 3	150	147	143	143	139	136	133	142
Paciente 4	215	213	207	205	207	205	203	208
Paciente 5	240	238	235	233	230	227	223	232

Elaborado por: Andrea Sánchez

Tabla 3.5. Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 5”
Medición Semana 5

Paciente	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio Semanal
Paciente 1	145	141	139	135	130	133	131	136
Paciente 2	152	148	145	144	140	140	139	144
Paciente 3	129	127	123	120	118	115	113	121
Paciente 4	197	194	190	187	184	180	178	187
Paciente 5	220	218	213	209	204	200	195	208

Elaborado por: Andrea Sánchez

Tabla 3.6. Tabla de Control de Glucosa por Paciente “Semana 6”
Medición Semana 6

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Promedio Semanal
Paciente 1	129	125	120	118	115	113	110	119
Paciente 2	135	132	128	125	120	118	115	125
Paciente 3	110	108	113	110	105	103	106	108
Paciente 4	174	170	166	162	158	154	150	162
Paciente 5	191	187	183	178	173	168	165	178

Elaborado por: Andrea Sánchez

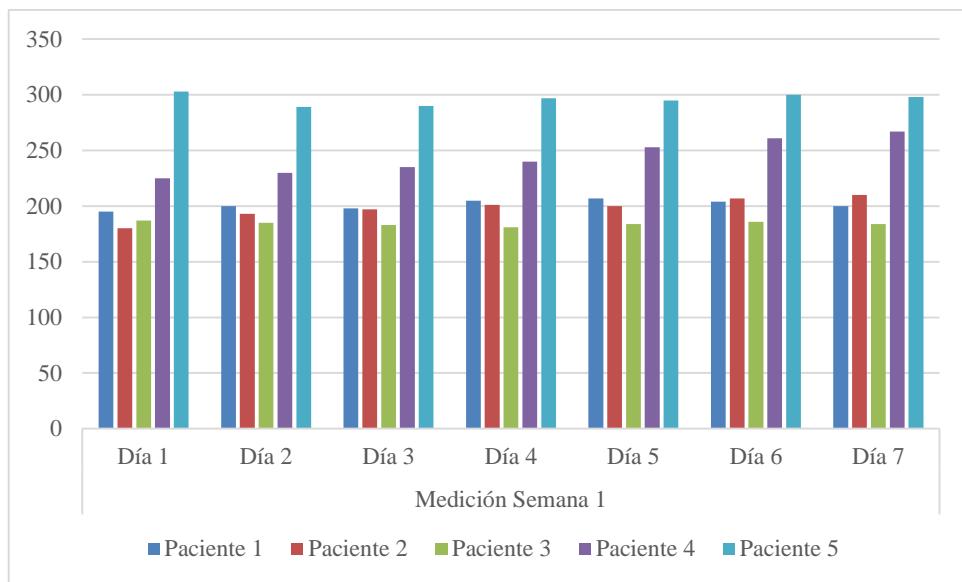


Fig. 3.1.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 1”
Elaborado por: Andrea Sánchez

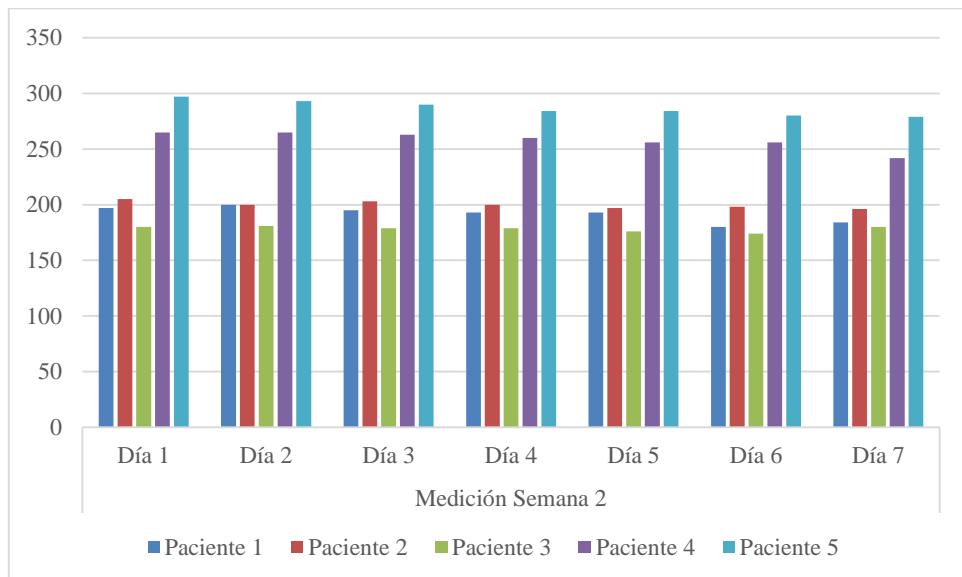


Fig. 3.2.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 2”
Elaborado por: Andrea Sánchez

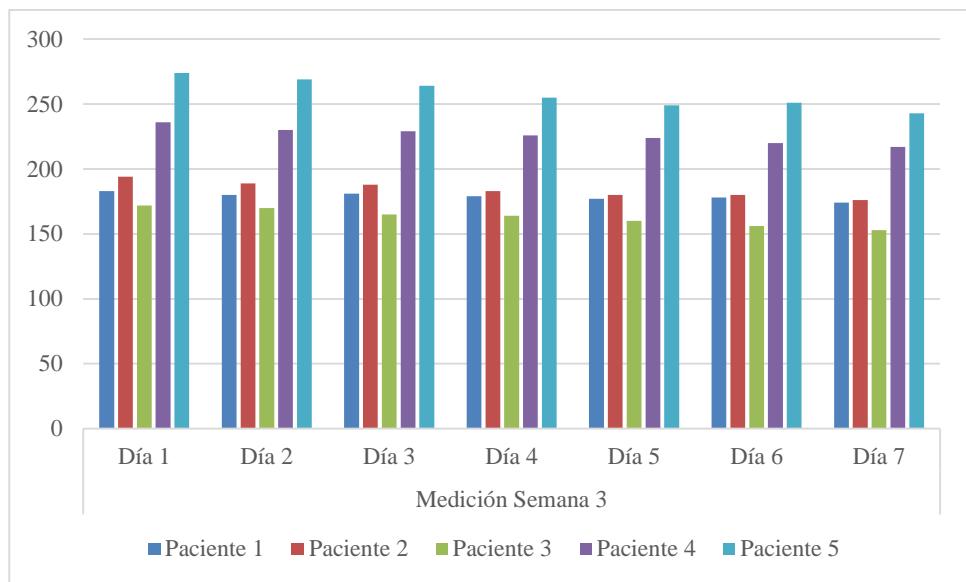


Fig. 3.3.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 3”
Elaborado por: Andrea Sánchez

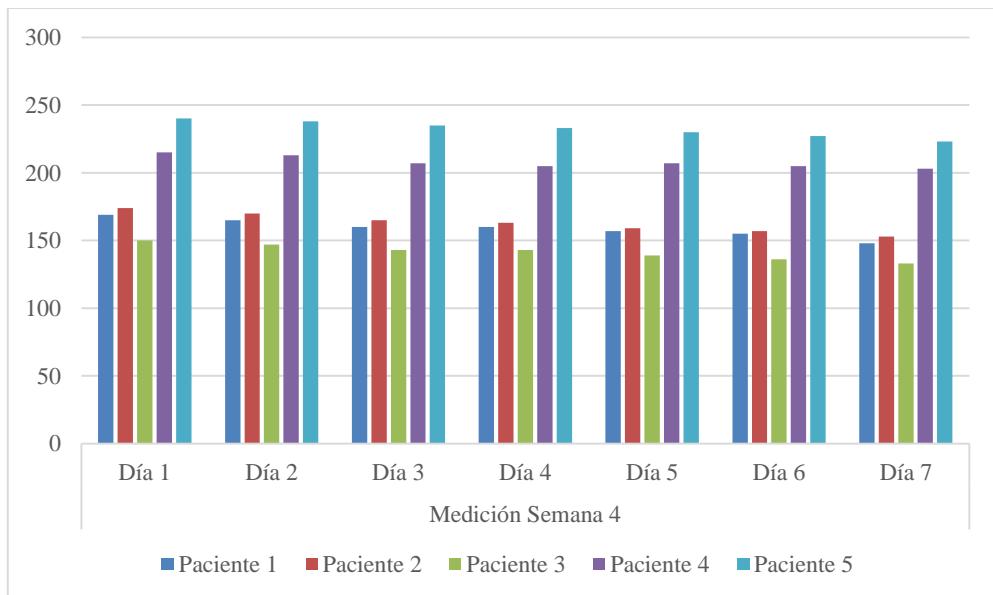


Fig. 3.4.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 4”
Elaborado por: Andrea Sánchez

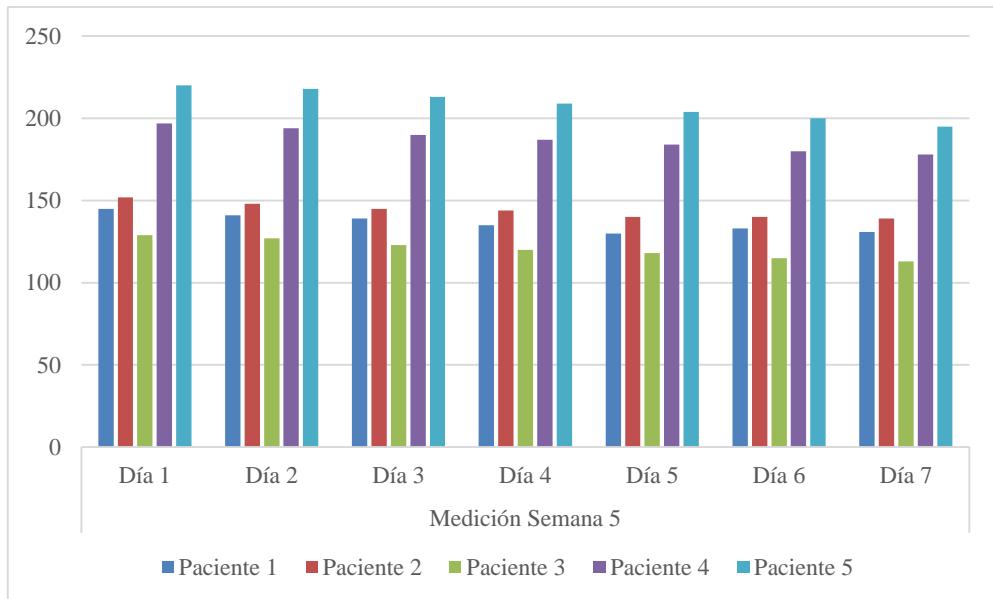


Fig. 3.5.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 5”
Elaborado por: Andrea Sánchez

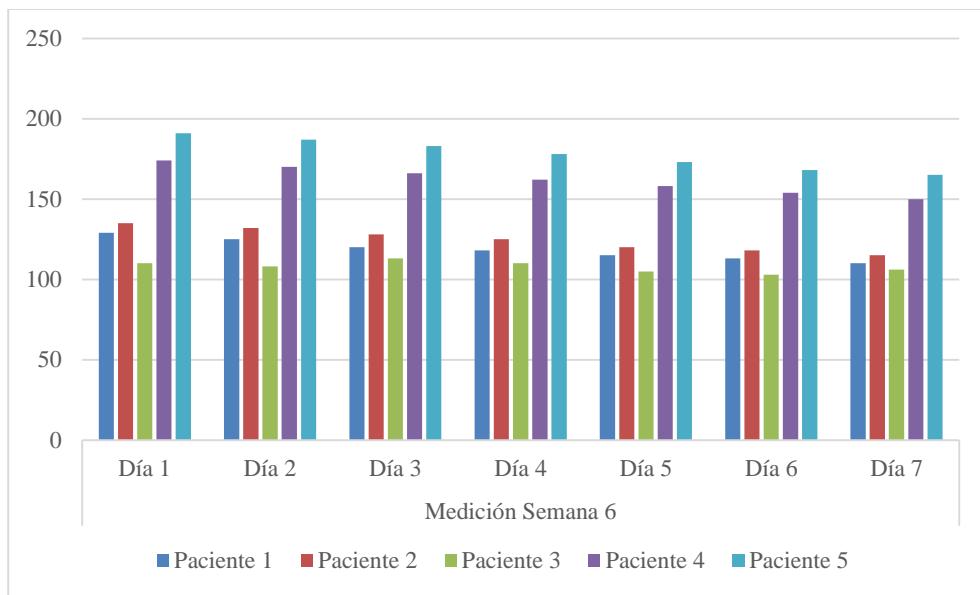


Fig. 3.6.Control de Glucosa de Pacientes en la “Semana 6”
Elaborado por: Andrea Sánchez

En la figura 3.7., se observa las tendencias de los pacientes pasadas 6 semanas, en las que se analiza que con el método tradicional de monitoreo los niveles de glucosa han bajado ligeramente poco a poco, considerándose seriamente el cambio de método de monitoreo

para conseguir reducir los niveles de glucosa de manera más rápida y efectiva, con mejores tratamientos y medicamentos.

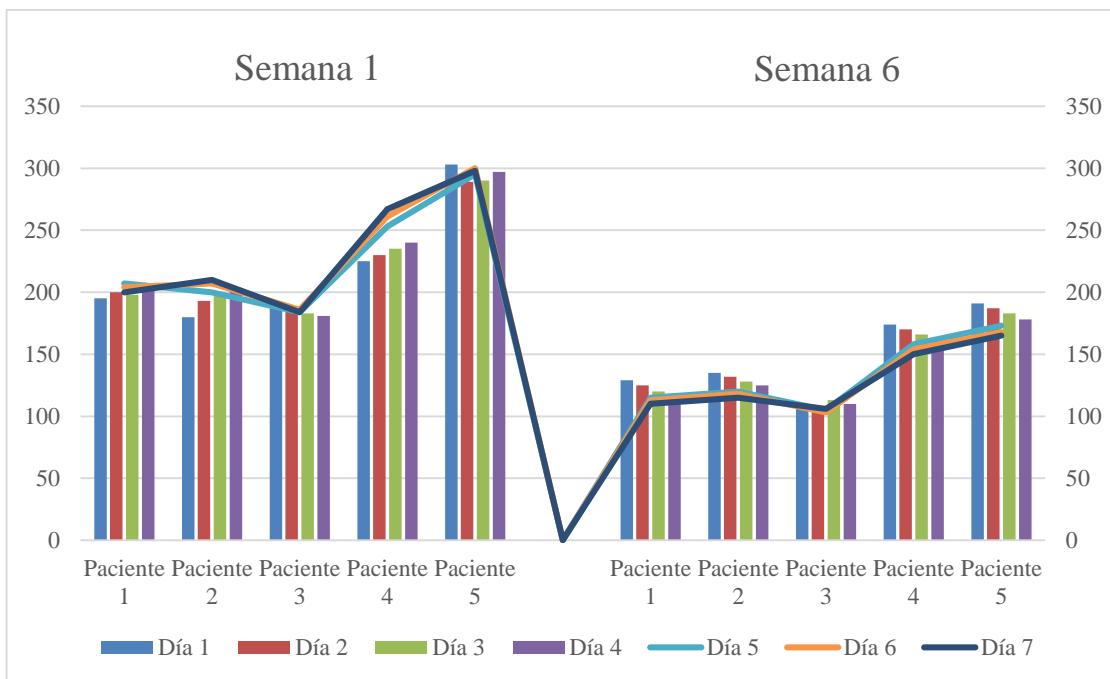


Fig. 3.7.Tendencias de Pacientes pasadas 6 semanas

Elaborado por: Andrea Sánchez

3.3.2. ENTREVISTA

Entrevista realizada al Doctor Eduardo Cabezas Cevallos director del consultorio médico “Unidad Médica” ubicado en las calles Guayaquil 28-33 y Rocafuerte de la ciudad de Riobamba.

PARTE 1

1. ¿Cuáles son las marcas de Glucómetros que Ud. recomienda a sus pacientes?

De preferencia yo recomiendo a mis pacientes el uso de los glucómetros de la familia OneTouch específicamente el modelo OneTouch UltraMini porque se pueden conseguir en cualquier farmacia de la ciudad; Accu-Chek es también una muy buena marca pero las tiras de medición no se encuentra fácilmente; y en última instancia el Prestige Fácil, es un buen glucómetro pero la solución, lancetas y las tiras reactivas no se encuentran en el mercado a nivel nacional.

2. ¿Cuáles son los niveles de glucosa de un enfermo con diabetes?

Los niveles de glucosa cambian de paciente a paciente con diabetes, ya que depende de varios factores para establecerles niveles, por ejemplo la edad, estatura, peso, actividad física que realiza y actividades cotidianas. Sin embargo se puede hablar de los siguientes niveles:

- Nivel ideal: 80-100 mg/dl (alarma bajo)
- Nivel a Proyección: 100 – 110 mg/dl
- Nivel Alto: 120 mg/dl (control normal alto)

3. ¿Con qué frecuencia deben realizarse las mediciones de glucosa?

Como dije cada paciente es un mundo diferente, y dependiendo el paciente la frecuencia es diferente, pero hablando en forma general la frecuencia de monitoreo de glucosa sería:

- En pacientes **Descompensados**, las mediciones deben ser diarias.
- En pacientes **Compensados**, una vez a la semana.
- En pacientes con **Compensación a largo plazo** y con **tratamiento**, una vez cada 10 a 15 días.

Hay pacientes, que deben medirse la glucosa varias veces al día por ejemplo en ayunas, antes y después del almuerzo, antes y después de la merienda, y durante la noche.

4. ¿Qué métodos de registro usan sus pacientes actualmente?

Usan la memoria propia del glucómetro, y en ocasiones usan libretas para anotar los resultados.

PARTE 2

1. Una vez que sus pacientes llegan a consulta con los resultados de sus mediciones almacenadas en el glucómetro, ¿le resulta fácil analizar todas las mediciones realizadas? SI/NO y ¿por qué?

Cuando los resultados de mediciones son pocos, resulta muy sencillo. Sin embargo, cuando el número de resultados es elevado, el análisis se puede hacer pero lleva mucho tiempo analizar cada medición.

2. ¿Le gustaría contar con un programa que le permita disponer de los resultados de las mediciones de sus pacientes en tiempo real?

Si, sería de gran utilidad para poder atender a mayor cantidad de pacientes al día al ahorrarme tiempo analizando los resultados que traen en sus glucómetros o en libretas.

3. ¿Ha existido algún problema relacionado con los resultados de mediciones con sus pacientes?

Ninguno, sin embargo hay casos en los que los pacientes acomodan sus resultados de acuerdo a fechas, horas e inclusive valores de glucosa.

4. ¿Dispone de algún sistema para el seguimiento de la enfermedad de sus pacientes con diabetes? ¿Cuál?

Uso un programa llamado SAM, pero lo utilizo para todos mis pacientes y el ingreso de actualizaciones lo hago manualmente.

5. ¿Cuenta con una base de datos para el control de sus pacientes? SI/NO ¿Cuál?

Dentro del mismo programa SAM, existe una base de datos que me permite almacenar los datos de mis pacientes.

PARTE 3

1. ¿Qué parámetros requeriría Ud. en la base de datos asociada al sistema de telemedicina?

- a. Cédula de Identidad (x)
- b. Valor de glucosa (x)
- c. Fecha de medición (x)
- d. Nombre (x)
- e. Sexo (x)
- f. Fecha de nacimiento (x)
- g. Número de celular (x)

Detallar otros parámetros: Peso, Estatura, IMC, Creatinina, Úrea, Hemoglobina.

- 2. ¿Cuándo el valor de glucosa de un paciente es demasiado baja o demasiado alta, le gustaría recibir algún tipo de notificación? SI/NO**

Por ejemplo:

- Un SMS a su celular
- Un correo electrónico
- **Otros:** Me gustaría poder visualizar en el programa las alertas de los pacientes con el nombre, valor de glucosa y la fecha de la medición.

- 3. ¿Cree recomendable, advertir al paciente si su medición es muy baja o muy alta? SI/NO ¿Por qué?**

SI, porque el paciente va a estar consciente de su estado de salud, y va a tomar las debidas precauciones.

- 4. ¿Le gustaría enviar sugerencias a sus pacientes cuando existen lecturas de glucosa fuera de los niveles?**

Me gustaría que al paciente se le envíe un SMS informándole que hay una Alerta con su control de Glucosa y que asista a cita inmediatamente. Pero, sugerencias propiamente dichas no, porque es impreciso recetar y dar indicaciones médicas en un SMS de texto.

PARTE 4

- 1. ¿Qué características tiene su Computador?**

- **Sistema Operativo:** Windows Siete
- **RAM (GHz):** 4GHz
- **Procesador:** Intel Core i5

- 2. ¿Cuenta con un correo electrónico en GMAIL? De preferencia, usar un correo dedicado a la administración del sistema, caso contrario es necesario que se cree un correo.**

- e-mail: glucosult@gmail.com
- contraseña: Ecabezas2014

3. ¿En qué unidad maneja la variable “Peso”? , en libras o en kilogramos.

Libras () Kilogramos (X)

4. ¿En qué unidad maneja la variable “estatura”? , en centímetros o metros.

Centímetros (X) Metros ()

3.4. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo de la investigación se efectuaron los siguientes pasos:

- Procesamiento de información sobre el monitoreo en pacientes con diabetes y la forma de registro de las mediciones de glucosa.
- Procesamiento de información sobre las tecnologías inalámbricas utilizadas en medicina.
- Procesamiento de información técnica sobre glucómetros y de equipos de comunicación usados en medicina para seleccionar equipos.
- Diseño de las etapas del prototipo del sistema de telemedicina empleando la información médica y técnica.
- Desarrollo del entorno del paciente al conectar el glucómetro digital con el módem GSM/GPRS para el envío de las mediciones de glucosa a través de la red inalámbrica.
- Desarrollo del entorno médico mediante el empleo de un microcontrolador para extraer los datos desde un módem GSM/GPRS y transmitirlos al computador.
- Desarrollo de la interfaz HMI para el control del sistema de telemedicina desde el entorno médico.
- Implementación del prototipo del sistema de telemedicina en el entorno médico y en el entorno del paciente.
- Elaboración y presentación del informe final.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. ANTECEDENTES

La situación actual de la unidad médica, la cual está dirigida por el Doctor Eduardo Cabezas Cevallos, es el punto de partida para el desarrollo de la propuesta. Tras un análisis del establecimiento, se determinó que las personas que padecen de diabetes, registran los resultados de cada medición en una libreta de anotaciones o simplemente aprovechan la memoria del glucómetro, es decir no cuentan con ninguna tecnología que les permita el registro constante y seguro de sus mediciones.

Por lo tanto, es necesario recalcar que actualmente no existe ningún proceso, sistema o tecnología que facilite los registros; lo que conlleva simultáneamente a que se generen diagnósticos inadecuados, al no contar con registros que sustenten el estado y progreso actuales de la enfermedad.

Por otro lado, con este proyecto se quiere reducir la automedicación que tanto afecta a los enfermos, pues el doctor especialista tendrá un control constante y permanente de cada medición que realicen sus pacientes, pudiendo sugerir mejores tratamientos y medicamentos.

La decisión de emplear la red de telefonía celular está fundamentada en que existen muchos lugares en los que proveedores de redes inalámbricas no llegan. Por lo cual este sistema de telemedicina puede ser usado en cualquier sitio en donde exista cobertura de telefonía celular, y no se limita a encontrarse dentro de la unidad médica o estar en un lugar donde existe algún tipo de red inalámbrica.

4.2. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

4.2.1. FACTIBILIDAD OPERATIVA

Desde el punto de vista operativo el desarrollo de la propuesta es factible debido a que la unidad médica cuenta con la infraestructura física y con los recursos adecuados para la instalación de una de las etapas del prototipo de sistema de telemedicina. Mientras que para la otra etapa del proyecto, la misma que está vinculada con los pacientes, dispone del principal equipo médico necesario para el funcionamiento del sistema, el glucómetro.

4.2.2. FACTIBILIDAD TÉCNICA

La propuesta es factible ya que los equipos y demás recursos tecnológicos necesarios están al alcance, de forma local y nacional, e inclusive están disponibles mediante importación. Además de que la selección de equipos se realizó en función de las características y requerimientos necesarios para este sistema en particular.

4.2.3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El proyecto desde el punto de vista económico es factible, ya que los gastos requeridos para el desarrollo del prototipo corren por parte del investigador, cabe mencionar además que la necesidad de mejorar el control de la diabetes justifica la inversión económica.

4.2.4. PROYECCIÓN A FUTURO

A futuro, se pretende implementar el Sistema de Telemedicina para monitorear los niveles de glucosa en pacientes con diabetes de forma total, para de esta manera mejorar el monitoreo de la enfermedad no solo en uno, sino en varias personas que padecen de diabetes. Recalcando también, que se pretende difundir el sistema para que sea empleado a nivel nacional.

4.3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA

4.3.1. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

En los últimos años, “los sistemas de comunicación inalámbrica han evolucionado de tal manera que las personas pueden estar conectadas a una red en cualquier momento y en cualquier lugar. Entre estos sistemas se encuentran las tecnologías de comunicación

inalámbrica de largo alcance como son las redes de telefonía móvil y los enlaces satelitales[14]”.

Las redes de comunicación inalámbrica pueden proporcionar ventajas importantes al monitoreo remoto de pacientes, y con ello a la medicina. El paciente puede ser monitoreado desde cualquier lugar en donde se cuente con algún tipo de cobertura *celular* o *satelital*.

Además, la transmisión de información no solamente se dirige hacia unidades médicas sino que dicha información también puede llegar directamente a los médicos pertinentes a través de dispositivos comunes como son los teléfonos móviles.

Es por ello, que las tecnologías inalámbricas pueden ser usadas tal y como se describe en la figura 4.1., en la que se identifican distintas tecnologías como bluetooth, zigbee, la comunicación móvil, y WiFi; para conseguir un esquema de telemedicina que conste de dos partes: el entorno del paciente y el entorno de monitoreo.

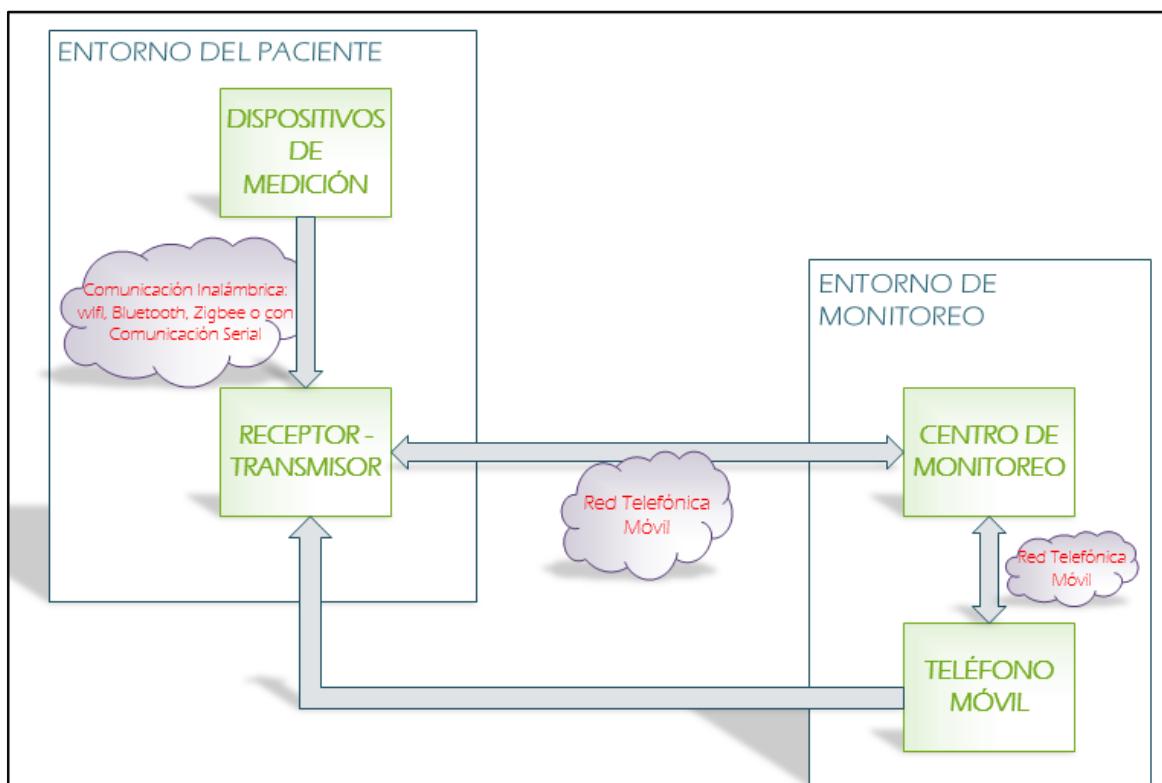


Fig. 4.1.Monitoreo Remoto de Pacientes

Fuente: Monitoreo Remoto de Pacientes con Diabetes Utilizando Tecnologías Móviles Inalámbricas [14]

Con respecto a la figura 4.1., se refiere al entorno del paciente los siguientes elementos: dispositivo de medición, medio de transmisión inalámbrico, y el receptor/transmisor encargado de transmitir/recibir información. Por otra parte, el entorno de monitoreo está constituido por teléfono móvil, red de telefonía móvil y el centro de Monitoreo.

Cabe recalcar que adicionalmente al entorno del paciente y al entorno médico, existe un medio de comunicación que permite el intercambio de información, siendo este medio la red de Telefonía Móvil.

Los instrumentos empleados para llevar a cabo el telemonitoreo deben ser accesibles en todos los sentidos, es decir, ser herramientas comunes para el paciente y fáciles de adquirir y de utilizar.

“La tecnología 3G mediante la telefonía móvil, ha sido usada para monitorear a pacientes con diabetes, para conocer el desenvolvimiento de su enfermedad y los lineamientos a seguir a partir de la información proporcionada mediante un teléfono celular de tercera generación, computadoras portátiles, tablets o Smartphone[24]”.

4.3.2. TELEFONÍA MÓVIL

La telefonía móvil funciona a través de ondas de radio. Cada terminal actúa al mismo tiempo como emisor y receptor, que se comunica con la antena de telefonía más próxima, a la que se denomina estación base o BTS. Las antenas se sitúan en sitios altos para alcanzar mayor cobertura y conforman lo que se conoce como celdas, que se agrupan entre sí y dan cobertura a los teléfonos[25]. Cada una de las celdas se comunica en una frecuencia en concreto, para que no haya interferencias con las adyacentes, y enlaza con los terminales de los clientes.

De los BTS la señal se traslada a los BSC (siglas en inglés de "controlador de estaciones base"), que actúan como concentradores de varias de estas antenas. Por último, la señal llega a los MSC (siglas en inglés de "centro de conmutación móvil"), que se encargan de establecer la comunicación y de enviar los mensajes cortos.

4.3.3. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL

4.3.4. LA PRIMERA GENERACIÓN DE TELÉFONOS CELULARES (1G)

Redes netamente análogas y únicamente para voz, que introducen la utilización de múltiples celdas y la capacidad de transferir llamadas de un lugar a otro, para lo cual la torre de cobertura se enlazaba con los sitios de células cercanas para mantener la comunicación, tal y como se representa en la figura 4.2.

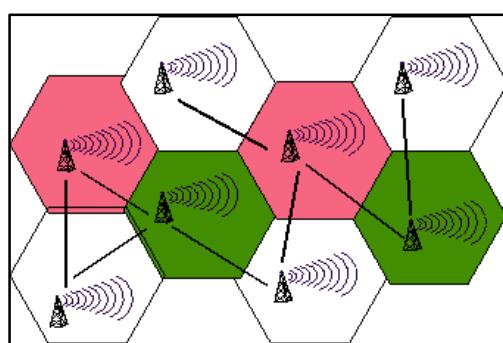


Fig. 4.2.Celdas en Comunicación Móvil

Fuente: Arquitectura y funcionamiento de la red celular GSM[20]

Sin embargo, la transmisión de estas celdas era inexacta y tampoco tenía buena calidad de sonido. La tecnología predominante de esta generación fue el Sistema Avanzado de Telefonía Móvil, Advanced Mobile Phone System (AMPS por sus siglas en inglés), el cual se empleó con mayor fuerza en Estados Unidos [20].

4.3.5. 2G: EL NACIMIENTO DE LAS REDES GSM Y GPRS

A inicios de los 90' se introdujeron al mercado los teléfonos 2G con el despliegue de la tecnología GSM. El Sistema Global para las comunicaciones Móviles, o GSM, utiliza modulación digital para mejorar la calidad de la voz, pero los servicios que ofrece la red son limitados [21].

Una fase intermedia conocida como 2.5G fue introducida a finales de los 90'. Esta fase utilizaba el estándar GPRS, el cual permitía a los usuarios enviar datos con imágenes y/o gráficos. La importancia de este servicio creció conjuntamente con el desarrollo del Internet y los Protocolos de Internet (IP). La red EDGE es un ejemplo de tecnología 2.5G.

4.3.6. 3G: EL VERDADERO USO DEL INTERNET MÓVIL

La revolución del 3G permitió a los usuarios el uso de aplicaciones de audio, imágenes y vídeo. A través del 3G es posible ver video en streaming y hacer uso de las videollamadas.

Los servicios celulares 3G, también conocidos como UMTS, sostienen mayores velocidades de datos y abren el camino a aplicaciones al estilo del Internet. El 3G soporta voz y datos al mismo tiempo, a excepción de cuando se utiliza en redes CDMA. Según ha pasado el tiempo al 3G se le han hecho algunas modificaciones, una de las más importantes fue la actualización de la tecnología UMTS, haciendo llegar la misma a velocidades de hasta 14Mbps.

4.3.7. 4G: LAS REDES DE ALTA VELOCIDAD

La generación actual de telefonía móvil, 4G ha sido creado con el objetivo de proveer tasas de transmisión hasta unos 20Mbps mientras, simultáneamente, hace uso de las características de la Calidad de Servicio (QoS*). El QoS permite priorizar el tráfico de datos dependiendo del tipo de aplicación que esté utilizando el ancho de banda, ajustando las necesidades dependiendo del momento.

4.3.8. TECNOLOGÍA GSM

El sistema GSM (Global System for Mobile Communication) puede ser definido como un sistema de radio comunicaciones, porque está destinado para comunicaciones de media y larga distancia, digital, móvil y celular, lo interesante del sistema es que proporciona servicios de datos, e incluye integración de servicios.

GSM es una tecnología digital cuya primera funcionalidad es la transmisión de voz, pero que también permite la transmisión de datos a baja velocidad: 9,6 kbit/s.

4.3.9. MÓDEM GSM/GPRS

“Un módem GSM (Global System for Mobile Communications) es un dispositivo inalámbrico que funciona en la red GSM, utilizada mundialmente para comunicación entre teléfonos móviles[26]”.

El módem GSM puede verse como un teléfono celular al cual se le ha adaptado una interfaz serial RS232, con el propósito de ser controlado a través de una computadora o

microcontrolador. Mediante la utilización del módem GSM puede realizarse enlaces para trasmisión de voz, fax, datos, comunicación por internet y mensajes SMS (Short Message Service).

Básicamente existen 4 bandas, que son estándares a nivel mundial: 850, 900, 1800 y 1900 MHz. En la mayoría de los países de Europa, Asia, Australia, Medio Oriente y África, se emplean las bandas de 900-1800 MHz. En los Estados Unidos, Canadá, México y la mayor parte de Centro y Sudamérica se usan las bandas de **850-1900 MHz**.

En la figura 4.3., se muestra la asignación de pares de frecuencias GSM a nivel global, en la que se puede distinguir que Ecuador opera en la banda 850-1900MHz, como en casi todo el continente Americano.

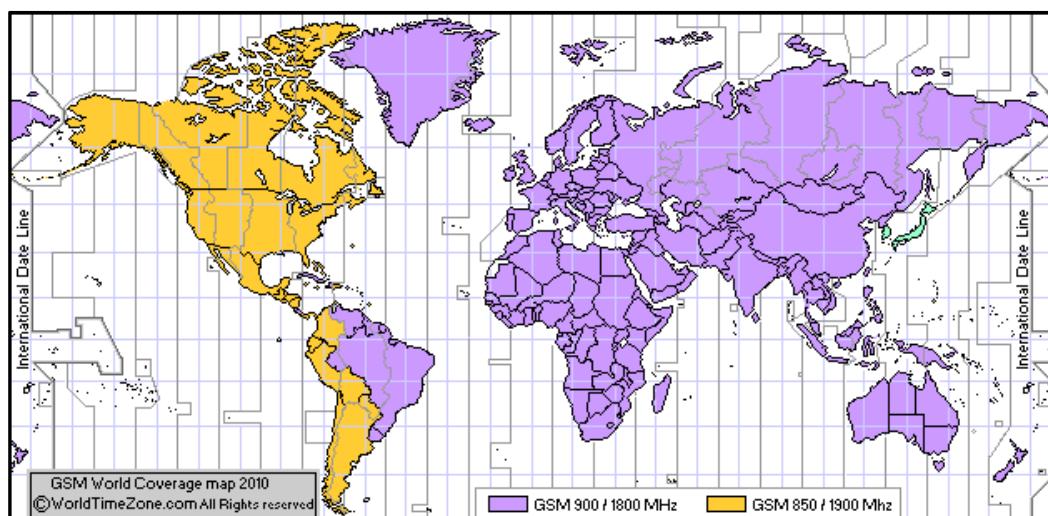


Fig. 4.3.Distribución de las bandas de telefonía móvil a nivel mundial
Fuente: Punto Flotante S.A.-Tutorial: Los módems GSM y GPRS [26]

Por otro lado, un módem GPRS (General Packet Radio Service) es un módem GSM, que, además, es compatible con la tecnología GPRS para la transmisión de datos. Es una tecnología de conmutación de paquetes que es una extensión de GSM. Una ventaja de la tecnología GPRS sobre GSM es que tiene una velocidad de trasmisión de datos de 115,000 kbps.

Esto es mucho más rápido que el SMS ordinario a través de GSM, cuya velocidad de transmisión de SMS es de 6 a 10 mensajes SMS por minuto. Con GPRS se puede trasmitir hasta 30 mensajes SMS por minuto.

4.3.10. COMANDOS AT

Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un Terminal MÓDEM. Aunque la finalidad principal de los “comandos AT es la comunicación con módems, la telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales[27]”.

De esta forma, todos los teléfonos móviles GSM poseen un juego de comandos AT específico que sirve de interfaz para configurar y proporcionar instrucciones a los terminales, permiten acciones tales como realizar llamadas de datos o de voz, leer y escribir en la agenda de contactos y enviar mensajes SMS.

Para controlar a los módems GSM, a través de su interfaz RS232, ya sea desde la computadora PC o desde un microcontrolador, se utilizan los comandos AT que no son otra cosa que cadenas (strings) de códigos ASCII.

4.3.11. COMANDOS AT PARA ENVIAR Y RECIBIR SMS

Para configurar los módem GSM/GPRS se requiere de la utilización de los comandos AT básicos, en modo ajuste. A continuación, se mencionan los principales comandos usados para el envío y recepción de mensajes de texto.

- “AT+CMGD: Elimina un mensaje de texto.
 - ✓ AT+CMGD=XX Borra el mensaje número XX.
- AT+CMGDA: Elimina todos los mensajes.
- AT+CMGF: Selecciona el formato de los mensajes de texto.
 - ✓ AT+CMGF=0, en modo PDU
 - ✓ AT+CMGF=1, en modo Texto
- AT+CMGL: Lista los mensajes del almacenamiento preferido.
 - ✓ AT+CMGL=”ALL”, visualiza todos los mensajes Se puede definir con “REC UNREAD”, “REC READ”, “STO UNSENT”, “STO SENT”, “ALL”.
- AT+CMGR: Lee mensajes de texto.
 - ✓ AT+CMGR=1, lee el mensaje 1
- AT+CMGS: Envía mensajes de texto.
- AT+CMGW: Guarda los mensajes de texto en la memoria, para su posterior envío.

- AT+CMSS: Envía mensajes de texto desde la memoria.
- AT+CNMI: Nuevas indicaciones del mensaje de texto.
 - ✓ AT+CNMI=2,1,0,0,0 :Configura buffers y avisos sobre nuevo mensajes (al llegar un SMS notifica)
 - ✓ AT+CNMI=2,2,0,0,0: En cuanto llega muestra el mensaje (Se modifica la regla de almacenamiento)[28]”.

4.3.12. SISTEMA DE MONITOREO EN PACIENTES

Un sistema de monitoreo es la combinación de dos o más elementos encaminados a la vigilancia o seguimiento de procesos en forma automática. Aplicado a la medicina, un sistema de monitoreo, es aquel sistema que permite monitorear en tiempo real las enfermedades de los diferentes pacientes, quienes podrán tener acceso a la institución médica de forma remota, para obtener una atención personalizada y constante para mejorar su salud.

4.3.13. MONITOREO EN PACIENTES CON DIABETES

La monitorización es un medio que permite vigilar y controlar a distancia la situación de un paciente mediante la visualización de sus constantes vitales u otros parámetros e indicadores.

La gran ventaja que aporta la monitorización es que puede llevarse a cabo desde el propio domicilio del paciente, mejorando su calidad de vida en los casos de enfermedades crónicas o enfermedades que requieran constante control.

El control de diabetes consiste en mantener los niveles del azúcar (glucosa) en la sangre dentro de parámetros saludables, para ello es necesario realizar mediciones en diferentes horarios durante el día, específicamente antes y después de las comidas, caso contrario se pueden desencadenar problemas de salud a corto plazo, como hipoglucemia o la hiperglucemia.

“Los niveles normales de glucosa son de 70 a 100 mg/dl en ayunas y la cantidad de glucosa normal después de dos horas de comer es menor a 140 mg/dl. Para una persona con diabetes los niveles de glucosa varían de persona a persona, sin embargo se han

establecido niveles óptimos los cuales van de 80 a 100 mg/dl en ayunas y menos de 140mg/dl dos horas después de comer [29]”.

El monitoreo en pacientes con diabetes consiste en aplicar un programa de educación para acompañar la evolución de la enfermedad, controlando no solo la glucemia sino variables como: peso, índice de masa corporal, presiones arteriales y cuidado de los pies desde el diagnóstico inicial hasta un período que abarca 5 años.

El monitoreo continuo de la glucosa puede revelar patrones ocultos, como por ejemplo episodios frecuentes de hipoglucemia (glucosa baja).

El propósito de llevar un monitoreo en cada paciente con diabetes, es generar un tratamiento individualizado y preciso, por lo que es necesario considerar el historial médico, las tendencias, y factores de riesgo.

Por otra parte, se considera de vital importancia el monitoreo remoto en pacientes, el cual es una herramienta de Telemedicina que permite hacer seguimiento frecuente y sistemático de signos y síntomas en personas sanas o enfermas, a distancia. Para lo cual, se requiere[30]:

- ✓ Seguridad y confiabilidad en los equipos, así como en las herramientas informáticas.
- ✓ Un sistema con modelo de cuidados adecuados a las necesidades de los pacientes y del equipo tratante.

El monitoreo remoto está enfocado principalmente a enfermos crónicos inestables, a adultos mayores vulnerables, a pacientes con enfermedades que requieran constante supervisión.

Estas soluciones de automonitoreo presentan algunos inconvenientes. Por ejemplo, si una medición resulta en niveles de glucosa anormales, es posible que el paciente decida simplemente automedicarse o aplicar una dosis específica de insulina, cuando en algunos casos se requiere adicionalmente de atención médica urgente.

4.3.14. NIVELES DE GLUCOSA

Los niveles de glucosa varían por diferentes circunstancias, en las que cabe recalcar cambios de concentración de glucosa durante la noche, en ayunas, a media mañana o a media tarde, por lo cual es necesario llevar un registro adecuado en el cual consten la fecha y hora exactas de la medición pues de ello depende el tratamiento del paciente.

Los glucómetros arrojan valores enteros, por lo que se relaciona directamente con los siguientes niveles objetivos de glucosa:

- Antes de las comidas: **70-130 mg/dL**
- 1-2 horas después de las comidas: **menos de 180mg/dL**

Para controlar los niveles se recomienda considerar los valores descritos en la tabla 4.1.:

Tabla 4.1. Nivel de Glucosa

	BAJO	NORMAL	SOBRE LO NORMAL	ALTO
ANTES DE LAS COMIDAS mg/dL	Por debajo de: 70	70 a 130	130 a 180	Por encima de: 180
DESPUÉS DE LAS COMIDAS mg/dL	Por debajo de: 70	70 a 130	130 a 180	Por encima de: 250

Fuente: BD-Automonitoreo de la glucosa en sangre [31]

La frecuencia de las mediciones es individual y es acorde al tipo de enfermedad y del régimen de tratamiento. A nivel mundial, se recomienda:

Tabla 4.2. Frecuencia de medición de glucosa

	Tratamiento	Frecuencia
Diabetes tipo 1	Régimen de insulina	Tres veces al día o más
Diabetes tipo 2	Insulina y medicación por vía oral	Tres a cuatro veces al día
	Medicación por vía oral	Desde diez mediciones hasta las necesarias para cumplir con los objetivo

Fuente: BD-Automonitoreo de la glucosa en sangre [31]

Los niveles de glucosa sugeridos por el Dr. Eduardo Cabezas[32] son:

- Nivel ideal: 80-100 mg/dL
- Nivel a Proyección: 100 – 110 mg/dL
- Nivel Alto: 120 mg/dL

De la misma manera según recomendaciones del doctor, la frecuencia de monitoreo de glucosa varía de paciente a paciente, teniéndose como datos generales:

- En pacientes **Descompensados**, las mediciones deben ser diarias.
- En pacientes con **Compensados**, una vez a la semana.
- En pacientes con **Compensación a largo plazo** y con **tratamiento**, una vez cada 10 a 15 días.

4.3.15. FORMAS DE REGISTRO DE NIVELES DE GLUCOSA

Las principales formas de registro empleadas por los pacientes con diabetes son[32]:

1. La memoria propia del glucómetro.
2. Libretas de registro.
3. Formatos disponibles en internet o sugeridos por el médico tratante.

La memoria propia del glucómetro, resulta un registro fácil pero inseguro, ya que el dispositivo médico puede extraviarse o dañarse perdiéndose todos los registros. Además de que los glucómetros independientemente de la marca del mismo, éstos tienen un límite de espacio en la memoria que varía entre 300 y 600 mediciones.

Por otra parte, las libretas de registro y los formatos disponibles en internet pueden arrojar resultados erróneos con respecto a las mediciones, pues el paciente puede acomodar los resultados a su conveniencia, alterando valores y fechas de medición, ya que este método es completamente manual.

En las distintas “formas de registro, los valores más importantes además de la medición de glucemia, son la fecha y hora de la medición[33]”. Dichos valores son esenciales al momento de aplicar un tratamiento para el paciente.

En el campo de la telemedicina se han propuesto diferentes esquemas de registro y atención a pacientes con diabetes. La mayoría de estas soluciones se basan en un entorno Web para el tema de los registros.

Hoy por hoy y gracias a la plataforma Android se cuenta con un sinnúmero de aplicaciones en el Google Play[34], disponibles para todos los usuarios de un Smartphone, notebooks, tablets, convirtiéndose en una de las formas de registro actuales preferidas por los pacientes con diabetes, entre las que se menciona:

- Diabetes: Un diario de glucosa
- Glucose Buddy : Diabetes Log
- Diabetes Test, entre otras.

Cabe recalcar que dichas aplicaciones son una forma de registro de niveles de glucosa, que sustituyen al esfero y libreta empleada tradicionalmente por los pacientes con diabetes, pero no reemplazan a la consulta con el médico especialista.

4.4. PROPUESTA

4.4.1. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE TELEMEDICINA

El esquema general del Sistema de Telemedicina que se observa en la figura 4.4., está compuesto por:

- Entorno del paciente (paciente, dispositivo médico, equipo de transmisión).
- Medio de transmisión Inalámbrico (Tecnología GSM).
- Entorno del médico (doctor, equipo de recepción e interpretación de datos).



Fig. 4.4.Esquema General del Sistema de Telemedicina
Elaborado por: Andrea Sánchez

4.4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEMEDICINA

Para el desarrollo del proyecto que permite el monitoreo de pacientes con diabetes, se plantea un sistema como el de la figura 4.5, en el que se acopla un Glucómetro digital a un Módem GSM/GPRS (1) empleando un microcontrolador que permita la adquisición de datos proveniente del glucómetro, para procesar la información y transmitirla a través del Módem GSM/GPRS aprovechando la Red Celular Móvil (2) existente en el país.

Al emplear la red celular móvil, se consigue un sistema que funcione a distancia, cumpliéndose el aspecto de telemedicina. Consecutivamente al envío de la señal, existe un segundo Módem GSM/GPRS, que es el responsable de recibir (3) los datos enviados desde el entorno del paciente; dicho módem es el encargado de transmitir (4) los datos de las mediciones hacia el PC del doctor, recurriendo a la comunicación serial que es propia de este tipo de módems.

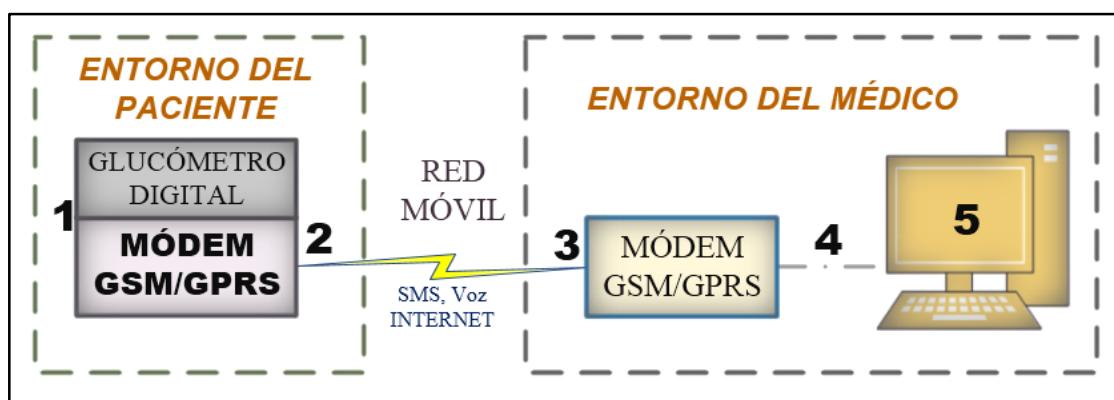


Fig. 4.5.Diseño del Sistema de Telemedicina
Elaborado por: Andrea Sánchez

Finalmente, en el entorno del médico, existe una interfaz (5) que es la encargada de tomar los datos y procesarlos de tal manera que se clasifiquen de acuerdo al identificativo de cada paciente.

Para lo que se comprueba el número de cédula del paciente para actualizar la base de datos con los valores de glucosa recibidos. De la misma forma, ésta interfaz es la encargada de generar alarmas cuando el nivel de glucosa esté fuera de los rangos establecidos como normales, enviando un mensaje de texto al paciente para que acuda inmediatamente a su doctor.

En forma general, el sistema de telemedicina cuenta con dos entornos y un medio de transmisión divididos de la siguiente manera:

ENTORNO DEL PACIENTE

- a) Interfaz de acoplamiento entre el glucómetro digital y el módem GSM/GPRS.
 - a. Acoplamiento glucómetro digital con microcontrolador.
 - b. Acoplamiento microcontrolador – módem GSM/GPRS

MEDIO DE TRANSMISIÓN

- b) Transmisión de las mediciones vía SMS, usando la red celular.

ENTORNO MÉDICO

- c) Recepción de las mediciones a través de la red celular, usando un módem GSM/GPRS.
- d) Interfaz serial para la transmisión de los datos desde el módem GSM/GPRS hacia el computador del médico.
- e) HMI, para comprobación de datos que permita su posterior almacenamiento y actualización de información en la base de datos.

4.4.3. SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL ENTORNO DEL PACIENTE Y MÉDICO

Para el desarrollo de este proyecto se requiere el empleo de un Glucómetro Digital, microcontroladores y módems GSM/GPRS, para lo cual se plantean las siguientes tablas comparativas con la finalidad de seleccionar los equipos que mejor se adaptan a la propuesta de solución.

4.4.3.1. SELECCIÓN DE UN GLUCÓMETRO

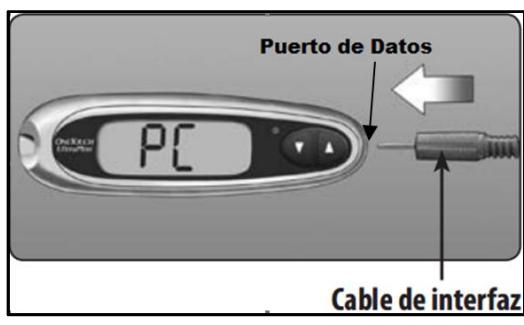
Tabla 4.3. Tabla comparativa para selección de un Glucómetro[35]

CARACTERÍSTICAS GENERALES Y TÉCNICAS	ACCU-CHEK ACTIVE	ONETOUCH ULTRAMINI	FREESTYLE FREEDOM LITE
			
Empresa	Roche	LifeScan	Abbot
Método enzimático	Glucosa deshidrogenasa PQQ	Glucosa oxidasa GOD	Glucosa deshidrogenasa-FAD
Método de Medición	Fotométrico	Electroquímico	Electroquímico coulométrico
Calibración	Suero/plasma	Suero/plasma	Equivalente a plasma
Codificación	Si, chip de codificación	Si, propio de las tiras	No
Unidades de Medición	Mg/dl	Mg/dl	Mg/dl
Memoria	350 mediciones	500 mediciones	400 mediciones
Temperatura de Operación	Entre 10° y 40°C	Entre 6° y 44°C	Entre 4° y 40° C
Fuente de energía	Litio CR 2032 3 voltios	Litio CR 2032 3 voltios	Litio CR 2032 3 voltios
Rango de resultado	10 a 600 mg/dl	20 a 600 mg/dl	20 a 500 mg/dl
Tamaño de la muestra	1 – 2 μ L	1 μ L	0,3 μ L
Tamaño	10,45×5,15×2,2cm	10,8×3,2×1,7cm	5,1 x 8,4 x 1,6 cm
Peso	aprox. 60 g (con pila)	35 g (con pila)	42,25 g (con pila)

Tiempo de lectura	5 segundos si la tira está en el medidor. 10 segundos, si la tira está fuera del medidor.	5 segundos	3-5 segundos
Interferencias con:			
- Maltosas (fármacos)	- Si	- No	- Si
- Icodextrina (diálisis)	- Si	- No	- Si
- PPO₂	- No	- No	- No
- Otras	- Sí, xilosa y galactosa	- No	- Sí, xilosa y galactosa
Precio dispositivo	\$37,50	\$50,32	\$33,95
Precio Tiras reactivas (25)	\$27,08	\$20,85	No disponible en el mercado
Tipo de Lanceta	Específica para este modelo	Estándar	-----
Disponibilidad del equipo	Media	Media	Baja
Disponibilidad de repuestos	Media	Alta	Nula
Fiabilidad			
- Precisión(CV)	1,6-2,9 (<5)	1,6≤CV≤3,2%	2,0-4,1% (CV)
- Exactitud	95% <15	Exactitud: cumplimiento de la norma ISO 15197	<ul style="list-style-type: none"> ○ r=0,97 ○ ISO:98,6
- Error GRID	8,9		
- ISO	Sí		
Tecnología de transmisión de datos	Infrarroja	Impulsos Eléctricos	Impulsos Eléctricos
Medio de Transmisión	Inalámbrica: Haz de luz	Guiado: Cable de cobre tipo estéreo	Guiado: Cable de cobre tipo estéreo
Conexión PC	Si	Si	Si

En base a la comparativa realizada entre las diferentes marcas de glucómetros, se ha decidido trabajar con el **Glucómetro OneTouch UltraMini de LifeScan** porque cuenta con puerto de datos para comunicarse con el PC usando un cable de datos como se visualiza en la figura 4.6.a), lo contrario al Glucómetro con interfaz para infrarrojos que implica recurrir a elementos más costosos.

a)



b)



Fig. 4.6.a) Puerto de datos OneTouch UltraMini b) /Interfaz para infrarrojos AccuChek Active
Fuente: OneTouch UltraMini Guía del Usuario [36] /AccuChek Active- Instrucciones de Uso [37]

La manipulación y transporte de este dispositivo son muy sencillos por el tamaño y por su peso; la fiabilidad y exactitud de la marca OneTouch es mejor con respecto a las otras marcas.

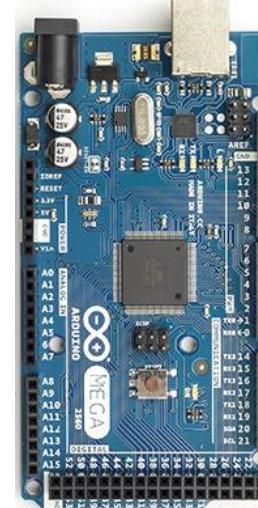
Cabe mencionar que este glucómetro es inmune a interferencias relacionadas a la medición, lo que no sucede con los otros dispositivos.

El precio y disponibilidad en el mercado también contribuyeron a la elección de este dispositivo médico, ya que en oposición a la marca Freestyle de ABBOT, de la cual no existen lancetas ni tiras reactivas disponibles en el mercado para su adquisición, la marca OneTouch de LifeScan se puede adquirir en prácticamente cualquier farmacia grande a nivel nacional, como son Fybeca, Pharmacys, Sana Sana, etc.

Para más información acerca del glucómetro OneTouch UltraMini de LifeScan de Johnson & Johnson, diríjase al **Anexo5** de este documento.

4.4.3.2. SELECCIÓN DE UN MICROCONTROLADOR

Tabla 4.4. Tabla Comparativa para Selección de un Microcontrolador[38],[39],[40]

CARACTERÍSTICAS	PIC16F877A	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA
			
Empresa	Microchip	Arduino –ATMEL	Arduino-ATMEL
Microcontrolador	16F877A	ATmega 328	ATmega 2560
Voltaje de Operación	5V	5V	5V
Voltaje de alimentación (recomendado)	5V	7-12V	7-12V
Voltaje de alimentación (límites)	4V a 5.5V	6-20V	6-20V
Corriente DC en cada pin	25mA	40mA	40mA
Entradas/Salidas Digitales	24 (2 PWM)	14 (de los cuales 6 son PWM)	54 (de los cuales 15 son PWM)
Entradas/Salidas Análogas	9 (pueden ser digitales)	6 (solo entradas)	16(solo entradas)

Memoria Flash	8KB	32KB	256KB
EEPROM	256 bytes	1KB	4KB
SRAM	368 Bytes	2KB	8KB
Rango de Temperatura	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C
Dimensiones	51x15.5 mm	75x54mm	109x54mm
Alimentación	Fuente Externa de 5V	Vía USB o fuente externa	Vía USB o fuente externa
Comunicación Serial	Si, un puerto USART (se puede configurar más puertos)	Si, un puerto físico (se puede configurar más puertos lógicos)	Si, 4 puertos físicos (se puede configurar más puertos lógicos)
Comunicación con PC	Requiere circuito adicional con un MAX232	Conexión directa con Cable USB A-B	Conexión directa con Cable USB A-B
Precio	\$6	\$33	\$60
Disponibilidad en el mercado	Alta	Alta	Media
Forma de almacenamiento de los programas	Requiere Grabador externo (Pickit2)	Usa la misma conexión USB que la alimentación	Usa la misma conexión USB que la alimentación
Elementos adicionales para su uso	Si: - Oscilador - Condensadores - Resistencias - Fuente de alimentación - Dependiendo el caso, regulador de voltaje.	No	No

Elaborado por: Andrea Sánchez

Por las necesidades y requerimientos técnicos del proyecto, el microcontrolador a emplearse es el **ATmega328** que viene incorporado en el módulo **Arduino UNO**. Este módulo se va a utilizar en el entorno médico y en el entorno del paciente.

La selección del Arduino UNO se ha justificado en base a la tabla comparativa desarrollada con anterioridad; uno de los factores decisivos es que a diferencia del PIC16F877A el cual necesita de un grabador para transferir el programa hacia la memoria del mismo, el Arduino UNO y el Arduino MEGA emplean un cable USB para cargar programas en el microcontrolador. Es importante mencionar que para la familia de Arduino, el cable USB a más de ser la interfaz entre el dispositivo y la computadora, proporciona la alimentación requerida para su funcionamiento.

El microcontrolador PIC16F877A se descartó por varias razones, por ejemplo las características referentes a la memoria no satisfacen los requerimientos del sistema. La vulnerabilidad en cuanto a cortocircuitos que se pueden producir por una mala conexión al alimentar el microcontrolador, es otro factor decisivo. Otro aspecto a mencionar es que para su utilización son necesarios elementos adicionales como un oscilador, condensadores, entre otros; lo que no sucede con el Arduino UNO. Además, para la conexión serial con el computador se requiere del empleo de un MAX232, de condensadores y de un cable conversor RSR232-USB ya que en la actualidad las computadoras no poseen puerto serial.

La memoria FLASH, EEPROM y SRAM del ATmega238 (Arduino UNO) es suficiente para las aplicaciones requeridas en el desarrollo del sistema. Otro factor importante a considerar es la cantidad de puertos Serie disponibles en este módulo, ya que para el proyecto se requiere al menos dos puertos seriales, sin considerar el puerto serial usado para conexión con el PC, la tentativa hubiese sido seleccionar el Arduino MEGA; pero el Arduino UNO tiene la opción de configuración de varios puertos Seriales virtuales usando librerías especiales, lo que marca un significativo ahorro económico pues el Arduino MEGA tiene un costo de casi el doble en comparación al Arduino UNO.

En el **Anexo 6** se encuentra la información técnica referente al microcontrolador ATME328 incorporado en el Módulo Arduino Uno.

4.4.3.3.CABLE DE DATOS

El cable de datos necesario para conectar el glucómetro OneTouch UltraMini con el Módulo Arduino Uno, es un cable en donde uno de los extremos consiste en un conector estéreo de 3.5mm; el otro extremo debe estar conectado a un conector DB9, como se observa en la figura 4.7. Este cable permite la transmisión de datos desde el glucómetro vía comunicación Serial.



Fig. 4.7.Cable DB9 a Estéreo 3.5mm
Fuente: Schneider Electric, USA [41]

En términos generales para establecer una comunicación serial se emplean los pines de Transmisión (Tx), Recepción (Rx), y Tierra (Gnd), como se muestra en la figura 4.8.

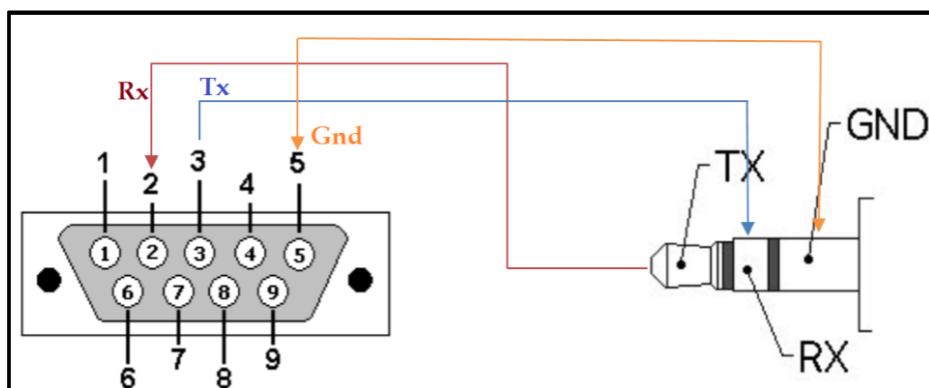


Fig. 4.8.Diagrama para elaborar un Cable estéreo 3.5mm a DB9
Fuente: Schneider Electric, USA [41]

4.5. SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN

En base a la información recolectada sobre las tecnologías inalámbricas usadas en medicina, se determinó utilizar la red GSM, ya que tiene mayor cobertura nacional, se puede usar en largas distancias y sin línea de vista, y en cualquier lado a cualquier hora.

4.5.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL MEDIO DE TRANSMISIÓN

a. SELECCIÓN DE MÓDEM GSM

Tabla 4.5. Tabla comparativa para selección de MÓDEM GSM/GPRS

CARACTERÍSTICA	GR64	SIM900	TC65
			
Acoplados a otros dispositivos			
Empresa	Sony Ericsson	SIMCOM	Siemens
Bandas GSM/GPRS	850/900/1800/1900 MHz	850/900/1800/1900MHz	850/900/1800/1900MHz
Modulación	GSMK	2GFSK, 2FSK	GMSK
Sensibilidad de Recepción	<-102dBm	-125dBm	-140dBm
Clase multi-slot GPRS	Clase 10	Clase 10	Clase 12
Memoria RAM	-	-	400Kb
Memoria FLASH	-	-	1,7Mb

Capacidad Autónoma	No	NO	Si, java que permite embeber sus propias aplicaciones
Voltaje de Alimentación recomendado	3,6V	4V	12V
Rango Voltaje de alimentación	3.2V-4.5V	3,2V – 4,8V	8V-30V
Bajo consumo de energía	-	1.5mA(sleepmode)	1mA (sleepmode)
Temperatura de Operación	-20 °C a +55 °C	-40°C a +85 °C	- 30 a +65 °C
Dimensiones	85 x 54 x 25mm	24 x 24 x 3 mm	130 x 90 x 38 mm
Peso	110g	3.4 gramos	<190gramos
Aplicaciones	Voz, SMS, Datos, Fax, Internet	Voz, SMS, Datos, Fax, Internet	Voz, SMS, Datos, Fax, Internet
Control	Comandos AT	Vía comandos AT (GSM 07.07 ,07.05 y comandos AT SIMCOM mejorados)	Comandos AT Hayes GSM 07.05 y GSM 07.07
Tarjeta SIM	1.8V, 3V	1.8V, 3V	1.8V, 3V
Disponibilidad de información	Baja	Alta	Baja
Disponibilidad en el mercado	Media	Alta	Media
Precio integrado	\$45,00	\$25,90	\$28,00
Precio módulo adaptable incluido integrado	\$87,99	\$75,00	\$45,00
Conexión con otros dispositivos	Existen módulos basados en GR64	Existen módulos prediseñados adaptables a Arduino, Raspberry PI.	Existen módulos basados en el TC65 de siemens como GPRS MTX65

Elaborado por: Andrea Sánchez

Se seleccionó el Módem GSM/GPRS Cuatribanda SIMCOM SIM900, el cual viene incorporado en un módulo compatible con Arduino UNO y Arduino Mega como se muestra en la figura 4.9., donde se puede observar que tienen el mismo factor de forma y distribución de pines, es decir que se pueden acoplar físicamente sin ningún problema.

Este módulo proporciona una forma de comunicarse mediante la red de telefonía celular para recibir y enviar datos desde una ubicación remota. La shield permite lograr lo anteriormente mencionado a través de: SMS (Servicio de Mensajes cortos), MMS, GPRS y audio.

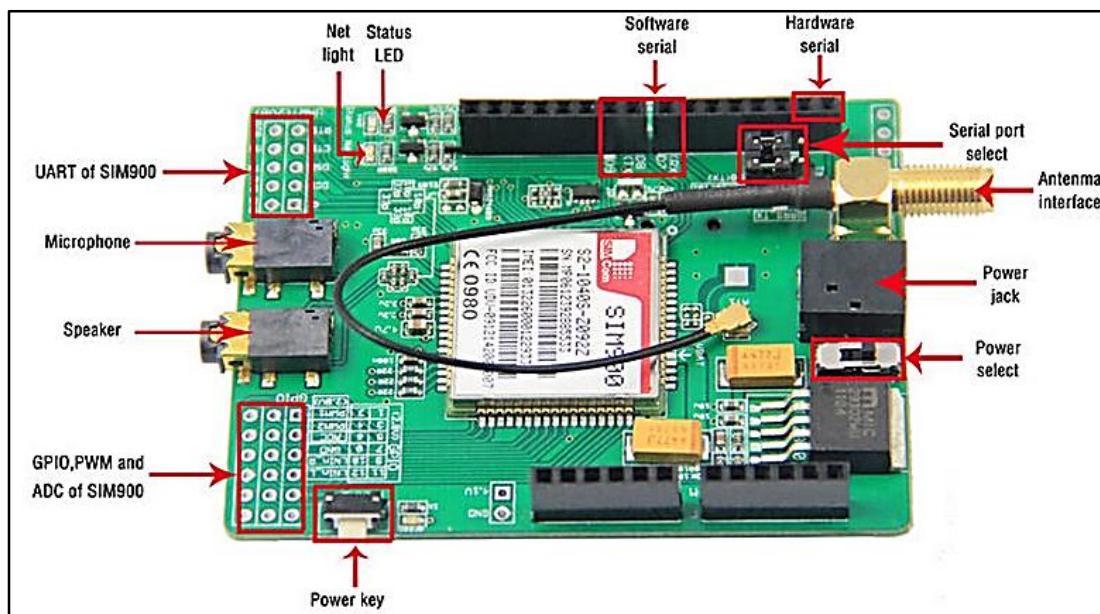


Fig. 4.9.SIMCOM SIM900 Cuatribanda - Módulo GSM/GPRS para Arduino
Fuente: Ali Express [42]

En la selección de este dispositivo se consideraron también aspectos como: el tamaño del dispositivo, ya que para el entorno del paciente es necesario contar con equipos lo más compactos y livianos posibles. Por otra parte la facilidad de acoplamiento con el microcontrolador seleccionado, representó una gran ventaja con respecto a los otros módem GSM/GPRS analizados en la tabla comparativa.

La disponibilidad en el mercado es alta y de fácil acceso, lo que no sucede con los otros equipos GSM/GPRS. Su utilización y configuración son sencillos pues basta con conectarle a un Módulo Arduino UNO y configurarlo de acuerdo a la distribución de pines, que se muestra también en la figura 4.9., la misma que se detalla a continuación:

- **PowerSelect (Selección de Alimentación):** Externa o del Arduino.
- **Power Jack:** Conector para la alimentación externa 4.8 - 5VDC.
- **Antenna Interface:** Conector para la antena externa.
- **Serial port select:** Permite seleccionar el puerto serial “Software” o el puerto serial “Hardware” para conectarse al módulo GPRS.
- **Hardware Serial:** D0/D1 del Arduino
- **Software Serial:** D7/D8 del Arduino
- **Status Led:** Indica cuando el módulo GPRS está encendido
- **Net light:** Indica cuando el módulo GPRS está conectándose a la red celular.
- **Microphone:** Micrófono para contestar las llamadas.
- **Speaker:** Parlante para contestar las llamadas
- **Powerkey:** Encendido y apagado para el SIM900
- **Pines usados en el Arduino:**
 - D0 – D1.- no se usa si el puerto serial en modo “software” ha sido seleccionado para comunicarse con el módulo GPRS.
 - D2- D6.- no se usa
 - D7 – D8.- se usa si el puerto serial en modo “software” ha sido seleccionado para comunicarse con el módulo GPRS.
 - D9.- usado para controlar el encendido y apago del módulo GPRS desde software.
 - D10 – D13.- sin usar
 - D14 (A0)- D19 (A5).- sin usar

En el **Anexo 7**, se encuentra la hoja de datos técnicos sobre el módem GSM/GPRS SIM900 y en el **Anexo 8**está disponible la configuración inicial, comandos AT y la distribución de pines de la tarjeta GSM/GPRS adaptable para el módulo Arduino Uno.

4.6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.6.1. ENTORNO DEL PACIENTE

a. INTERFAZ DE ACOPLAMIENTO ENTRE EL GLUCÓMETRO Y EL MÓDEM GSM/GPRS

Para el acoplamiento del glucómetro digital con el módem GSM/GPRS se emplea un Arduino UNO que es el encargado de procesar la información para su posterior transmisión a través de la red móvil. Ésta información consiste en el valor de la medición y la fecha con hora exacta en la que se realizó la medición.

El acoplamiento entre el glucómetro y el módem GSM/GPRS se desarrolla en dos pasos:

1. Acoplamiento entre el Glucómetro digital y el Arduino UNO
2. Acoplamiento entre el Arduino UNO y el Módem GSM/GPRS

1. ACOPLAMIENTO ENTRE EL GLUCÓMETRO DIGITAL Y EL ARDUINO UNO

Para conectar lógicamente el glucómetro OneTouch UltraMini con el Arduino UNO, es necesario conocer las tramas de comunicación del dispositivo médico, pues el glucómetro responde a una secuencia específica de caracteres.

El protocolo de comunicación se obtuvo en un documento propio de la empresa fabricante de este glucómetro: LifeScan de Johnson & Johnson [43], en el que se describe la secuencia de caracteres necesaria para transmitir y recibir datos.

En la figura 4.10., se especifica el comando que debe enviarse desde el Arduino para conseguir un mensaje de respuesta proveniente del glucómetro.

Command Message from PC: Read Glucose Record 1 (offset = 000)									
STX	Len	Link	CM1	CM2	Record 1	ETX	CRC low	CRC high	
0x02	0x0A	0x03	0x05	0x1F	0x00, 0x00	0x03	0x4B	0x5F	

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge									
STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC high				
0x02	0x06	0x05	0x03	0x9E	0x14				

Reply Message 2 from Meter: Record glucose value + date stamp												
STX	Len	Link	RM1	RM2	DT1	DT2	DT3	DT4	GR1	GR2	GR3	GR4
0x02	0x10	0x01	0x05	0x06	0xAC	0x86	0x55	0x68	0x4C	0x00	0x00	0x00
ETX	CRC Low	CRC high										
0x03	0x86	0x0B										

Fig. 4.10. Tramas de Petición y Respuesta del Glucómetro OneTouch UltraMini

Fuente: LifeScan OneTouch® UltraMini™ / UltraEasy™ BloodGlucose Meter RS-232 Communication Protocol[43]

La información obtenida del protocolo de comunicación, fue comprobada con un analizador de puerto serie; pues es necesario conocer la longitud de la cadena de caracteres enviados desde el glucómetro y el formato en el que los mismos caracteres son recibidos. Ya que los caracteres pueden estar en formato Hexadecimal o ASCII.

De este análisis se dedujo que basta con enviar la trama descrita en la tabla 4.6., para establecer comunicación y solicitar el envío del valor de la glucosa con la fecha en la que se realizó la última medición.

Tabla 4.6. Trama para Lectura de glucosa y fecha del glucómetro OneTouch UltraMini

0x02	0x0A	0x03	0x05	0x1F	0x00	0x00	0x03	0x4B	0x5F
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: LifeScan OneTouch® UltraMini™ / UltraEasy™ BloodGlucose Meter RS-232 Communication Protocol[43]

Del glucómetro se consigue una trama similar de respuesta, la misma que se representa en la tabla 4.7., donde se puede observar que la longitud de trama es de 22 caracteres de los cuales para este proyecto se requiere específicamente los datos del 11 al 14, en sentido inverso, que corresponden a la fecha y hora de la medición; y los datos del 15 al 18 que representan el valor de la glucosa.

Tabla 4.7. Trama de Respuesta del glucómetro OneTouch UltraMini

0	1	2	3	4	5												
STX	Len	Link	ETX	CRC	CRC												
02	06	05	03	9E	14												
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
STX	Len	Link	RM1	RM2	DT1	DT2	DT3	DT4	GR1	GR2	GR3	GR4	ETX	CRC	CRC		
02	10	01	05	06	AC	86	55	68	4C	00	00	00	03	86	0B		

Fuente: LifeScan OneTouch® UltraMini™ / UltraEasy™ Blood Glucose Meter RS-232

Communication Protocol[43]

Según el ejemplo de la tabla 4.7., la fecha y medición de glucosa serían:

- Fecha: 68-55-86-AC (DT4 – DT1), está dada en formato Hexadecimal.
- Valor de glucosa: 00-00-00-4C (GR4 –GR1), en hexadecimal

Para este proyecto se requiere dos puertos seriales adicionales al puerto serie físico del Arduino UNO, por ello se debe configurar puertos con los nombres: “*gluco*” y “*SIM900*”.

La velocidad de transmisión (baudios) del glucómetro OneTouch UltraMini es 9600 baudios con 8 bits de datos, sin paridad y un bit de parada. Debiendo configurarse la interfaz serial “*gluco*” del Arduino UNO con las mismas características.

En esta sección se debe escribir la trama de comunicación en el puerto “*gluco*”. Seguidamente debe leerse los datos provenientes del glucómetro a través de la misma interfaz serial, para conseguir los datos de la glucosa y la fecha.

Adicional al valor de glucosa y la fecha, se agrega el número de cédula del paciente, pues este es el identificativo que permite la clasificación para el posterior almacenamiento de la información dentro del entorno médico. El formato del mensaje de texto es:

%(#C.I.\$(valor_glucosa)& (fecha_hora)

Por ejemplo: **%1814310981\$124&56B4F239.**

El valor de la fecha es enviado en formato de fecha hexadecimal, para facilitar su envío y manipulación. Es importante mencionar que se debe agregar caracteres especiales entre cada dato, para facilitar el filtrado de la información dentro del entorno médico.

Finalmente, se procede a la conexión física de los dos dispositivos; la cual consiste en conectar el cable de datos descrito en la figura 4.11., en el puerto serial “gluco” del Arduino UNO en los pines 2,3 y GND, como se indica en la figura 4.10.

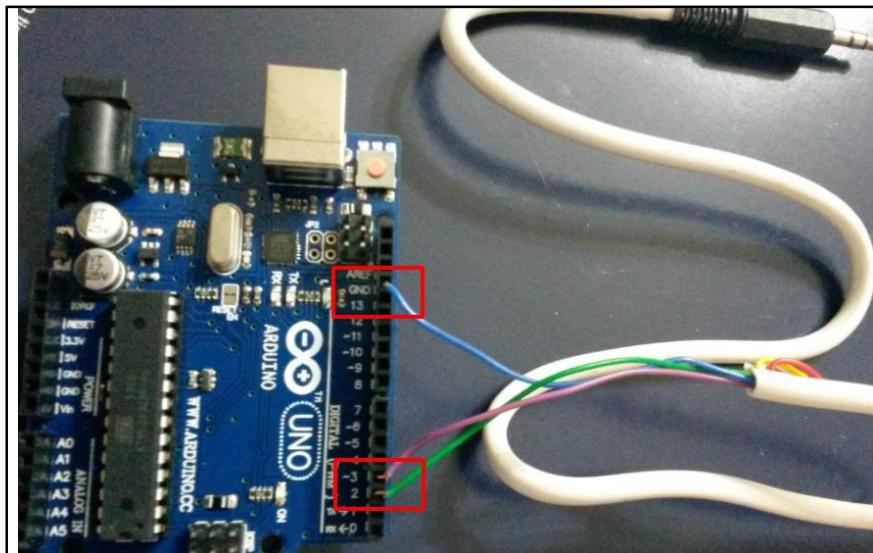


Fig. 4.11. Conexión física entre el Glucómetro OneTouch UltraMini y el Arduino UNO
Elaborado por: Andrea Sánchez

2. ACOPLAMIENTO ENTRE EL ARDUINO UNO Y EL MÓDEM GSM/GPRS

Una vez que se dispone de la información proveniente del glucómetro, es necesario enviarla vía SMS usando el Módem GSM/GPRS SIM900.

Para lo que se configura dos comandos AT, que permiten el envío de mensajes de texto:

- AT + CMGF = 1
- AT + CMGS = “#celular”

Para esta parte, debe configurarse la velocidad del puerto serie SIM900 a 19200 baudios.

Los equipos físicamente conectados lucen como en la figura 4.12., en donde el módulo GSM/GPRS SIM900 está montado sobre el módulo Arduino UNO.

Esta conexión física es la misma tanto para el entorno del paciente como para el entorno médico que se desarrolla más adelante.

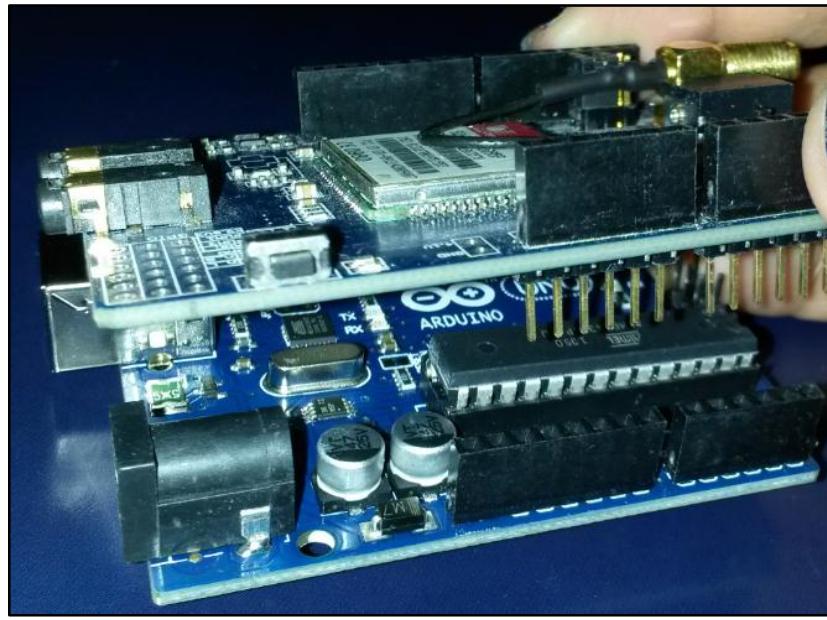
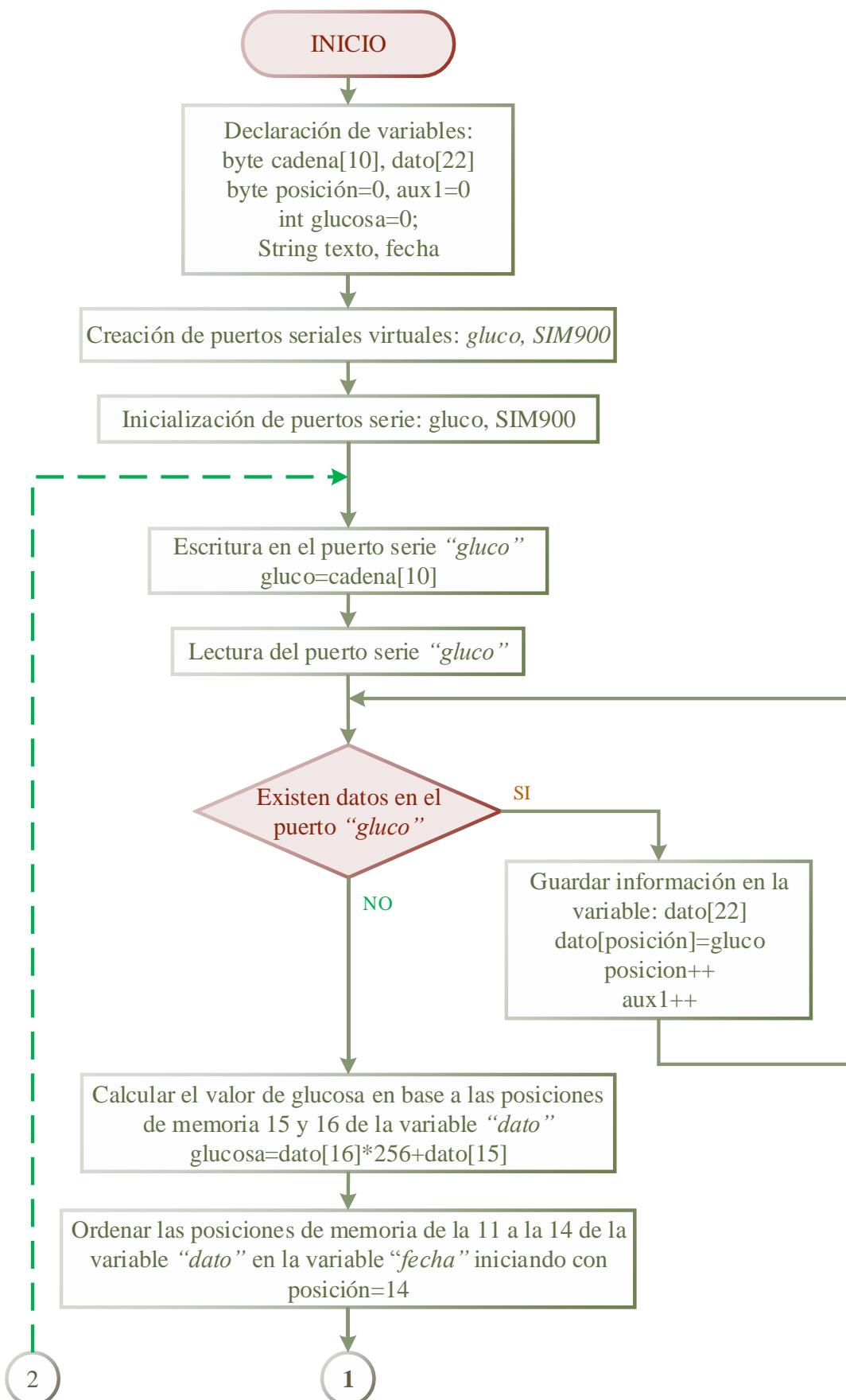
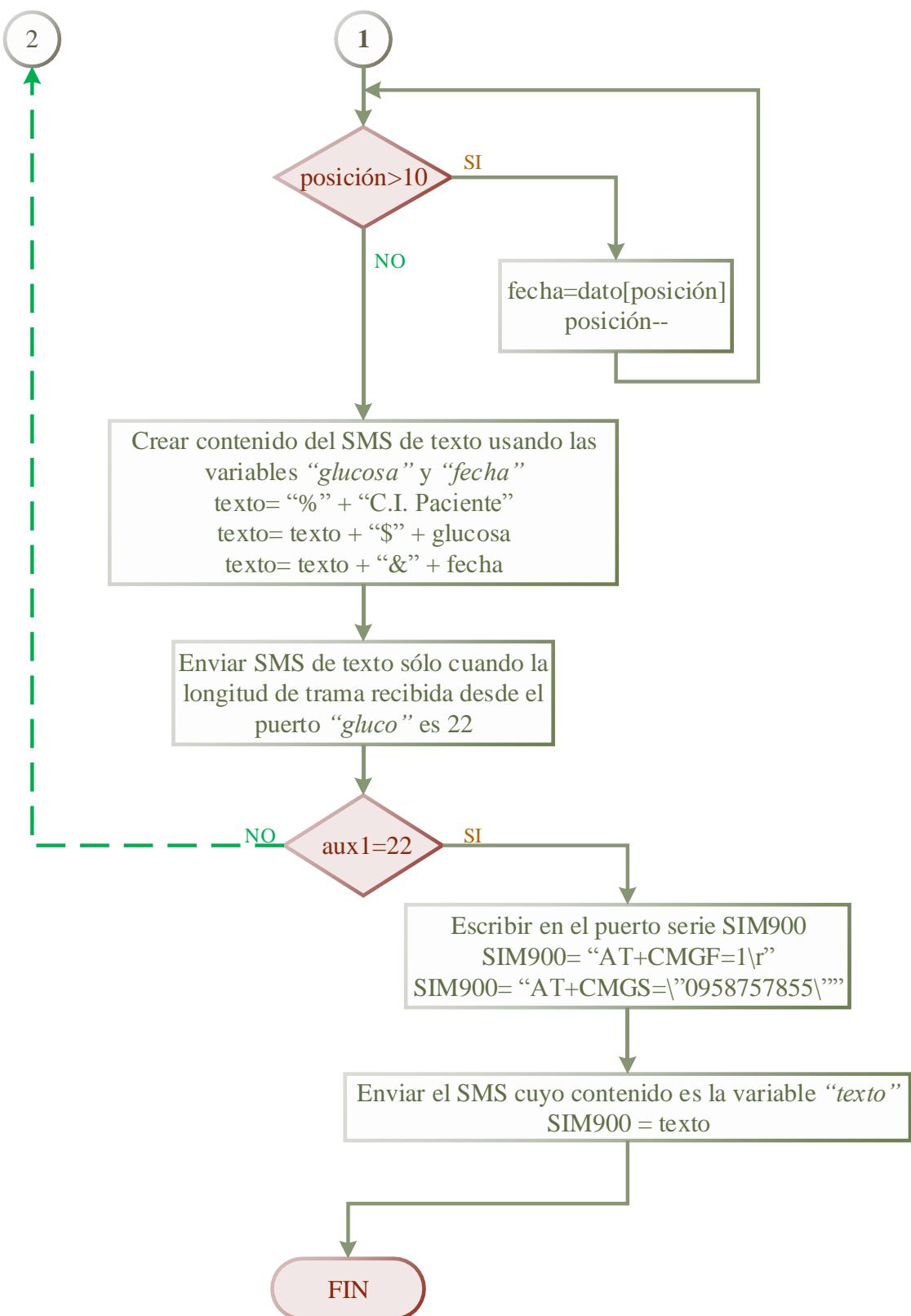


Fig. 4.12. Montaje físico del Módem GSM/GPRS y el Arduino UNO
Elaborado por: Andrea Sánchez

En forma general, la interfaz de acoplamiento entre el glucómetro digital OneTouch UltraMini y el módem GSM/GPRS SIM900 se describe en el diagrama de flujo de la figura 4.13.





La interfaz de acoplamiento entre el glucómetro y el módem GSM/GPRS, representa el desarrollo del Entorno del Paciente; el propósito es crear una interfaz que conecte el glucómetro hacia un dispositivo que permita la transmisión de datos hacia el entorno médico de forma automática, eliminando los posibles errores generados durante el registro tradicional.

La programación del Entorno del Paciente para el módulo Arduino UNO, está estructurado por varias secciones entre las que se mencionan:

- Declaración de librerías y puertos seriales.
- Declaración e inicialización de Variables.
- Inicialización de los puertos seriales: Serial, gluco y SIM900.
- Creación de la función SIM900power() para el encendido y apagado del módem GSM/GPRS.
- Creación de la función sendSMS (), para el envío de los mensajes de texto.
- Creación de la función principal loop(), dentro de la cual se ejecutan varios procesos, como por ejemplo: lectura del puerto “gluco”, conversión del valor de la fecha a formato hexadecimal, cálculo del valor de glucosa y construcción del contenido del mensaje de texto a enviarse.

El código se detalla a continuación:

```
//-----//  
//CÓDIGO DEL ENTORNO DEL PACIENTE  
//Declaración de librerías y puertos seriales  
#include<SoftwareSerial.h>//Librería para comunicación serial  
SoftwareSerial SIM900(7,8); //Rx, Tx  
SoftwareSerial gluco(2,3); //Rx, Tx  
//Declaración e Inicialización de variables  
/*Cadena de caracteres equivalente a la trama serial para lectura de la última medición del  
Glucómetro OneTouch UltraMini*/  
byte cadena [10] = {0x02, 0x0A, 0x03, 0x05, 0x1F, 0x00, 0x00, 0x03, 0x4B, 0x5F};  
byte dato[22]; //variable usada para almacenar la información obtenida desde el  
glucómetro
```

```

byte posición=0; //variable usada como contador
byte aux1=0;//variable usada como contador
byte var; //variable para ordenar la fecha de medición
byte var2;//variable para ordenar la fecha de medición
int glucosa=0; //variable que almacena el valor de glucosa
String texto; //variable que almacena el contenido del SMS
String fecha; //variable que almacena la fecha en formato HEXADECIMAL
//Inicialización de puertos seriales
voidsetup()
{
Serial.begin(9600); //Inicializar el puerto a 9600baudios
SIM900.begin(19200);//Inicializa el puerto serial virtual SIM900
gluco.begin(9600);//Inicializa el puerto serial virtual gluco
SIM900power(); //manda a prender el módulo SIM900
delay (5000); //tiempo para conectarse a la red móvil
}

//Creación de la función de encendido y apagado del módem GSM/GPRS
/*SIM900power (), función que reemplaza el botón para el encendido manual del SIM900
a través del empleo del pin digital 9 del Arduino.*/
void SIM900power() //sustituye el encendido/apagado desde el botón
{
digitalWrite(9, HIGH); //Poner el pin 9 en alto 2 segundos
delay(2000);
digitalWrite(9, LOW); //Poner el pin 9 en bajo 5 segundos
delay(5000);
}

//sendSMS(String texto), esta función envía un SMS hacia el entorno del médico, con el
número de cédula propio del paciente, con el valor de la última medición y la fecha en
formato hexadecimal de la medición.//
voidsendSMS(String texto)//función para el envío de un SMS
{

```

```

SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); //comando AT para establecer el módulo en modo
texto
delay(100);
SIM900.println("AT + CMGS = \"0958757855\""); //número de destino (entorno
médico)
delay(100);
SIM900.println(texto); //contenido del mensaje a enviar
delay(100);
SIM900.println((char)26);// Finalizar comando AT con comando ^Z, ASCII código 26
delay(100);
SIM900.println();
delay(4000); //dar tiempo al módulo GPRS para enviar SMS
SIM900power(); //apagar el módulo SIM900
}

voidloop ()
{
gluco.listen(); //Escuchar el puerto gluco
gluco.flush(); //Limpiar el buffer del puerto gluco
gluco.write(cadena, 10); //escribir en el puerto gluco el contenido de cadena que
//contiene trama de petición de la última medición de glucosa
delay (1000);
if (gluco.available()) //espera datos de la lectura valor glucómetro
{
while(gluco.available()>0) //mientras existan datos en el puerto serie gluco se almacenan
valores
{
delay(5);
dato[posición]= gluco.read(); //almacenar en la variable dato el contenido de gluco
posición++; //incrementa en 1 por cada carácter
aux1++; //incrementa en 1 por cada carácter
}
}

```

```

//-----//
//Convertir la fecha de formato decimal a formato hexadecimal para facilitar su
transmisión

posición=14;

while(posición>=11 && posición<=14) //convertir el valor decimal de fecha a
hexadecimal

{
var=dato[posición]/16; //Dividir el contenido de dato por 16
if(var>=10 && var<=15) //Relacionar los número del 10-15 con las letras A-F
{
if (var==10){fecha.concat("A");}
if (var==11){fecha.concat("B");}
if (var==12){fecha.concat("C");}
if (var==13){fecha.concat("D");}
if (var==14){fecha.concat("E");}
if (var==15){fecha.concat("F");}
}
else
{
fecha.concat(var);
}

var2=dato[posición]%16; //Sacar el tanto por ciento de dato
if(var2>=10 && var2<=15)
{
if (var2==10){fecha.concat("A");}
if (var2==11){fecha.concat("B");}
if (var2==12){fecha.concat("C");}
if (var2==13){fecha.concat("D");}
if (var2==14){fecha.concat("E");}
if (var2==15){fecha.concat("F");}
}
else

```

```

    {
fecha.concat(var2);
}
posición--;
}

glucosa=dato[16]*256+dato[15]; //cálculo del valor de glucosa
posición=0;
}

delay(300);

//Condición para enviar un SMS solo cuando la longitud de dato es 22
if(aux1==22)
{
    texto="% "; //Iniciar el contenido del SMS con el carácter %
    texto= texto + "1714152004"; //Agregar el número de cédula del paciente
    texto= texto + "$"; //Agregar el carácter $
    texto.concat(glucosa); //Agregar el valor de glucosa
    texto= texto + "&"; //Agregar el carácter &
    texto= texto + fecha; //Agregar el valor de la fecha en hexadecimal
    texto= texto + "#"; //Agregar el carácter #
    Serial.println(texto);
    sendSMS(texto); //Llama a la función sendSMS(texto), para enviar el SMS con el
    contenido de la variable texto.
    aux1=0;
    texto=""; //Encerrar el contenido de texto
do {} while(1); //Hace que el programa se ejecute una sola vez cuando hayan 22 caracteres
en gluco
}
}

```

4.6.2. MEDIO DE TRANSMISIÓN

TRANSMISIÓN DE MEDICIONES A TRAVÉS DE LA RED MÓVIL

Para enviar las mediciones de glucosa desde el módem GSM/GPRS SIM900, se requiere de una tarjeta SIM de cualquier operadora de telefonía móvil disponible en el país, como se muestra en la figura 4.14. Dicha tarjeta SIM debe estar activa, contar con servicio de mensajes escritos, y debe tener el PIN desactivado.



Fig. 4.14. Tarjeta SIM Movistar
Fuente: La nuevas Tarjetas SIM Movistar [44]

El esquema de una tarjeta SIM varía entre 6 a 8 pines, de los cuales las compañías de telefonía móvil a nivel de Ecuador, como Movistar, Claro y CNT emplean las tarjetas de 6 pines. La distribución de pines de una tarjeta SIM se muestra en la figura 4.15.

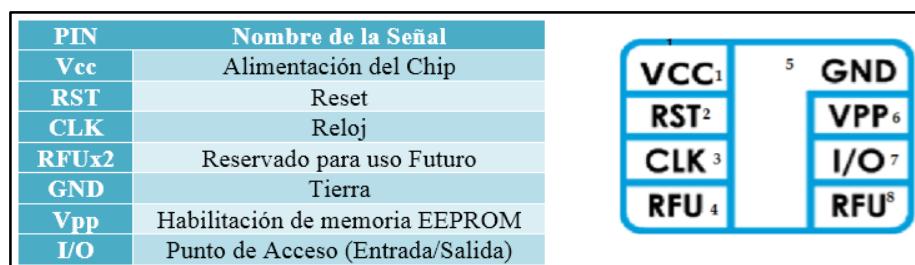


Fig. 4.15. Esquema de pines de una tarjeta SIM
Fuente: Poder PDA. SIM Card. Conócela a Detalle [45]

La tarjeta SIM debe colocarse en el módulo GSM/GPRS SIM900 para el envío y recepción de SMS de texto.

Para utilizar el módulo SIM900, se requieren configuraciones adicionales que optimizan el funcionamiento y acoplamiento con el módulo Arduino UNO, entre las cuales se menciona:

- 1) **Fuente de alimentación de la placa:** Para este proyecto se emplea la misma fuente proveniente del Arduino UNO.
- 2) **Configuración del puerto de comunicación:** este módem GSM/GPRS puede ser controlado por puerto serial físico del Arduino (Hardware), o por puerto serial virtual (Software), para este proyecto se seleccionó *Software Serial Port* (SWserial) a través del manejo de los pines D7 y D8 del Arduino UNO.

4.6.3. ENTORNO MÉDICO

a. RECEPCIÓN DE LAS MEDICIONES A TRAVÉS DE LA RED CELULAR, USANDO UN MÓDEM GSM/GPRS.

Para la recepción de las mediciones a través de la red celular, se emplean un segundo módem GSM/GPRS y módulo Arduino UNO. La recepción cuenta con dos modos de funcionamiento, el modo día y modo noche. Ya que es necesario disponer de un sistema que funcione las 24 horas del día para brindar un servicio de monitoreo en tiempo real.

Las configuraciones iniciales en cuanto a puertos seriales son similares a las realizadas en la primera parte del desarrollo del entorno del paciente.

Para esta sección del proyecto se declara un nuevo comando AT: “**AT+CNMI=2,2,0,0,0**”, el cual permite visualizar el SMS tan pronto como llega. Es decir, el software arranca automáticamente en modo día para la visualización del SMS. Por otra parte, para el modo noche se debe configurar el mismo comando CNMI, pero con distintos parámetros de la siguiente manera: “**AT+CNMI=3,3,0,0,0**”.

Una vez que se reciba y almacene el contenido del SMS de texto indistintamente de cual sea el modo de funcionamiento en el que se encuentre, se procede a filtrar el contenido del mismo para enviar hacia el computador únicamente los valores requeridos como son: el número de cédula del paciente, valor de glucosa y la fecha con hora en la que se realizó la medición.

Es necesario filtrar el contenido, pues a más del texto propio del SMS se almacena información adicional, como se muestra en la figura 4.16., en la que se visualiza el comando +CMT, el número de celular del cual se envió el SMS, la fecha y hora de envío de dicho mensaje de texto.

```
+CMT: "+593987057244", "", "14/05/09,14:13:52-20"  
§1756784326§354§53DA6B80#
```

Fig. 4.16.Información del SMS de texto en el modo día
Elaborado por: Andrea Sánchez

La figura 4.16., describe el SMS visualizado al llegar en el modo día. Y como se observa en la figura 4.17., se visualiza el comando +CMGR, acompañado del estado del SMS almacenado (READ o UNREAD), del número de celular remitente, la fecha y la hora en la que se envió el mensaje. El comando AT: “**AT+CMGR=index**”, permite leer los SMS almacenados en el módulo SIM900 durante el modo noche.

```
AT+CMGR=1  
  
+CMGR: "REC UNREAD", "+593987057244", "", "14/05/09,14:40:32-20"  
§1765453679§354§53DA6B80#
```

Fig. 4.17.Información del SMS de texto en el modo noche
Elaborado por: Andrea Sánchez

En ambos casos, para el filtrado del contenido del mensaje de texto, se utilizan los símbolos adicionales agregados en el SMS desde la parte del entorno del paciente siendo estos %-\$-&-#. Estos cuatro símbolos permiten discriminar la información válida de aquella que no es útil para el proyecto.

Tras el filtrado del mensaje, la información válida es:

(#C.I.) (valor_glucosa) (fecha_hora)

Por ejemplo: 1804321827 116 45BF3EAD; en la que se observa que cada valor está separado con un espacio en blanco.

Los mensajes de texto almacenados deben ser borrados después de haber sido leídos y transmitidos hacia la base de datos, para ello se emplea un nuevo comando AT: “**AT+CMGD=1,4**”; que permite eliminar todos los SMS q hayan sido recibidos.

b. INTERFAZ SERIAL PARA INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN ENTRE MÓDEM GSM/GPRS Y EL COMPUTADOR DEL MÉDICO.

La interfaz serial entre el módem GSM/GPRS y el computador del médico es la encargada de permitir el intercambio de información entre estos dos equipos, cumpliendo dos funciones específicas.

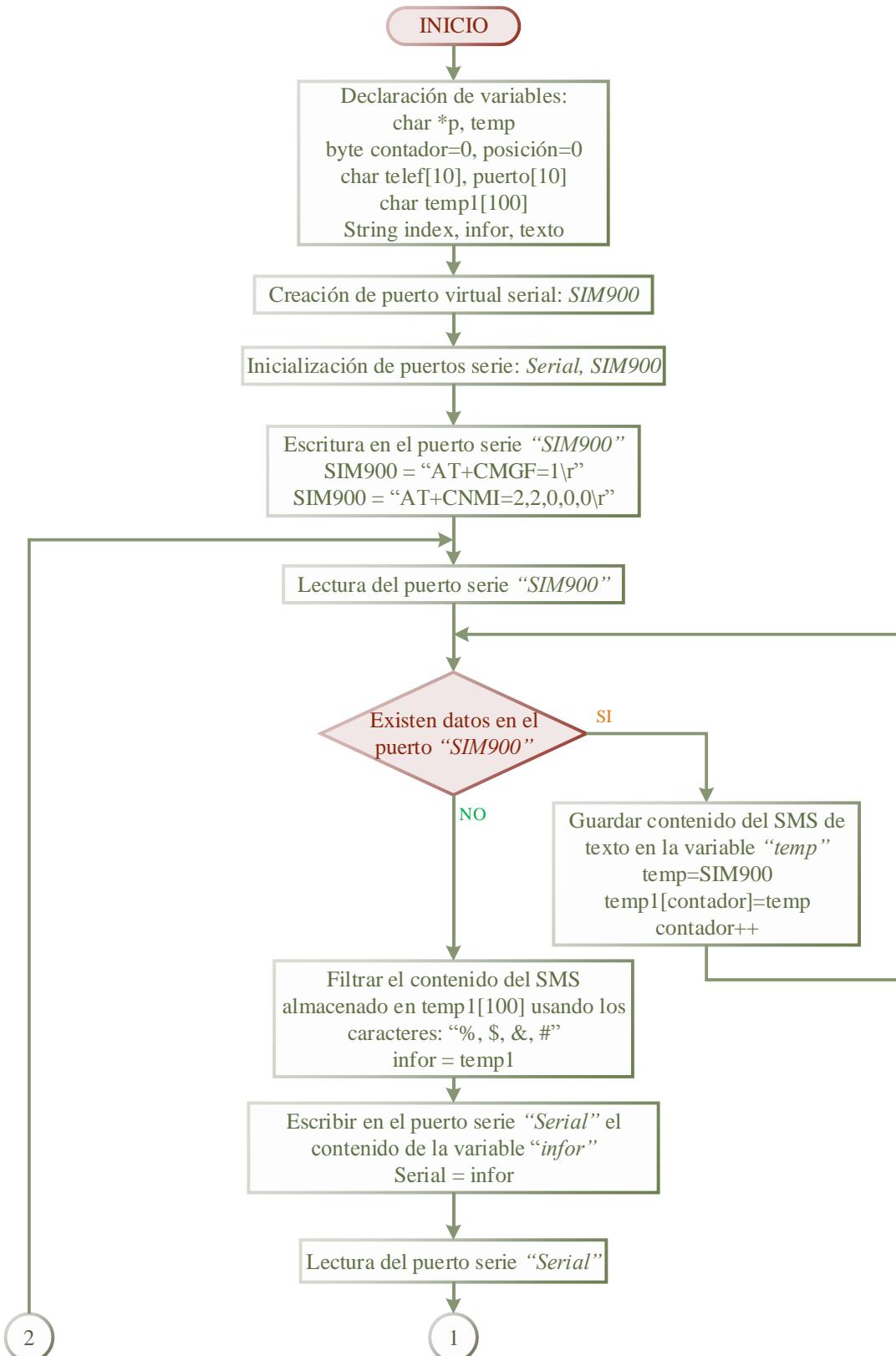
La primera función es enviar el número de cédula, el valor de glucosa y la fecha hacia el computador, para su posterior almacenamiento en la base de datos del sistema de Telemedicina.

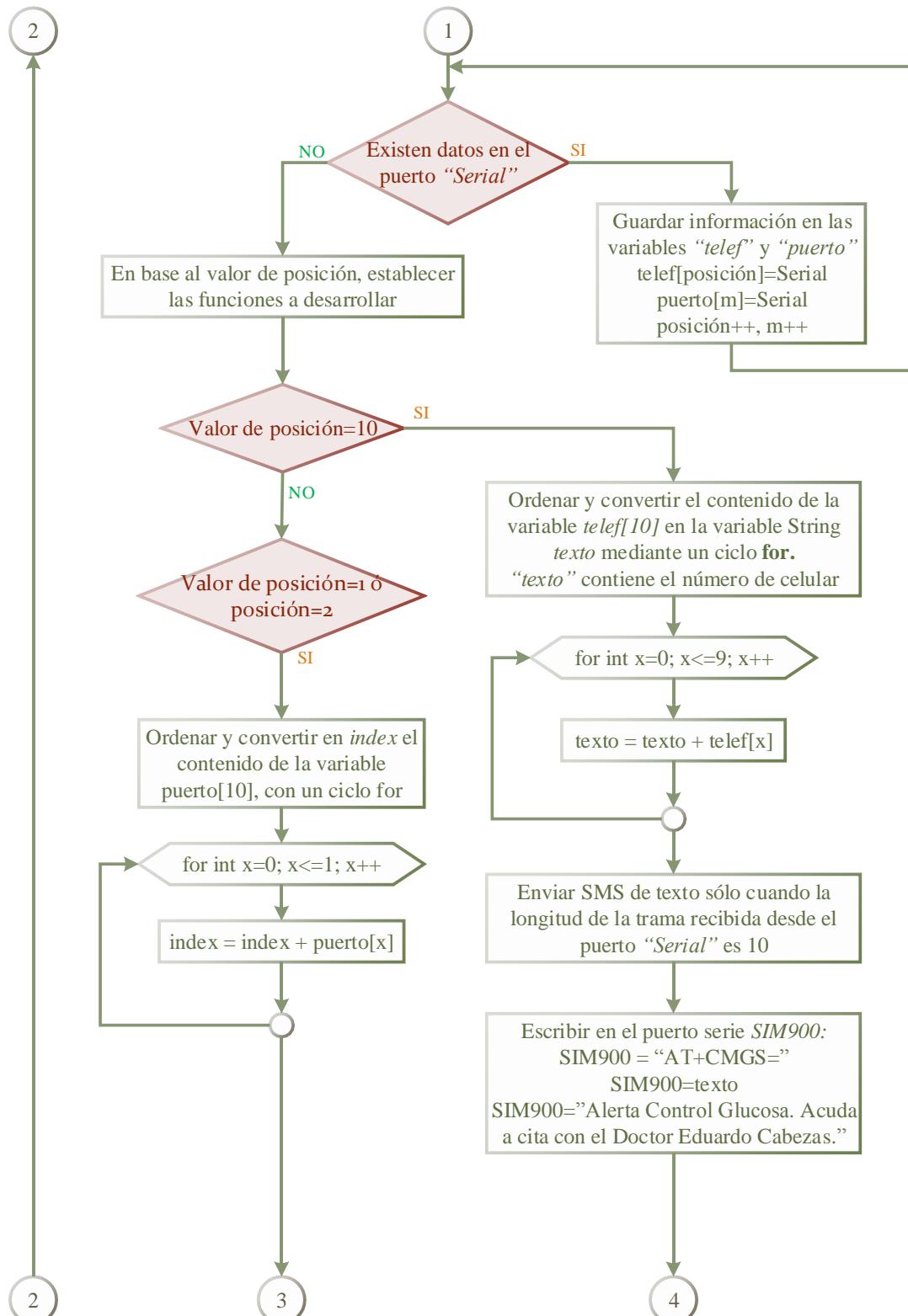
La otra función que desempeña es recibir información desde la interfaz serial del computador; ésta información corresponde al número de celular de un paciente, a quien es necesario notificarle que debe acudir a cita con el doctor de cabecera, porque existen problemas por niveles muy bajos o muy altos de su glucosa.

En otras palabras, una vez que se dispone del número de celular correspondiente al paciente, se procede al envío de un SMS, de una manera muy similar a como se realiza en el entorno del paciente.

Los procesos descritos en los apartados 4.6.3., sección a y b., correspondientes a la recepción de las mediciones a través de la red celular, usando un módem GSM/GPRS y la interfaz serial para intercambio de información entre módem GSM/GPRS y el computador del médico, son procesos que se repiten de manera indefinida, pues es necesario captar la información de cada mensaje de texto tan pronto como este llegue y almacenarlo en la base de datos.

El diagrama general de estos procesos está descrito en la figura 4.18.





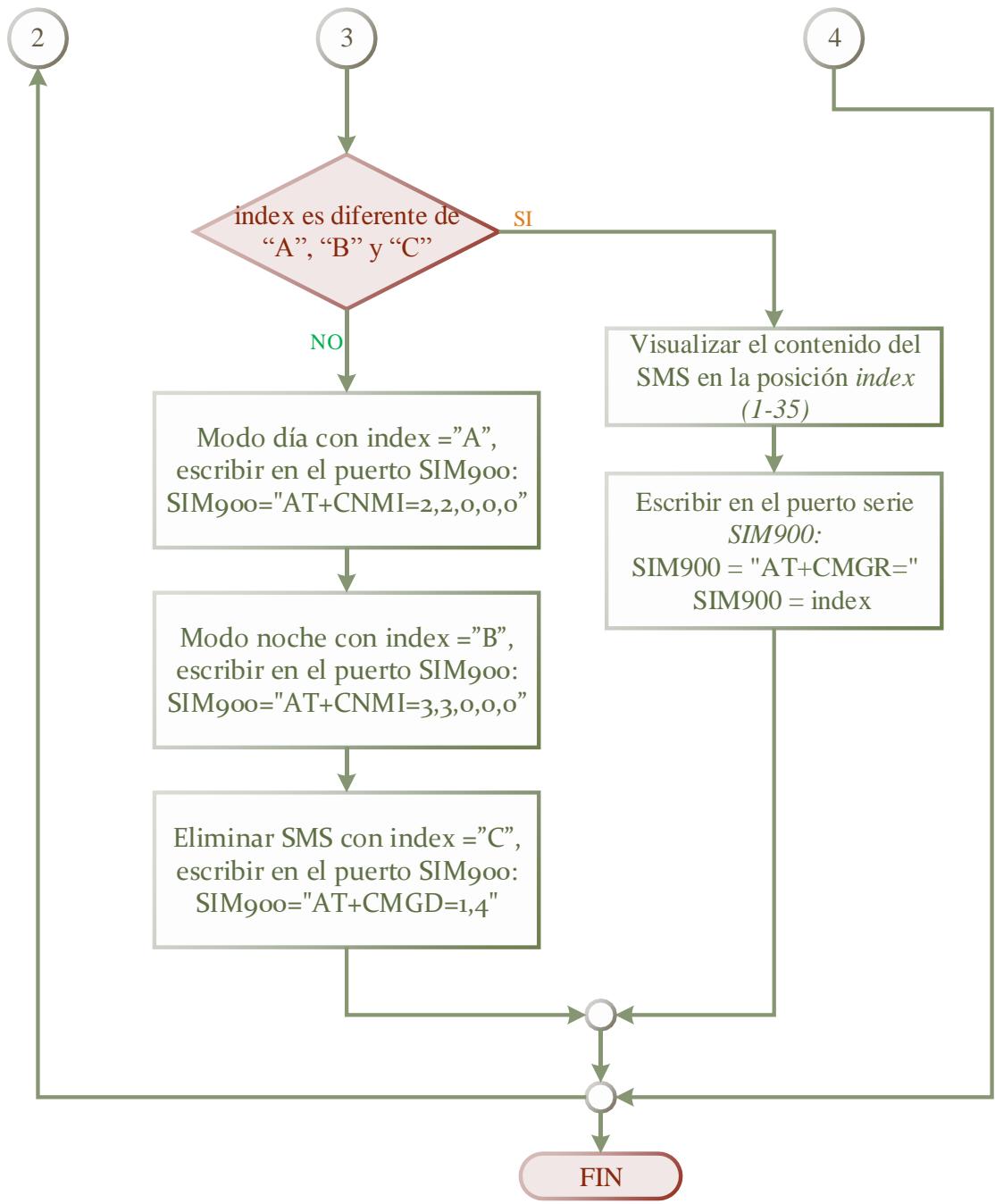


Fig. 4.18. Diagrama de Flujo general del desarrollo del Entorno Médico
Elaborado por: Andrea Sánchez

El código del programa del Entorno Médico desarrollado para el Módulo Arduino Uno está constituido por las siguientes partes:

- Declaración de Librerías y puertos seriales.
- Declaración e inicialización de variables.
- Inicialización de puertos seriales y de módem GSM/GPRS dentro de la función setup().
- Creación de la función SIM900power() para el encendido y apagado del módem GSM/GPRS.
- Creación de la función visualizarSMS(), para la visualización de los mensajes de texto tan pronto como estos sean recibidos.
- Creación de la función sendSMS(), para el envío de los mensajes de texto.
- Creación de la función principal loop(), dentro de la cual se ejecutan varios procesos, como por ejemplo:
 - o Lectura del puerto SIM900 para leer el contenido del mensaje de texto.
 - o Filtrado del contenido del SMS para su posterior transmisión al computador.
 - o Lectura del puerto Serial para leer los datos provenientes del computador.
 - o Determinación de los modos de funcionamiento: diurno, nocturno o de almacenamiento, y eliminación de todos los SMS recibidos.

El código detallado se muestra a continuación:

```
//-----//  
//CÓDIGO DEL ENTORNO MÉDICO  
#include<SoftwareSerial.h>//librería para comunicación serial  
SoftwareSerial SIM900(7,8); //puerto serial virtual en pines 7(Rx) y 8(Tx)  
//Declaración e inicialización de variables  
byte contador=0; //Variable para contador  
byte m=0; //Variable para contador  
byte posición=0; //Variable para contador  
char *p; //Variable para recortar cadenas  
charaux=0; //Variable para almacenar los datos del puerto serial de la PC  
chartemp=0; //Variable para almacenar los datos del puerto SIM900  
chartelef[10]; //Variable para almacenar el número de celular del paciente
```

```

char puerto[10]; //Variable para almacenar el índice para visualizar SMS y cambiar de modo
char temp1[100];//Variable para almacenar el contenido completo del SMS recibido
Stringindex; //Contiene el índice del SMS a visualizarse y el modo de funcionamiento
Stringinfor; //Variable usada para construir el cuerpo del SMS después del filtrado
String texto; //Almacena el número de celular del paciente en forma de cadena

//setup(), función que se ejecuta una sola vez
voidsetup()
{
    Serial.begin(9600); //Inicialización del Puerto serial para conexión con PC
    SIM900.begin(19200); //Inicialización del Puerto serial para módulo GSM SIM900
    SIM900power(); //Encender el módulo GSM/GPRS
    delay(5000);//tiempo para que el módulo se conecte a la red
    SIM900.print("AT+CMGF=1\r");//Comando AT para poner el módulo GSM en modo
    TEXTO
    delay(200);
    SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");//Comando AT para imprimir el SMS tan pronto
    como llega
    delay(200);
}

/*SIM900power(), función que reemplaza el botón para el encendido manual del SIM900 a
través del empleo del pin digital 9 del Arduino.*/
void SIM900power()
{
    digitalWrite(9, HIGH);//Poner el pin 9 en alto 2 segundos
    delay(2000);
    digitalWrite(9, LOW); //Poner el pin 9 en bajo 5 segundos
    delay(5000);
}

```

```

/*visualizarSMS(Stringindex), función que visualiza el contenido de los SMS almacenados
durante el modo de funcionamiento noche dependiendo del índice recibido en la variable index*/
voidvisualizarSMS(Stringindex)

{
    SIM900.print("AT+CMGR="); //Visualiza el SMS almacenado en la posición INDEX
    SIM900.print(index);
    SIM900.print("\r");
    delay(50);

}

/*sendSMS(String texto), función que envía un SMS al paciente para indicarle que existen
problemas con su nivel de glucosa, y que debe acudir a cita con el doctor. El número de celular
del paciente se recibe a través de la variable texto*/
voidsendSMS(String texto)//Función para enviar SMS de texto

{
    SIM900.print("AT+CMGS ="); //Comando AT para enviar SMS
    SIM900.print((char)34); //Código ASCII para el símbolo "
    SIM900.print(texto); //Número de celular enviado desde PC
    SIM900.println((char)34); //Código ASCII para el símbolo "
    delay(500);

    //Contenido del SMS de alerta para enviar a pacientes
    SIM900.println("ALERTA: Control de Glucosa. Acuda a cita con el doctor Eduardo
    Cabezas Cevallos.");
    delay(100);

    SIM900.println((char)26); // Finalizar comando AT con comando ^Z, ASCII código 26
    delay(100);
    SIM900.println();
    delay(4000); //Tiempo para enviar el SMS
}

/*loop(), función principal que se ejecuta continuamente durante el modo día y noche*/
voidloop()

```

```

{
//-----
//TRANSMITIR INFORMACIÓN (C.I., VALOR GLUCOSA, FECHA) DEL SMS HACIA
LA PC

Serial.flush(); //Comando flush limpia el buffer de almacenamiento.

//En espera de datos en el puerto SIM900

if(SIM900.available()) //Verifica si existen datos en el puerto serial

{
    while(SIM900.available()>0)//Almacena información mientras exista datos en el puerto
SIM900

    {
temp=SIM900.read();//Almacenar el contenido del puerto SIM900 en variable temp
temp1[contador]=temp;//Almacenar el contenido de temp en temp1
Serial.print(temp);

contador++;//incrementa el contador en 1
    }

/*Comando strtok usado para recortar cadenas de caracteres y permitir el filtrado del SMS para
mostrar únicamente el C.I., valor de glucosa y fecha de medición discriminando el resto de
información*/
p = strtok(temp1, "%");//Recorta el contenido de temp1 al encontrar el carácter %
p = strtok(NULL, "$");//Recorta el contenido de temp1 al encontrar el carácter $
infor=p; //Almacenar contenido de p en variable Stringinfor

p = strtok(NULL, "&");//Recorta el contenido de temp1 al encontrar el carácter&
infor=infor + " "; //Agrega un espacio entre cada valor
infor=infor+p; //Agrega el contenido de p a la variable Stringinfor

p = strtok(NULL, "#");//Recorta el contenido de temp1 al encontrar el carácter #
infor=infor + " "; //Agrega un espacio entre cada valor
infor=infor+p; //Agrega el contenido de p a la variable Stringinfor

p=strtok(NULL, "#");//Descarta el contenido del SMS a partir del carácter #
Serial.println(infor); //Imprime el contenido del SMS en el puerto serial del PC
contador=0;
}

```

```

//Encerar variables
infor="";//limpia el contenido de la variable Stringinfor
for(int i=0;i<=100;i++)
{
infor[i]=temp1[i]=NULL;//limpia el contenido de la variable infor
}
//-----
//RECIBIR DATOS DESDE PUERTO SERIAL DE LA PC
Serial.flush(); //Flush limpia el contenido del buffer
//En espera por datos en el puerto Serial
if(Serial.available())//Comprueba si existe datos en el puerto serial
{
while (Serial.available()>0)//Almacena información mientras exista datos en el puerto serial
{
delay(5); //Tiempo para evitar pérdida de información
aux=Serial.read(); //Almacena en la variable aux el contenido del puerto Serial
telef[posición]=aux; //Almacena el valor de la variable aux en telef, es decir el
//número de celular del paciente
puerto[m]=aux; //Almacena el valor de la variable aux en puerto, para conocer el
//índice del SMS a visualizar y el modo de funcionamiento del sistema
m++; //Incrementa en 1 por cada carácter leído
posición++; //Incrementa en 1 por cada carácter leído
}
/*Condición if, que permite conocer el modo de funcionamiento: diurno o nocturno, y
permite visualizar el SMS en determinada posición al llamar a la función visualizarSMS*/
if(posición==1 || posicion==2)
{
for(int x=0; x<=1; x++)
{
index.concat(puerto[x]); //Ordena el contenido de puerto para conocer el índice del
SMS
}
}

```

```

//Condiciona para evitar confusión entre modo de funcionamiento y el índice del SMS
if(index=="A" || index=="B" || index=="C")
{
    m=0; //Encerar variable
    posición=0; //Encerar variable
}

/*Condición if, para imprimir el contenido del SMS cuando se reciba números entre el 1 y 35,
caso contrario la información que se disponga corresponde al modo de funcionamiento*/
if(index!="A" && index!="B" && index!="C")
{
    visualizarSMS(index); //Función para imprimir el contenido del SMS en la posición index
    m=0; //Encerar variables
    index=""; //Encerar variables
}

posición=0;
puerto[0]=NULL;
puerto[1]=NULL;
}

/*Comprueba si se recibieron datos en el puerto serial con longitud del número
de celular (10) del paciente a quien se le envía el SMS de alerta*/
if(posicion==10)
{
    for(int x=0; x<=9; x++)
    {
        texto.concat((char)telef[x]); //Convierte los datos de telef en una cadena de caracteres
    }
    sendSMS(texto); //Llama a la función sendSMS(texto), para enviar al paciente el SMS de
    alerta
    Serial.println("SMS enviado");
    texto=""; //Limpia el contenido de la variable String texto
    for(int i=0;i<=9;i++)
}

```

```

{
    texto[i]=telef[i]=puerto[i]=NULL;//limpia la variable texto
}
posición=0; //Encera variable
m=0; //Encera variable
}

//-----//  

/*Modos de funcionamiento:  

- A, funciona en el modo diurno o de recepción, es decir que visualiza el contenido de los SMS tan pronto como estos lleguen.  

- B, funciona en el modo nocturno o de almacenamiento, es decir que durante este modo de operación todos los SMS recibidos serán almacenados para posteriormente ser leídos.  

- C, permite borrar todos los SMS recibidos durante el modo nocturno o de almacenamiento.*/
if(index=="A") //Modo diurno
{
    SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r"); //Comando AT que visualiza los SMS tan pronto como llegan
    delay(100);
    index=""; //Encera el contenido de index
}

if(index=="B") //Modonocturno
{
    SIM900.print("AT+CNMI=3,3,0,0,0\r"); //Comando AT que almacena los SMS que lleguen
    delay(100);
    index=""; //Encera el contenido de index
}

if(index=="C") //Borra todos los SMS almacenados

```

```

{
    SIM900.println("AT+CMGD=1,4"); //Comando AT para borrar todos los SMS
    almacenados
    delay(100);
    index=""; //Encera el contenido de index
}
}

```

c. INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA (HMI)

Finalmente la etapa de la interfaz Hombre-Máquina (HMI), es la encargada de adquirir la información recibida del módulo GSM/GPRS, mediante la interfaz serial. En esta etapa a más de la interfaz diseñada en Visual Studio C# se trabajó con una base de datos propia del mismo software, conocida como SQL Compact Edition.

En otros términos, el HMI está compuesto por la base de datos que es la encargada de guardar la información de las mediciones, y la interfaz que extrae los datos desde el módem permitiéndole también al usuario, que en este caso es el doctor especialista, monitorear la información de sus pacientes.

BASE DE DATOS

La base de datos fue diseñada acorde a las necesidades del Sistema de Telemedicina, en base al modelo entidad relación que se muestra en la figura 4.19; en donde los rectángulos representan a las entidades u objetos de los que se almacenarán datos, en este caso de doctores, paciente, hemoglobina, creatinina, úrea y glucosa.

La relación entre estas entidades está representada con los rombos. Por último cada una de las entidades presenta atributos o características propias de cada una, dentro de óvalos de atributo.

En la figura 4.18., también se identifica claramente que el Modelo Entidad/Relación (E/R), es un Modelo 1 a varios (1:N), en el que un doctor puede estar asociado a varios pacientes, y cada paciente puede estar relacionado con varias mediciones, sean estas de glucosa, úrea, hemoglobina o creatinina.

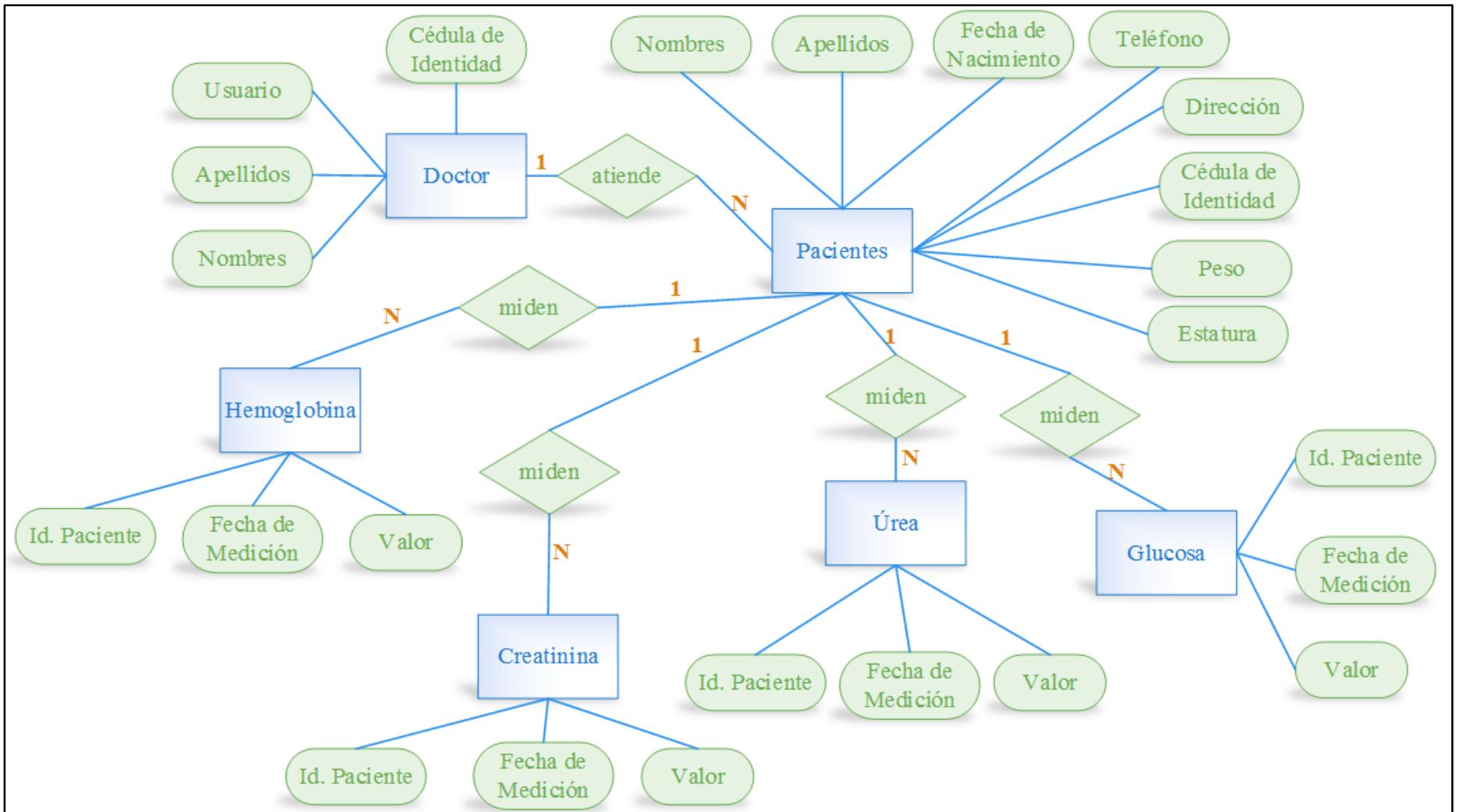


Fig. 4.19. Modelo Entidad-Relación del Sistema de Telemedicina para el Entorno Médico
Elaborado por: Andrea Sánchez

A partir del modelo entidad-relación de la figura 4.18., se crearon seis tablas que constituyen el origen de la base de datos, las cuales se detallan a continuación:

a) Tabla Médico

Contiene información del doctor especialista, como el número de cédula de identidad, nombres, apellido, un usuario, clave para ingresar al sistema y el e-mail.

b) Tabla Paciente

Contiene la información detallada de cada uno de los pacientes como: cédula de identidad, nombres, apellidos, sexo, peso, estatura, dirección, teléfono convencional y celular, fecha de nacimiento y un e-mail. Además el valor máximo y valor mínimo de glucosa.

c) Tabla Glucosa

Contiene el valor de glucosa y la fecha de medición. Esta tabla está relacionada con la tabla paciente mediante un identificador que permite enlazar la información a cada paciente.

d) Tabla Úrea

Contiene el valor de úrea y la fecha de medición. Esta tabla está relacionada con la tabla paciente mediante un identificador que permite enlazar la información a cada paciente.

e) Tabla Creatinina

Contiene el valor de creatinina y la fecha de medición. Esta tabla está relacionada con la tabla paciente mediante un identificador que permite enlazar la información a cada paciente.

f) Tabla Hemoglobina

Contiene el valor de hemoglobina y la fecha de medición. Esta tabla está relacionada con la tabla paciente mediante un identificador que permite enlazar la información hemoglobina a cada paciente.

Las seis tablas relacionadas entre sí, se muestra en la figura 4.20, donde se puede observar claramente las entidades y atributos de cada entidad.

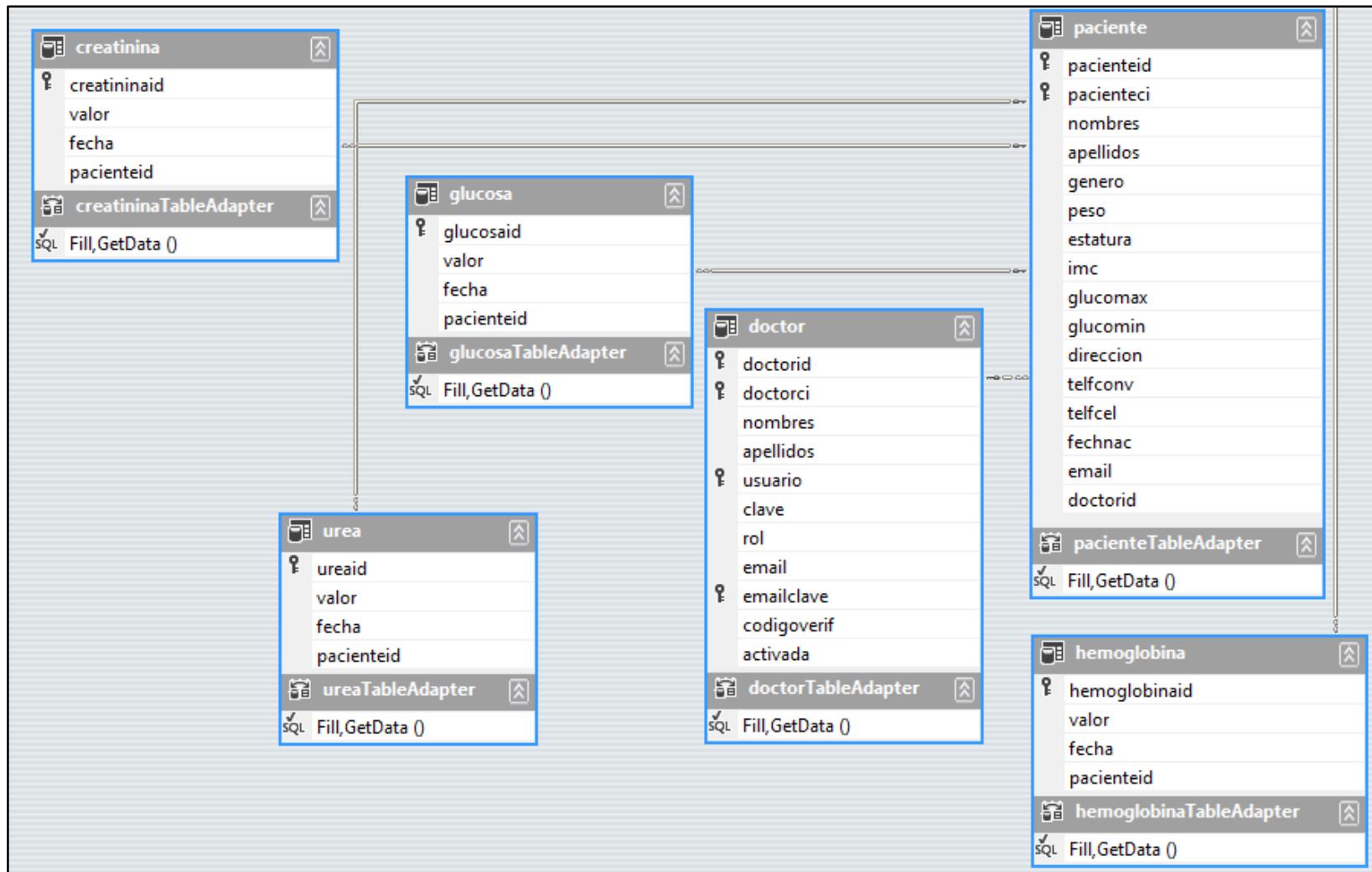


Fig. 4.20. Tablas de la Base de Datos del Sistema de Telemedicina
Elaborado por: Andrea Sánchez

Diseño de la Interfaz de Usuario

Para la recepción y envío de mensajes de texto a través de la red móvil usando el módem GSM/GPRS para obtener información de cada uno de los pacientes de la Unidad Médica, se desarrolló la interfaz de usuario para el entorno médico empleando el software llamado Visual Studio C# 2012; el cual está encargado de cumplir las siguientes funciones:

- Establece la comunicación serial con el Arduino UNO para obtener los SMS almacenados y los que son recibidos en tiempo real en el módem GSM/GPRS.
- Toma el contenido del SMS recibido, divide el contenido en variables (cédula de identidad, glucosa, fecha), y clasifica la información de acuerdo al identificativo de cada paciente (cédula de identidad), asignando el valor de glucosa y la fecha de medición a la base de datos.
- Genera alertas por niveles de glucosa fuera del rango establecido, para lo cual envía por el puerto serial el número de celular del paciente a quien se le debe notificar que existe problemas con su glucosa.
- Le permite al doctor enviar correos electrónicos a los pacientes, con alguna sugerencia o para recordarles que deben acudir a cita médica.
- Cambia automáticamente el modo de funcionamiento del Arduino, entre modo día y modo noche, cada vez que se inicie y finalice la aplicación.
- Permite generar respaldos de la base de datos mediante el envío de un correo electrónico.
- Permite generar reportes en forma de resumen de los pacientes, acorde a las necesidades del doctor y el paciente.

Interfaz del Usuario del Sistema

En forma general, la interfaz del software cuenta con una ventana de inicio de sesión, y la ventana principal que contiene todas las funciones que desarrolla la interfaz.

Para iniciar sesión en el sistema, el doctor deberá escribir su usuario y contraseña, caso contrario registrarse para poder usar el sistema, tal como se muestra en la figura 4.21.

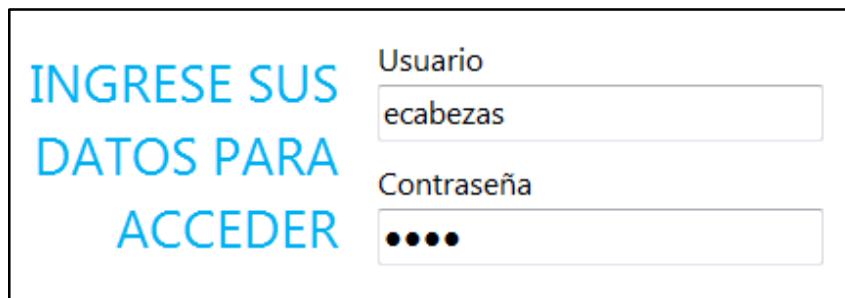


Fig. 4.21. Ventana de Inicio de Sesión para utilizar el software
Elaborado por: Andrea Sánchez

Existe una ventana que permite observar un resumen de los últimos SMS recibidos y las alertas generadas. La misma también permite seleccionar el puerto COM del Arduino, tal como se observa en la figura 4.22.



Fig. 4.22. Ventana de Selección del puerto COM y visualización de lo SMS
Elaborado por: Andrea Sánchez

La interfaz dispone también de 11 botones que permite realizar varias funciones como registrar pacientes y doctores, visualizar un resumen de las mediciones de los pacientes, mostrar la lista de registros, visualizar los valores de hemoglobina, úrea y creatinina

almacenados. De la misma forma, se puede visualizar los valores de glucosa que se recibieron en un mensaje de texto. Finalmente, las funciones adicionales como: Enviar Correo con sugerencias del doctor y la opción Importar Datos cuando se requiera recuperar datos desde un respaldo, tal y como se observa en la figura 4.23.



Fig. 4.23. Botones para todas las funciones del Sistema
Elaborado por: Andrea Sánchez

Cada uno de los botones descritos en la figura 4.22, abren una ventana emergente que permite cumplir con la función especificada.

El funcionamiento del software se explica detalladamente en los algoritmos mostrados en las figuras 4.24., 4.25., 4.26., 4.27., y 4.28.

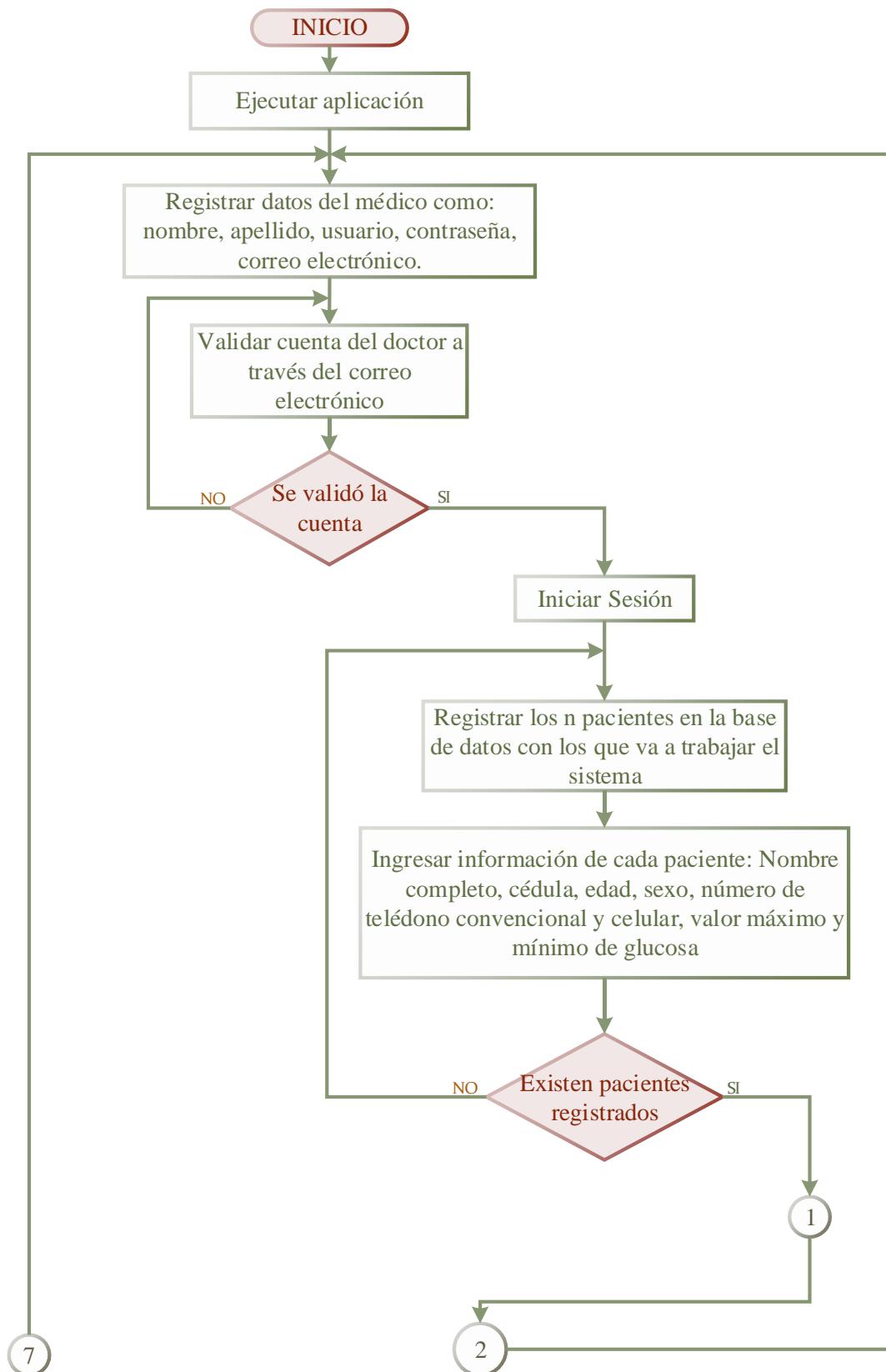


Fig. 4.24. Diagrama de Flujo del Registro de Doctores y Pacientes
Elaborado por: Andrea Sánchez

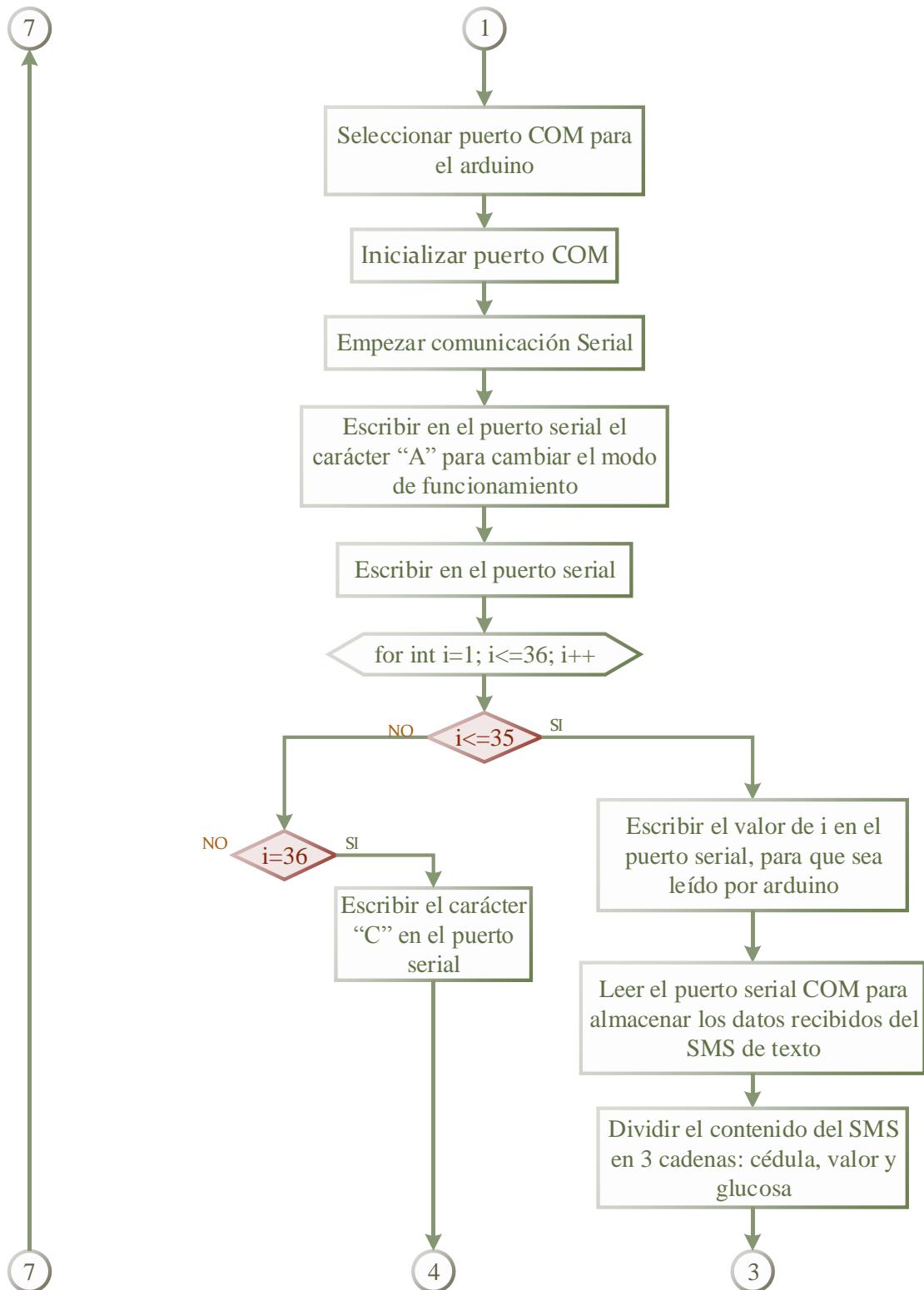


Fig. 4.25. Diagrama de Flujo de la Lectura de los SMS almacenados en el módulo GSM/GPRS SIM900 (parte 1)
Elaborado por: Andrea Sánchez

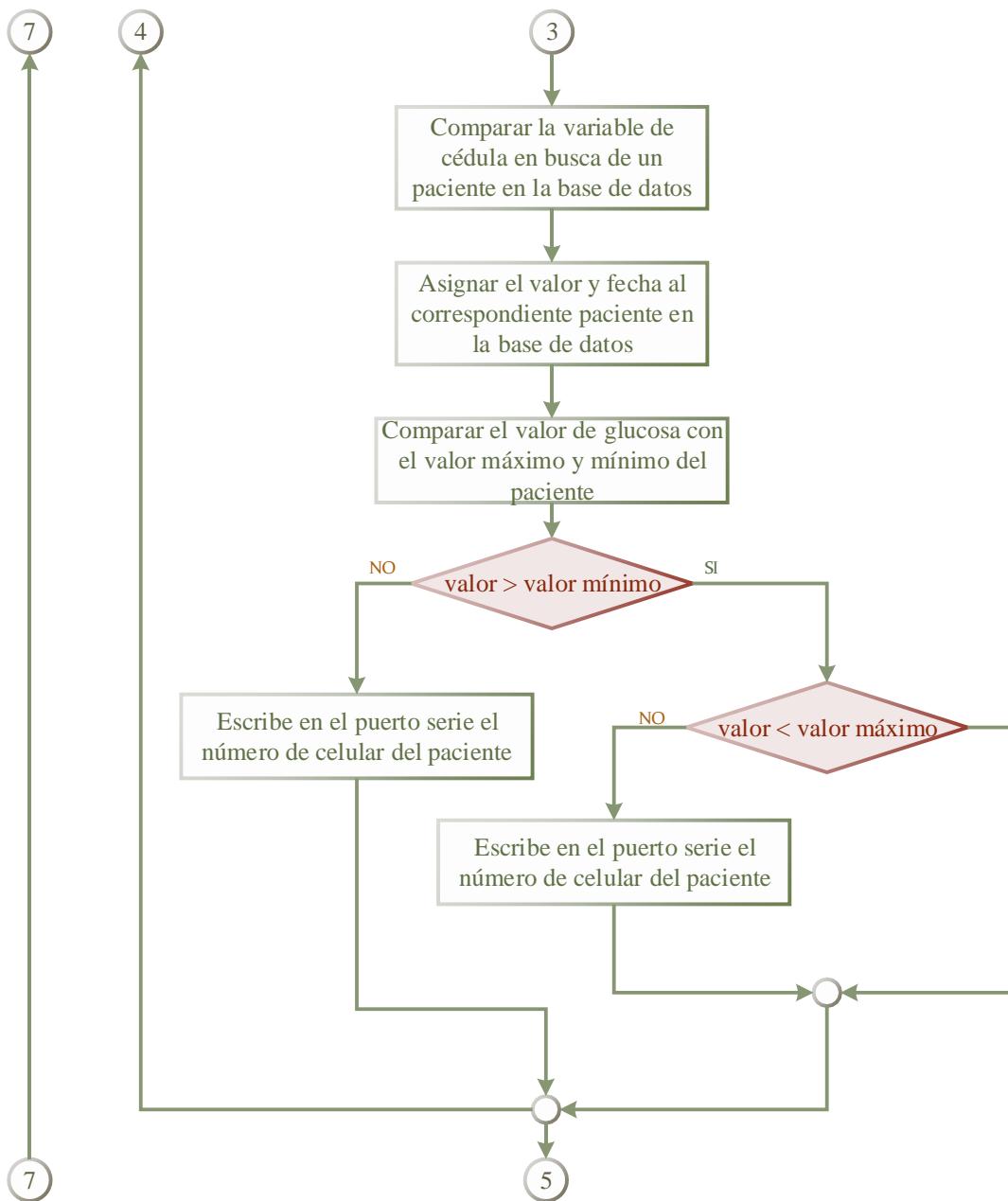


Fig. 4.26. Diagrama de Flujo de la Lectura de los SMS almacenados en el módulo GSM/GPRS SIM900 (parte 2)
Elaborado por: Andrea Sánchez

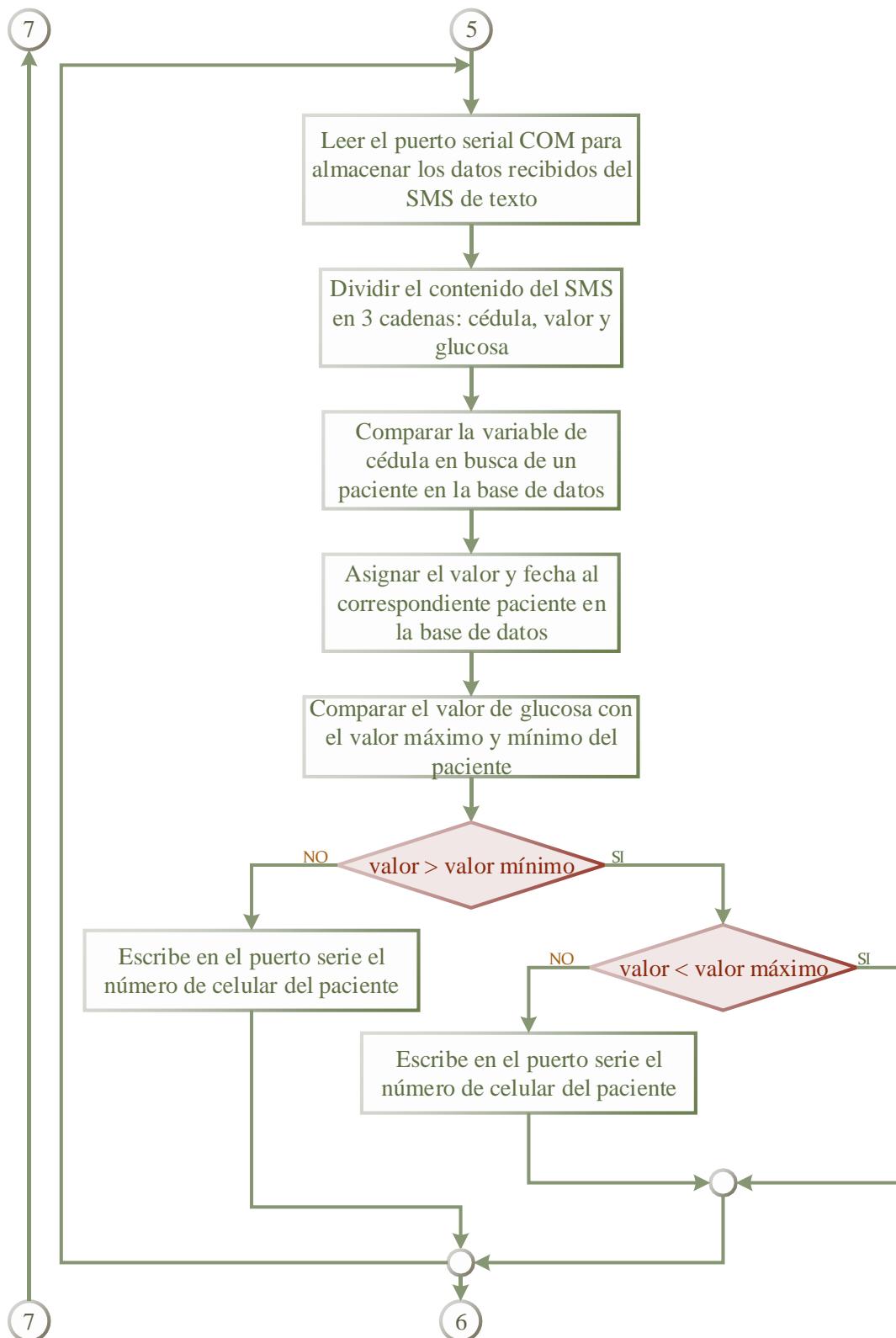


Fig. 4.27. Diagrama de Flujo de la Lectura en tiempo real de los SMS que llegan al módulo GSM/GPRS SIM900
Elaborado por: Andrea Sánchez

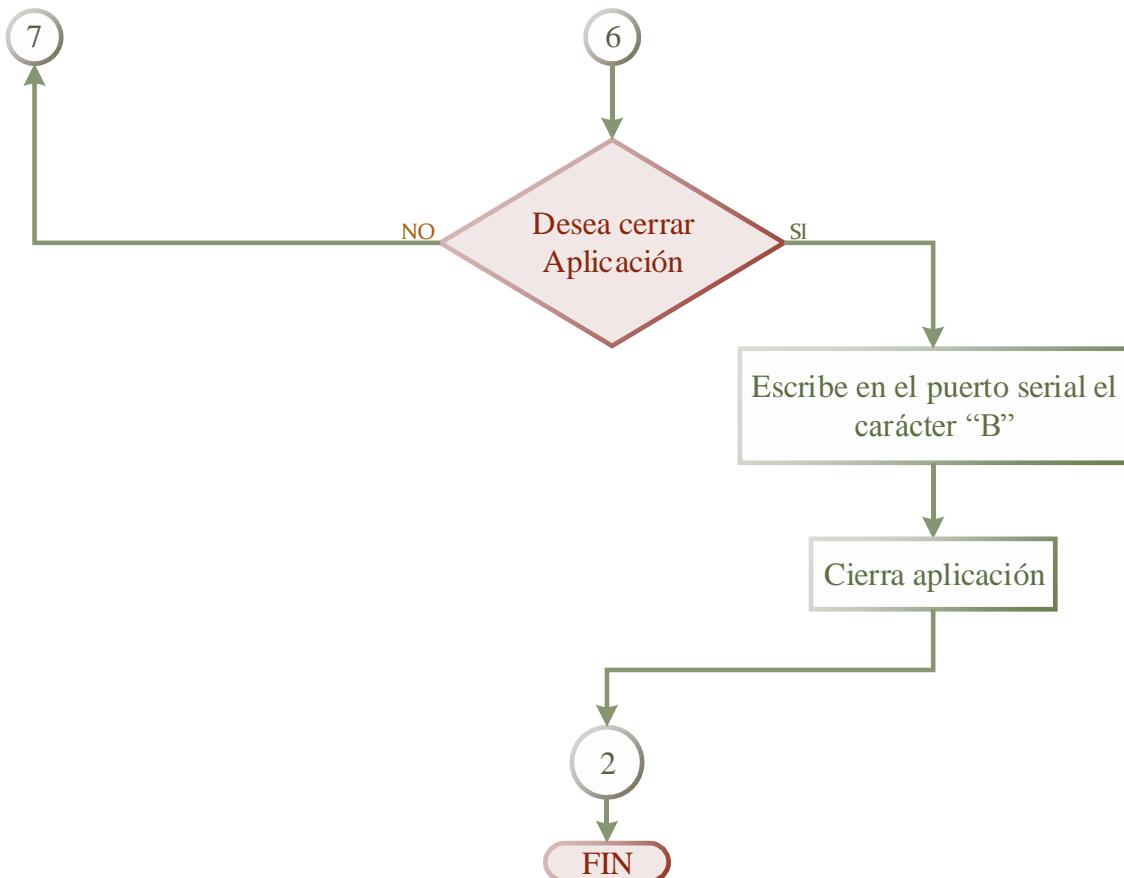


Fig. 4.28. Diagrama de Flujo de Cierre de Sesión/Aplicación
Elaborado por: Andrea Sánchez

Los diagramas de flujo anteriores muestran en detalle el funcionamiento de la interfaz máquina - hombre, desde el inicio de la aplicación hasta el cierre; desglosando las funciones principales como lo son: registrar doctores y pacientes cada uno con la información básica e indispensable para la base de datos del sistema.

La lectura de los mensajes de texto almacenados en el módulo GSM/GPRS SIM900 durante el modo de trabajo de almacenamiento que opera durante la noche es otra función del software, la misma que paralelamente trabaja con la función de lectura de los mensajes en tiempo real que lleguen al módulo GSM/GPRS.

En ambos casos, el programa internamente clasifica la información recibida y la asigna al paciente correspondiente, cotejo que hace en base al número de cédula del paciente.

Cabe mencionar que una vez que compara la cédula, verifica también el valor de glucosa para saber si éste valor se encuentra dentro de los rangos, caso contrario enviará vía puerto serial el número de celular del paciente.

4.7. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

La implementación de la propuesta está conformada por el prototipo para el entorno del paciente y para el entorno médico. Cada elemento de la implementación se detalla en los apartados 4.7.1, y 4.7.2.

4.7.1. ENTORNO DEL PACIENTE

Para la implementación del prototipo del Sistema de Telemedicina en el entorno del paciente, se utiliza un glucómetro OneTouch UltraMini, un Arduino UNO, un módem GSM/GPRS SIM900, una placa de conexiones y un cable de datos. La interconexión entre cada uno de estos elementos se detalla en la figura 4.29.



Fig. 4.29. Elementos para la implementación del Sistema de Telemedicina en el entorno del Paciente

Elaborado por: Andrea Sánchez

El dispositivo electrónico descrito en la figura 4.29., está conformado por un módulo Arduino Uno, un módem GMS/GPRS SIM900 y una placa con un circuito electrónico, montados uno sobre otro como se muestra en la figura 4.30., donde se visualizan sus componentes.



Fig. 4.30. Componentes del Dispositivo Electrónico del Entorno del Paciente

Elaborado por: Andrea Sánchez

La placa electrónica fue diseñada con la finalidad de alimentar el Arduino Uno y el Módem GSM/GPRS usando una batería. Además, la placa permite la conexión con el glucómetro a través del puerto de datos usando un plug estéreo hembra de 3.5mm.

Adicionalmente se han colocado dos leds, uno rojo y uno verde. El led de color rojo indica que el dispositivo electrónico está encendido, mientras que el led de color verde muestra que el proceso de lectura y envío de la información del glucómetro ha concluido.

El esquemático de la placa electrónica se observa en la figura 4.31., cabe recalcar que el diseño fue realizado con la finalidad de montarla sobre el módem GSM/GPRS y el Arduino UNO.

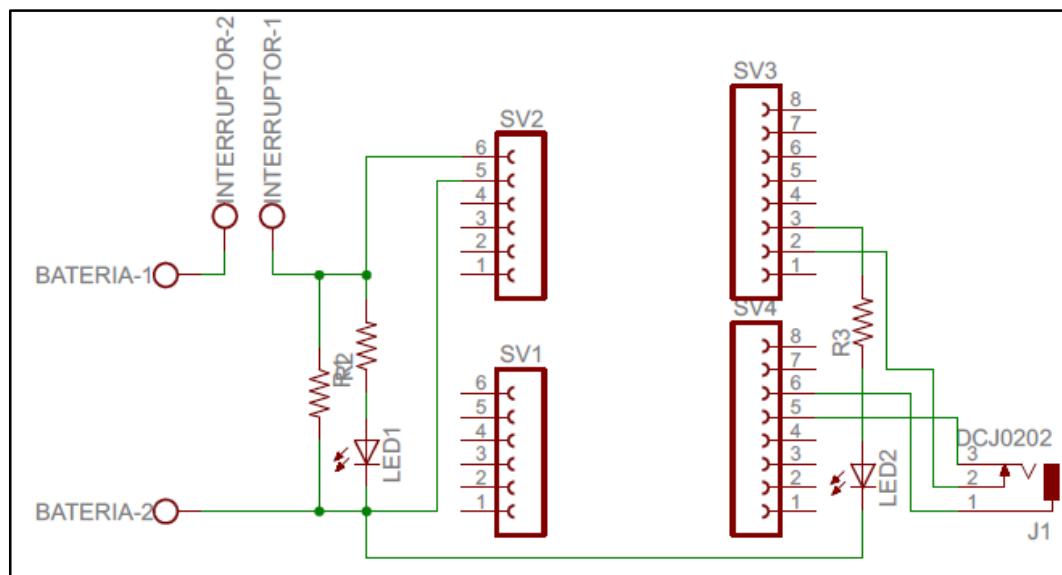


Fig. 4.31. Esquemático de la Placa Electrónica de Conexiones
Elaborado por: Andrea Sánchez

Con el esquemático se procedió a la distribución de los elementos empleados, entre los que se mencionan: leds, header, resistencias y un plug estéreo de 3,5mm hembra como se puede identificar en la figura 4.32.

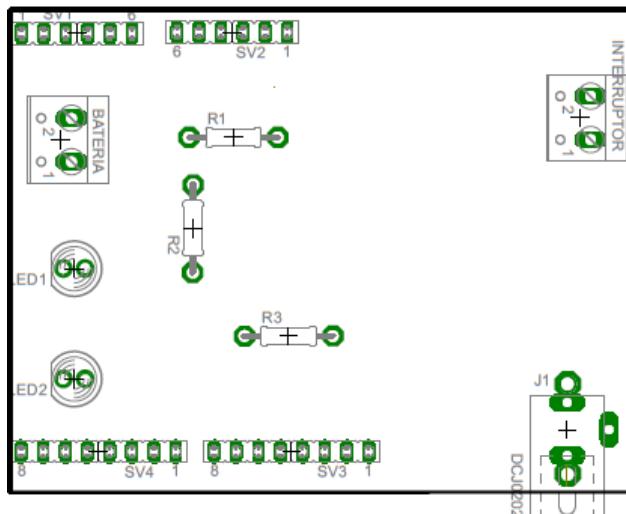


Fig. 4.32.Distribución de elementos de la Placa Electrónica de Conexiones
Elaborado por: Andrea Sánchez

El diagrama de pistas de la placa se muestra en la figura 4.33., en donde se puede observar las distintas conexiones de los elementos descritos con anterioridad.

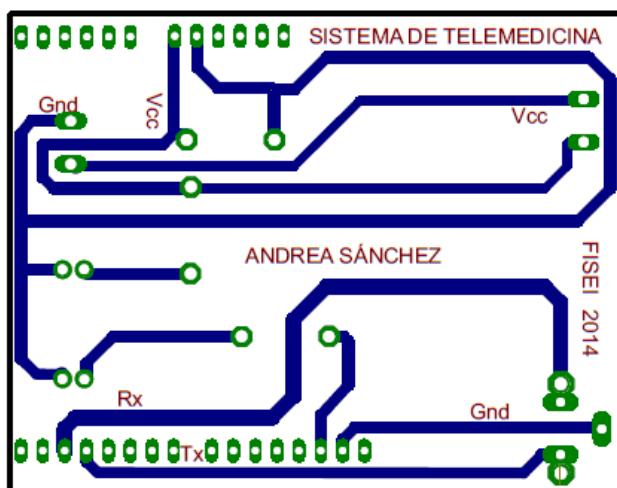


Fig. 4.33.Diagrama de Pistas de la Placa Electrónica de Conexiones
Elaborado por: Andrea Sánchez

El prototipo del Sistema de Telemedicina para el entorno del paciente, implementado en su totalidad se puede observar en la figura 4.34., donde el dispositivo electrónico fue colocado dentro de una caja que permite la protección de los elementos electrónicos y la alimentación a través del empleo de una batería de 9.

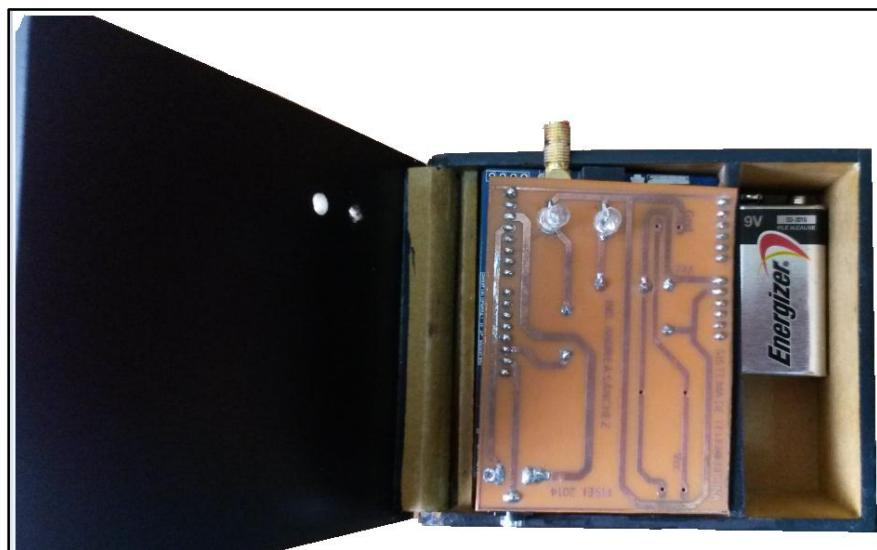


Fig. 4.34. Prototipo del Sistema de Telemedicina para el Entorno del Paciente
Elaborado por: Andrea Sánchez

En la figura 4.35., se puede observar el glucómetro OneTouch UltraMini conectado al prototipo del Sistema de Telemedicina.

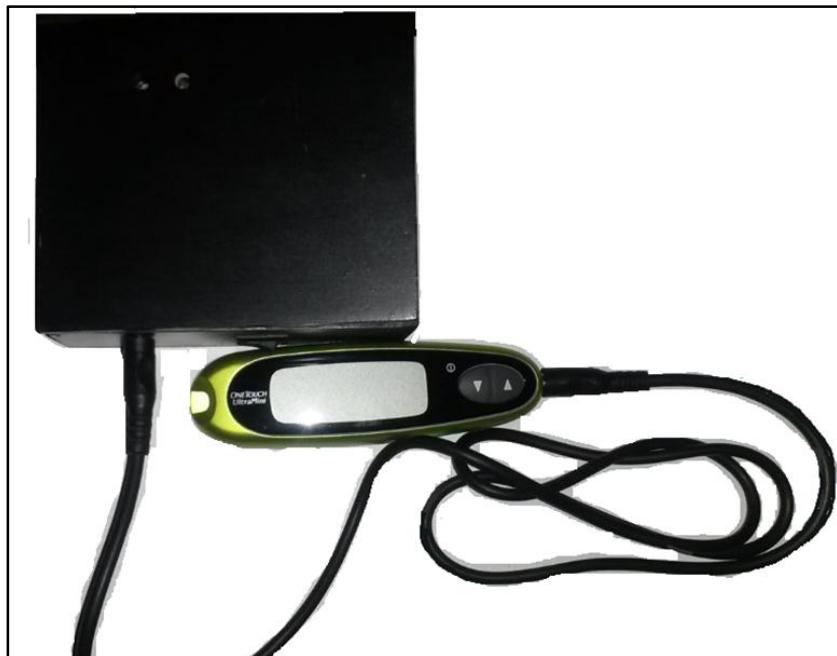


Fig. 4.35. Prototipo del Sistema de Telemedicina para el Entorno del Paciente
Elaborado por: Andrea Sánchez

Para el correcto manejo del Prototipo del Sistema de Telemedicina para el entorno del Paciente, se ha creado un Manual de Usuario el cual puede observarse en el **Anexo 1**. Dicho manual está constituido por las siguientes partes:

- ✓ Introducción
- ✓ Objetivo del Manual
- ✓ Recomendaciones
- ✓ Guía de Uso, es la parte más importante del manual ya que en esta sección se explica paso a paso el manejo del prototipo del Sistema de Telemedicina.
- ✓ Sugerencias
- ✓ Solución de Problemas
- ✓ Preguntas Frecuentes
- ✓ Soporte Técnico

4.7.2. ENTORNO MÉDICO

Para la implementación del prototipo del Sistema de Telemedicina en el entorno del médico se utiliza un Arduino UNO, un módem GSM/GPRS SIM900, un cable USB AB, y un computador. En el computador se instaló la aplicación de la interfaz Hombre – Máquina desarrollada en Visual C#. La interconexión entre cada uno de estos elementos se detalla en la figura 4.35.



Fig. 4.36. Elementos para la implementación del Sistema de Telemedicina en el Entorno Médico

Elaborado por: Andrea Sánchez

El dispositivo electrónico usado en el entorno médico está integrado por un módulo Arduino UNO y un módem GSM/GPRS SIM900 como se visualiza en la figura 4.37.



Fig. 4.37.Componentes del Dispositivo Electrónico del Entorno Médico
Elaborado por: Andrea Sánchez

El prototipo del Sistema de Telemedicina para el entorno médico, implementado en su totalidad se puede observar en la figura 4.38.



Fig. 4.38.Prototipo del Sistema de Telemedicina para el Entorno Médico
Elaborado por: Andrea Sánchez

Para el correcto manejo del Prototipo del Sistema de Telemedicina para el Entorno Médico, se ha creado un Manual de Usuario el cual puede observarse en el **Anexo2**. Dicho manual está constituido por las siguientes partes:

- ✓ Introducción
- ✓ Objetivo del Manual
- ✓ Recomendaciones y Sugerencias antes de Usar el Sistema.
- ✓ Preparación del Computador para el Software del Sistema de Telemedicina, se explica cómo instalar los drivers del módulo Arduino UNO y el Software del Sistema.
- ✓ Guía de Uso, es la parte más importante del manual ya que en esta sección se explica paso a paso el manejo del Software del prototipo del Sistema de Telemedicina.
- ✓ Solución de Problemas
- ✓ Preguntas Frecuentes
- ✓ Soporte Técnico

4.8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.8.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN EL ENTORNO DEL PACIENTE

Para realizar pruebas de funcionamiento del Entorno del Paciente, se configuró el número de celular del investigador, para que cada medición sea enviada al celular del investigador. Además, se indica que para las pruebas de funcionamiento se utilizaron dos glucómetros OneTouch UltraMini.

A continuación se detallan pruebas en todos los escenarios posibles que pueden existir, con la finalidad de corregir errores que puedan presentarse al usar el dispositivo electrónico.

PRUEBA 1

Enviar la medición de glucosa de 88 mg/dl con la fecha 12/mayo/2014 a las 17:10, que está almacenada en la memoria del glucómetro como se observa en la figura 4.39.



Fig. 4.39. Medición de 88mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini
Elaborado por: Andrea Sánchez

Al conectar el glucómetro al dispositivo electrónico, conformado por el Arduino UNO y el módem GSM/GPRS, se envió el mensaje de texto con la información del paciente, es decir el número de cédula, el valor de la medición y la fecha. De acuerdo a la figura 4.40., estos parámetros son:

- Cédula del paciente: 1714152004
- Valor de Glucosa: 88mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 53710093, que en formato fecha corresponde al 12 de mayo de 2014 a las 17:10.

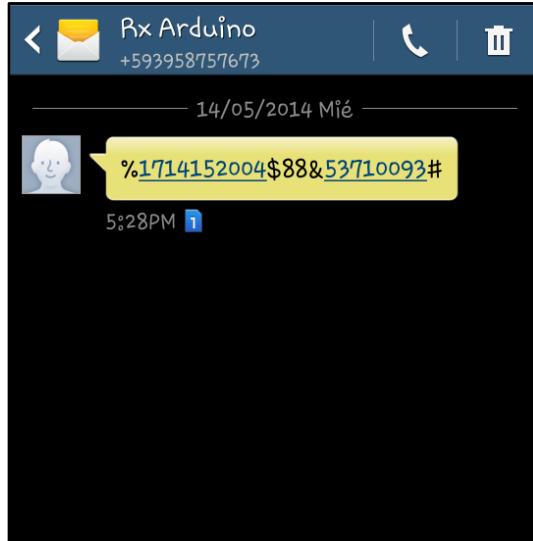


Fig. 4.40. Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS
Elaborado por: Andrea Sánchez

Adicionalmente, como se observa en la figura 4.40., cada valor está separado con un carácter como se explicó anteriormente.

PRUEBA 2

Enviar la medición de glucosa de 392 mg/dl con la fecha 24/abril/2014 a las 19:53, que está almacenada en la memoria del glucómetro como se observa en la figura 4.41.



Fig. 4.41. Medición de 392mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini
Elaborado por: Andrea Sánchez

En la prueba 2 y como se observa en la figura 4.42., los valores que se recibieron en el celular del Investigador son:

- Cédula del paciente: 1714152004
- Valor de Glucosa: 392mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 6446DE27, que en formato fecha corresponde al 24 de abril de 2014 a las 19:53.

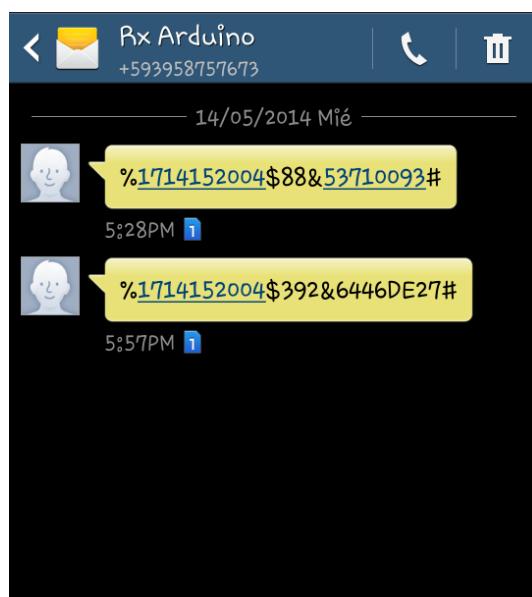


Fig. 4.42. Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS
Elaborado por: Andrea Sánchez

PRUEBA 3

Enviar la medición de glucosa de 91 mg/dl con la fecha 17/junio/2014 a las 22:23, que está almacenada en la memoria del glucómetro como se observa en la figura 4.43.



Fig. 4.43. Medición de 91 mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini
Elaborado por: Andrea Sánchez

En la prueba 3 y como se observa en la figura 4.44., los valores que se recibieron en el celular del Investigador son:

- Cédula del paciente: 1714152004
- Valor de Glucosa: 91 mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 53A0BFDD, que en formato fecha corresponde al 17 de junio de 2014 a las 22:23.

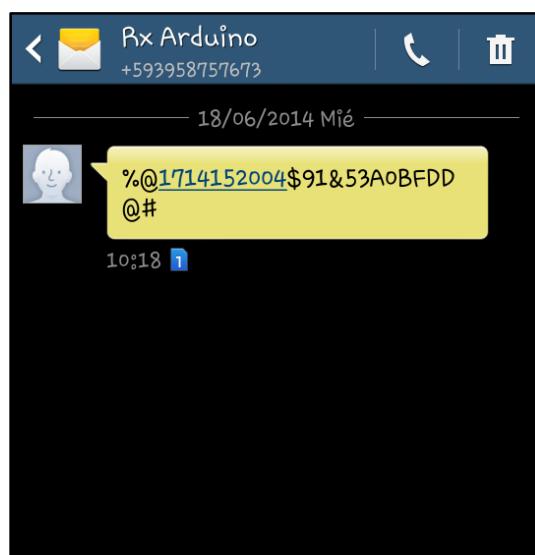


Fig. 4.44. Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS
Elaborado por: Andrea Sánchez

PRUEBA 4

Enviar la medición de glucosa de 69 mg/dl con la fecha 18/junio/2014 a las 10:22, que está almacenada en la memoria del glucómetro como se observa en la figura 4.45.



Fig. 4.45. Medición de 69 mg/dl en el Glucómetro OneTouch UltraMini
Elaborado por: Andrea Sánchez

En la prueba 4 y como se observa en la figura 4.46., los valores que se recibieron en el celular del Investigador son:

- Cédula del paciente: 1714152004
- Valor de Glucosa: 69mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 53A1684E, que en formato fecha corresponde al 18 de junio de 2014 a las 10:22.

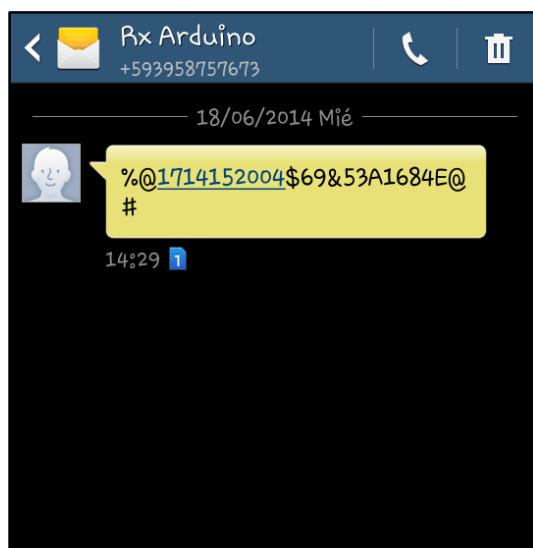


Fig. 4.46. Parámetros enviados desde el módem GSM/GPRS
Elaborado por: Andrea Sánchez

Después de haber realizado las pruebas de funcionamiento, se observa que los valores de glucosa son correctamente enviados, cabe indicar que los valores enviados pueden ser de hasta 600mg/dl, valor máximo reconocido por el glucómetro OneTouch UltraMini.

Además, y como se mencionó en el desarrollo de la propuesta el valor de la fecha se envía en formato hexadecimal para facilidad de tratamiento de la información. Posteriormente este valor es convertido a formato fecha dentro del software de telemedicina en el entorno Médico.

4.8.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN EL ENTORNO MÉDICO

Para comprobar el funcionamiento del Entorno Médico se recibieron los mensajes de texto enviados desde el glucómetro con las mediciones con fecha explicadas en el punto anterior dentro de las pruebas de funcionamiento del Entorno del Paciente.

PRUEBA 1

Recibir la medición de glucosa de 88 mg/dl con la fecha 12/mayo/2014 a las 17:10, enviada desde el entorno del paciente, como se muestra en la figura 4.47.

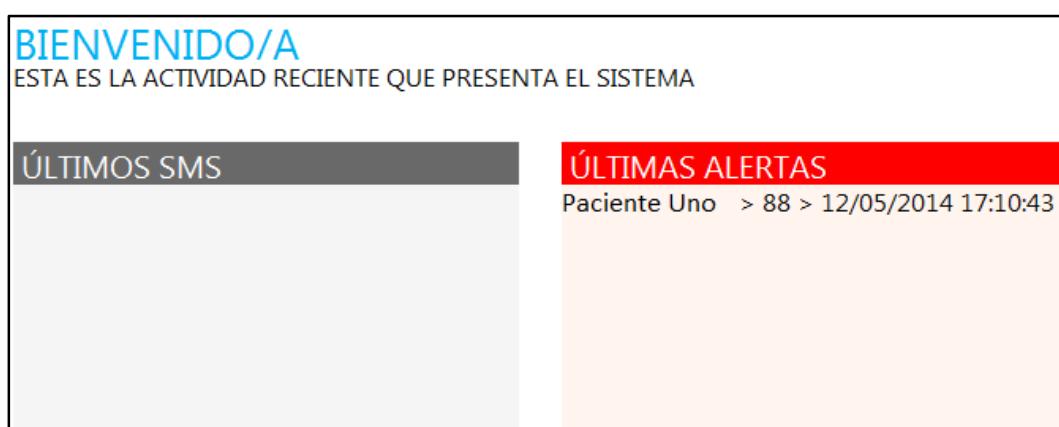


Fig. 4.47. Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 88 mg/dl
Elaborado por: Andrea Sánchez

PRUEBA 2

Recibir la medición de glucosa de 392 mg/dl con la fecha 24/abril/2014 a las 19:53, enviada desde el entorno del paciente, como se muestra en la figura 4.48.

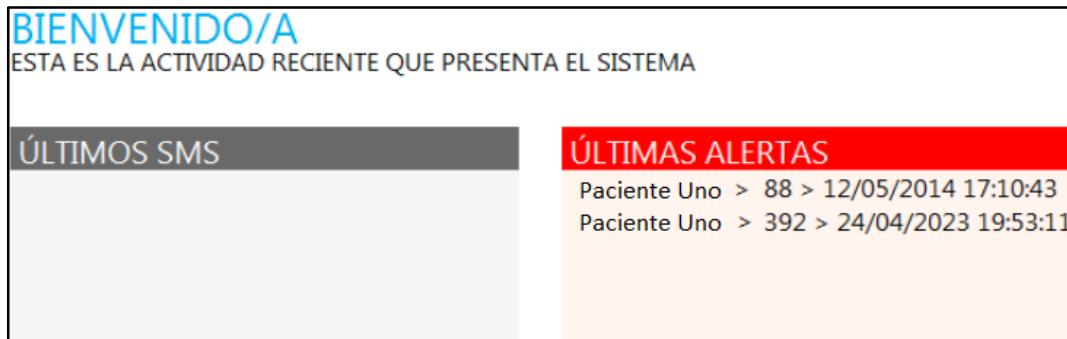


Fig. 4.48.Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 392 mg/dl
Elaborado por: Andrea Sánchez

PRUEBA 3

Recibir la medición de glucosa de 91 mg/dl con la fecha 17/junio/2014 a las 22:23, enviada desde el entorno de paciente, como se muestra en la figura 4.49.

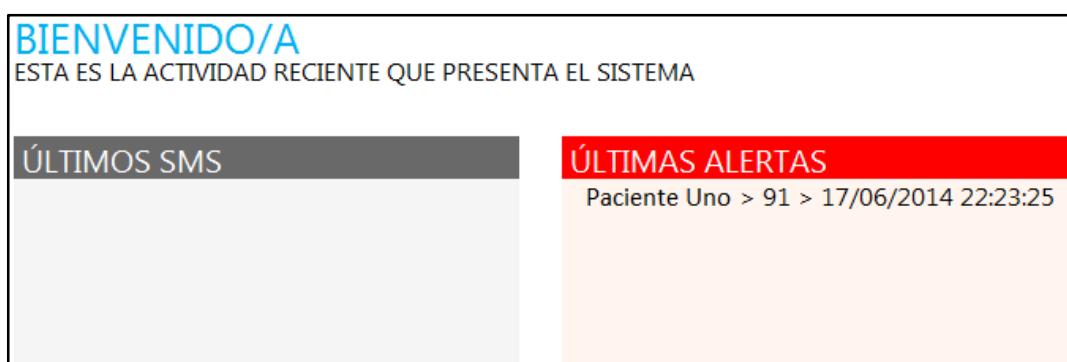


Fig. 4.49.Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 91 mg/dl
Elaborador por: Andrea Sánchez

PRUEBA 4

Recibir la medición de glucosa de 69 mg/dl con la fecha 18/junio/2014 a las 10:22, enviada desde el entorno de paciente, como se muestra en la figura 4.50.

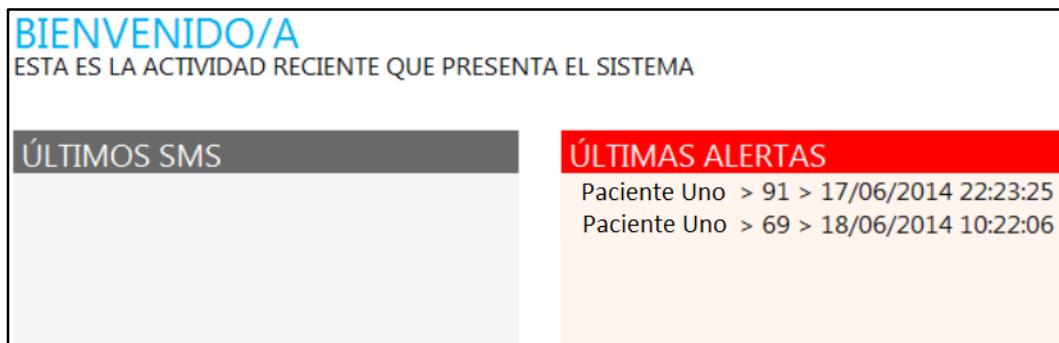


Fig. 4.50.Lectura del mensaje enviado desde el entorno del paciente con el valor de 69 mg/dl
Elaborador por: Andrea Sánchez

4.9. ANÁLISIS ECONÓMICO

4.9.1. PRESUPUESTO

En el cálculo del presupuesto se consideraron el costo de los dispositivos electrónicos y médicos, así también el valor de la implementación del prototipo del Sistema de Telemedicina.

El presupuesto está constituido por el entorno del paciente y por el entorno del médico, como se observa en las tablas 4.8 y 4.9 respectivamente.

Tabla 4.8. Presupuesto Sistema de Telemedicina para el Entorno del Paciente

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor del Rubro (\$)
1	Glucómetro OneTouch UltraMini	1	\$ 50,00	\$ 50,00
2	Tiras reactivas x25	1	\$ 20,85	\$ 20,85
3	Arduino UNO R3	1	\$ 35,00	\$ 35,00
4	Módem GSM/GPRS	1	\$ 45,00	\$ 45,00
5	Tarjeta SIM Movistar	1	\$ 5,00	\$ 5,00
6	Cajas para Arduino	1	\$ 12,00	\$ 12,00
7	Elementos electrónicos	1	\$ 3,50	\$ 3,50
8	Costos de implementación	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Subtotal, USD \$				\$ 186,35
Imprevistos (5%), USD \$				\$ 9,32
TOTAL, USD \$				\$ 195,67

Elaborado por: Andrea Sánchez

Tabla 4.9. Presupuesto Sistema de Telemedicina para el Entorno Médico

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor del Rubro (\$)
1	Arduino UNO R3	1	\$ 35,00	\$ 35,00
2	Módem GSM/GPRS	1	\$ 45,00	\$ 45,00
3	Tarjeta SIM Movistar	1	\$ 5,00	\$ 5,00
4	Cajas para Arduino	1	\$ 12,00	\$ 12,00
5	Cable USB AB de 2m	1	\$ 2,00	\$ 2,00
6	Cargador de 9V DC	1	\$ 5,00	\$ 5,00
7	Costos de implementación	1	\$ 35,00	\$ 35,00
			Subtotal, USD \$	\$ 139,00
			Imprevistos (5%), USD \$	\$ 6,95
			TOTAL, USD \$	\$ 145,95

Elaborado por: Andrea Sánchez

Por consiguiente el presupuesto total de implementación para el prototipo del Sistema de Telemedicina tanto en el Entorno del Paciente como el Entorno Médico es: **\$341,62**.

4.9.2. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Una vez implementado el prototipo del Sistema de Telemedicina para monitorear los niveles de glucosa en pacientes con diabetes, se han analizado los siguientes beneficios para los pacientes y para el médico.

PACIENTES

- Registro de sus mediciones de glucosa en tiempo real.
- Diagnósticos y tratamientos más precisos.
- Conocimiento del estado de sus niveles de glucosa, si son “normales” o en “alerta” cada vez que se midan la glucosa.
- Ahorro por gastos de emergencias.

MÉDICO

- Seguimiento de sus pacientes en tiempo real.
- Mejora en la emisión de diagnósticos y tratamientos.
- Facilidad de enviar notificaciones a sus pacientes a través del Sistema.

- Contar con un sistema dedicado al control de pacientes con diabetes.
- Ingresos económicos adicionales de pacientes que reciben notificaciones para consultas de emergencia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ❖ En base a la información que proporciona LifeScan de Johnson &Johnson sobre el protocolo de comunicación del glucómetro OneTouch UltraMini y mediante el empleo de analizadores de puerto serie como el PortMon y Serial Port Monitor, se establece que la trama de petición que inicia la comunicación con el glucómetro y que solicita el envío del valor de glucosa y la fecha de medición consiste en una cadena de 10 valores hexadecimales que deben ser enviados secuencialmente por el puerto serial a una velocidad de transmisión de 9600 baudios con niveles de voltaje TTL.
- ❖ Para el desarrollo del entorno del paciente se requiere emplear un puerto serial para el glucómetro y otro para el módem GSM/GPRS, por lo que es necesario configurarlos mediante la utilización de la librería “Software.Serial”, debido a que el módulo Arduino UNO dispone de un solo puerto serial físico asociado a la conexión del cable USB AB. Los puertos seriales son virtuales y deben trabajar con niveles de voltaje TTL a 9600 baudios.
- ❖ Para extraer los datos de los mensajes de texto recibidos en el módem GSM/GPRS para su posterior transmisión, es necesario utilizar las funciones específicas para la lectura y escritura en comunicación serial, en base a ellas se lee la información existente en el puerto serie del módem GSM/GPRS usando “SIM900.read()”, y se transmite hacia el puerto serie del computador con el comando “Serial.println()”. La información enviada consiste en el número de cédula, valor de glucosa y fecha de

medición. La conexión del módulo Arduino Uno con el computador se hace mediante la utilización del cable USB A-B.

- ❖ La interfaz HMI lee el puerto serie del computador en busca de información disponible que haya sido enviada desde el módulo Arduino UNO, cuando existen datos la interfaz se encarga de recogerlos y clasificarlos en función del número de cédula del paciente, para asignar en la base de datos los valores de glucosa con la fecha de medición; con la finalidad de generar alertas cuando la glucosa se encuentre fuera de los rangos establecidos por el médico especialista. A través de la interfaz se pueden enviar respaldos de la base de datos al doctor y correos electrónicos a los pacientes para cualquier notificación.
- ❖ La implementación del prototipo del Sistema de Telemedicina en el entorno del paciente y médico consiste en proporcionarles a cada uno un dispositivo electrónico conformado por el módulo Arduino UNO y el módem GSM/GPRS SIM900, para las personas con diabetes este dispositivo se encarga de leer y transmitir el valor de glucosa con la fecha de medición en forma automática, y para el doctor especialista este dispositivo es el responsable de recibir dicha información para enviarla hacia la interfaz HMI, la que le permite al galeno monitorear en tiempo real a sus pacientes.

5.2.RECOMENDACIONES

- ❖ Antes de trabajar con dispositivos médicos como el glucómetro y con dispositivos electrónicos como el Arduino UNO, es recomendable investigar los aspectos tecnológicos y científicos de cada uno, pues en este proyecto de investigación es indispensable unificar el funcionamiento de ambos, ya que en base a ello se puede consolidar el desarrollo del prototipo del Sistema de Telemedicina.
- ❖ Para obtener la información del glucómetro OneTouch UltraMini se recomienda emplear un cable de datos con un plug estéreo de 3,5mm diseñado con las conexiones de Rx, Tx y Gnd específicos para el dispositivo médico, caso contrario no se podrá establecer comunicación, paralelamente para la veracidad de la información que se

transmite desde el entorno del paciente hacia el médico, se recomienda agregar caracteres especiales entre el número de cédula, el valor de glucosa y fecha de medición para evitar suplantación de datos.

- ❖ Tanto para el entorno del paciente y el entorno médico, se recomienda configurar la interfaz serial del Arduino UNO a una velocidad de 9600 baudios, ya que es la velocidad por defecto con la que trabajan la mayor parte de dispositivos, como el glucómetro OneTouch UltraMini, las computadoras y los módem GSM/GPRS.
- ❖ En el desarrollo de la interfaz Hombre/Máquina se recomienda desarrollar una aplicación basada en multihilos o multiprocesos para que el sistema pueda atender más de una actividad a la vez que son requeridas para el correcto funcionamiento del Sistema de Telemedicina.
- ❖ Para un óptimo diseño e implementación del Sistema de Telemedicina es recomendable realizar un estudio previo de los equipos a emplearse como el glucómetro, módem GSM/GPRS y el Arduino UNO, considerando varios aspectos como la disponibilidad en el mercado, costos, precisión, exactitud, fiabilidad y versatilidad, pues de estos factores depende que el paciente y el doctor prefieran utilizar este sistema en lugar del método tradicional de registro y monitoreo.

REFERENCIAS

- [1] L. Payares, «Telemedicina - Origen y Desarrollo de la Telemedicina,» 19 marzo 2012. [En línea]. Available: <http://telemedicinaleonardopayares.blogspot.com/2012/03/origen-y-desarrollo-de-la-telemedicina.html>. [Último acceso: 10 octubre 2013].
- [2] S. Valdiviezo, «Repositorio UTA - Sistema de Comunicación Virtual para mejoramiento del Control de la Ingesta de medicamentos en enfermos crónicos del Centro de Medicina Integral,» septiembre 2012. [En línea]. Available: http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/2389/Tesis_t739ec.pdf?sequence=1. [Último acceso: septiembre 2013].
- [3] C. S. Carrillo Sampedro y B. A. Villagrán Sánchez, «Escuela Politécnica Nacional - Implementación de un Prototipo de una Plataforma de Tele-Cuidado por medio de Tele-Ubicación de personas en Riesgo (Ancianos, Discapacitados, Epilépticos, Enfermos del Corazón, Diabéticos, Alzheimer,etc),» junio 2008. [En línea]. Available: [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/610/1/CD-1572\(2008-06-30-03-21-46\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/610/1/CD-1572(2008-06-30-03-21-46).pdf). [Último acceso: septiembre 2013].
- [4] M. C. España Boquera, «Servicios Avanzados de Telecomunicación,» Madrid, Díaz de Santos, 2009, pp. 140-144.
- [5] R. C. Suárez, «Tecnologías de la Información y la comunicación,» de *Introducción a los Sistemas de Información y Telecomunicación.*, IdeasPropias, 2010, pp. 29-30.
- [6] R. Valdés Menéndez, «Telemedicina,» de *Discurso pronunciado en la inauguración de la Convención y Feria Informática 2009. Palacio de las Convenciones, Cuba, 2009.*

- [7] A. J. Salazar Gómez y A. Kopec, «Aplicaciones de Telecomunicaciones en Salud en la Subregión Andina,» Segunda ed., Colombia, ORAS-CONHU, 2006, pp. 97-99.
- [8] I. Kuzmar, «Cómo crear un Servicio de Telemedicina,» España, España, 2013, pp. 31-40.
- [9] Balas EA, Jaffery FM, Kuperman GJ, Boren SA, Brown GD, Pincioli FL, «Evaluation of distance medicine technology,» de *Electronic communication with patients*, p. 278.
- [10] «AT4 Wireless,» [En línea]. Available: <http://www.at4wireless.com/es/corporativo/actividades.html>. [Último acceso: 18 junio 2014].
- [11] «De la medicina a distancia a la distancia de la medicina,» 04 julio 2014. [En línea]. Available: <http://medymel.blogspot.com/2014/07/de-la-medicina-distancia-la-distancia.html>. [Último acceso: 10 julio 2014].
- [12] Junta de Castilla y León, «La Telemedicina al servicio de la Sociedad del Conocimiento - Infraestructuras y Sistemas de Telemedicina,» *e-Salud*, pp. 41-52, 2007.
- [13] Á. García Olaya, «Universidad Politécnica de Madrid,» de *Arquitectura Multi-Acceso de Telemedicina para el Cuidado Compartido de Pacientes Diabéticos*, Madrid, 2004, pp. 22-25.
- [14] Víctor Morales Rocha, «Monitoreo Remoto de Pacientes con Diabetes Utilizando Tecnologías Móviles Inalámbricas,» *Revista eSalud.com*, vol. 8, nº 29, diciembre 2011.
- [15] Accu-Chek, «Accu-Chek,» Roche, [En línea]. Available: <http://www.accu-chek.com.ec/index.php?idSeccion=64>. [Último acceso: 18 enero 2014].

- [16] Accu-Chek, «Accu-Chek,» Roche, [En línea]. Available: <http://www.accu-chek.com.ec/index.php?idSeccion=65>. [Último acceso: 18 enero 2014].
- [17] Accu-Chek, «Accu-Chek,» Roche, [En línea]. Available: <http://www.accu-chek.com.ec/index.php?idSeccion=66>. [Último acceso: 18 enero 2014].
- [18] J. Hopkins, «Effective Health Care Program,» Junio 2013. [En línea]. Available: <http://effectivehealthcare.ahrq.gov/index.cfm/search-for-guides-reviews-and-reports/?productid=1382&pageaction=displayproduct>. [Último acceso: 02 octubre 2013].
- [19] E. Fisterra, «Medidores de glucemia capilar o glucómetros,» marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.fisterra.com/salud/3proceDT/glucometros.asp>. [Último acceso: 21 octubre 2013].
- [20] N.N., «Somos Medicina. Telemonitorización de la glucemia,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.somosmedicina.com/2012/01/telemonitorizacion-de-la-glucemia-en.html>. [Último acceso: octubre 2013].
- [21] M. Violante, «estudiabetes.org,» 10 marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.estudiabetes.org/group/diabeticosmexicanos/forum/topics/sabes-como-funcionan-las-tiras-reactivas-que-usas-con-tu>. [Último acceso: 05 abril 2014].
- [22] D. Devices, «Prodigy Pocket,» [En línea]. Available: http://www.northcoastmed.com/pdf/manuals/pocket_userguide-spanish.pdf. [Último acceso: 19 diciembre 2013].
- [23] N.N., «Funcionamiento de un Glucómetro,» agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Fucionamiento-De-Un-Glucometro/5036256.html>. [Último acceso: 17 diciembre 2013].
- [24] «Nueva tecnología inalámbrica para monitorear a pacientes con diabetes en Tijuana,» 05 noviembre 2010. [En línea]. Available: <http://www.informador.com.mx/tecnologia/2010/246765/6/nueva-tecnologia->

- inalambrica-para-monitorear-a-pacientes-con-diabetes-en-tijuana.htm.. [Último acceso: 24 diciembre 2013].
- [25] B. Arregocés, «Cómo funcionan las redes móviles,» 05 enero 2009. [En línea]. Available:
<http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2009/01/05/181935.php>. [Último acceso: 23 diciembre 2013].
- [26] N.N., «Punto Flotante S.A.-Tutorial: Los módems GSM y GPRS,» [En línea]. Available: <http://www.puntofloatante.net/TUTORIAL-MODEM-GSM-GPRS.htm>. [Último acceso: 24 diciembre 2013].
- [27] N.N., «Comandos AT,» 2013. [En línea]. Available:
https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&sqi=2&ved=0CFQQFjAH&url=http%3A%2F%2Falarmagsm.googlecode.com%2Ffiles%2FCOMANDOS%2520AT.doc&ei=aW4UvLoL9KfkQezioGQCg&usg=AFQjCNFwrx6U6kpSOGftmpB0GxeVt_m4yA&bvm=bv.58187178,d.eW0. [Último acceso: 24 diciembre 2013].
- [28] N.N., «MICROCHIP_Regional Training Center,» [En línea]. Available: http://www.microchip.com.ar/techtrain/masters/masters_gsm.pdf. [Último acceso: 12 enero 2014].
- [29] B. Resendiz, «Guía Diabetes - ¿Cuáles son los niveles óptimos de Glucosa?,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.diabetesbienestarysalud.com/cuales-son-los-niveles-optimos-de-glucosa/>. [Último acceso: 20 octubre 2013].
- [30] N. Espinoza, «Hospital Virtual/Telemedicina. Monitoreo Remoto de Pacientes.,» AccuHealth, [En línea]. Available: http://www.accuhealth.cl/uploads/archive/filename/Presentacion_AH_Pie_Diabetico-0.pdf. [Último acceso: 19 diciembre 2013].
- [31] D. Tomky, «Automonitordeo de la glucosa en Sangre - Mi médico dice que debo monitorear mi glucosa en sangre...,» [En línea]. Available:

<http://www.bd.com/resource.aspx?IDX=10561>. [Último acceso: 18 diciembre 2013].

- [32] D. E. Cabezas, Interviewee, *Diabetes*. [Entrevista]. 11 diciembre 2013.
- [33] N. NORDISK, «Keeping well with Diabetes,» octubre 2003. [En línea]. Available: http://www.aafpfoundation.org/hepp_files/files/NovoDiarySPA.pdf.. [Último acceso: 29 noviembre 2013].
- [34] Google, «Google Play,» [En línea]. Available: <https://play.google.com/store/search?q=diabetes&hl=es>. [Último acceso: 26 diciembre 2013].
- [35] M. Vidal y M. Jansà, «Monitorización glucémica y educación terapéutica en la diabetes,» *Avances en Diabetología*, pp. 19-26, 24 febrero 2010.
- [36] Johnson, LifeScan-Johnson, «OneTouch UltraMIni,» de *Sistema de supervisión de glucosa en la sangre_Manual del Usuario*, 2009, p. 17.
- [37] Diagnostics, Roche, «Accu-Chek Active_Medidor de Glucemia,» mayo 2008. [En línea]. Available: <http://www.accu-chek.com.ec/frontEnd/images/objetos/active2009.pdf>. [Último acceso: 20 enero 2014].
- [38] Microchip Technology Inc., «Microchip,» 2003. [En línea]. Available: <http://akizukidensi.com/download/PIC16F877A.pdf>. [Último acceso: 05 febrero 2014].
- [39] Arduino, «Arduino UNO,» 2014. [En línea]. Available: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>. [Último acceso: 6 febrero 2014].
- [40] Arduino, «Arduino MEGA 2560,» Arduino, [En línea]. Available: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>. [Último acceso: 07 febrero 2014].

- [41] S. Electric, «Schneider Electric, USA,» junio 2011. [En línea]. Available: <http://static.schneider-electric.us/docs/Power%20Management/Lighting%20Control/Square%20D%20Clipsal%20Lighting%20Control%20Products/Touch%20Screens/63249-420-277.pdf>. [Último acceso: 06 febrero 2014].
- [42] «Ali Express,» [En línea]. Available: http://www.aliexpress.com/store/product/SIMCOM-SIM900-Quad-band-GSM-GPRS-Shield-Development-Board-for-Arduino/538175_1315631223.html. [Último acceso: 17 marzo 2014].
- [43] LifeScan de Johnson & Johnson, «LifeScan,» 2007. [En línea]. Available: http://diabetesdata.pbworks.com/f/OneTouch_UltraMiniProtocol.pdf. [Último acceso: 30 enero 2014].
- [44] F. de Córdoba, «Las nuevas tarjetas SIM de Movistar,» [En línea]. Available: <http://blog.fernandodecordoba.es/las-nuevas-tarjetas-sim-de-movistar/>. [Último acceso: 20 abril 2014].
- [45] «Poder PDA,» [En línea]. Available: <http://www.poderpda.com/editorial/sim-card-conocela-a-detalle/>. [Último acceso: 23 abril 2014].
- [46] N.N., «Arquitectura y funcionamiento de la red celular GSM,» 06 marzo 2013. [En línea]. Available: <http://creatienda.de/index.php/fundamentos-creativos/arquitectura-y-funcionamiento-red-cellular-gsm/arquitectura-y-funcionamiento-de-la-red-cellular-gsm.html>. [Último acceso: 19 diciembre 2013].
- [47] G. Valverde, «Evolución de la Tecnología Móvil: 1G, 2G, 3G, 4G,» 07 mayo 2011. [En línea]. Available: <http://linkea.do/2011/05/07/evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>. [Último acceso: 19 diciembre 2013].
- [48] «Redes de Telecomunicaciones,» [En línea]. Available: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/149/htm/sec_8.htm. [Último acceso: 01 julio 2014].

ANEXOS

ANEXO 1.- MANUAL DE USUARIO PARA PACIENTES

MANUAL DE USUARIO

Guía de uso para Pacientes

Sistema de Telemedicina para el Monitoreo de niveles de Glucosa

INTRODUCCIÓN

En este documento se describe claramente cómo utilizar el dispositivo electrónico del Sistema de Telemedicina GlucoSult. Este sistema llamado GlucoSult le permitirá a la persona que sufre de diabetes ser monitoreada en tiempo real por su médico de cabecera, ya que basta con conectar su glucómetro OneTouch UltraMini al sistema, y GlucoSult enviará sus mediciones de glucosa a su doctor, de manera fácil y sencilla.

Antes de utilizar este dispositivo para enviar las mediciones de glucosa, lea cuidadosamente este Manual del Usuario.

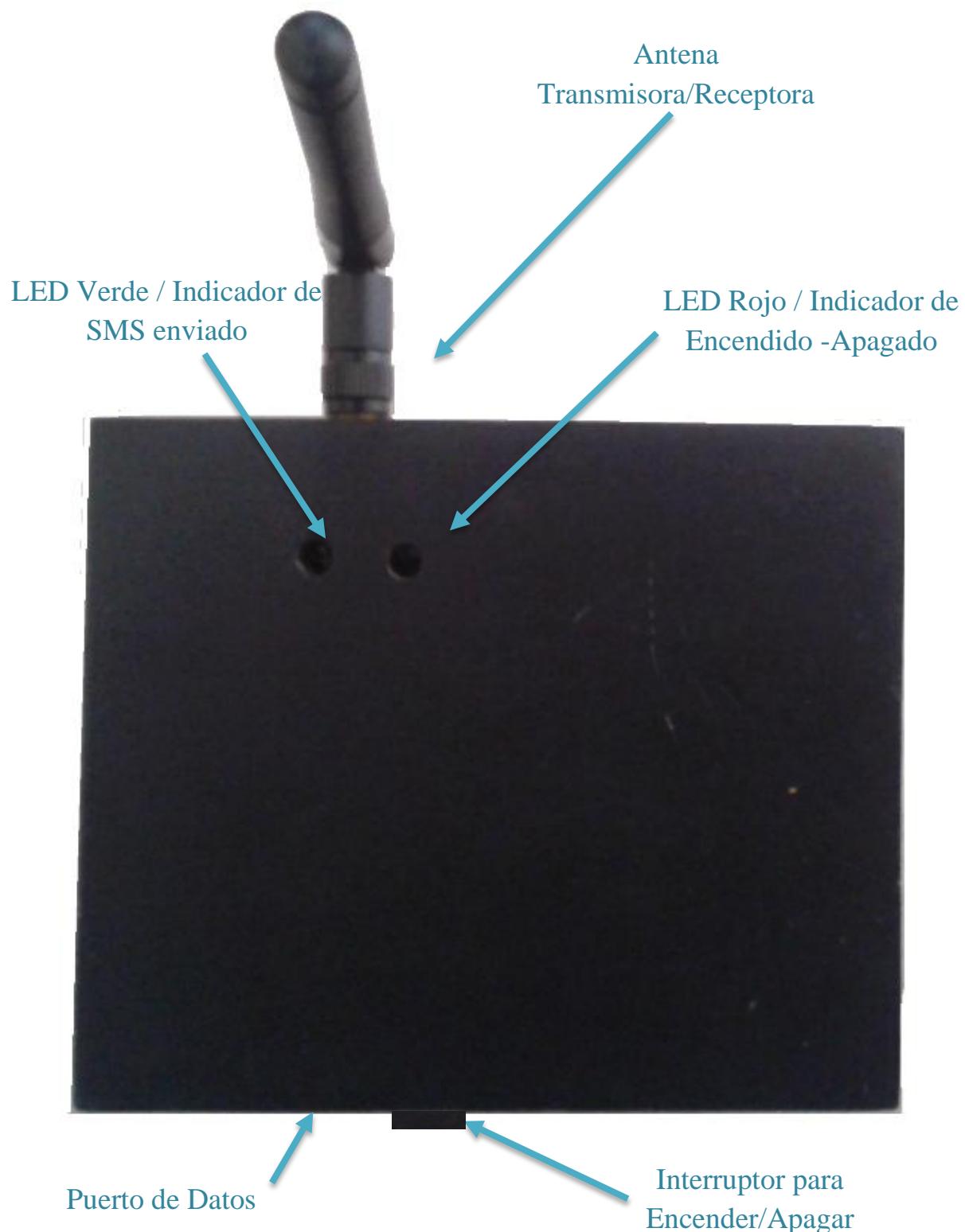
OBJETIVO DE ESTE MANUAL

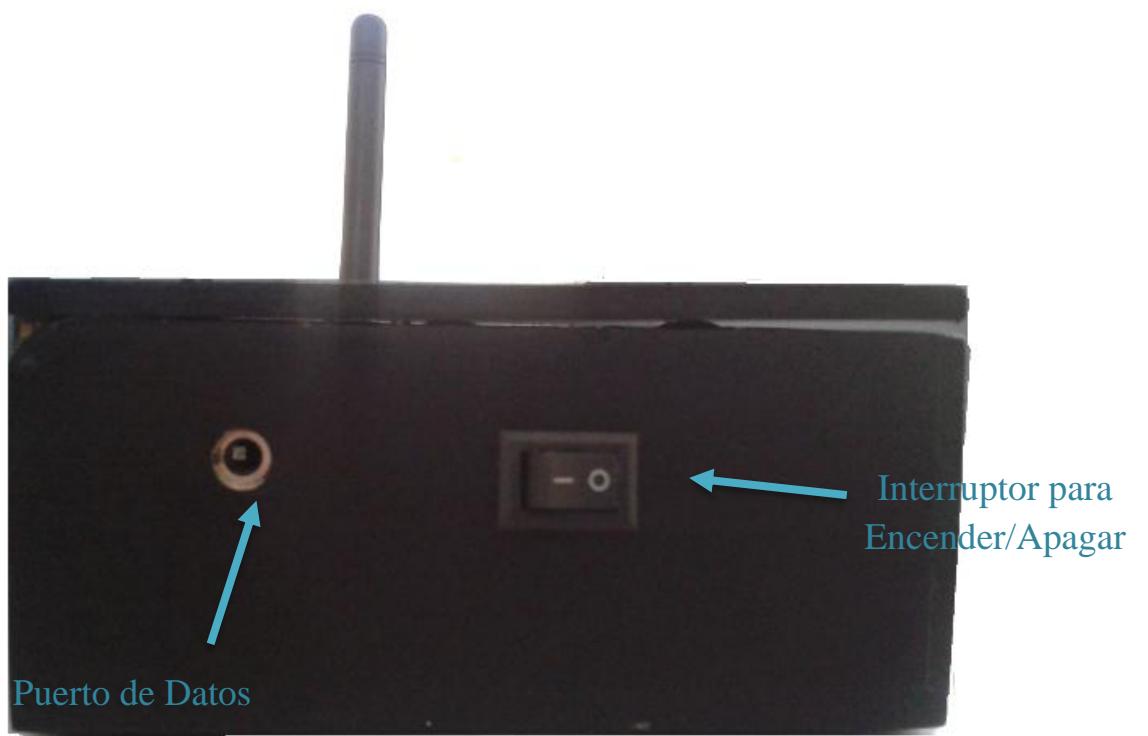
ENSEÑAR a las personas que sufren de diabetes a utilizar el sistema de Telemedicina, el mismo que le permitirá registrar sus mediciones de glucosa y ser monitoreado por su doctor especialista, con la finalidad de controlar de manera eficaz el avance de la enfermedad.

USO RECOMENDADO

Este sistema está recomendado para personas que padecen de diabetes y para sus familiares, ya que está diseñado para enviar las mediciones de glucosa que se realice la persona con diabetes a su doctor tratante. GlucoSult está planteado para ayudar al monitoreo del paciente que se encuentre en su hogar, en su trabajo, de viaje, o en cualquier lugar donde exista cobertura de la red celular.

CONOZCA SU DISPOSITIVO





GUÍA DE USO

1. Efectúe su medición de glucosa usando el glucómetro como lo hace regularmente.

Recuerde que la última medición de glucosa que se haya realizado será la que se envíe a su doctor.



2. Una vez que dispone de la medición de glucosa, apague su medidor.



3. Conecte el glucómetro al dispositivo electrónico del sistema de Telemedicina, usando el cable de datos que viene junto a su sistema. El puerto de datos se encuentra en la parte inferior.



4. Encienda el dispositivo electrónico desde el interruptor colocado en la parte inferior derecha del mismo.

La luz de color roja le indicará que el sistema está encendido y listo para funcionar, esto podría tardar unos cuantos segundos.



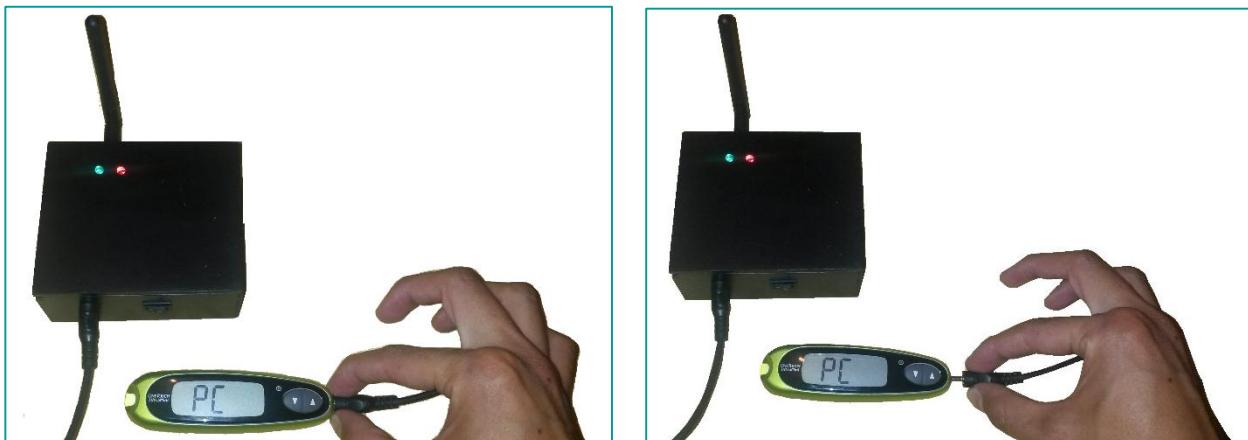
5. Una vez que la luz roja se ha encendido, espere alrededor de 10 segundos, deberá aparecer la palabra “PC” en la pantalla de su glucómetro, esto le indicará que la conexión ha sido exitosa y que la medición será enviada.



6. Espere unos 30 segundos más. Pasado este tiempo, la luz verde deberá encenderse indicándole que el envío ha sido exitoso.



7. Desconecte su glucómetro.



8. Apague el dispositivo electrónico.



9. Repita el procedimiento cada vez que realice una medición de su nivel de glucosa.

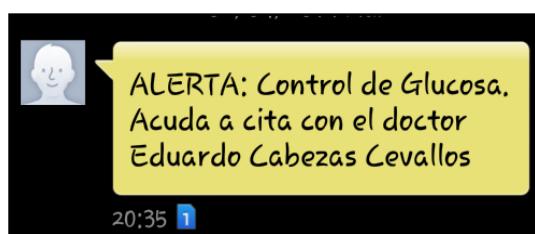
NOTIFICACIONES SOBRE SUS NIVELES DE GLUCOSA

El Sistema de Telemedicina “GlucoSult”, generará notificaciones para informarle su estado de glucosa. Usted recibirá mensajes de texto a su celular registrado con su doctor, indicándole como están sus niveles de glucosa.

NIVELES DE GLUCOSA DENTRO DEL RANGO ESTABLECIDO

Si sus niveles de Glucosa están dentro de los rangos establecidos por su doctor tratante, el contenido del mensaje de texto que le llegará es:

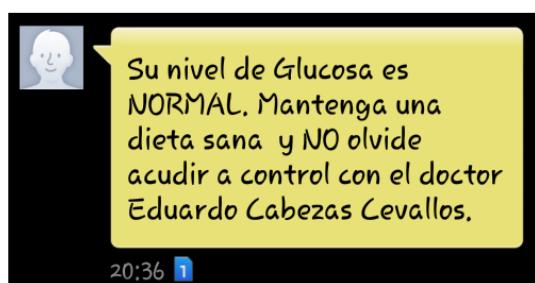
“Su nivel de Glucosa es NORMAL. Mantenga una dieta sana y NO olvide acudir a control con el doctor Eduardo Cabezas Cevallos.”



NIVELES DE GLUCOSA FUERA DEL RANGO ESTABLECIDO

Si sus niveles de Glucosa están fuera de los rangos establecidos por su doctor tratante, el contenido del mensaje de texto que le llegará es:

“ALERTA: Control de Glucosa. Acuda a cita con el doctor Eduardo Cabezas Cevallos.”



SUGERENCIAS

- Recuerde recargar su servicio de telefonía con una recarga del valor correspondiente al paquete de 50-70-100 SMS que haya contratado al empezar el uso del dispositivo electrónico.
- Para cualquier cambio referente al funcionamiento interno del dispositivo contáctese con soporte técnico.

- Recuerde si la luz verde no se encendió significa que su medición no ha sido enviada, y debe intentarlo nuevamente.

SECCIÓN DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

- Si ha transcurrido más de un minuto y la luz azul no se ha encendido desconecte el glucómetro, apague el dispositivo electrónico y vuelva a iniciar desde el punto 3 de la guía de uso.

PREGUNTAS FRECUENTES

El dispositivo electrónico no enciende. ¿Qué debo hacer?

Revise que la batería de 9Voltios este correctamente colocada. Caso contrario considere reemplazarla.

Después de conectar mi Glucómetro a GlucoSult, no aparece la palabra PC en la pantalla, ¿A qué se debe?

Desconecte su glucómetro de GlucoSult, verifique que el dispositivo este apagado, Apague GlucoSult y vuelva a intentar.

E-MAIL DE SOPORTE TÉCNICO

Para soporte técnico o preguntas sobre el funcionamiento del sistema, comuníquese al correo solucion.glucoconsult@gmail.com.

ANEXO 2.- MANUAL DE USUARIO PARA EL DOCTOR ESPECIALISTA

MANUAL DE USUARIO

Guía de Uso para el Doctor especialista

Sistema de Telemedicina para el Monitoreo de niveles de Glucosa

INTRODUCCIÓN

En este documento se describirá claramente cómo utilizar el software del Sistema de Telemedicina GlucoSult, el mismo que le permitirá al profesional de la medicina un control absoluto de las mediciones de sus pacientes, ya que le da la oportunidad de monitorearlo de forma constante y continua.

El sistema está compuesto por un dispositivo electrónico, encargado de recibir las mediciones de los pacientes en un mensaje de texto; y por un software que es el encargado de vincular la información a la base de datos, para que pueda ser administrada por el galeno.

Antes de utilizar el dispositivo electrónico y el software del Sistema de Telemedicina GlucoSult lea cuidadosamente este Manual del Usuario.

OBJETIVO DE ESTE MANUAL

ENSEÑAR AL DOCTOR ESPECIALISTA EN DIABETES A MANEJAR EL SOFTWARE GLUCOSULT, EL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE TELEMEDICINA, Y A CONTROLAR TODAS LAS HERRAMIENTAS CON LAS QUE CUENTA LA INTERFAZ.

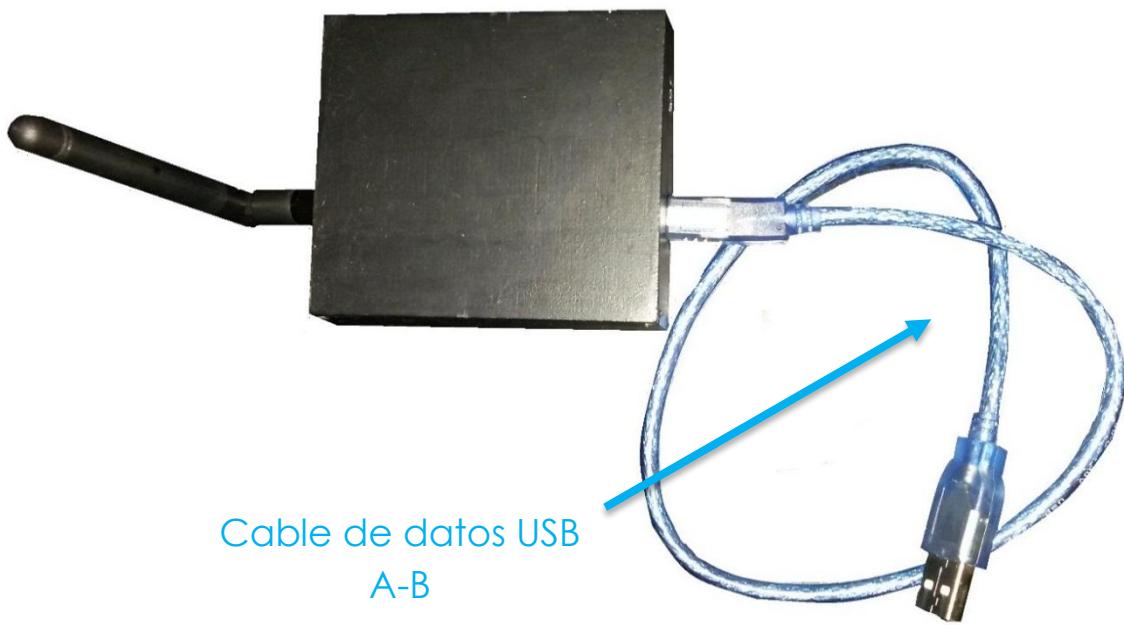
USO RECOMENDADO

EL SOFTWARE ESTÁ DISEÑADO PARA SER MANEJADO POR DOCTORES ESPECIALISTAS EN EL CONTROL DE LA DIABETES.

FAMILIARÍCESE CON EL SISTEMA

DISPOSITIVO ELECTRÓNICO





SOFTWARE DE TELEMEDICINA

The screenshot shows the GlucoSult software interface. On the left is a dark sidebar with a navigation menu:

- PACIENTE**
 - REGISTRAR NUEVO
 - LISTADO
 - REGISTRO/CONTROLES
- DOCTOR**
 - REGISTRAR NUEVO
 - LISTADO
- CONTROLES**
 - GLUCOSA
 - HEMOGLOBINA
 - UREA
 - CREATININA
- OTRAS FUNCIONES**
 - ENVIAR CORREO
 - IMPORTAR DATOS

At the bottom of the sidebar is a link: "Información de GlucoSult".

The main area has a header: "BIENVENIDO/A" and "ESTA ES LA ACTIVIDAD RECIENTE QUE PRESENTA EL SISTEMA".

Two summary panels are displayed:

- ÚLTIMOS SMS**: A light gray panel.
- ÚLTIMAS ALERTAS**: An orange panel.

At the bottom right, a message states: "GlucoSult se encuentra en modo de: LECTURA DE SMS's ALMACENADOS".

SUGERENCIAS ANTES DE USAR EL SOFTWARE

- Antes de usar el software de Telemedicina, asegúrese de haber instalado los drives del dispositivo electrónico Arduino UNO.

- Ejecute el instalador del software del Sistema de Telemedicina “GlucoSult”.
- Asegúrese de que el cable de alimentación del dispositivo electrónico esté conectado a 110V.
- Asegúrese de que el cable USB del dispositivo electrónico esté conectado a su computador.

PREPARANDO EL COMPUTADOR PARA EL SISTEMA DE TELEMEDICINA

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Sistema Operativo compatible:

- Windows 7, (x86 y x64).
- Windows 8, (x86 y x64).
- Windows 8.1, (x86 y x64).

Requisitos de hardware:

- Procesador de 1,6Hz o superior
- 1,5 GB de RAM
- 2 GB de espacio disponible en disco duro

INSTALACIÓN DE LOS DRIVERS DE ARDUINO UNO

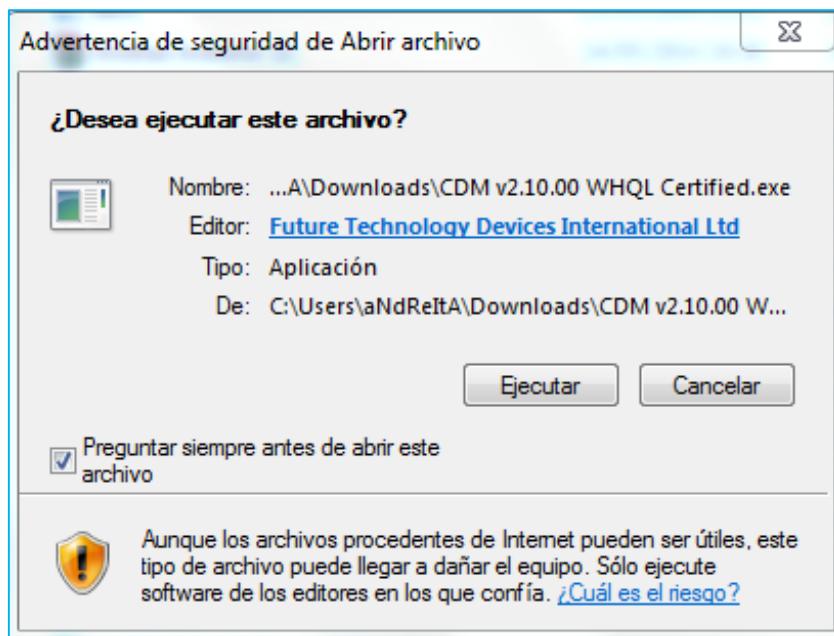
Para que el sistema pueda recibir y transmitir datos hacia el dispositivo electrónico es indispensable que los drivers de Arduino UNO estén instalados en su computador.

En Windows Vista y Windows 7 los drivers se descargan e instalan automáticamente, caso contrario ingrese a la página <http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>, de donde se podrá descargar los drivers.

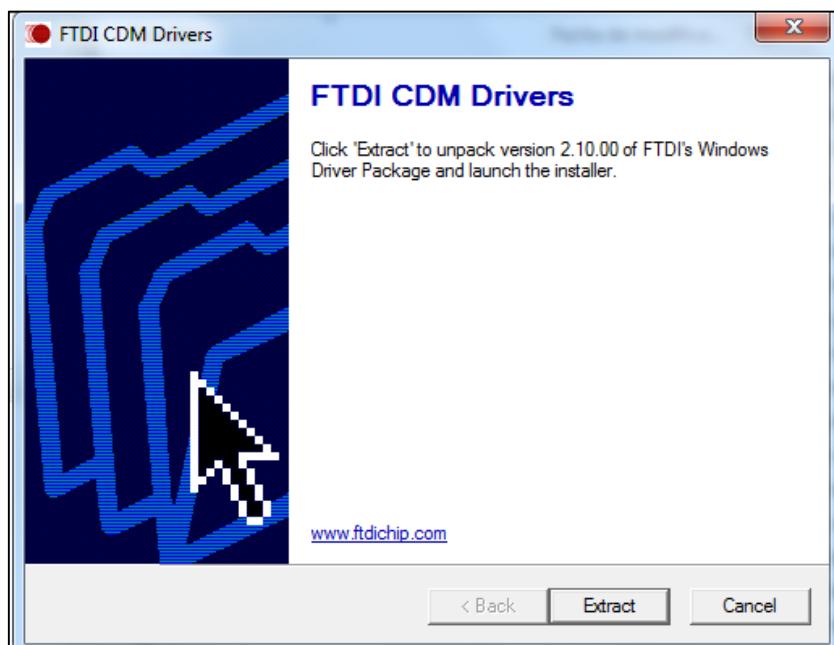
Para mayor información consulte la página: <http://arduino.cc/es/Guide/Windows#toc4>.

Para iniciar, descargue los drivers, desde la página descrita anteriormente. Se guardará como CDM v2.10.00 WHQL Certified.

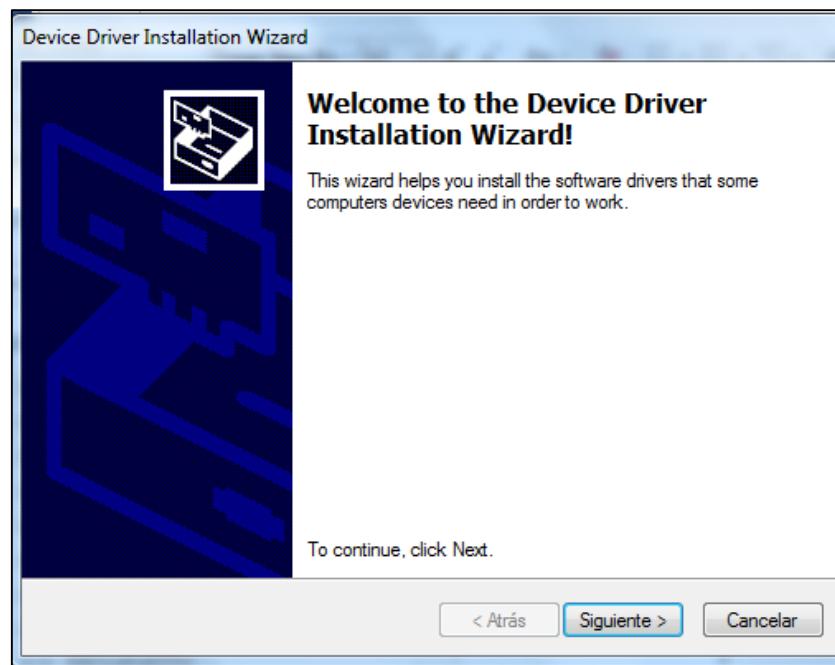
Ejecute el archivo de instalación  CDM v2.10.00 WHQL Certified con extensión .exe.
Luego haga clic en el botón ejecutar e inmediatamente iniciará la instalación.



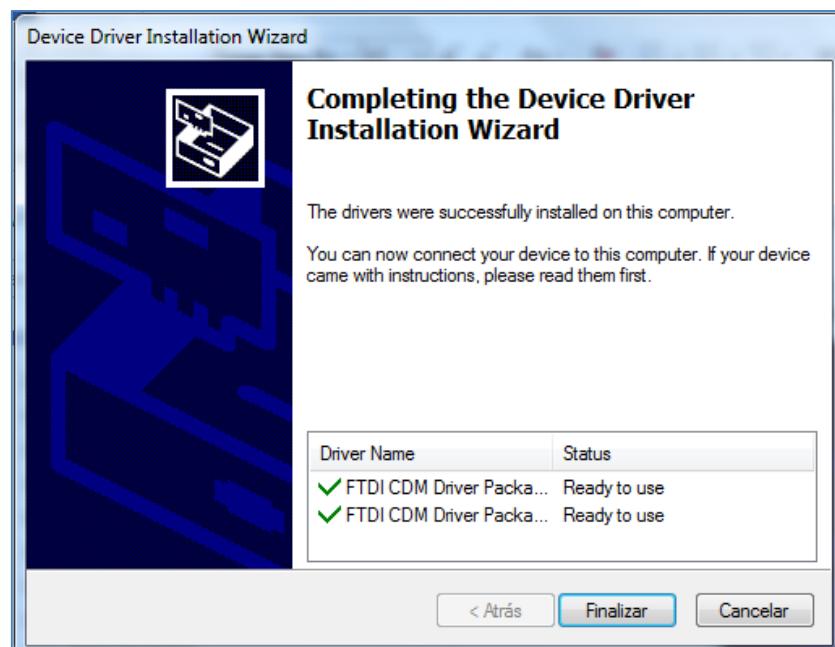
Se abrirá una pantalla como se muestra en la siguiente figura, de clic en el botón “Extract”.



Entonces, de clic en el botón “Siguiente”.



Para concluir de clic sobre el botón “Finalizar”. Los drivers de Arduino UNO se habrán instalado correctamente.

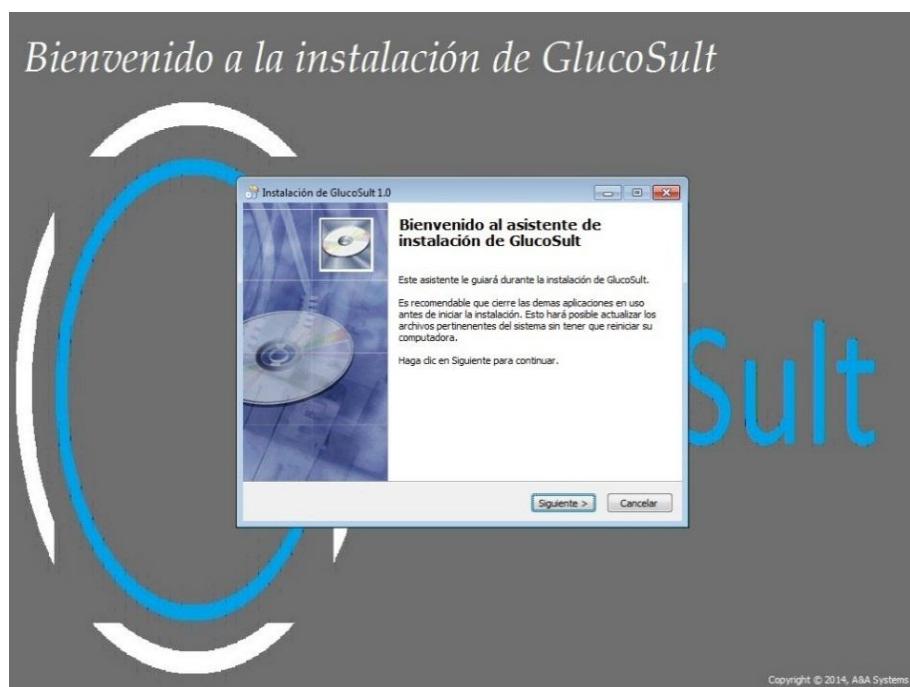


INSTALACIÓN DEL SOFTWARE DE TELEMEDICINA “GLUCOSULT”

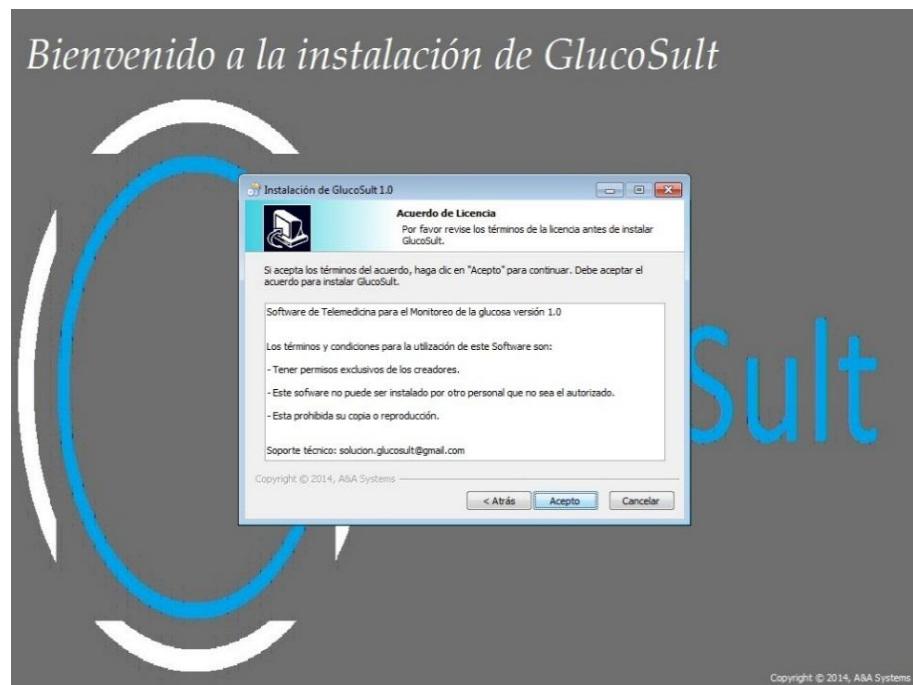
1. De doble clic sobre el instalador del Software GlucoSult. Le aparecerá un mensaje para permitir la ejecución de la aplicación, de clic en Si y el proceso de instalación continuará.



2. Se ejecutará el instalador del Software GlucoSult apareciendo una pantalla como se muestra en la siguiente figura, dar clic sobre el botón “Siguiente”.



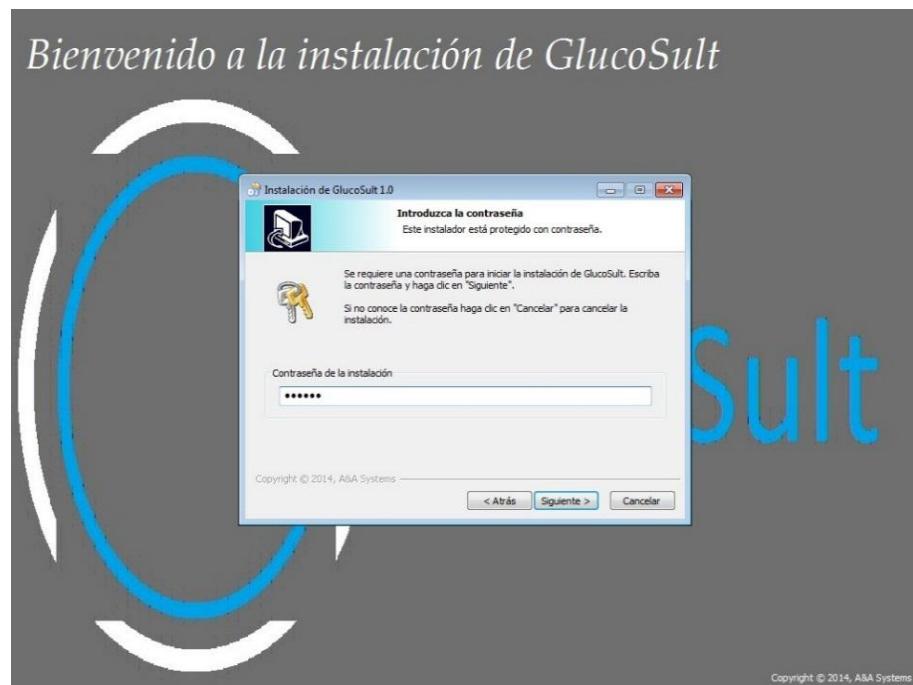
3. Lea detenidamente los Términos y Condiciones de la instalación, si está de acuerdo presione sobre el botón Acepto, caso contrario haga clic sobre Cancelar.



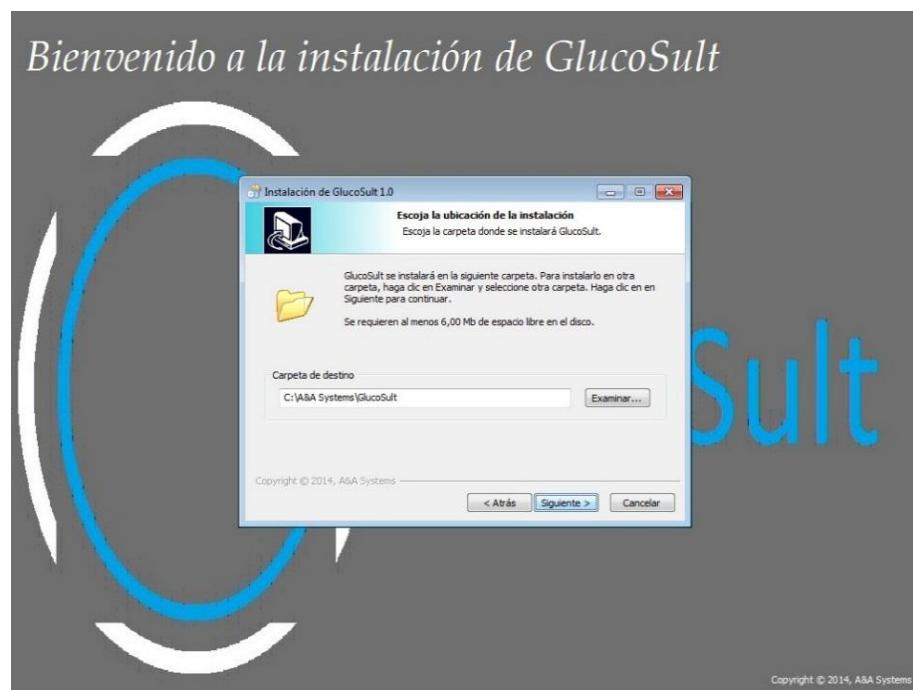
4. A continuación le solicitará que ingrese una clave de instalación.



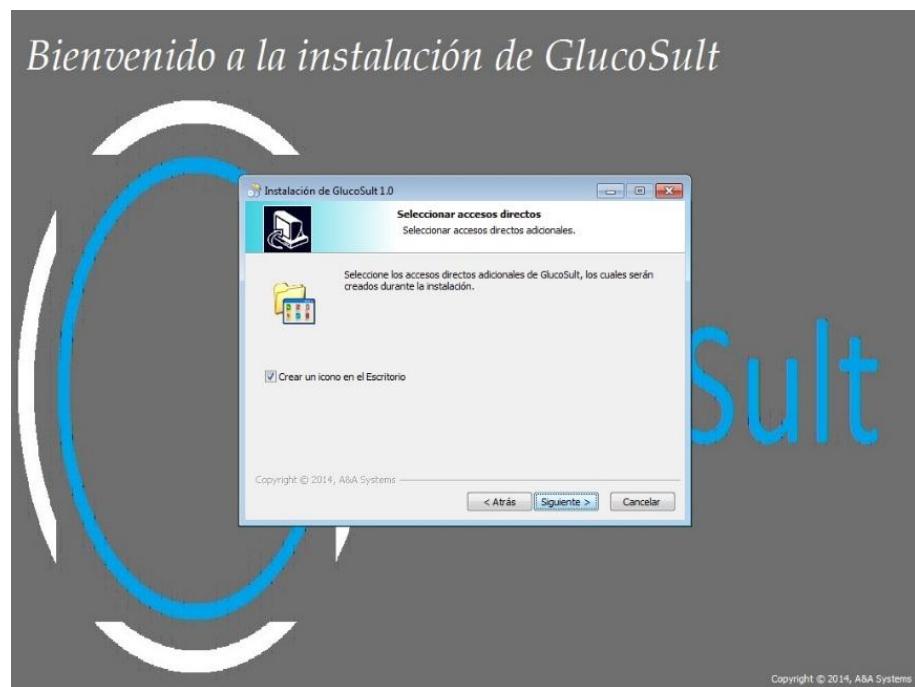
5. Ingresar la clave proporcionada al momento de recibir el instalador y presionar sobre el botón Siguiente.



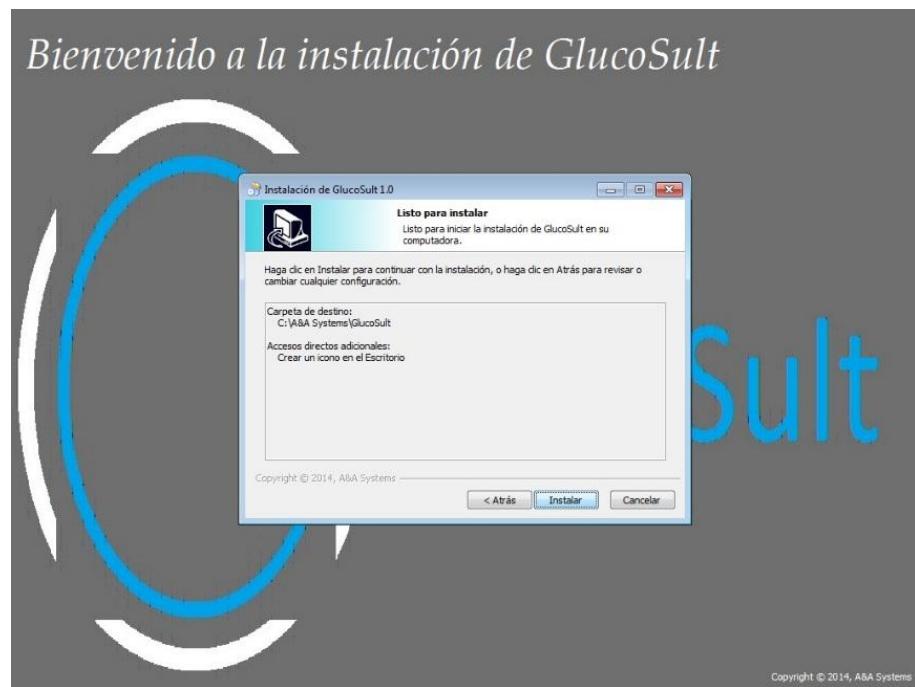
6. El instalador le solicitará que escoja la ubicación en donde se instalará GlucoSult, por defecto la dirección es **C:\A&A Systems\GlucoSult**. Si desea que el programa se instale en otra dirección de clic en examinar y seleccione la dirección deseada. En ambos caso para continuar la instalación presione el botón Siguiente.



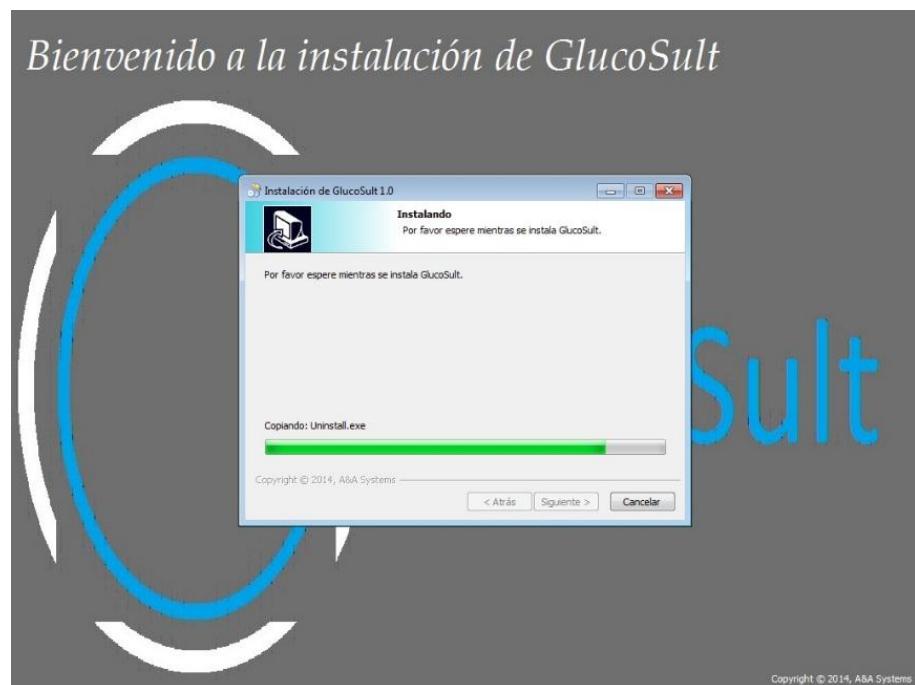
7. El instalador creará un acceso directo en el Escritorio. Presione Siguiente. Si Ud. no desea que se cree el acceso directo desmarque la casilla correspondiente.



8. Seguidamente se muestra una ventana indicándole la dirección de instalación, e información adicional. Para continuar con la instalación de clic sobre Instalar.



9. La instalación iniciará, ésta demora unos pocos segundos únicamente.



10. Esta última ventana, indica que el Software GlucoSult ha sido instalado correctamente. Presione Finalizar.



11. En la pantalla principal “Escritorio” de su computador, aparecerá el icono de GlucoSult. Lo que indica que la instalación del software de Telemedicina ha sido exitosa y que GlucoSult está listo para ser utilizado.



Cuando haya concluido con la instalación de drivers y del software proceda a la guía de uso.

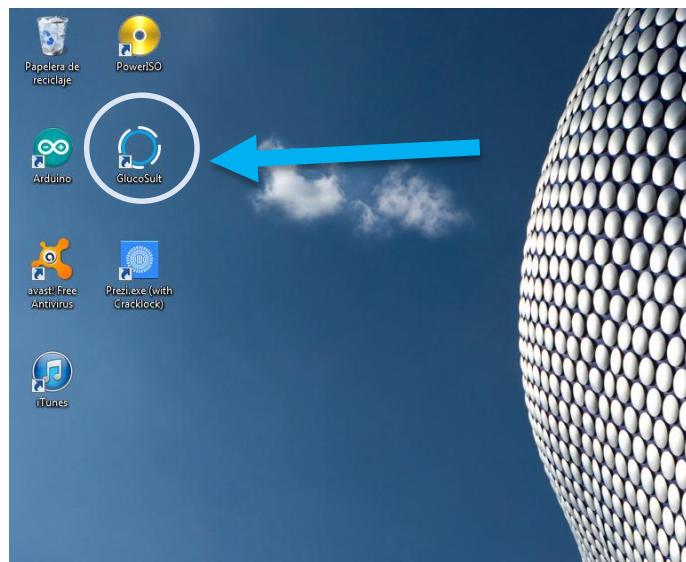
GUÍA DE USO

Antes de iniciar con el uso del Sistema, conecte el dispositivo electrónico a un puerto USB de su computador.



PARTE 1.- REGISTRO DE UN NUEVO DOCTOR/DOCTORES

1. De doble clic sobre el icono del Software del Sistema de Telemedicina, el mismo que se encuentra en la pantalla principal de su computador.



2. Si es la primera vez que usa este sistema, es indispensable que se registre, creando una cuenta, para lo cual de clic sobre el botón “Registrar Doctor”, como se muestra en la siguiente figura.



3. Llene los campos requeridos, como cédula, nombres, apellidos, email, un usuario y clave para la cuenta. Una vez que se han llenado los campos, de clic sobre el botón registrar.

Registrar nuevo doctor

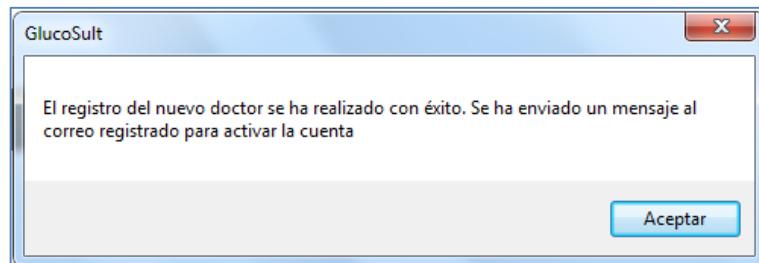


GlucoSult

Cédula :	<input type="text" value="1803218912"/>	Usuario:	<input type="text" value="glucosult"/>
Nombres:	<input type="text" value="Nombre"/>	Clave:	<input type="password" value="•••"/>
Apellidos:	<input type="text" value="Apellido"/>	Repetir clave:	<input type="password" value="•••"/>
eMail:	<input type="text" value="glucosult@gmail.com"/>		

CANCELAR **REGISTRAR**

- Si el registro fue exitoso aparecerá una ventana como la de la siguiente figura.



- De clic en aceptar, es necesario que ingrese a la cuenta de correo electrónico que usó en el registro de doctor para poder activar la cuenta.
- Ingrese al sistema con su nueva cuenta.

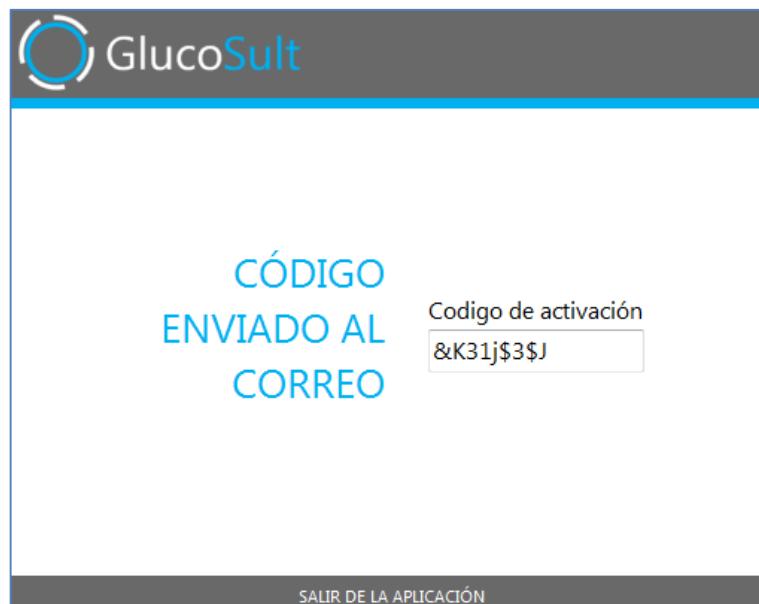
INGRESE SUS
DATOS PARA
ACCEDER

Usuario

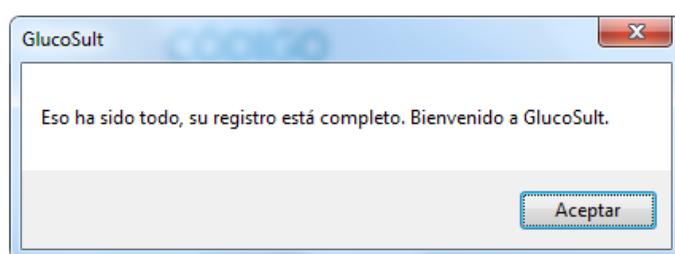
Contraseña

REGISTRAR DOCTOR RECUPERAR CONTRASEÑA SALIR

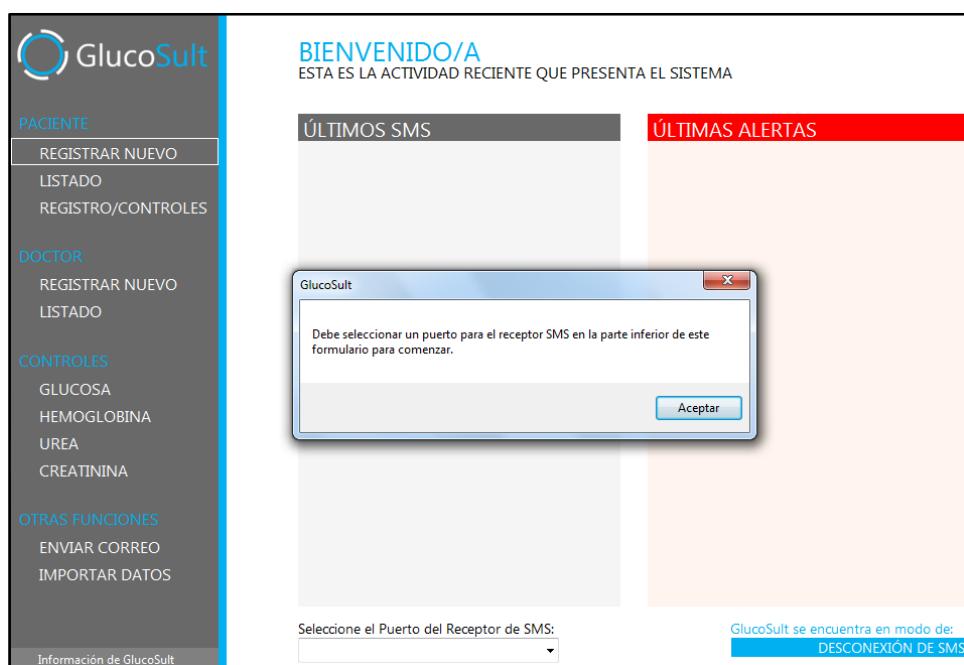
- Copie el código de activación anexado en el correo electrónico, péguelo en la ventana como se muestra en la siguiente figura y presione la tecla “Enter”.



8. Si realizó correctamente todos los pasos, le aparecerá el siguiente mensaje.



Al dar clic en aceptar se cargará la pantalla principal del software, acompañada de una notificación, de clic en aceptar.



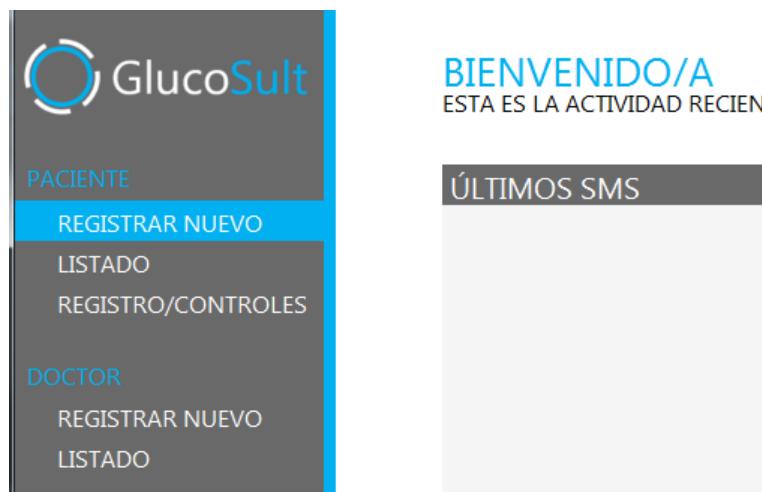
Siga los pasos descritos en la parte 2 de la guía de uso.

Cada vez que requiera registrar un nuevo doctor siga los 8 pasos descritos en la parte 1 de la guía de uso

PARTE 2.- REGISTRO DE PACIENTES

Una vez que ha creado su cuenta en el sistema, es necesario que registre a los pacientes a quienes monitoreará a través del sistema.

1. De clic sobre el botón “Registrar Nuevo”, de la sección Paciente.



2. Le aparecerá una ventana emergente con todos los campos obligatorios que deben ser llenados, como cédula, nombres, apellidos, género, peso, estatura, valor máximo y mínimo de glucosa, entre otros.

Una vez que ha llenado todos los campos del paciente de clic en “Registrar”, tal como se observa en la siguiente figura.

Registrar nuevo paciente

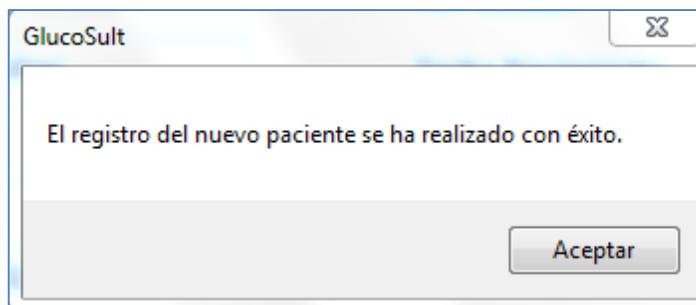


Cédula:	1804327865	Dirección:	Ambato
Nombres:	Paciente	Telf Convencional:	032XXXXXX
Apellidos:	Uno	Telf Celular:	09XXXXXXXX
Genero:	Masculino	Fecha Nacimiento:	martes , 27 de oct
Peso (Kg):	80	eMail:	paciente1@gmail.com
Estatura (cm):	169		
IMC:	28,0102234		
Glucosa Max:	230		
Glucosa Min:	120		

CANCELAR

REGISTRAR

- Si el registro del paciente fue exitoso, le aparecerá una pantalla como la de la siguiente figura. De clic en aceptar.

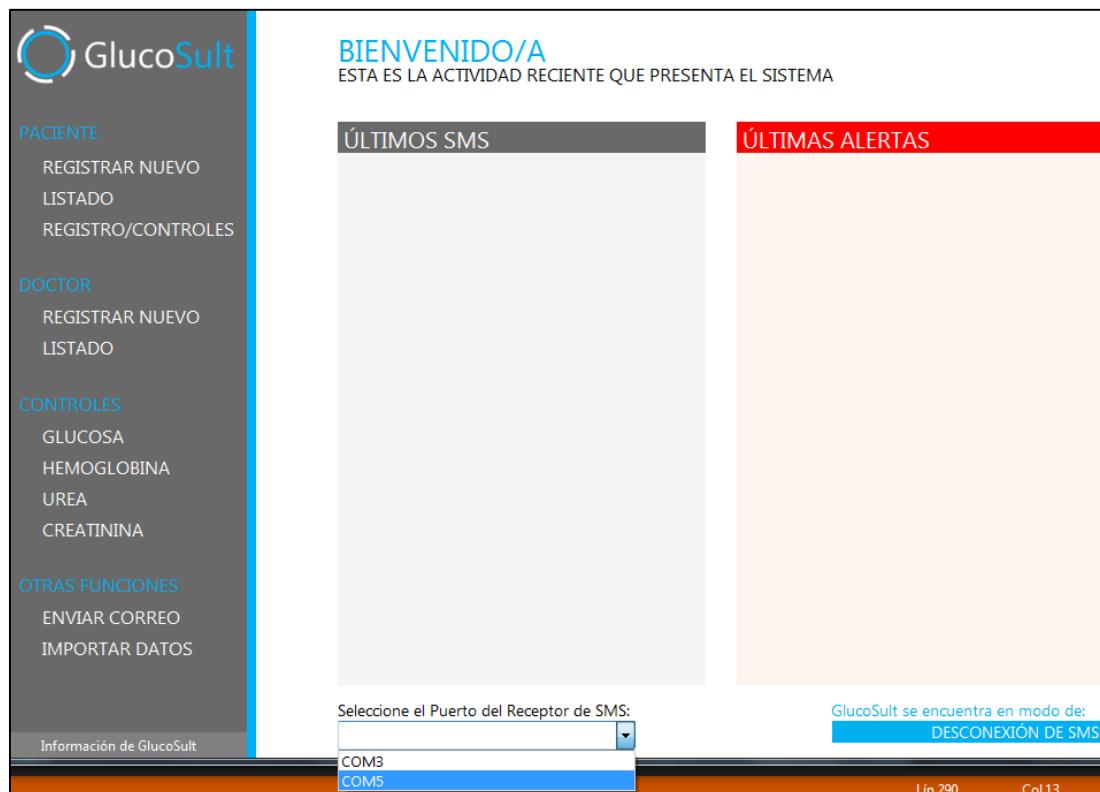


- Repita el mismo proceso cada vez que requiera registrar un nuevo paciente.

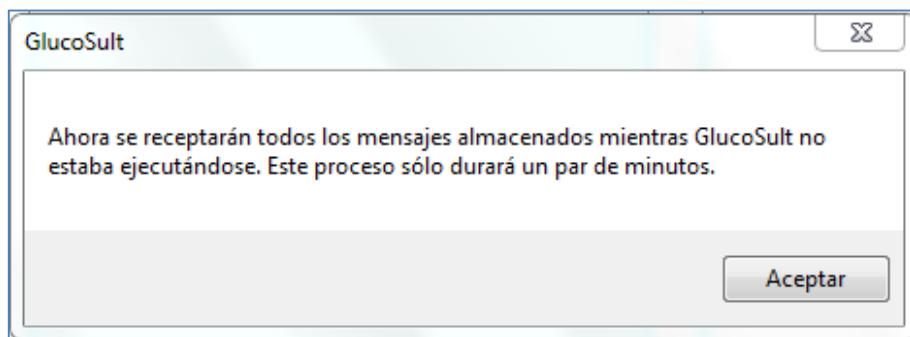
PARTE 3.- USO DEL SISTEMA

Cuando haya concluido el registro de su nueva cuenta (Parte 1), y ha registrado a sus pacientes (Parte 2), siga los siguientes pasos para el uso del Sistema.

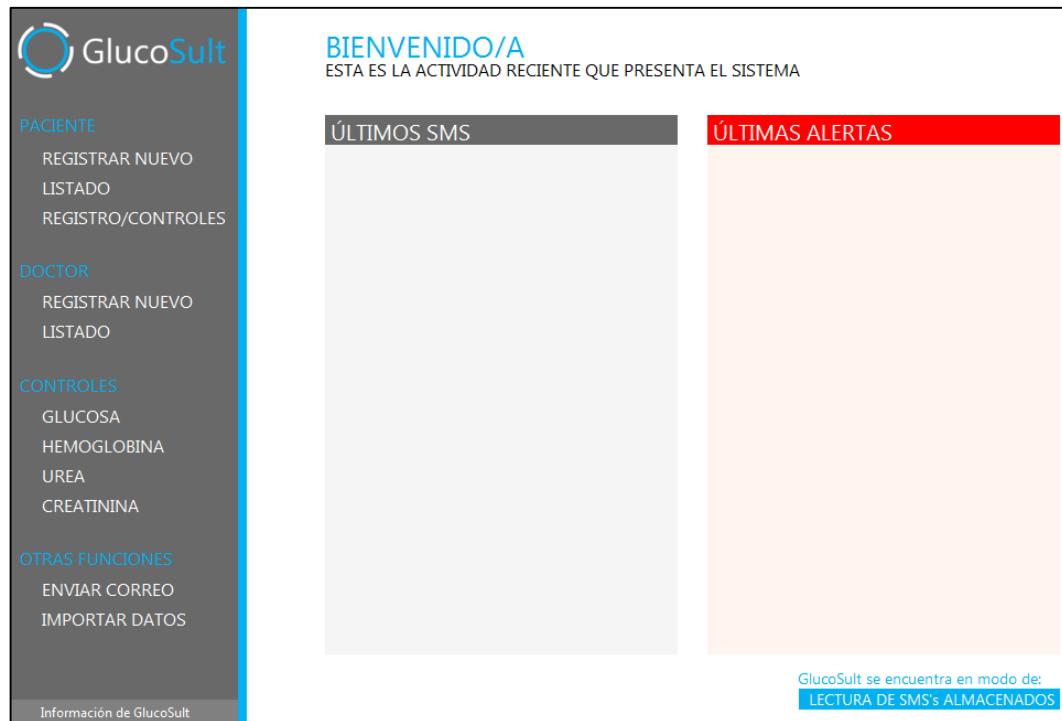
- Cuando se encuentre en la ventana principal de la interfaz, diríjase a la parte inferior de la pantalla y Seleccione el Puerto del Receptor del SMS (el puerto COM dependerá de su dispositivo electrónico). La selección se realiza como se muestra en la siguiente figura.



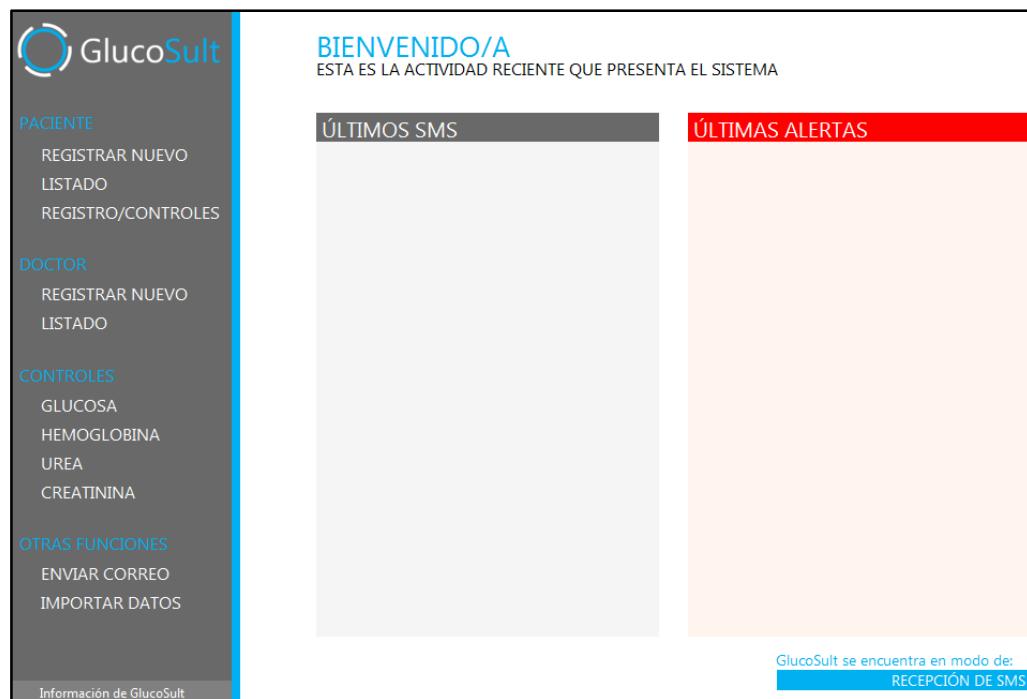
2. Seguidamente le aparecerá una ventana indicándole que el sistema ha empezado a recibir los mensajes de texto almacenados durante la noche. El proceso tarda alrededor de 2 minutos, en los que puede realizar otras actividades. No olvide presionar en el botón Aceptar.



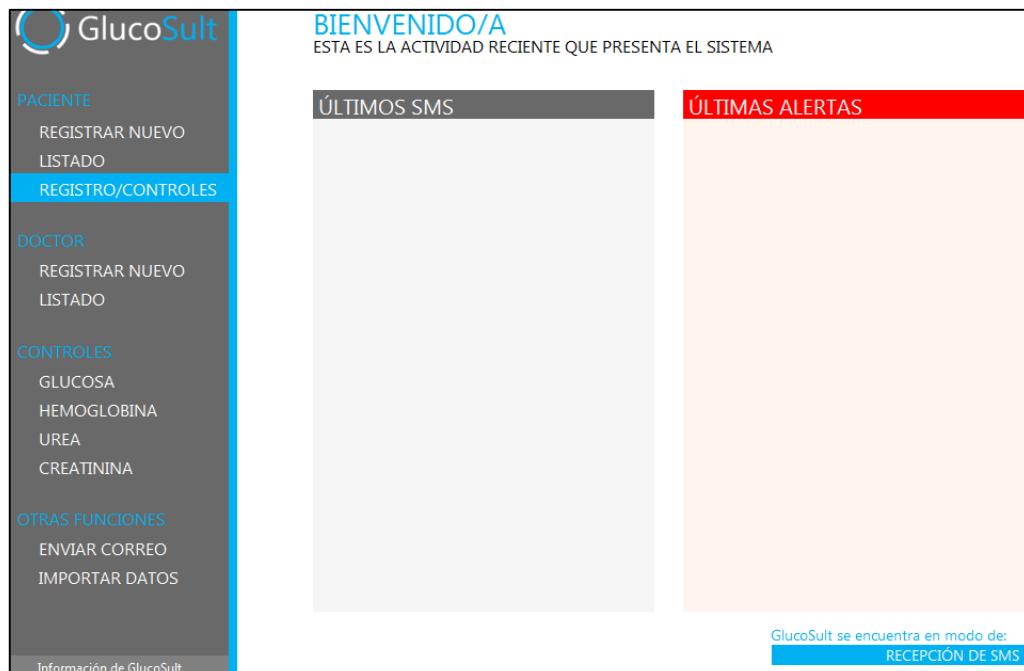
En la parte inferior derecha de la ventana principal, se visualiza el estado en el que se encuentra el sistema. Cuando está leyendo los mensajes de texto almacenados aparecerá “Lectura de SMS’s Almacenados”.



Cuando finaliza la lectura el sistema cambiará a modo “Recepción de SMS”.



3. En la sección “Paciente”, existe una función adicional que permite visualizar en forma de resumen, todos los valores de glucosa recibidos, los valores de hemoglobina, creatinina y úrea registrados por el doctor.

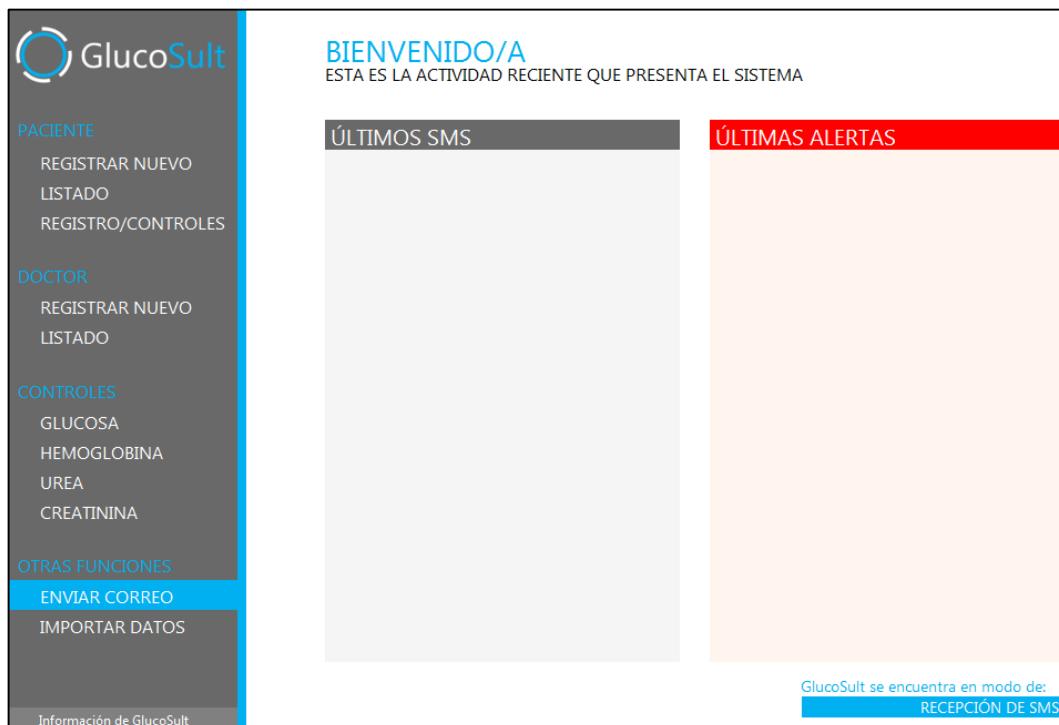


4. Este resumen se visualiza al presionar el botón “Registro/Controles”. Seguidamente le aparecerá una pantalla emergente en donde usted podrá buscar a un determinado paciente con su número de cédula o con el nombre, como se muestra en la siguiente figura.

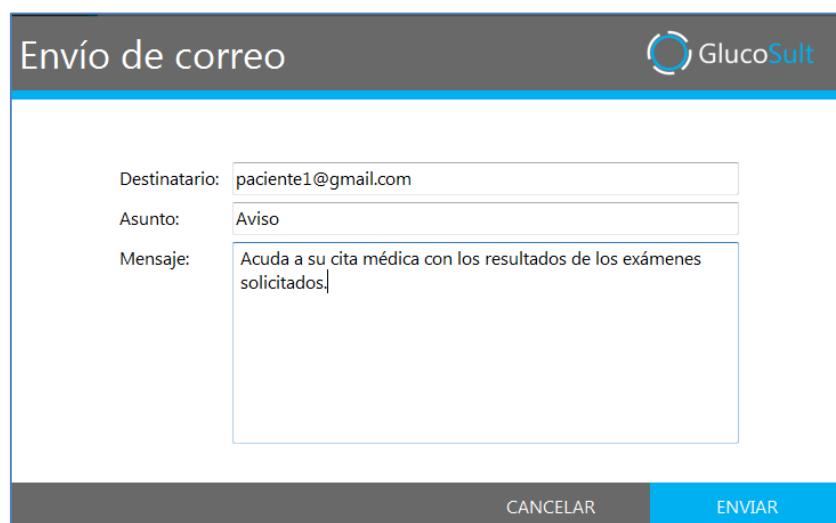
The screenshot shows the "Registros de Paciente" (Patient Registrations) screen. The top bar has the "GlucoSult" logo. Below the bar, there are two input fields: "Escribe el número de cédula" (Type the identification number) and "Selección el paciente de la lista" (Select the patient from the list). The "Selección el paciente de la lista" field contains the value "1804321234 - Paciente Uno". Below these fields, there are four buttons: "GLUCOSA", "CREATININA", "UREA", and "HEMOGLOBINA". At the bottom right of the screen is a button labeled "ACEPTAR" (Accept).

5. Adicionalmente, el sistema cuenta con tres funciones: Enviar Correos, Exportar Datos e Importar Datos.

6. La primera función se ejecuta al presionar el botón “Enviar Correos”, ésta le permite comunicarse con sus pacientes, para enviarles información, sugerencia o notificaciones adicionales.



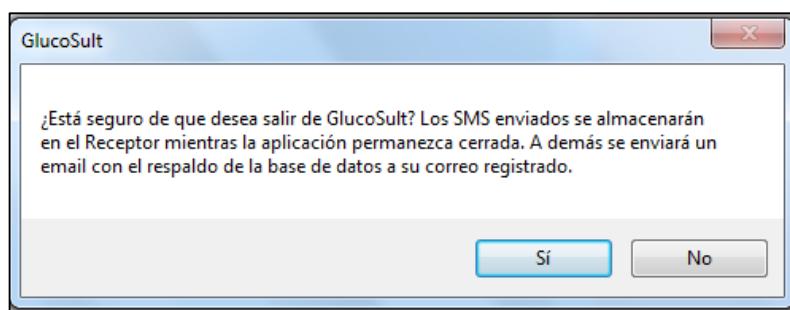
7. Basta con escribir el correo electrónico del paciente y escribir el texto del mensaje, a continuación presione enviar, como se observa en la siguiente figura.



8. La segunda función se ejecuta al presionar el botón “Importar Datos”, esta función le permite recuperar la información de un respaldo realizado. Esta función es muy útil en casos de que el sistema haya dejado de funcionar debido a software o hardware.



9. Finalmente, cuando cierre la aplicación, el dispositivo electrónico entrará en modo de almacenamiento o llamado modo noche, pues guardará todos los mensajes que hayan sido enviados por los pacientes. Este modo le permite al sistema guardar los SMS recibidos durante la noche. El respaldo de la base de datos es enviada al cerrar la aplicación.



SECCIÓN DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

- Si el software de telemedicina no reconoce el dispositivo electrónico, cierre la aplicación y desconecte el dispositivo electrónico. Vuelva a conectar el dispositivo y abra la aplicación.

- Para que el sistema envíe los mensajes de notificación es indispensable que recuerde recargar su paquete de mensajes de texto, caso contrario el sistema no enviará las alertas.
- Si su sistema no almacenó los mensajes enviados durante la noche, revise que su dispositivo electrónico esté alimentado a los 110V y que las luces del mismo estén encendidas.

PREGUNTAS FRECUENTES

El computador en donde trabajo con el software de Telemedicina dejó de funcionar, ¿Perdí toda la información de mis pacientes?

No, el sistema de Telemedicina puede enviar respaldos al correo electrónico registrado en el sistema, con el propósito de contar con la información en casos similares.

No aparece el puerto COM para leer los mensajes de texto almacenados. ¿Qué debo hacer?

Asegúrese de que el dispositivo electrónico esté conectado a su computador, caso contrario cierre la aplicación y desconecte el dispositivo electrónico. A continuación, vuelva a conectar el dispositivo electrónico y abra la aplicación.

E-MAIL DE SOPORTE TÉCNICO

Para soporte técnico o preguntas sobre el funcionamiento del sistema, comuníquese al correo solucion.glucosult@gmail.com.

ANEXO 3.- FORMATO DE ENTREVISTA AL DOCTOR EDUARDO CABEZAS CEVALLOS

Entrevista al Doctor Eduardo Cabezas Cevallos director del consultorio médico “Unidad Médica” ubicado en las calles Guayaquil 28-33 y Rocafuerte de la ciudad de Riobamba.

PARTE 1

1. ¿Cuáles son las marcas de Glucómetros que Ud. recomienda a sus pacientes?
2. ¿Cuáles son los niveles de glucosa de un enfermo con diabetes?
3. ¿Con qué frecuencia deben realizarse las mediciones de glucosa?
4. ¿Qué métodos de registro usan sus pacientes actualmente?

PARTE 2

1. Una vez que sus pacientes llegan a consulta con los resultados de sus mediciones almacenadas en el glucómetro, ¿le resulta fácil analizar todas las mediciones realizadas? SI/NO y ¿por qué?
2. ¿Le gustaría contar con un programa que le permita disponer de los resultados de las mediciones de sus pacientes en tiempo real?
3. ¿Ha existido algún problema relacionado con los resultados de mediciones con sus pacientes?
4. ¿Dispone de algún sistema para el seguimiento de la enfermedad de sus pacientes con diabetes?
¿Cuál?
5. ¿Cuenta con una base de datos para el control de sus pacientes? SI/NO ¿Cuál?

PARTE 3

1. ¿Qué parámetros requeriría Ud. en la base de datos asociada al sistema de telemedicina?
 - a. Cédula de Identidad ()
 - b. Valor de glucosa ()
 - c. Fecha de medición ()
 - d. Nombre ()
 - e. Sexo ()
 - f. Fecha de nacimiento ()

Detallar otros parámetros:

2. ¿Cuándo el valor de glucosa de un paciente es demasiado baja o demasiado alta, le gustaría recibir algún tipo de notificación? SI/NO

Por ejemplo:

- Un SMS a su celular
- Un correo electrónico

Otros: _____

3. ¿Cree recomendable, advertir al paciente si su medición es muy baja o muy alta? SI/NO ¿Por qué?
4. ¿Le gustaría enviar sugerencias a sus pacientes cuando existen lecturas de glucosa fuera de los niveles? (Dicha Sugerencia tendrá longitud de un SMS de texto normal)

PARTE 4

1. ¿Qué características tiene su Computador?
 - Sistema Operativo:_____
 - RAM (GHz):_____
 - Procesador:_____
2. ¿Cuenta con un correo electrónico en GMAIL? De preferencia, usar un correo dedicado a la administración del sistema.
 - e-mail:_____
 - contraseña(para registrar en el sistema):_____
3. ¿En qué unidades maneja la variable “Peso”? , en libras o en kilogramos.

Libras () Kilogramos ()
4. ¿En qué unidades maneja la variable “estatura”? , en centímetros o metros.

Centímetros () Metros ()

ANEXO 4.- FORMAS DE REGISTRO USADAS POR PACIENTES CON DIABETES

Hoja de registro diario para personas con diabetes										Semana del _____
	Nivel a otra hora del día	Nivel al desayuno	Medicamento	Nivel al almuerzo	Medicamento	Nivel a la cena	Medicamento	Nivel al acostarse	Medicamento	Notas: (eventos especiales, enfermedades, actividad física)
Lunes										
Martes										
Miércoles										
Jueves										
Viernes										
Sábado										
Domingo										

Registro diario de una persona con diabetes

Registro Diario

Semana del -

ANEXO 5.- PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN DEL GLUCÓMETRO ONETOUCH ULTRAMINI

OneTouch®UltraMini™MeterRS-232 Communication Protocol

The following information may be used when attempting to upload the OneTouch®UltraMini™

Meter memory to a computer with the OneTouch Interface Cable.

EQUIPMENT NEEDED

Meter: OneTouch UltraMini™/ UltraEasy™

Cable: OneTouch®Interface Cable (25-pin, 9-pin or USB)

Computer: IBM®compatible personal computer

Adapter: An adaptor maybe required depending on the computer and version of the

OneTouch®Interface Cable. For Example: IBM®compatible personal computer: A

25-pinto9-pin adapter if serial/comport is a 9-pin and the interface cable is a 25-pin cable.

Cable: Connect OneTouch®Interface cable to an available serial or USB port on the computer. Insert the OneTouch Interface cable stereo plug into the data port that is located at the bottom of the meter.

Software: A communications software package, such as HyperTerminal.

Select port settings in communications software:

BaudRate=9600bps

Data Bits=8

Stop Bits=1

Parity=none

Flow Control=None

ComPort=port#utilized

Time-out Information:

- The inter-character timeout period for the Link Layer Protocol is 10msec and the inter packet timeout period is 100mSec.
- Link Layer Timeout – this shall be 0.5 seconds.

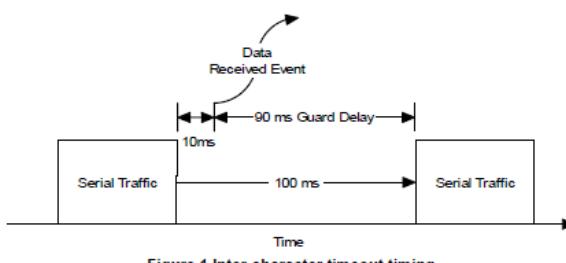


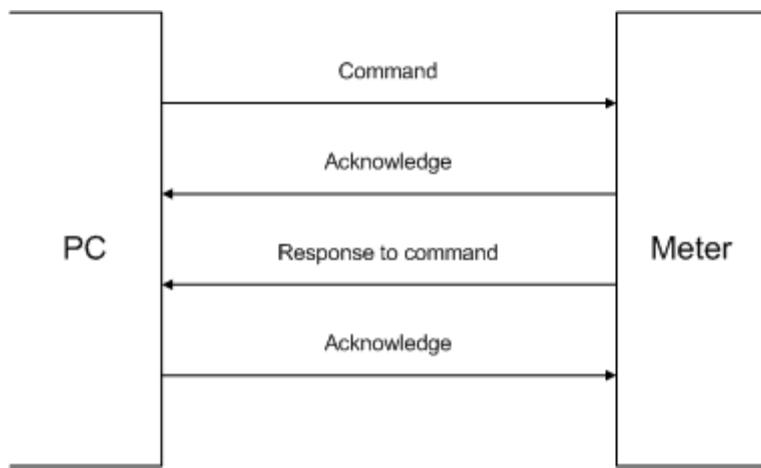
Figure 1 Inter-character timeout timing



Initiating Communications:

Initiate the terminal screen of your communications software package. Leave the meter powered **OFF**.

Communicating with the meter follows the following process flow:



Data Types:

Decimal, hexadecimal or binary numbers are used in this document.

- Decimal numbers are used to represent counts.
- Hexadecimal numbers are used to represent values like commands IDs and addresses.
- Binary numbers are used to describe bit patterns or bit settings within binary fields.
- Within a byte bits are numbered from 0 to 7, with 0 being the least significant bit

Commands:

The meter supports the following commands -

- Read Software Version String and Software Creation Date
- Read Serial Number
- Delete All Glucose Records
- Read Glucose Record
- Read Current Unit Settings
- Read Date Format
- Read/Write RTC

For each of these commands and their associated responses from the meter, the command frame layout is:

Start of message indicator	Length Byte	Control Byte	Data portion	End of message indicator	Check
STX	Size of packet	Link control information	Application data	ETX	CRClow CRChigh



Commands:

To start a session it is recommended that an initial disconnect command is sent to get the meter into a known state. This is achieved by issuing the command listed in 0 above.

An example of the data exchange is shown below:

Command from PC: Disconnect

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x08	0x03	0xC2	0x62

Reply from Meter: Disconnected and Acknowledged

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x0C	0x03	0x06	0xAE

Command: Read Software Version String and Software Creation Date:

This command allows the PC to read the meter's software version string and that version's assigned creation date.

Below is an example communication between the PC and Meter (following a disconnect/acknowledge between the PC and Meter):

Command Message from PC: Read Software Version String and Software Creation Date

STX	Len	Link	CM1	CM2	CM3	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x09	0x00	0x05	0x0D	0x02	0x03	0xDA	0x71

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x06	0x03	0xCD	0x41

Reply Message 2 from Meter: S/W Version String and Creation Date: "P02.00.0025/05/07"

STX	Len	Link	RM1	RM2	RM3	'P'	'0'	'2'	'.'	'0'	'0'	'.'	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x1A	0x02	0x05	0x06	0x11	0x50	0x30	0x32	0x2E	0x30	0x30	0x2E			
'0'	'0'	'2'	'5'	'/'	'0'	'5'	'/'	'0'	'7'						

Reply from PC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x07	0x03	0xFC	0x72

Command: Read Serial Number

This command allows the PC to read the meter's serial number.



Below is an example communication between the PC and Meter (following a disconnect/acknowledge between the PC and Meter):

Command Message from PC: Read Serial Number

STX	Len	Link	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	CM8	CM9	CM10
0x02	0x12	0x00	0x05	0x0B	0x02	0x00	0x00	0x00	0x00	0x84	0x6A	0xE8
CM11	CM12	ETX	CRC	CRC								
0x73	0x00	0x03	0x9B	0xEA								

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC	CRC
0x02	0x06	0x06	0x03	0xCD	0x41

Reply Message 2 from Meter: Serial Number= "C176SA0O0"

STX	Len	Link	CM1	CM2	'C'	'1'	'7'	'6'	'S'	'A'	'0'	'O'
0x02	0x11	0x02	0x05	0x06	0x43	0x31	0x37	0x36	0x53	0x41	0x30	0x4F
'0'	ETX	CRC	CRC									
0x30	0x03	0x49	0x43									

Reply from PC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC	CRC
0x02	0x06	0x07	0x03	0xFC	0x72

Command: Delete All Glucose Records

This command deletes all glucose records in the meter.

Below is an example communication between the PC and Meter (following a disconnect/acknowledge between the PC and Meter):

Command Message from PC: Delete All Glucose Records

STX	Len	Link	CM1	CM2	ETX	CRC	CRC
						low	
0x02	0x08	0x00	0x05	0x1A	0x03	0x56	0xB0

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC	CRC
0x02	0x06	0x06	0x03	0xCD	0x41

Reply Message 2 from Meter: Command Executed

STX	Len	Link	RM1	RM2	ETX	CRC	CRC
						low	
0x02	0x08	0x02	0x05	0x06	0x03	0x20	0x1B



Reply from PC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x07	0x03	0xFF	0x72

Command:ReadGlucoseRecord

This command allows the PC to read a specified record. Records are indexed from 0 to 499. Record 0 is the most recent glucose record recorded.

To use this facility to read one or more records successfully, the PC must first establish how many records are present in the meter. This is achieved by requesting to read record 501 which is an invalid request but the meter will reply with the number of records that are available.

Below is an example communication between the PC and Meter (following a disconnect/acknowledge between the PC and Meter) where the meter contains 3 records with the values and time stamps:

1. 76 mg/dL 16:05 20 June 2025
2. 89 mg/dL 10:50 26 April 2012
3. 79 mg/dL 16:30 25 Dec 2007

First the PC requests the number of records available by requesting an invalid record (501):

Command Message from PC: Read GlucoseRecord 501

STX	Len	Link	CM1	CM2	501	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x0A	0x00	0x05	0x1F	0xF5, 0x01	0x03	0x38	0xAA

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x06	0x03	0xCD	0x41

Reply Message 2 from Meter: Invalid Record +Number of Records = 3

STX	Len	Link	RM1	RM2	Number Of Records	ETX	CRC	CRC
0x02	0x0A	0x02	0x05	0x0F	0x03, 0x00	0x03	0x1C	0x58

Reply from PC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x07	0x03	0xFF	0x72

The PC has now established there are 3 records available on the meter. It now requests to read all 3 records:

READ RECORD1

Command Message from PC: Read Glucose Record 1 (offset =000)

STX	Len	Link	CM1	CM2	Record 1	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x0A	0x03	0x05	0x1F	0x00, 0x00	0x03	0x4B	0x5F



Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x05	0x03	0x9E	0x14

Reply Message 2 from Meter: Record glucosevalue + date stamp

STX	Len	Link	RM1	RM2	DT1	DT2	DT3	DT4	GR1	GR2	GR3	GR4
0x02	0x10	0x01	0x05	0x06	0xAC	0x86	0x55	0x68	0x4C	0x00	0x00	0x00
ETX CRC CRC												
0x03 0x86 0x0B												

This result can be interpreted as follows:

- Date and time in hex is 685586AC (from DT4 to DT1) = 16:05 20 June 2025
- Glucose value in hex is 4C (from GR4 to GR1) = 76 in decimal.

ReplyfromPC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x04	0x03	0xAF	0x27

READ RECORD2

Command Message fromPC: Read Glucose Record 2 (offset =001)

STX	Len	Link	CM1	CM2	Record 2	ETX	CRC low	CRC high
0x02	0x0A	0x00	0x05	0x1F	0x01, 0x00	0x03	0x9B	0xA6

ReplyMessage 1 fromMeter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x06	0x03	0xCD	0x41

ReplyMessage 2 from Meter: Recordglucose value + date stamp

STX	Len	Link	RM1	RM2	DT1	DT2	DT3	DT4	GR1	GR2	GR3	GR4
0x02	0x10	0x02	0x05	0x06	0x58	0x28	0x99	0x4F	0x59	0x00	0x00	0x00
ETX CRC CRC												
0x03 0x5D 0x60												

This result can be interpreted as follows:

- Date and time in hex is 4F992858 (from DT4 to DT1) = 10:50 26 April 2012
- Glucose value in hex is 59 (from GR4 to GR1) = 89 in decimal.

ReplyfromPC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x07	0x03	0xFC	0x72



READ RECORD3

Command Message from PC: Read Glucose Record 3 (offset =002)

STX	Len	Link	CM1	CM2	Record 3	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x0A	0x03	0x05	0x1F	0x02, 0x00	0x03	0x2B	0x31

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x05	0x03	0x9E	0x14

Reply Message 2 from Meter: Record glucosevalue + date stamp

STX	Len	Link	RM1	RM2	DT1	DT2	DT3	DT4	GR1	GR2	GR3	GR4
0x02	0x10	0x01	0x05	0x06	0x08	0x30	0x71	0x47	0x4F	0x00	0x00	0x00

ETX	CRC low	CRC
0x03	0x58	0x05

This result can be interpreted as follows:

- Date and time in hex is 47713008(from DT4 to DT1) = 16:30 25/December/2007
- Glucose value in hex is 4F (from GR4 to GR1) = 79 in decimal.

Reply from PC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x04	0x03	0xAF	0x27

Command: Read Current Unit Settings

This command allows the PC to read the current unit settings (mg/dL or mmol/L).

Below is an example communication between the PC and Meter (following a disconnect/acknowledge between the PC and Meter):

Command Message from PC: Read Current UnitSettings

STX	Len	Link	CM1	CM2	CM3	CM4	PM1	PM2	PM3	PM4	ETX
0x02	0x0E	0x00	0x05	0x09	0x02	0x09	0x00	0x00	0x00	0x00	0x03

CRC low	CRC
0xCE	0xE7

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x06	0x03	0xCD	0x41

Reply Message 2 from Meter: Current Unit Settings

STX	Len	Link	RM1	RM2	PM1	PM2	PM3	PM4	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x0C	0x02	0x05	0x06	0x00	0x00	0x00	0x00	0x03	0x20	0xC1

This result is interpreted as follows: PM1 is 0 => unit setting is mg/dL. If PM1 = 1, then unit setting is mmol/L.



Reply from PC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x07	0x03	0xFF	0x72

Command: Read Date Format

This command allows the PC to read the date format (EU or US). Below is an example communication between the PC and Meter (following a disconnect/acknowledge between the PC and Meter):

Command Message from PC: Read Date Format

STX	Len	Link	CM1	CM2	CM3	CM4	PM1	PM2	PM3	PM4	ETX
0x02	0x0E	0x00	0x05	0x08	0x02	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x03
CRC											CRC
low											0xFF
0xFF											0xE8

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x06	0x03	0xCD	0x41

Reply Message 2 from Meter: Date Format

STX	Len	Link	RM1	RM2	PM1	PM2	PM3	PM4	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x0C	0x02	0x05	0x06	0x01	0x00	0x00	0x00	0x03	0x71	0x6B

This result is interpreted as follows: PM1 is 1 which indicates EU date format. If PM1 = 0, then US date format.

Reply from PC: Acknowledge

STX	Len	Link	ETX	CRC low	CRC
0x02	0x06	0x07	0x03	0xFF	0x72

E

ANEXO 6. - HOJA DE DATOS ATMEL 328

Features

- High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 256/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 512/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits In-System Programming by on-chip Boot Program True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 20MHz @ 1.8- 5.5V
- Low Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:
 - Active Mode: 0.2mA
 - Power-down Mode: 0.1 μA
 - Power-save Mode: 0.75 μA (Including 32 kHz RTC)



8-bit **AVR®**
Microcontroller
with **4/8/16/32K**
Bytes In-System
Programmable
Flash

ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P

1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 PortB (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffer has symmetric drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as an input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as an output from the inverting oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RCO oscillator is used as a chip clock source, PB7...6 is used as TOSC2...1 input for the Asynchronous Timer/Counter 2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "Alternate Functions of Port B" on page 82 and "System Clock and Clock Options" on page 26.

1.1.4 PortC (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5...0 output buffer has symmetric drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 28-3 on page 318. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "Alternate Functions of Port C" on page 85.

1.1.6 PortD (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffer has symmetric drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6..4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9. ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

ANEXO 7.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SIMCOM SIM900

Version: 1005



GSM/GPRS Module

SIM900

SIMCom presents an ultra compact and reliable wireless module-SIM900. This is a complete Quad-band GSM/GPRS module in a SMT type and designed with a very powerful single-chip processor integrating AMR926EJ-S core, allowing you to benefit from small dimensions and cost-effective solutions.

Featuring an industry-standard interface, the SIM900 delivers GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz performance for voice, SMS, Data, and Fax in a small form factor and with low power consumption. With a tiny configuration of 24mm x 24mm x 3 mm, SIM900 can fit almost all the space requirements in your M2M applications, especially for slim and compact demands of design.

Smart Machine Smart Decision



General features

- Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- GPRS multi-slot class 10/8
- GPRS mobile station class B
- Compliant to GSM phase 2/2+
 - Class 4 (2 W @850/ 900 MHz)
 - Class 1 (1 W @ 1800/1900MHz)
- Dimensions: 24* 24 * 3 mm
- Weight: 3.4g
- Control via AT commands (GSM 07.07 ,07.05 and
SIMCOM enhanced AT Commands)
- SIM application toolkit
- Supply voltage range : 3.1 ... 4.8V
- Low power consumption: 1.5mA(sleep mode)
- Operation temperature: -40° C to +85 ° C

Specifications for Fax

- Group 3, class 1

Specifications for Data

- GPRS class 10: max. 85.6 kbps (downlink)
- PBCCH support
- Coding schemes CS 1, 2, 3, 4
- CSD up to 14.4 kbps
- USSD
- Non transparent mode
- PPP-stack

Specifications for SMS via GSM/GPRS

- Point to point MO and MT
- SMS cell broadcast
- Text and PDU mode

Software features

- 0710 MUX protocol
- embedded TCP/UDP protocol
- FTP/HTTP(available at July ,2010)
- FOTA (available at July ,2010)
- MMS (available at July ,2010)
- Embedded AT (available at Q3,2010)

Specifications for Voice

- Tricodec
 - Half rate (HR)
 - Full rate (FR)
 - Enhanced Full rate (EFR)
- Hands-free operation
 - (Echo suppression)
- AMR
 - Half rate (HR)
 - Full rate (FR)

Interfaces

- Interface to external SIM 3V/ 1.8V
- analog audio interface
- RTC backup
- SPI interface (option)
- Serial interface
- Antenna pad
- I2C
- GPIO
- PWM
- ADC

Compatibility

- AT cellular command interface

Certificates:

- | | |
|--------|--------|
| •CE | •IC |
| •FCC | •ICASA |
| •ROHS | •TA |
| •PTCRB | •REACH |
| •GCF | |

Certificates (on going):

- AT&T(will be finished at end of July 2010)

More about SIMCom SIM900 Please contact:

Tel: 86-21-32523300
Fax: 86-21-32523301
Email: simcom@sim.com
Website: www.sim.com/wm

All specifications are subject to change without prior notice.

ANEXO 8.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TARJETA GSM/GPRS



The GPRS Shield is based on SIM900 module from SIMCOM and compatible with Arduino and its clones. The GPRS Shield provides you a way to communicate using the GSM cell phone network. The shield allows you to achieve SMS, MMS, and GPRS and Audio via UART by sending AT commands (GSM 07.07 ,07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands). The shield also has the 12 GPIOs, 2 PWMs and an ADC of the SIM900 module(They are all 2V8 logic) present onboard

Features:



- Quad-Band 850 / 900/ 1800 / 1900 MHz - would work on GSM networks in - all countries across the world.
- GPRS multi-slot class 10/8
- GPRS mobilestationclass B
- Compliantto GSM phase 2/2+
- Class 4 (2 W @ 850 / 900 MHz)
- Class 1 (1 W @ 1800 / 1900MHz)
- Control via AT commands - Standard Commands: GSM 07.07 & 07.05 | - Enhanced Commands: SIMCOM AT Commands.
- Short Message Service - so that you can send small amounts of data - over the network (ASCII or raw hexadecimal).
- Embedded TCP/UDP stack - allows you to upload data to a web server.
- RTC supported.
- Selectable serial port.
- Speaker and Headphonejacks

- Low power consumption - 1.5mA(sleep mode) - Industrial Temperature Range - -40°C to +85 °

Application Ideas

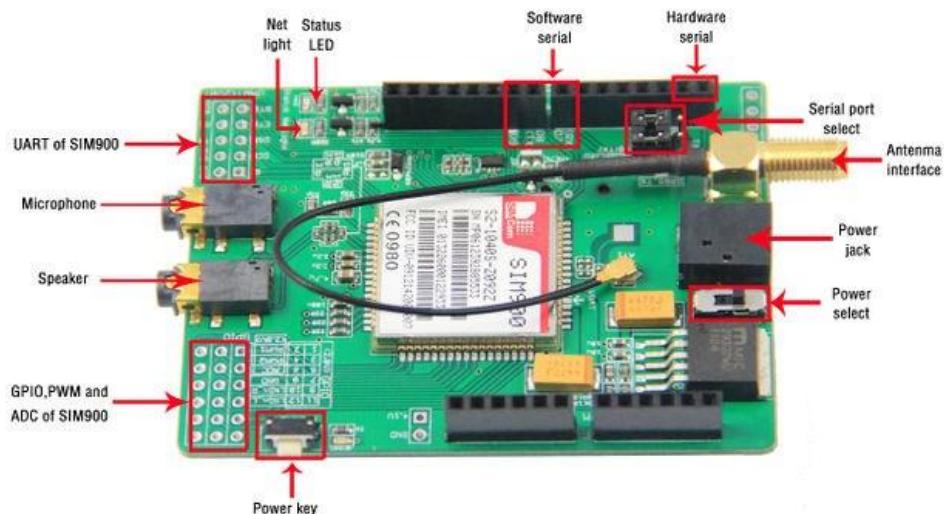
- M2M (Machine 2 Machine) Applications. - Remote control of appliances.
- Remote Weather station or a Wireless Sensor Network.

- Vehicle Tracking System with a GPS module.

Cautions

- Make sure your SIM card is unlocked.
- The product is provided as is without an insulating enclosure. - Please observe ESD precautions specially in dry (low humidity) weather.
- The factory default setting for the GPRS Shield UART is 19200 bps 8-N-1. (Can be changed using AT commands).

Hardware Diagram



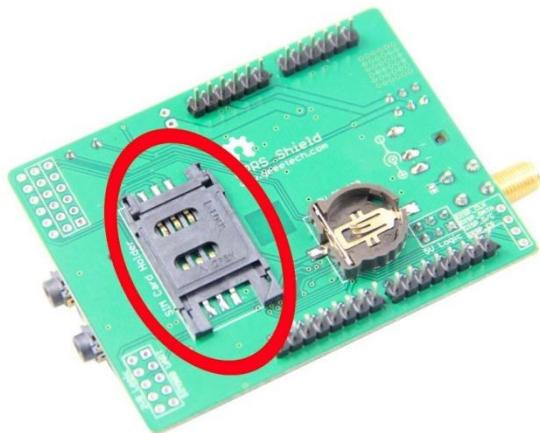
Power select - select the power supply for GPRS shield(external power or 5v of arduino)

- Power jack - connected to external 4.8~5VDC power supply
- Antenna interface - connected to external antenna
- Serial port select - select either software serial port or hardware serial port to be connected to GPRS Shield
- Hardware Serial - D0/D1 of Arduino
- Software serial - D7/D8 of Arduino
- Status LED - tell whether the power of SIM900 is on
- Net light - tell the status about SIM900 linking to the net
- UART of SIM900 - UART pins breakout of SIM900
- Microphone - to answer the phone call
- Speaker - to answer the phone call
- GPIO,PWM and ADC of SIM900 - GPIO,PWM and ADC pins breakout of SIM900
- Power key - power up and down for SIM900
- Pins usage on Arduino

- D0 - Unused if you select software serial port to communicate with GPRS Shield - D1 - Unused if you select software serial port to communicate with GPRS Shield
- D2 –D6 - Unused
- D7 - Used if you select software serial port to communicate with GPRS Shield
- D8 - Used if you select software serial port to communicate with GPRS Shield
- D9 - Used for software control the power up or down of the SIM900
- D10 – D13 -Unused
- D14(A0) - Unused
- D15(A1) - Unused
- D16(A2) - Unused
- D17(A3) - Unused
- D18(A4) - Unused
- D19(A5) - Unused
- Note: A4 and A5 are connected to the I2C pins on the SIM900. The SIM900 however cannot be accessed via the I2C.

Getting Started

- Insert a unlock SIM card



Indicator LEDs

There are three indicator LEDs (PWR (Green), Status (Blue), Netlight (Red)) on the GPRS Shield, users can know about the working state of the shield based on the three indicator LEDs.

Detailed information please refer to the following table:

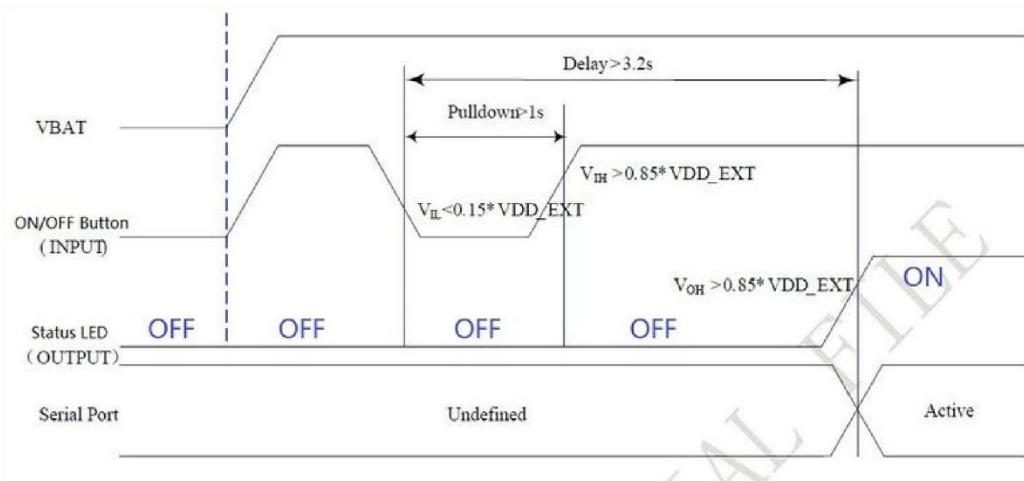
LEDs(color)	Status	Description
PWR(Green)	ON	Power of the GPRS Shield is on
	OFF	Power of the GPRS Shield is off
Status(Blue)	ON	SIM900 is on
	OFF	SIM900 is off
Netlight(Red)	64ms On/800ms Off	SIM900 has not registered to a network
	64ms On/3000ms Off	SIM900 has registered to a network
	64ms On/300ms Off	GPRS communication
	OFF	SIM900 is not running

Power Up and Power Down the GPRS Shield

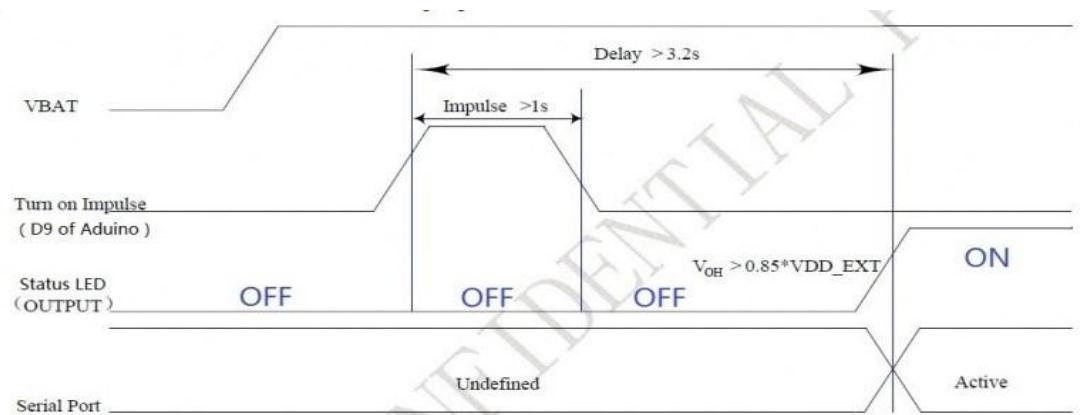
Power Up the GPRS Shield

The GPRS Shield can be turned on by two ways:

- 1, **Hardware Trigger;** Press the ON/OFF Button about two seconds. The power up scenarios illustrates as following figure:



- 2, **Software Trigger;** If use this way to power up the GPRS Shield, JP need to be soldered, then Digital Pin 9 of the Arduino will act as Software Trigger port and Digital Pin 9 cannot be used as other purpose. Then give Digital Pin 9 a Turn on Impulse can power up the GPRS Shield. The power up scenarios illustrates as following figure:



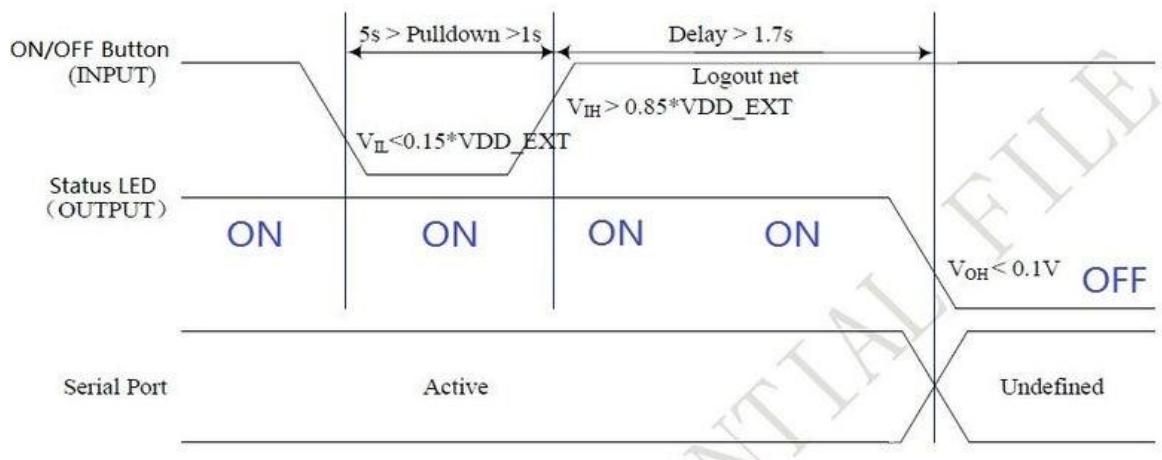
When power on procedure completes, the SIM900 will send out following result code to indicate the GPRS shield is ready to operate; When set as fixed baud rate, the SIM900 will send out result code: RDY This result code does not appear when auto baud rate is active.

Power down the GPRS Shield

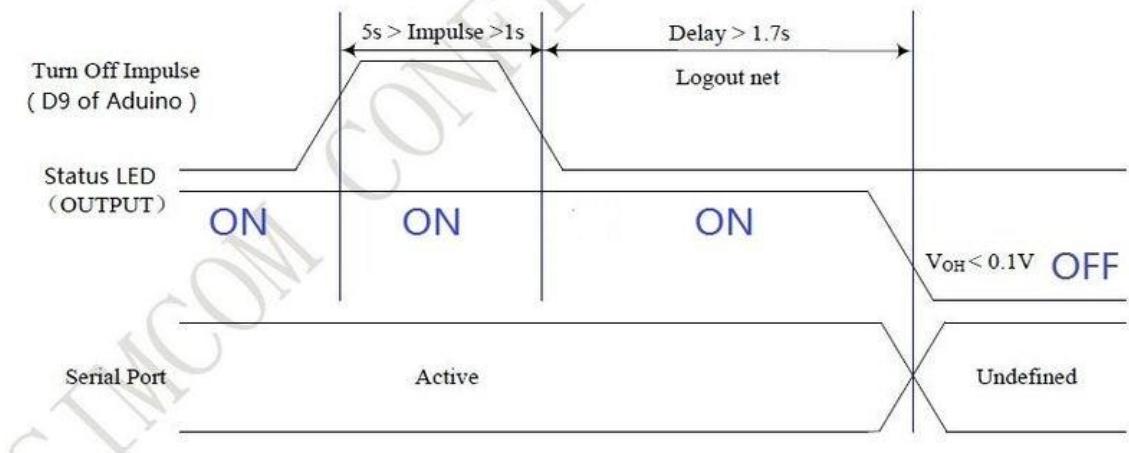
The GPRS Shield can be turned off by following ways:

- 1, Normal power down procedure:** Turn off the GPRS shield by using Hardware Trigger; Press the ON/OFF Button about two seconds.

The power down scenarios illustrates as following figure:



- 2, Normal power down procedure:** If JP is soldered, then give Digital Pin 9 of the Arduino (act as Software Trigger) a Turn off Impulse can turn off the GPRS Shield. The powerdown scenarios illustrates as following figure:



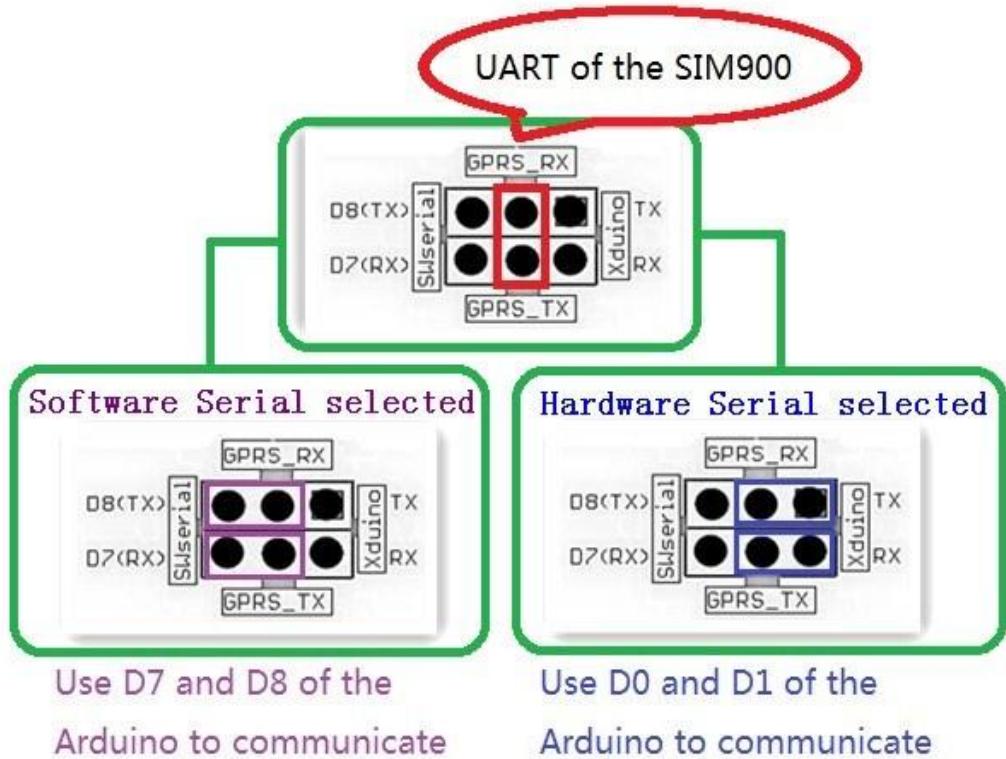
- 3, Normal power down procedure:** Turn off the GPRS shield by sending AT command “AT+CPOWD=1” to SIM900 module.

When GPRS Shield power down in Normal power down procedure, the procedure lets the SIM900 log off from the network and allows the software to enter into a secure state and save data before completely disconnecting the power supply. Before the completion of the power down procedure the SIM900 will send out result code: NORMAL POWER

DOWN

Serial Port (UART) Communication

The GPRS Shield is used UART protocol to communicate with an Arduino/Arduino clone; Users can use jumpers to connect (RX, TX) of the shield to either Software Serial (D8, D7) or Hardware Serial (D1, D0) of the Arduino. Detailed information is showed as the following picture:



Note:

- Not all Arduino boards support software serial on D7 and D8, for example Arduino Mega and Mega 2560 only support the following pins for RX: 10, 11, 12, 13, 50, 51, 52, 53, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, and 69. So Arduino Mega doesn't support soft serial on Pin D7 and D8. If using GPRS shield with Arduino Mega, please use the hardware serial or use the jumper wires wiring GPRS TX and RX to the pins support interrupt on Arduino Mega. And not all pins on the

Leonardo support change interrupts, so only the following can be used for RX: 8, 9, 10, 11, and 14 (MISO), 15 (SCK), 16

(MOSI). More information about Softserial library please visit
<http://arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial>

Users can use “AT+IPR=?” command to see supported baudrate, it will response a list of supported baudrate.
 Users can use “AT+IPR=x”(x is value of supported baudrate) to set a fixed baud rate and save the configuration to non-volatile