



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PORTABLE PARA EL  
MONITOREO DE NIVELES DE GLUCOSA EN PERSONAS DIABÉTICAS.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Redes y  
Telecomunicaciones.

Profesora Guía

Ms. Carmen Alicia Carabalí Carabalí.

Autora

Jhoanna Jacqueline Olmedo Chicaiza.

Año

2016

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

.....  
Carmen Alicia Carabalí Carabalí.  
Magister en Ingeniería Biomédica.  
C.I.1716369713

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

.....

Jhoanna Jacqueline Olmedo Chicaiza.

C.I. 1003225842

**AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a la Universidad por acogerme en sus aulas y de manera especial a mi tutora Ms. Alicia Carabalí, quién supo guiarme y brindarme su conocimiento para culminar con éxito el trabajo de titulación.

**DEDICATORIA**

A mi esposo Mauricio, a mi hijo Julian por ser mi motivación, a mis padres y hermanos que siempre me apoyaron incondicionalmente. Gracias a ellos por estar siempre presentes en todo momento de mi vida. Una meta más cumplida.

## RESUMEN

Se podría decir que en los últimos 10 años el avance de la tecnología y las telecomunicaciones ha sido vertiginoso, lo que ha impactado en muchas áreas, una de ellas la salud. Es así que actualmente se utiliza la telemedicina para el monitoreo de pacientes con enfermedades que requieren constante supervisión, tales como la diabetes. Este proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo portable para el monitoreo de glucosa, empleando comunicaciones inalámbricas y dispositivos electrónicos.

El prototipo permite la adquisición, el monitoreo, control y gestión de datos sobre niveles de glucosa en cada paciente. La adquisición de datos se hace con un glucómetro digital en cualquier lugar en el que el paciente se encuentre, la única condición es que exista cobertura de la red GSM, los datos son transferidos a un módulo emisor que se encarga de su envío en forma de mensaje de texto. La recepción de los datos lo hace un módulo receptor que posteriormente los envía a una computadora. Para el almacenamiento de los datos se emplea la base de datos (BBDD) PostgreSQL que es de código abierto, está ubicada en la nube y tiene diferentes capacidades de almacenamiento. Además la aplicación cuenta con un sistema de alertas para notificar al médico del estado del nivel de glucosa del paciente cuando éste es crítico y al paciente cuando necesite control médico.

El presente proyecto se propuso con la finalidad de ayudar a pacientes que padecen de diabetes, tras su finalización y la realización de las pruebas correspondientes se puede decir que se ha conseguido el objetivo. El sistema permite hacer adquisición y gestión de datos, es fácil de utilizar, amigable con el usuario, de fácil acceso y la cantidad de beneficios que ofrece frente al costo de su implementación es bastante alta.

## ABSTRACT

It could be said that in the last 10 years technology and telecommunications have evolved very quickly, this have had an impact in different areas, one of them health care management. Nowadays technology can be used for monitoring of sick patients who need constant supervision for example diabetic people. This project involve design and construction of a portable prototype for glucose monitoring, using wireless communications and electronic devices.

The prototype makes possible acquisition, monitoring, control and management of glucose level data for each patient. The data acquisition is performed using a digital glucometer where ever the patient is, whit the only limitation being that it has to be a place with GSM network coverage, data is transferred to an emitter module which send the as a text message. Data is the received by the receptor module that sends to a computer. For storing data a postgresql database is used, it is open source and is cloud based. Additionally, the application count with an alert system which notifies to the physician the glucose level of the patient when it is critical and to the patient when he needs to attend an appointment with his doctor.

The current project was purposed aiming to help diabetic patients, after its conclusion and the performance of different test, it can be said that all goals have been achieved. The system make possible data acquisition, transmission and management, is easy to use, user friendly, accessibly and the benefits it offers are relatively high compared with its implementation costs.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
1 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Diabetes .....	3
1.1.1 Glucosa .....	4
1.1.1.1 Niveles de Glucosa .....	4
1.1.2 Causas y Efectos de la Diabetes .....	5
1.1.3 Tipos de Diabetes.....	5
1.1.3.1 Tipo 1 .....	6
1.1.3.2 Tipo 2 .....	6
1.1.3.3 Diabetes Gestacional .....	6
1.2 Glucómetro.....	6
1.2.1 Tipos de Glucómetros.....	7
1.2.1.1 Glucómetro Invasivo .....	7
1.2.1.2 Glucómetros No Invasivos .....	9
1.2.2 Métodos de Medición de la Glucosa.....	10
1.2.2.1 Automedición .....	10
1.2.2.2 Monitoreo Automático .....	11
1.3 Tecnologías de Comunicación .....	12
1.3.1 Telecomunicaciones.....	12
1.3.1.1 Sistemas de Telecomunicaciones.....	12
1.3.1.2 Elementos de un Sistema de Telecomunicaciones.....	13
1.4 Telemedicina.....	14
1.4.1 Definición de la Telemedicina.....	14
1.4.2 Historia de la Telemedicina. ....	15
1.4.3 Sistemas de Telemedicina.....	16
1.4.4 Elementos de un Sistema de Telemedicina.....	17
1.4.5 Clasificación de la Telemedicina.....	18
1.4.5.1 Tele-consulta.....	19
1.4.5.2 Tele-educación.....	19
1.4.5.3 Tele-monitoreo. ....	19

1.4.5.4	Tele-cirugía .....	19
1.4.6	Ventajas y Desventajas de la Telemedicina .....	20
1.4.6.1	Ventajas en Pacientes .....	20
1.4.6.2	Ventajas para los Hospitales.....	21
1.4.6.3	Desventajas de la Telemedicina .....	21
1.4.7	Aplicaciones de Telemedicina .....	22
1.4.7.1	Tele radiología .....	22
1.4.7.2	Tele patología .....	23
1.4.7.3	Tele endoscopia.....	23
1.5	Telefonía Móvil.....	24
1.5.1	Generación de Telefonía Celular .....	24
1.5.1.1	Primera Generación 1G-Voz Analógica. ....	25
1.5.1.2	Segunda Generación 2G: Voz Digital .....	25
1.5.1.3	Generación 2.5 G: Acceso a Internet. ....	26
1.5.1.4	Tercera Generación: 3G- Alta Velocidad .....	26
1.6	Tecnología GSM .....	26
1.6.1	Arquitectura de Red GSM.....	27
1.6.2	Modem GSM.....	28
1.6.2.1	Comandos AT .....	29
1.7	El Microcontrolador .....	30
1.7.1	Estructura de un Microcontrolador.....	31
1.7.1.1	Memorias .....	31
1.7.1.2	CPU .....	33
1.7.1.3	Puertos de Entradas y Salida.....	33
1.7.1.4	Periféricos y otros componentes.....	33
1.7.2	Interfaz de Comunicación Puerto Serie .....	33
1.7.3	Placas de Desarrollo.....	36
1.7.3.1	Microcontrolador Arduino .....	36
1.7.3.2	Elementos de la Placa Arduino .....	37
1.8	Herramientas de Programación.....	38
1.8.1	Eclipse .....	39
1.8.2	NetBeans.....	39

1.8.3	IntelliJ IDEA .....	39
1.9	Base de Datos .....	39
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II: REQUERIMIENTOS DE HARDWARE Y SOFTWARE.</b> .....	<b>41</b>
2.1	Análisis de Requerimientos de Hardware. ....	41
2.1.1	Requerimientos Módulo Emisor.....	41
2.1.2	Requerimientos Módulo Receptor .....	42
2.2	Identificación y Selección de los Componentes de los Módulos Emisor y Receptor. ....	44
2.2.1	El glucómetro.....	44
2.2.2	Cable de Conexión .....	46
2.2.2.1	Comunicación Serial .....	47
2.2.3	Modem GSM.....	49
2.2.4	Tecnología Arduino.....	55
2.2.5	Fuente de Alimentación. ....	56
2.3	Requerimientos de Software. ....	57
2.3.1	Análisis de Requerimientos de Software .....	57
2.3.2	Requerimientos de Software Módulo Emisor.....	57
2.3.3	Requerimientos de Software Módulo Receptor .....	58
2.3.3.1	Requerimientos del Software de Gestión de Pacientes. ....	59
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.</b> .....	<b>61</b>
3.1	Diseño y Construcción de Hardware .....	62
3.1.1	Descripción del Módulo Emisor .....	62
3.1.1.1	Conexión Glucómetro- Arduino Uno. ....	63
3.1.1.2	Conexión Arduino- Modem GSM .....	65
3.1.1.3	Conexión Arduino-LCD Nokia 5110 .....	68
3.1.1.4	Conexión Fuente de Alimentación .....	69
3.1.2	Descripción de Módulo Receptor.....	73
3.1.2.1	Conexión de Arduino Uno y Modem GSM. ....	75

3.1.2.2	Comunicación del Módulo Receptor y PC del Médico. ....	77
3.2	Diseño de Software .....	78
3.2.1	Descripción de Software para Arduinos.....	78
3.2.1.1	Software para Módulo Emisor .....	78
3.2.1.2	Software para Módulo Receptor.....	88
3.2.2	Desarrollo de Software para Aplicación PC .....	95
3.2.2.1	Capa de Conexión .....	96
3.2.2.2	Capa de Acceso a Datos .....	98
3.2.2.3	Capa de Interfaz de Usuario .....	101
4	<b>CAPÍTULO IV. PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	103
4.1	Pruebas de Lectura de Glucómetro.....	103
4.2	Pruebas de Comunicación Glucómetro-Módulo Emisor ....	104
4.3	Pruebas en el Módulo Receptor .....	108
4.4	Pruebas Módulo Receptor Estado Off-Line .....	112
4.4.1	Pruebas de Envío de Alertas .....	114
4.5	Pruebas del Sistema de Gestión de Pacientes.....	115
4.5.1	Comunicación entre el Software de Gestión y el Módulo Receptor.....	115
4.5.2	Verificación de Almacenamiento de Información .....	117
4.6	Análisis Costo Beneficio del Prototipo Construido .....	119
4.6.1	Presupuesto de la Construcción del Prototipo.....	119
4.6.2	Beneficios del Prototipo .....	121
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	123
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	125
	<b>REFERENCIAS</b> .....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Tipos de Glucómetro. ....	8
<i>Figura 2.</i> Elementos indispensables para tomar la muestra.....	8
<i>Figura 3.</i> Tiras reactivas.....	8
<i>Figura 4.</i> Glucómetro de Sensys Medical- No invasivo. ....	9
<i>Figura 5.</i> Modelos de relojes Smartwatch. ....	10
<i>Figura 6.</i> Proceso de Medición de Glucosa.....	11
<i>Figura 7.</i> Método de Monitoreo automático.....	11
<i>Figura 8.</i> Esquema de un sistema de Telecomunicaciones. ....	13
<i>Figura 9.</i> Componentes de un Sistema de Telecomunicaciones.....	14
<i>Figura 10.</i> Esquema de un Sistema de Telemedicina para la recepción de datos. ....	17
<i>Figura 11.</i> Sistema básico de telemedicina.....	18
<i>Figura 12.</i> Mapa conceptual de los tipos de telemedicina. ....	18
<i>Figura 13.</i> Tipos de Telemedicina. ....	20
<i>Figura 14.</i> Envío de imagen radiológica. ....	22
<i>Figura 15.</i> Trasmisión de problemas en la piel.....	23
<i>Figura 16.</i> Endoscopia a Paciente.....	23
<i>Figura 17.</i> Dispositivos que intervienen en un sistema de Telefonía Celular. ..	24
<i>Figura 18.</i> Resumen de la evolución de la telefonía celular. ....	25
<i>Figura 19.</i> Estructura de Red GSM. ....	28
<i>Figura 20.</i> Banda de Frecuencias GSM .....	29
<i>Figura 21.</i> Sintaxis de Comandos AT.....	30
<i>Figura 22.</i> Diferentes tamaños de microcontroladores de la familia ATMEL. ...	31
<i>Figura 23.</i> Estructura interna de un microcontrolador. ....	31
<i>Figura 24.</i> Tarjeta SD Card para Arduino.....	32
<i>Figura 25.</i> Conexión de Tarjeta SD Card para Arduino.....	33
<i>Figura 26.</i> Comparación entre comunicación serial y comunicación paralela. .	34
<i>Figura 27.</i> Componentes de placa Arduino. ....	38
<i>Figura 28.</i> Conexión de datos del glucómetro Onetouch Ultramini. ....	45
<i>Figura 29.</i> Detalle de cable de conexión. ....	46
<i>Figura 30.</i> Conectores de audio de 3,5mm. ....	47

<i>Figura 31.</i> Niveles de voltaje en comunicación 232. ....	47
<i>Figura 32.</i> Conexión de con computador usando MAX232. ....	48
<i>Figura 33.</i> Detalle comunicación serie TTL. ....	48
<i>Figura 34.</i> Detalle de la placa shield SIM 900. ....	51
<i>Figura 35.</i> Diferentes tamaños de chip GSM.....	51
<i>Figura 36.</i> Distribución de pines para conexión Arduino Uno.....	52
<i>Figura 37.</i> Diferentes tipos de placas Arduino.....	55
<i>Figura 38.</i> Programa escrito en el entorno IDE Arduino. ....	56
<i>Figura 39.</i> Adaptador de voltaje AC-CD típico para electrónica. ....	57
<i>Figura 40.</i> Esquema en bloques del prototipo. ....	61
<i>Figura 41.</i> Esquema funcional del prototipo. ....	62
<i>Figura 42.</i> Diagrama de Bloques del Módulo Emisor. ....	63
<i>Figura 43.</i> Esquemático del circuito On-Off.....	63
<i>Figura 44.</i> Cable de comunicación entre el Glucómetro y Arduino Uno. ....	64
<i>Figura 45.</i> Diagrama circuital de conexión Glucómetro Arduino.....	64
<i>Figura 46.</i> Esquemático para elaboración de la tarjeta acopladora entre el Arduino y la SIM 900 .....	65
<i>Figura 47.</i> Vista del diseño de placa acopladora entre Arduino Uno-Modem GSM. ....	66
<i>Figura 48.</i> Ruteo de pistas del circuito de placa acopladora. ....	66
<i>Figura 49.</i> Diagrama de Conexión Arduino- Modem SIM 900.....	67
<i>Figura 50.</i> Ensamblaje entre tarjeta acopladora y Modem GSM. ....	67
<i>Figura 51.</i> Tarjeta SIM en Modem GSM y acoplamiento de tarjeta y Arduino Uno.....	68
<i>Figura 52.</i> Esquemático de conexión del Arduino con LCD Nokia 5110. ....	69
<i>Figura 53.</i> Ensamblaje de Pantalla LCD con Modem GSM.....	69
<i>Figura 54.</i> Esquemático de conexión baterías de respaldo.....	70
<i>Figura 55.</i> Conexión Física de Baterías de Respaldo. ....	73
<i>Figura 56.</i> Diagrama de Bloques del Módulo Receptor.....	74
<i>Figura 57.</i> Esquemático General del Módulo Receptor.....	75
<i>Figura 58.</i> Esquemático de conexión Arduino Uno-Modem GSM- SIM 900.....	76

<i>Figura 59.</i> Ensamblaje de Arduino Uno y Modem GSM- SIM del Módulo Receptor.....	76
<i>Figura 60.</i> Cable USB para conexión entre Módulo Receptor y PC. ....	78
<i>Figura 61.</i> Diagrama de flujo principal del Módulo Emisor. ....	80
<i>Figura 62.</i> Trama petición-respuesta, utilizada por el glucómetro One Touch Ultra Mini. ....	81
<i>Figura 63.</i> Trama de petición de la última lectura tomada.....	82
<i>Figura 64.</i> Trama de respuesta glucómetro, contenedora de valor glucosa y fecha-hora. ....	82
<i>Figura 65.</i> Diagrama de Flujo de Operación Arduino Uno.....	84
<i>Figura 66.</i> Diagrama de Flujo del envío de lectura del Emisor al Receptor.....	85
<i>Figura 67.</i> Diagrama de Flujo de pantalla LCD Nokia 5110. ....	86
<i>Figura 68.</i> Diagrama de Flujo para cambio de datos del paciente. ....	87
<i>Figura 69.</i> Diagrama de Flujo principal del Módulo Receptor.....	89
<i>Figura 70.</i> Diagrama de Flujo del Modem GSM- Módulo Receptor.....	91
<i>Figura 71.</i> Diagrama de Flujo Arduino Uno del Módulo Receptor. ....	94
<i>Figura 72.</i> Diagrama de flujo Capa de Conexión.....	97
<i>Figura 73.</i> Diagrama de flujo Capa Acceso a Base de Datos. ....	99
<i>Figura 74.</i> Diagrama Entidad Relación de tablas en la BBDD.....	100
<i>Figura 75.</i> Diagrama de Base Conceptual. ....	100
<i>Figura 76.</i> Diagrama de Flujo aplicación de gestión del médico. ....	102
<i>Figura 77.</i> Prueba de Glucosa Laboratorio SaludLab. ....	103
<i>Figura 78.</i> Prueba de Glucosa con Glucómetro Onetouch.....	104
<i>Figura 79.</i> Lectura de 136 mg/dL en el glucómetro. ....	105
<i>Figura 80.</i> Lectura 1 enviada por el Módulo Emisor .....	105
<i>Figura 81.</i> Lectura 101 mg/dL en el glucómetro.....	106
<i>Figura 82.</i> Lectura 2 enviada por el módulo emisor. ....	106
<i>Figura 83.</i> Lectura de 133 mg/dl en glucómetro .....	107
<i>Figura 84.</i> Lectura 3 enviada por el Módulo Emisor. ....	107
<i>Figura 85.</i> Lectura de glucosa paciente Johana Pilapaña. ....	108
<i>Figura 86.</i> Alerta de mensaje recibido en el computador personal.....	109
<i>Figura 87.</i> Detalle de mensaje de recepción en el computador personal. ....	109

<i>Figura 88.</i> Pantalla de historial de medición del paciente. ....	110
<i>Figura 89.</i> Detalle de la lectura recibida. ....	110
<i>Figura 90.</i> Lectura de glucosa paciente Carmen Guallichicomín. ....	111
<i>Figura 91.</i> Alerta de mensaje recibido en el computador personal lectura 2. .	111
<i>Figura 92.</i> Mensaje de recepción en el computador personal lectura 2. ....	112
<i>Figura 93.</i> Detalle de la lectura 2.....	112
<i>Figura 94.</i> Lecturas enviadas de un teléfono celular en orden cronológico....	113
<i>Figura 95.</i> Pantalla donde se muestra la recepción de las lecturas de cada paciente.....	114
<i>Figura 96.</i> Mensaje enviado al celular del médico-valor de glucosa alto.....	114
<i>Figura 97.</i> Ventana de inicialización correcta del puerto serial.....	116
<i>Figura 98.</i> Fin de proceso de la información. ....	116
<i>Figura 99.</i> Ventana de ingreso de pacientes. ....	117
<i>Figura 100.</i> Pantalla con varios pacientes.....	118
<i>Figura 101.</i> Ventana de mensaje de texto en el sistema de gestión de pacientes.....	118
<i>Figura 102.</i> Mensaje de texto recibido en el teléfono del paciente.....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de Glucosa.....	5
Tabla 2. Frecuencias GSM.....	27
Tabla 3. Características de las interfaces más populares. ....	35
Tabla 4. Características del Arduino Uno.....	37
Tabla 5. Características de glucómetros invasivos. ....	44
Tabla 6. Comparación técnica entre diferente tipos de modem .....	49
Tabla 7. Comparativa entre varias familias de microcontroladores. ....	52
Tabla 8. Especificaciones de Corriente Dispositivos del Módulo Emisor. ....	70
Tabla 9. Presupuesto de Módulo Emisor. ....	119
Tabla 10. Presupuesto para el Módulo Receptor .....	120
Tabla 11. Gastos de Ingeniería. ....	120
Tabla 12. Presupuesto total de proyecto.....	121

## INTRODUCCIÓN

En el mercado existen sistemas similares al diseñado con la particularidad que requieren de internet para la transmisión de la muestra tomada por el paciente, en muchos de los casos el adulto mayor no cuenta con este servicio dificultando su uso. El prototipo construido es de fácil manejo, rápido, simple, confiable y con software de interfaz amigable y que requiere de la tecnología básica como es GSM para el envío de la información en un simple SMS. Los sistemas de monitoreo de glucosa existentes son:

- Sistema de transmisión vía internet del nivel de glucosa tomado a pacientes diabéticos desarrollado por Gómez José y Aguilar Nifer de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Bogotá Colombia en el 2011.
- En la universidad de Alcalá, España se desarrolló el proyecto de Conexión de Analizadores personales con un centro de control por telefonía móvil, que consiste en la medición del nivel de glucosa y de la coagulación de la gota de sangre. Estos datos son enviados a través de la red móvil, mediante SMS hacia el centro de control, la comunicación vía RS 232.

El avance de la tecnología de información y los sistemas de telecomunicaciones han permitido el crecimiento vertiginoso en varios campos de la telemedicina, entre ellos en el cuidado de pacientes con enfermedades crónicas que requieren de monitoreo continuo y permanente. El gran reto es eliminar la necesidad de contar con un médico en el sitio donde se encuentre el paciente. El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo portable para el monitoreo de niveles de glucosa en personas con diabetes.

El proyecto está desarrollo en 4 etapas o capítulos, el primer capítulo consta de los fundamentos teóricos necesarios para establecer las bases de conocimiento, entre ellos están: Sistemas de Telemedicina, microcontroladores, tecnologías de telefonía móvil, lenguajes de programación, además de los niveles de diabetes entre otros.

En el segundo capítulo, se presenta los requerimientos del sistema a diseñar, análisis de los diferentes componentes que se encuentran en el mercado y la elección de los elementos óptimos para la estructuración del hardware y software.

En el tercer capítulo se detallan los parámetros y criterios para el desarrollo del hardware y software, diagramas de flujo y diagramas de bloques.

Finalmente en el capítulo 4, se presentarán los resultados de la investigación realizada y se hará el análisis de costos beneficio, para poder cuantificar económicamente la inversión del proyecto.

Para culminar se presentará las conclusiones y recomendaciones obtenidas tras el desarrollo del proyecto.

# 1 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

El presente proyecto está enfocado en la telemedicina para el cuidado de pacientes con diabetes para ello se ha planteado el diseño y construcción de un prototipo portable para medir los niveles de glucosa en personas diabéticas. El sistema tendrá la facilidad de ser transportado a cualquier lugar y podrá tomar la lectura de glucosa en cualquier instante de tiempo sin perder información, ya que esta será automáticamente guardada en una base de datos para la recuperación de la información, para la gestión se contará con una interfaz de usuario instalada en una computadora. Para llevar a cabo el desarrollo del prototipo es indispensable abordar conceptos teóricos que se detallarán a lo largo del diseño y construcción.

## 1.1 Diabetes

La diabetes es una patología crónica que se deriva del vocablo griego “atravesar”, y que produce trastornos metabólicos en el cuerpo humano, debido a la no utilización o no producción apropiada de insulina, entiéndase como insulina una hormona producida por el páncreas que permite que la glucosa (azúcar) ingrese a las células del cuerpo para poder convertir el azúcar, almidones y otros alimentos que se consumen en energía necesaria para las actividades cotidianas.

Al no producir o utilizar insulina de forma eficaz conlleva a niveles altos de glucosa en la sangre a esto se le conoce como hiperglucemia. Al permanecer por un tiempo prolongado estos niveles elevados provocarían daños corporales además de fallos en varios tejidos y órganos. (IDF, 2015)

Según la estadística presentada por la Organización Mundial de la Salud, en el 2014 la prevalencia de diabetes fue del 9% en adultos mayores de 18 años. En el 2012 fallecieron 1,5 millones de personas a causa de la diabetes. (OMS, 2016).

### **1.1.1 Glucosa**

La glucosa es un carbohidrato que está estrechamente ligado con la cantidad de azúcar que el cuerpo es capaz de absorber a partir de los alimentos ingeridos y son transformados en diferentes formas de energía que ayudan a mantener el cuerpo caliente (Diario Medico, 2011).

La principal función de la glucosa es brindar energía a las células de nuestro cuerpo y poder llevar acabo la digestión, reparación de tejidos y multiplicación de células. Químicamente está formada por seis átomos de carbono, doce átomos de hidrógeno y seis átomos de oxígeno.

Para que la glucosa realice su función es necesario que el cuerpo reciba diferentes tipos de carbohidratos que se consumen a diario y para sintetizar la glucosa es importante el rol que desempeñan el hígado y los riñones.

#### **1.1.1.1 Niveles de Glucosa**

Los niveles de glucosa dependen del tipo de alimentación que se haya ingerido, así como también de la cantidad de alimentos. La concentración de glucosa en la sangre varía según el momento que se haya tomado, puede ser durante la noche, al medio día y en ayunas, que es lo más común. La cantidad de glucosa en la sangre se mide en milimoles por litro (mmol/l) o en miligramos por decilitro (mg/dl). (Salud y bienestar, 2016).

La ADA (American Diabetes Association) define los niveles de glucosa en la sangre para los adultos diabéticos a excepción de las embarazadas:

- Glucosa plasmática preprandial (antes de comer): 80–130 mg/dl
- Glucosa plasmática posprandial (1-2 horas después del inicio de la comida): Menos de 180 mg/dl. (ADA, 2015).

Para el control de la glucosa se recomienda considerar los valores descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de Glucosa.

	Normal (mg/dL)	Sobre lo normal (mg/dL)	Alto (mg/dL)
Antes de las Comidas	80 a 130	130 a 180	Sobre 180
Después de las Comidas	80 a 130	130 a 180	Sobre 250

Tomado de ADA, 2015.

### 1.1.2 Causas y Efectos de la Diabetes

La diabetes es una enfermedad que se puede producir por diversos factores como el estilo de vida sedentario, cambios en los hábitos alimenticios y aumento de la inactividad física, los cuales provocan obesidad. Otras condiciones que provocan el desarrollo de la diabetes son la edad avanzada y el padecimiento de otras enfermedades como hipertensión y obesidad, además la genética familiar influye en el desarrollo de esta enfermedad.

Hoy en día se menciona que una de las causas desencadenantes es la alimentación precoz de cereales en la alimentación del niño, por lo que se aconseja no dar alimentos derivados de leche, mantequilla en los primeros 6 meses de vida.

Los efectos de esta enfermedad tienen la capacidad de afectar a casi todo el cuerpo, entre ellos se encuentra la pérdida de la visión, daños en los riñones, sensación de ardor al orinar, fiebres, escalofríos, fatiga, mareo y dolores de cabeza. Otro efecto es cuando las arterias se endurecen a causa de la diabetes provocando un derrame cerebral causando daños en el sistema nervioso. Si los niveles de glucosa regresan a los normales todos estos efectos desaparecen.

### 1.1.3 Tipos de Diabetes.

A continuación se muestra una clasificación de la diabetes realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### **1.1.3.1 Tipo 1**

La diabetes tipo 1, también suele denominarse diabetes juvenil o insulina dependiente, generalmente se diagnostica en niños, adolescentes o adultos jóvenes. Aunque no se conoce con certeza las causas de la Diabetes tipo I, si hay evidencias que al menos se va desarrollando durante el crecimiento.

- Factores genéticos
- Factores medio ambientales.

### **1.1.3.2 Tipo 2**

La diabetes tipo 2 suele presentarse de forma mayoritaria en la edad adulta, aunque cada vez más se están presentando en jóvenes, gran parte se debe a la obesidad y sedentarismo.

### **1.1.3.3 Diabetes Gestacional**

La diabetes gestacional es contraída por ciertas mujeres en las últimas semanas del embarazo, si bien es cierto que desaparece una vez que se produce el parto, corren con gran probabilidad de desarrollar en el futuro la diabetes tipo 2.

## **1.2 Glucómetro**

El glucómetro es un dispositivo electrónico portátil que está diseñado para medir los niveles de azúcar en la sangre, con tan solo una gota de sangre. Son de vital importancia para personas diabéticas, permitiendo llevar un control del nivel de glucosa.

Según la Federación Diabetológica Colombia F.D.C se define al glucómetro como un pequeño instrumento que ayuda a determinar la cantidad de glucosa que hay en la sangre.

La mayoría de glucómetros toman las lecturas basadas en la reacción de una enzima llamada “glucosa oxidasa”, la misma que provoca la oxidación de la

glucosa generando un cambio de color en la sangre, que varía dependiendo de la cantidad de glucosa que hay en la sangre. Actualmente existe gran cantidad de medidores algunos de estos medidores cuentan con memoria, la cual permite almacenar los resultados de múltiples pruebas, es importante analizar con su médico de confianza, ya que el medidor debe adaptarse a las necesidades individuales de los pacientes.

### **1.2.1 Tipos de Glucómetros**

Existen en el mercado varios tipos de glucómetros que se clasifican de acuerdo a sus métodos para determinar los niveles de glucosa en la sangre, los hay invasivos y no invasivos.

#### **1.2.1.1 Glucómetro Invasivo**

Este tipo de glucómetro es aquel que utiliza un mecanismo de lanceta que permite obtener la muestra de sangre, la misma que es colocada en una tira reactiva para analizar su resultado que luego es proyectado en una pantalla, en la figura 1 se puede apreciar, los diferentes tipos de Glucómetros.

Su resultado se fundamenta en una reacción de una enzima que se llama glucosa oxidasa, este proceso provoca la oxidación de la glucosa, generando dos principios de medición, la fotometría de reactancia que depende del color que se torne la tira reactiva y la electroquímica que oxida a la glucosa produciendo una electrólisis con los electrodos de plata y cobre. (Olivera, 2004).

El proceso de medir el nivel de glucosa se describe a continuación:

- Las manos deben ser lavadas con agua y jabón.
- Lo dedos no deben estar fríos, por facilidad ya que los dedos están medios sensibles a la punción del dedo.
- Para evitar dolor en los dedos, se debe alterar los dedos al momento de hacer la punzación. Como muestra la figura 2.



En la figura 3, se observa cómo se aplica la muestra de sangre tomada en la tira reactiva.



### 1.2.1.2 Glucómetros No Invasivos

Los glucómetros no invasivos ayudan a llevar el proceso de forma fácil, cómoda, eficiente, estos se basan en estudios teóricos como son: Espectroscopios, fotometría, NIR (infrarrojo Cercano), Colorimetría, Ley de Lamber-Beer. Los métodos ópticos-espectroscópicos son libres de reactivos y requieren muy poca o ninguna preparación de la muestra (Klonoff, 2010).

- SensysMedical. Inc.

El glucómetro realiza mediciones no invasivas, ya que utiliza el método espectroscopia de reluctancia difusa con longitud de onda distante al infrarrojo NIR, este dispersa un líquido que elimina el aire entre el sensor y la piel del antebrazo, el valor tomado puede ser observado en una pantalla como se muestra en la figura 4 (Mattu, Makawicz, blank, Lorenz, 2008).



- Reloj medidor de glucosa no invasivo.

La empresa Valenciana llamada imasD Tecnología, está desarrollando un dispositivo capaz de medir la glucosa a través de la piel con el simple contacto con el reloj, como se muestra en la figura 5, reloj inteligente capaz de medir los niveles de glucosa. (Briñas, 2014).



*Figura 5. Modelos de relojes Smartwatch.  
Tomado de Briñas, 2014.*

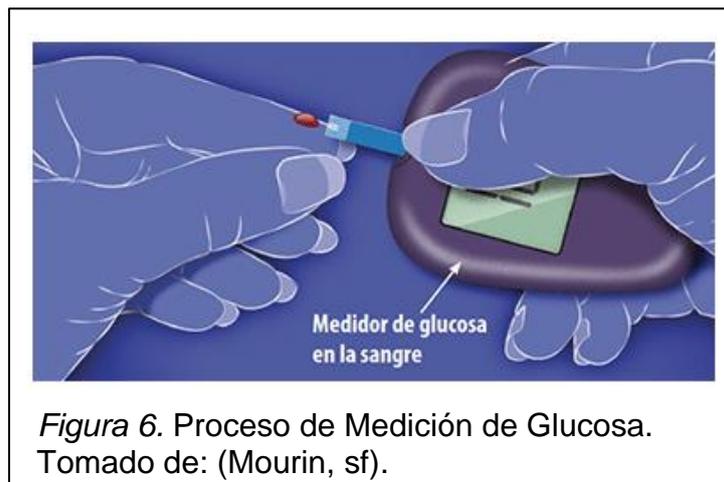
Consiste en un smartwatch pensado en personas diabéticas, aunque puede captar datos biométricos necesarios para otras patologías, además cuenta con GPS que ayudaría a saber la posición del paciente. Estos datos son recibidos por una enzima reactiva que censa una vez cada 4 minutos, permite enviar la información de forma automática hacia un servidor.

## **1.2.2 Métodos de Medición de la Glucosa**

### **1.2.2.1 Automedición**

La automedición de la glucosa es esencial para que los pacientes tengan la posibilidad de determinar por sí mismo sus niveles de glucosa desde casa. En la figura 6 se muestra el proceso que consiste en poner una gota de sangre de su dedo o antebrazo en una tira de prueba, el medidor lee y presenta su resultado en la pantalla, algunos medidores pueden almacenar los resultados por varios meses.

Los medidores de glucosa que no disponen de memoria para almacenar este valor, se lo debe hacer manualmente; el proceso consiste en anotar en un cuaderno, las lecturas de glucosa realizadas a lo largo de los días el mismo que se llevará cada vez que se visite a los profesionales de la salud y según los resultados obtenidos, se adoptará el plan de tratamiento a las necesidades del paciente; esto ayudará a modificar o ajustar los niveles de insulina, cambiar tratamientos, controlar dietas y poder determinar medicaciones. (Mourin, sf).



### 1.2.2.2 Monitoreo Automático

Un sistema de monitoreo automático de glucosa consiste en medir los niveles de glucosa en tiempo real, sea esto en el día y en la noche. Para esto se requiere de un dispositivo pequeño que se lleva en el cinturón o correa. El dispositivo consta de sensores, los mismos que se fijan en el abdomen y una aguja pequeña, la frecuencia de medición es de 1 a 5 minutos. En la figura 7 se muestra cómo funciona este método.

La desventaja de este método automático es que no es tan exacto como la automedición, aún utilizando monitoreo automático debe hacerse la automedición para comparar resultados y verificar que las lecturas sean exactas.



## **1.3 Tecnologías de Comunicación**

Las Tecnologías de la Información y telecomunicación están presentes en nuestro diario vivir y lo han transformado con la aparición de la tecnología digital y las computadoras. Esto ha permitido a la humanidad adquirir un progreso significativo en diferentes campos de la medicina, tecnología, educación, comunicación, etc.

Se denominan tecnologías de la Información y la Comunicación al conjunto de tecnologías que permiten la adquisición, almacenamiento, tratamiento, comunicación y presentación de información en forma de imágenes, datos y voz que están contenidos en señales de naturaleza óptica, electromagnética y acústica, básicamente giran en tres medios: la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones (Rodríguez, 2009).

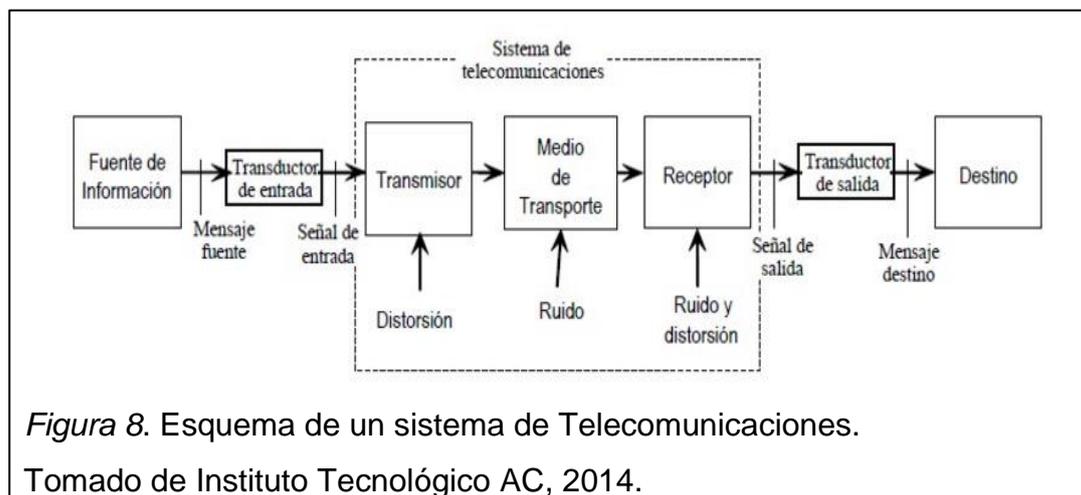
### **1.3.1 Telecomunicaciones**

Las telecomunicaciones son un conjunto de elementos y técnicas que permiten la comunicación a distancia. El inicio de las telecomunicaciones se remonta siglos atrás, pero a finales del siglo XIX, es cuando se acelera su desarrollo. Este desarrollo ha pasado por diferentes etapas como son: la telegrafía, la radio, la telefonía, la televisión, los satélites de comunicaciones, la telefonía móvil, Internet, fibra óptica y nuevas redes de transmisión de datos.

#### **1.3.1.1 Sistemas de Telecomunicaciones**

Se denomina sistema de telecomunicaciones al conjunto de elementos necesarios y métodos para lograr el intercambio de información a distancia. Es decir, consiste en una infraestructura física a través de la cual se envía información desde la fuente hacia el destinatario, los mismos que puede ser uno o varios.

Dependiendo de la infraestructura se ofrecen a los usuarios diferentes servicios de telecomunicaciones, en todo caso, la finalidad es enviar información desde un punto hacia otro punto de destino a través de un canal de transmisión (Instituto Tecnológico AC, 2014). En la figura 8 se muestra el esquema funcional de un sistema de telecomunicaciones.

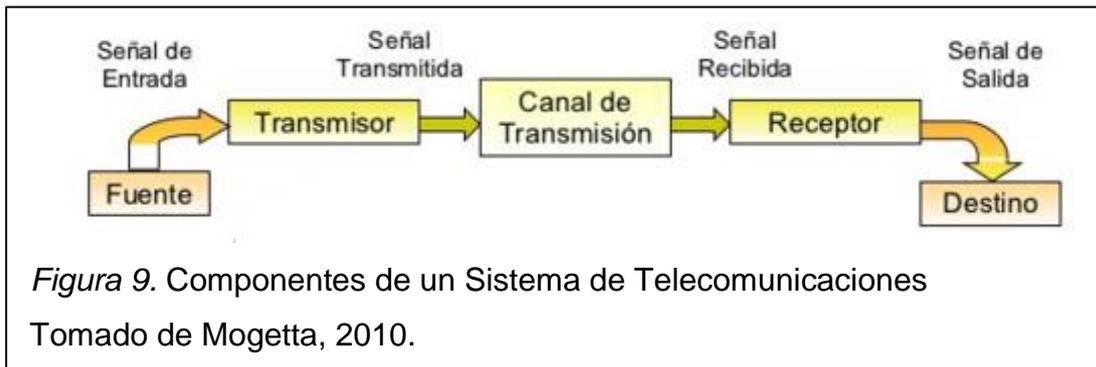


### 1.3.1.2 Elementos de un Sistema de Telecomunicaciones.

Un sistema de telecomunicaciones está integrado por transmisor, receptor y medio de transmisión, los mismos que se detallarán a continuación:

- **Transmisor:** es el encargado de transformar o codificar los mensajes de una señal, además de amplificar y acoplar la señal modulada al canal de transmisión.
- **Medio de Transmisión o canal de comunicación:** propaga la señal enviada por el transmisor hacia el receptor, sea esto por la atmósfera, por cable o fibra óptica. Dentro del canal de transmisión, usualmente, la señal sufre degradaciones debido al ruido o interferencias.
- **Receptor:** recibe el mensaje o señal que está en la salida del canal para convertirla a una forma apropiada, además la función principal es demodular la señal recibida.

En la figura 9, se describe cada uno de los componentes que forman parte del sistema de telecomunicaciones.



*Figura 9. Componentes de un Sistema de Telecomunicaciones*  
Tomado de Mogetta, 2010.

## 1.4 Telemedicina

El avance de la tecnología ha permitido un desarrollo en el campo de la medicina. Las nuevas tecnologías TIC han abierto nuevas formas de asistencia, como tele-monitorización, tele-presencia y tele-consulta, así como también la recolección, procesamiento, análisis y almacenamiento de datos médicos.

El gran reto de los sistemas de telemedicina es cubrir las zonas geográficamente distantes y desprotegidas, con la finalidad de mejorar la atención a pacientes que no pueden movilizarse y puedan ser atendidos sin tener que salir de sus hogares.

La idea principal de los sistemas de telemedicina es poder tomar datos de variables físicas de los pacientes y que esta información sea transmitida a un punto remoto. Esto se puede hacer en tiempo real o se pueden almacenar los datos para ser analizados, de esta manera se puede llegar a sectores de menor grado de atención de servicios de salud o en donde sea complicado el acceso a especialistas. Entre los datos que se pueden tomar están la presión, la temperatura, la glucosa, etc sin tener necesidad de que el paciente se desplace de su hogar innecesariamente. (Camacho, 2010).

### 1.4.1 Definición de la Telemedicina

La telemedicina corresponde a la práctica médica a distancia, es un recurso que posibilita la atención médica ahorrando tiempo y dinero. Se citará algunas definiciones para introducir distintos conceptos:

- a) La OMS (Organización Mundial de la Salud) define telemedicina como “el abastecimiento de servicios de atención sanitaria en donde la distancia constituye un factor decisivo, por profesionales que apelan a las tecnologías de la Información y comunicación con el concepto de intercambiar datos para realizar diagnósticos”. (Vergeles, sf).
- b) “La telemedicina es el sistema de atención en el cual el médico y su paciente están en localizaciones geográficamente diferentes” (Willemain, 1971). Esta definición está enfocada en la distancia del paciente y médico.
- c) La telemedicina es “el acceso rápido a conocimientos médicos, a pesar de la distancia, gracias a las telecomunicaciones y a la informática, el lugar donde se encuentren el paciente es indiferente” (AIM, 1993).
- d) La telemedicina es “la tele-salud direccionada hacia la prestación de asistencia médica al paciente” (Brauer, 1992).

A partir de las definiciones anteriores se resume que la Telemedicina comprende cualquier actividad médica para proporcionar servicios de salud a distancia, la información enviada puede ser de cualquier tipo, como imágenes, texto y sonido.

#### **1.4.2 Historia de la Telemedicina.**

La historia de la telemedicina inicia en los 50 con la era del telégrafo, la radio la televisión, y los enlaces por satélite, pero la verdadera evolución de la Telemedicina se da en los 90's, conjuntamente con el florecimiento de las redes de telecomunicaciones y del Internet.

Desde esta era se ha usado la medicina a distancia, que fue desarrollada para la transmisión de rayos X a través del telégrafo. Una de las primeras implementaciones se efectuó en EEUU en la universidad de Nebraska que

consistió en un circuito cerrado de televisión bidireccional comunicado por microonda para tratamiento a distancia y educación médica. (Clinic Cloud, 2014).

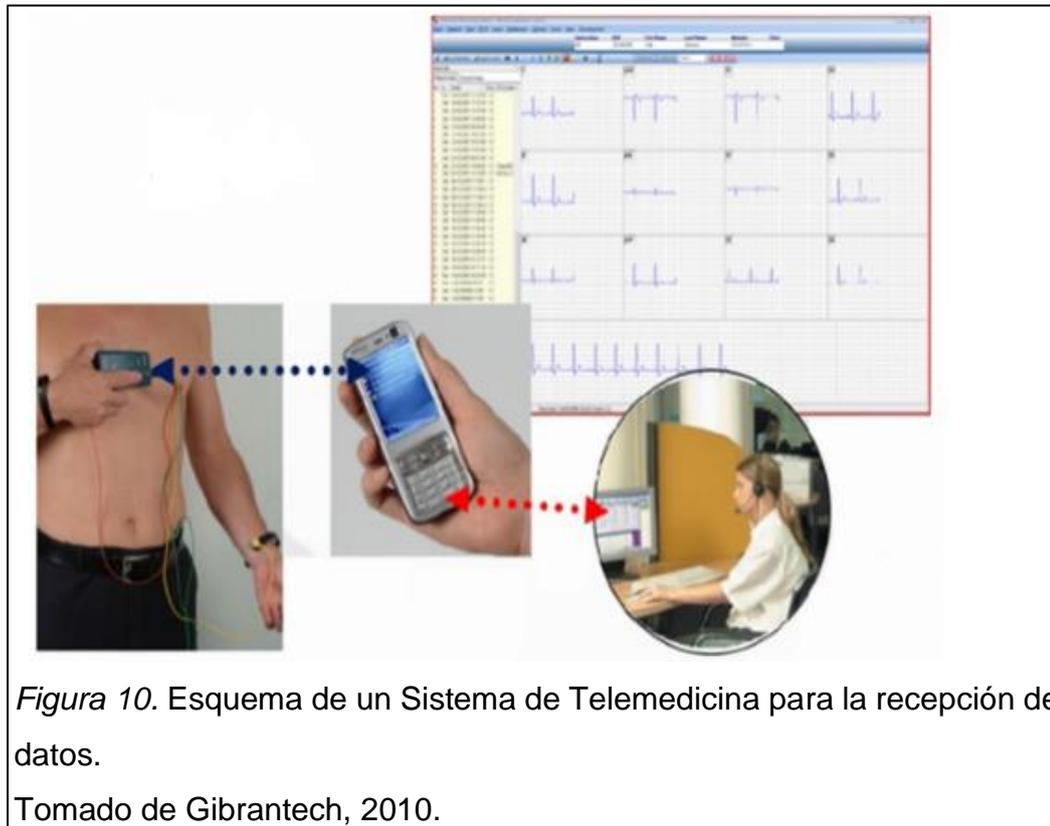
En 1994, al inicio de mayo emplea los satélites ACTS (Advanced Communications Technology Satellite) de la NASA para proyectos de telemedicina. La escuela de Medicina de la Universidad de Carolina del Este, crea cuatro salas de tele-consulta.

En 1998, en España se realizó la primera experiencia de Tele-cirugía con robots, en donde los médicos estaban en un barco operando a un paciente situado a cientos de kilómetros. La complejidad de los sistemas de telemedicina se van dotando de acuerdo a los avances de las telecomunicaciones, el incremento de comunicaciones satelitales promovió el desarrollo de la Telemedicina.

### **1.4.3 Sistemas de Telemedicina**

Los sistemas de telemedicina tienen por objeto poder realizar mediciones de señales provenientes de los pacientes para luego ser transmitidas a un punto remoto ya sea en tiempo real o por almacenamiento de información. El medio de apoyo para el desarrollo de la telemedicina son las telecomunicaciones y las ciencias informáticas, capaces de transmitir video, imágenes, audio y documentos por cualquier medio de transmisión.

En la figura 10 se presenta un esquema básico de un sistema de telemedicina, para esto es necesario contar con un dispositivo que adquiera información médica del paciente, la misma que se enviará a cualquier dispositivo móvil y este se encargará de transmitir los datos hacia un computador que contendrá una aplicación instalada para visualizar y almacenar la información de cada paciente.



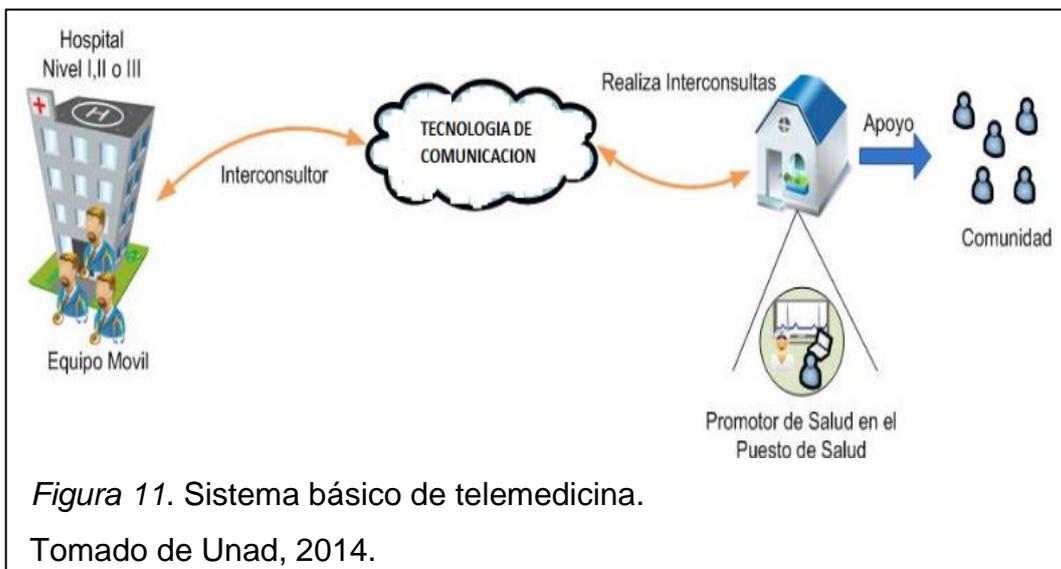
#### 1.4.4 Elementos de un Sistema de Telemedicina

Un sistema de telemedicina es similar a uno de video conferencia, sin embargo, la diferencia es la utilización de dispositivos periféricos, estas herramientas médicas pueden ser: estetoscopios, oftalmoscopios y otoscopios, además dispositivos totalmente electrónicos como cámaras de acercamiento, microscopios y otros que van de acuerdo a la especialidad médica. Para establecer las conexiones remotas se lo realiza a través de ISDN (Red Digital de Servicios Integrados) y para la captura de señales de video se utiliza cámaras de alta resolución.

Cuando la señal recibida es analógica, debe ser procesada de tal forma que se convierta en digital, para esto se utiliza un convertidor analógico- digital, luego la señal será comprimida con la ayuda de un CODEC (Compresor-Decompresor), para finalmente observar la imagen en un centro de cómputo. (FIB, 2015) Para establecer cualquier tipo de servicio de telemedicina es indispensable y

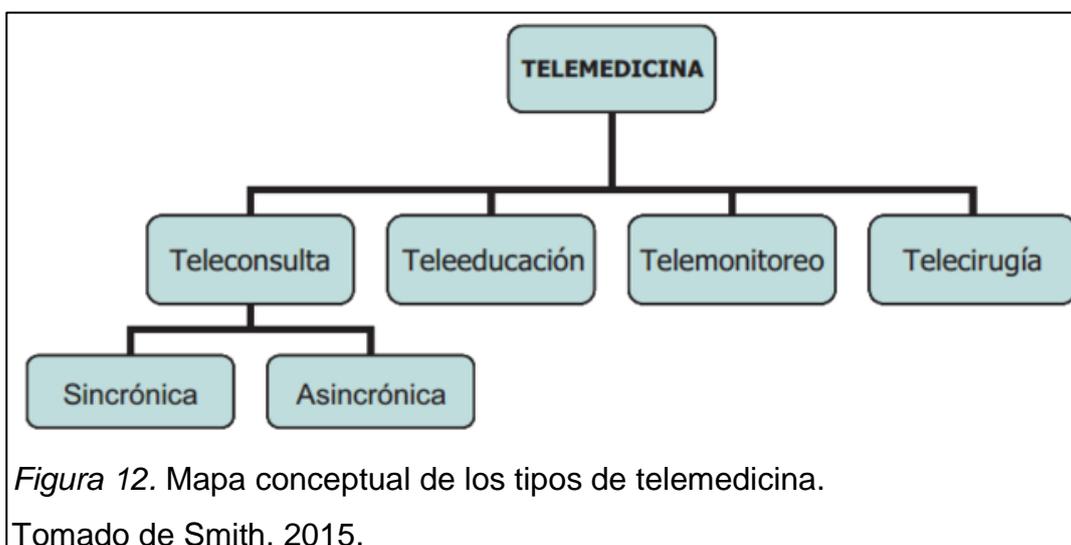
necesario contar con los siguientes elementos que se detallan a continuación. En la figura 11, se muestra un ejemplo de sistema de telemedicina

- Centros de referencia (médicos especialistas).
- Periféricos médicos.
- Red de comunicaciones.
- Sistema de videoconferencia.
- Personal de atención primaria (unidades móviles).



#### 1.4.5 Clasificación de la Telemedicina

Existen varias clasificaciones de la telemedicina, a continuación la figura 12, describe la clasificación de acuerdo al tipo de servicio.



#### **1.4.5.1 Tele-consulta**

Hace referencia a la búsqueda de información médica o asesoramiento por parte del médico, utilizando tecnologías de información y telecomunicaciones, es el tipo de telemedicina de mayor uso con el 35%, compartiendo el porcentaje restante con teleeducación y administración.

#### **1.4.5.2 Tele-educación.**

Consiste en la utilización de tecnologías de la información y telecomunicaciones para la práctica médica a distancia, para mejorar la práctica de los conocimientos adquiridos a través de asistencias virtuales, como consulta a especialistas, entrenamiento en rondas académicas, su beneficio es el menor tiempo de viaje, falta de personal de la salud y la reducción de costos.

#### **1.4.5.3 Tele-monitoreo.**

Se refiere al uso de telecomunicaciones para obtener información de rutina de los pacientes, este tipo de telemedicina permite monitorear variables fisiológicas, resultado de exámenes, con la finalidad de brindar tratamiento al paciente. Actualmente la diversificación de las tecnologías ha posibilitado el monitoreo de ECG, niveles de insulina, entre otras.

#### **1.4.5.4 Tele-cirugía**

Se desarrolla en el ambiente donde no se encuentra la presencia del cirujano, la manipulación de equipos tele-electrónicos y las visualizaciones a distancia, utilizan 2 vías. En la figura 13, se muestra diferentes tipos de telemedicina.



#### 1.4.6 Ventajas y Desventajas de la Telemedicina

Existen varias ventajas al momento de poner en práctica los diferentes servicios que brinda la telemedicina, citaremos algunos de ellos.

##### 1.4.6.1 Ventajas en Pacientes

- Tratamientos y diagnósticos rápidos, oportunos y continuos.
- Minimizar la cantidad de exámenes.
- Evitar el traslado de los pacientes para consultas.
- Apoyo de familiares, estando presentes en la atención medica
- Reducción de tiempo, costos y distancia.
- Atención dentro del propio domicilio del paciente que está imposibilitado para trasladarse.
- Posibilidades de realizar otras consultas con especialista de otros países.
- Mayores argumentos para la toma de decisiones.

- Evita desplazamientos innecesarios.
- Posibilidad de verificar diagnósticos que permiten definir diagnósticos dudosos con una segunda opinión.
- Oportunidades para el entrenamiento de nuevos médicos.

#### **1.4.6.2 Ventajas para los Hospitales**

- Evitar la acumulación de exámenes, diagnósticos y documentos, previniendo la pérdida de importante información.
- Evitar la saturación de los servicios y procesos en los hospitales o centro de atención médica.
- Brindar atención médica de calidad e inmediata provocando atención a mayor número de usuarios.
- Mejora y agiliza el proceso de atención continua.
- Mejora la atención y comunicación entre los distintos servicios.
- Economizar gastos de transporte.
- Utilización más eficaz de los equipos.

#### **1.4.6.3 Desventajas de la Telemedicina**

A pesar de las innumerables ventajas de la telemedicina, también hay que reconocer que si no se sigue un proceso, evaluación y planificación para la implementación de la telemedicina afectaría al sistema de salud. A continuación se menciona algunas desventajas:

- Confidencialidad y seguridad de información, ya que al transmitirse los diagnósticos médicos a través de un sistema de telecomunicaciones, puede llegar a perderse la información.
- Dudas o responsabilidades no claras del tratamiento o diagnóstico de un paciente, por ser atendidos por varios especialistas.
- Escasa relación médico-paciente: a la hora de implementar esta nueva tecnología.

En general, la telemedicina implica un alto costo del equipamiento y constante innovación de equipos, considerando la relación costo beneficio que podrían aportar a excelentes resultados de salud como la calidad de vida, disminución de mortalidad, beneficios de tratamientos lo que acentúa a un futuro realizar la implementación del sistema de telemedicina.

### **1.4.7 Aplicaciones de Telemedicina**

Las aplicaciones de telemedicina se han implantado en escenarios reales gracias al desarrollo de las TIC. Estas aplicaciones van desde la asistencia a pacientes a distancias hasta el intercambio de información entre hospitales. A continuación los usos más habituales de la telemedicina.

#### **1.4.7.1 Tele radiología**

La tele radiología consiste en la transmisión de imágenes radiológicas entre dos sitios que se encuentran distantes empleando las redes de comunicaciones, con la finalidad de encontrar la interpretación de resultados y consultas. En la figura 14 se muestra una conexión para el envío de imágenes radiológica.

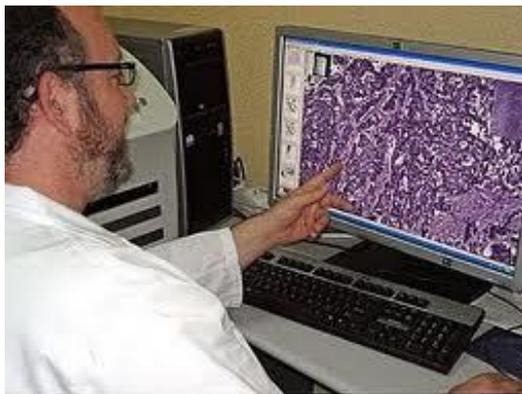


*Figura 14.* Envío de imagen radiológica.

Tomado de Rodríguez, 2013.

### 1.4.7.2 Tele patología

Consiste en el envío de imágenes digitales de patologías por medio de cualquier tipo de red de comunicaciones para diagnóstico investigación o docencias, luego estas imágenes son procesadas y comprimidas para un mejor diagnóstico. En la figura 15, se puede observar esa aplicación.



*Figura 15.* Trasmisión de problemas en la piel.  
Tomado de Rodríguez, 2013.

### 1.4.7.3 Tele endoscopia

Es una aplicación que se desarrolla en alto nivel de calidad y utilizando las más altos estándares de tecnología. Las imágenes y videos deben ser transmitidos a grandes velocidades, esto es un factor crítico debido a la trasmisión en tiempo real por lo que se ha utilizado varios compresores como por ejemplo MPEG. En la figura 16, se observa la realización de endoscopia en tiempo real.

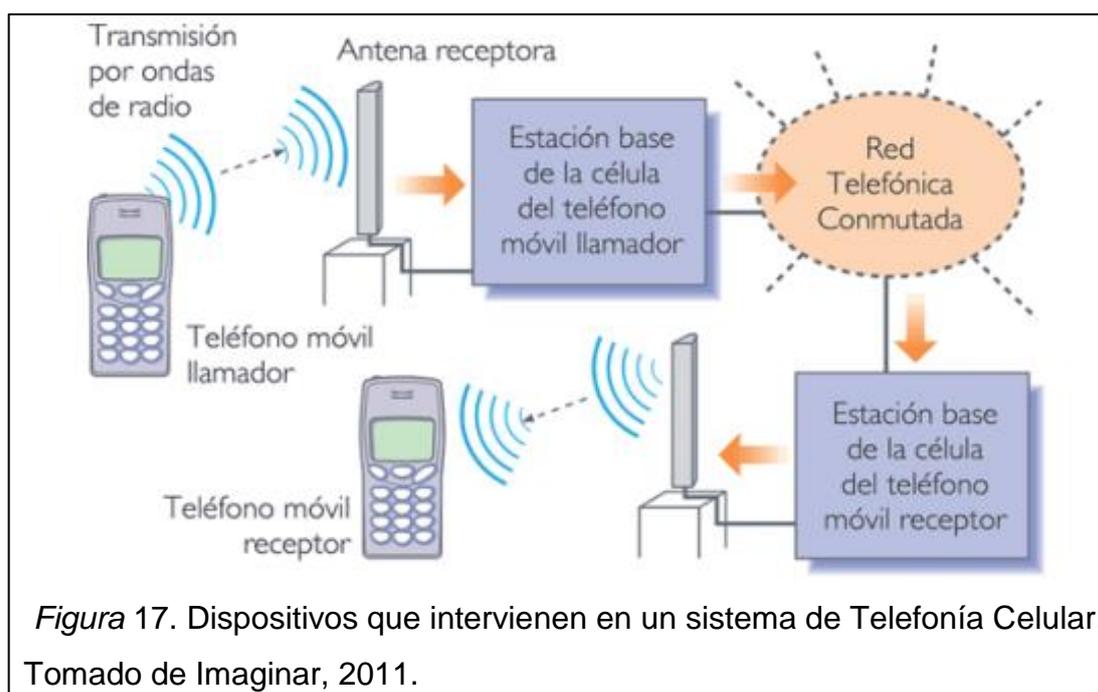


*Figura 16.* Endoscopia a Paciente.  
Tomado de Bemi Francesco, 2014.

## 1.5 Telefonía Móvil

La telefonía móvil también conocida como telefonía celular, es un sistema de comunicación telefónica inalámbrica, es la extensión del servicio convencional a abonados móviles utilizando enlaces radioeléctricos que viajan por el aire y son recibidas y transformadas nuevamente en mensajes a través de antenas repetidoras o vía satélite. (Robledo, 2007).

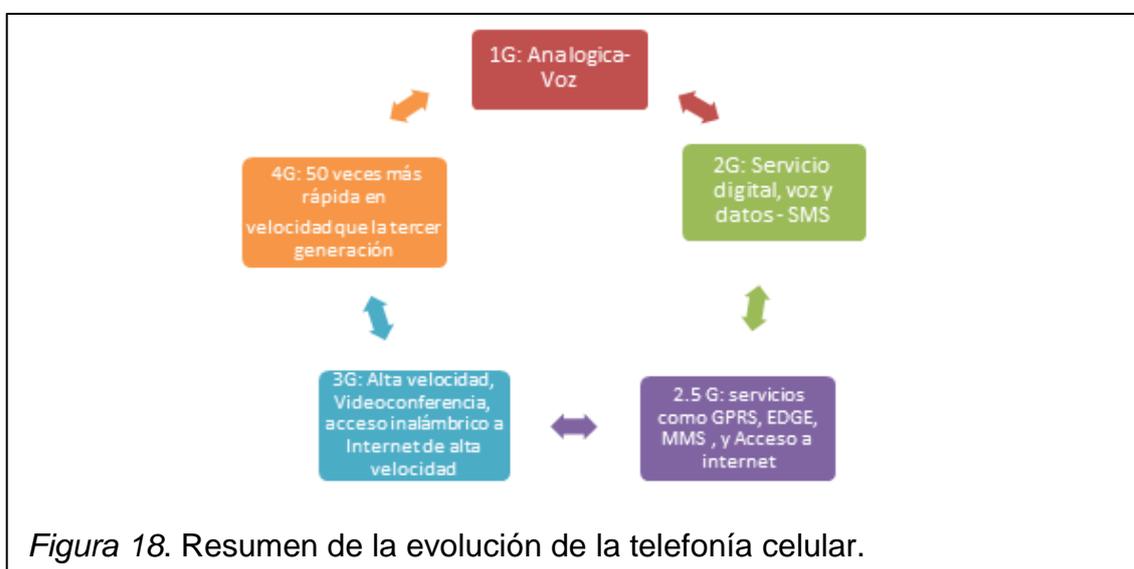
Un sistema de telefonía celular está conformado por equipos terminales (teléfonos móviles) y la red de comunicaciones, la misma que está formada por estaciones transmisoras y receptoras de radio (estaciones base) y centrales de conmutación que son los que hacen posible la comunicación con los teléfonos móviles. La figura 17, presenta un sistema de telefonía móvil básico.



### 1.5.1 Generación de Telefonía Celular

A lo largo de los años la telefonía celular ha migrado de tecnología analógica a digital, así como también ha tenido la necesidad de acceder a múltiples canales de comunicación para permitir mayor volumen de usuarios y al mismo tiempo

ofrecer seguridad en las comunicaciones y en los usuarios. En la figura 18, se aprecia un resumen de las generaciones de la telefonía celular cómo ha evolucionado de la primera generación a la cuarta generación-4G



#### 1.5.1.1 Primera Generación 1G-Voz Analógica.

Se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz, es de calidad muy baja e imprecisa con equipos relativamente grandes. Su seguridad era pobre. La tecnología que predominaba en esta época era AMPS (Advanced Mobile Phone System).

#### 1.5.1.2 Segunda Generación 2G: Voz Digital

Esta tecnología se caracterizó por ser digital, la velocidad para voz aumentó, sin embargo no fue tan eficiente para datos a pesar de haber implementado los servicios de FAX, SMS y WAP. Apareció el concepto de roaming, los servicios de telefonía son más populares por la posibilidad de navegar en internet el protocolo en esta generaciones es GSM (Groupe Spécial Mobile o Global System for Mobile Communications).

### **1.5.1.3 Generación 2.5 G: Acceso a Internet.**

Cuando se estableció la segunda generación se encontró limitaciones a muchas aplicaciones para transferencia de información. Esta generación estuvo acompañada de GPRS (General Packet Radio Services o Paquete General de Servicios por Radio) que fue desarrollada por el Sistema GSM. Este sistema ayudaba a compartir un canal a más usuarios y hacer más eficiente el canal, lo que permitía a los proveedores de servicio cobrar menos por el servicio.

### **1.5.1.4 Tercera Generación: 3G- Alta Velocidad**

En La tercera generación existe la convergencia de datos y voz con acceso inalámbrico a internet a altas transmisiones. Gracias a los protocolos empleados se ha podido incluir MP3, video en movimiento, videoconferencia y acceso a internet.

## **1.6 Tecnología GSM**

La tecnología GSM surge en 1980, dos años más tarde la CEPT (Conferencia Europea de Administración de correos y Telecomunicaciones) conformó un grupo llamado Groupe Special Mobile (GSM), con el objetivo de solventar problemas de incompatibilidad y analizar la necesidad de estandarizar las comunicaciones móviles a fin de que permitieran la interoperabilidad entre países e incluir variedad de servicios de voz y mensajes entre unidades móviles o unidades portátiles. En la tabla 2 se muestra para cada región la disponibilidad de frecuencia.

Más tarde se fundó el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones) para aplicar normativas técnicas que fueran aplicadas mundialmente y se adoptó que el sistema sería digital, lo que brindaría mejor eficiencia, mejor calidad de transmisión, nuevos servicios, permitiendo la fabricación de teléfonos pequeños.

El sistema GSM, opera en el rango de frecuencias entre 890-915 MHz y 935-960MHz y utiliza la banda de 900MHz con TDMA que brinda 8 canales telefónicos en una portadora y codificación de voz 13 kbps.

Tabla 2. Frecuencias GSM.

<b>Banda de Frecuencia GSM</b>	<b>Bandas disponibles</b>	<b>Disponibilidad</b>
400MHz	450.4-457.6 MHz / 460.4-467.6 MHz 478.8 – 486.0 MHz / 488.8 – 496.0 MHz	Europa
800MHz	824 - 849 MHz / 869 – 894 Mhz	América
900MHz	880 -915 MHz / 925 – 960 MHz	Europa, Asia, Pacifico, África
1800MHz	1710-1785 MHz / 1805 – 1880 MHz	Europa, Asia, Pacifico, África
1900MHz	1850 -1910 MHz /1930 – 1990 MHz	América

(Ruano, 2007).

### 1.6.1 Arquitectura de Red GSM

La estructura GSM necesita de varios dispositivos para operar y poder proporcionar el servicio de telefónica móvil, básicamente está conformado por 3 componentes principales como son el MS o teléfonos celulares de los suscriptores, el BSS o sistema de estación base y el MSC. En la figura 19, se observa un diagrama en bloques de la red GSM.



Los módems GSM cuatri-banda permiten operar en cualquier banda para esto hace uso de los comandos AT, mediante estos se puede configurar para leer escribir y borrar mensajes SMS.

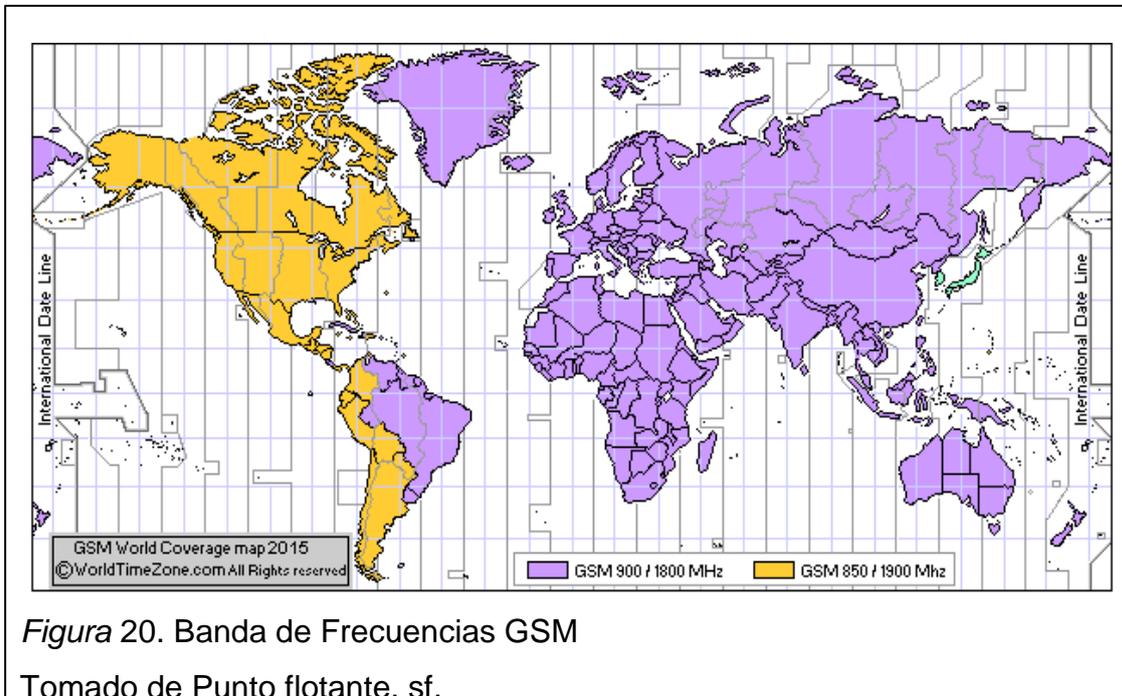


Figura 20. Banda de Frecuencias GSM

Tomado de Punto flotante, sf.

### 1.6.2.1 Comandos AT

Los comandos AT provienen de “attention”, fueron desarrollados por Dennis Hayes, diseñado con el objeto de establecer comunicación entre el hombre y un terminal modem a través de instrucciones codificadas llamadas Hayes o AT.

La telefonía móvil GSM adoptó este lenguaje como estándar, con el objeto de brindar configuraciones y proporcionar instrucciones que permitan realizar llamadas de datos, voz, gestión de mensajes SMS, leer y escribir entradas en la agenda de contactos y muchas otras opciones. Los comandos Hayes se dividen en dos grandes grupos:

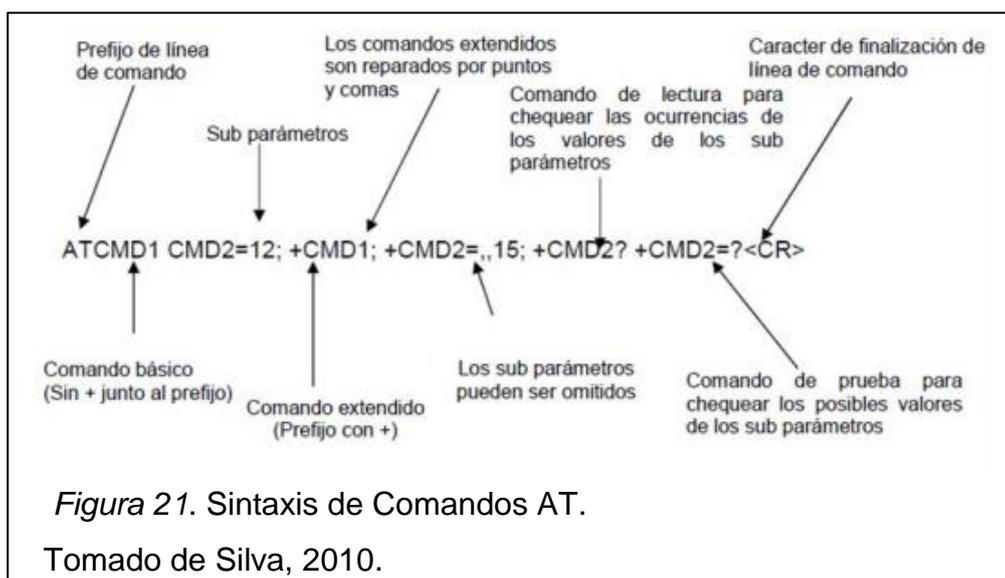
1. Comando de ejecución de acciones inmediatas:

- ATD: Marcación
- ATA: Contestación
- ATH: Desconexión

## 2. Comando de configuración:

- ATV: responde después de la ejecución de un parámetro
- ATE: Selecciona el eco local

La mayoría de comandos empiezan con “AT”, pero existen excepciones como A/, otros comandos luego de la secuencia AT siguen con una letra del alfabético además algunos requieren de un número, de no ser colocado se sobre entiende como cero. La sintaxis de los comando AT se muestra en la figura 21.



## 1.7 El Microcontrolador

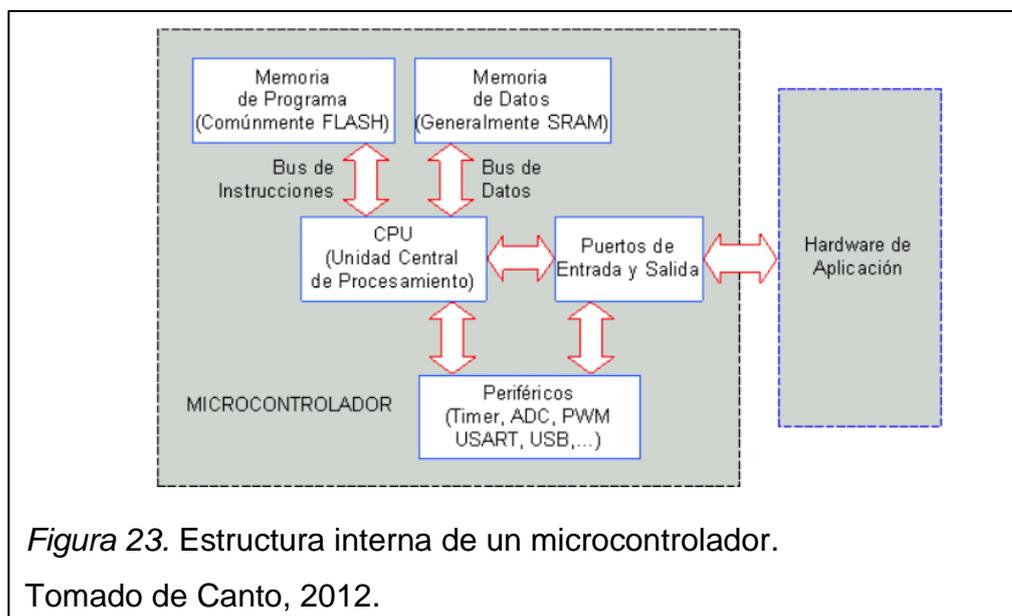
Un microcontrolador es un circuito integrado de gran escala de integración, programable; capaz de realizar las instrucciones grabadas en su memoria de programa. Posee varios bloques que cumplen una función específica dentro de su entorno.

Básicamente el microcontrolador internamente tiene una unidad central de proceso, unidad aritmética lógica, memorias de programa, de trabajo y líneas de entrada y salida en las cuales pueden estar conectada gran variedad de periféricos. En la figura 22, se muestra diferentes tamaños de microcontroladores de la familia ATMEL.



### 1.7.1 Estructura de un Microcontrolador

La estructura interna de un microcontrolador está integrada por memorias, CPU, puertos de entrada/salida y periféricos como se muestra en la figura 23.



#### 1.7.1.1 Memorias

Los dispositivos programables disponen de memorias para el almacenamiento de variables y el manejo de datos, el microcontrolador tiene 2 tipos de memorias que son:

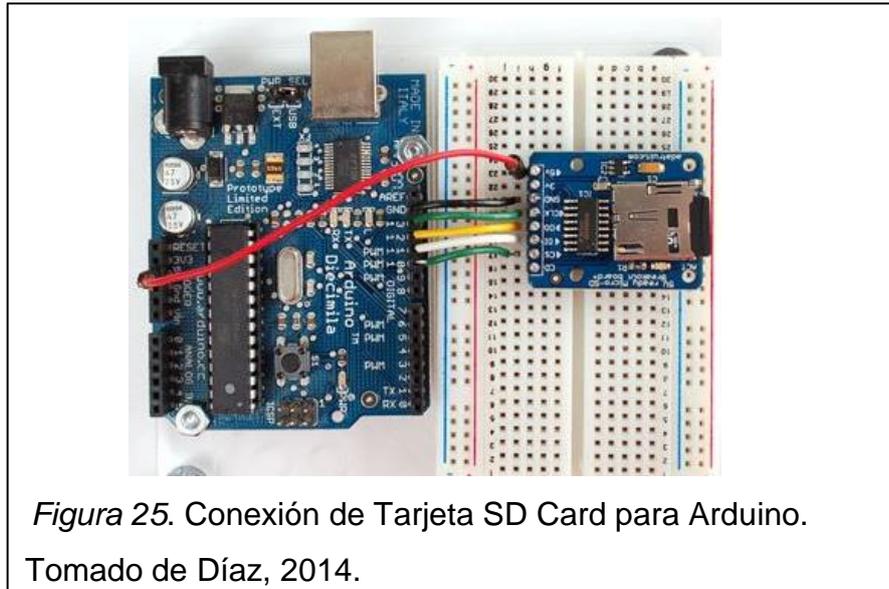
a) Memoria de Programa: en ésta se almacena las instrucciones que ejecutará el microcontrolador, y es una flash de 1k.

b) Memoria de Datos: Sirve para almacenar variables, leer y escribir puertos de entrada/ salida, poder acceder a la EEPROM y al temporizador, entre las memorias están la RAM, EEPROM.

- Memoria EEPROM de Arduino Uno: es utilizada para guardar datos a largo plazo ya que la memoria no es volátil, lo que quiere decir que, al retirar la alimentación permanecerán los datos almacenados. La capacidad de memoria es 1KB, es decir 1024 bytes, aunque es pequeña, pero tiene la posibilidad de ser ampliada mediante módulos de memoria. Una de alternativa es mediante una tarjeta SD Card para Arduino Uno que es acoplable directamente, como se muestra en la figura 24.



Para realizar esta ampliación basta con adicionar las librerías correspondientes, para empezar a utilizarla. En la figura 25, se muestra la conexión para ampliar la memoria.



### 1.7.1.2 CPU

Unidad Central de Proceso, es el núcleo del microcontrolador, encargado de ejecutar las instrucciones que están almacenadas en la memoria.

### 1.7.1.3 Puertos de Entradas y Salida

Son aquellos mediante los cuales se conecta los periféricos para que el microcontrolador pueda comunicarse hacia el mundo exterior. Por los pines se puede conectar dispositivos relés, led's y leer dispositivos de entrada como sensores, pulsadores, interruptores, etc.

### 1.7.1.4 Periféricos y otros componentes

Son aquellos componentes que colaboran en la conversión A/D, temporizadores, comparadores y los puertos de comunicación digital como (Serie, RF, Ethernet, USB, UART, USART, SPI, etc).

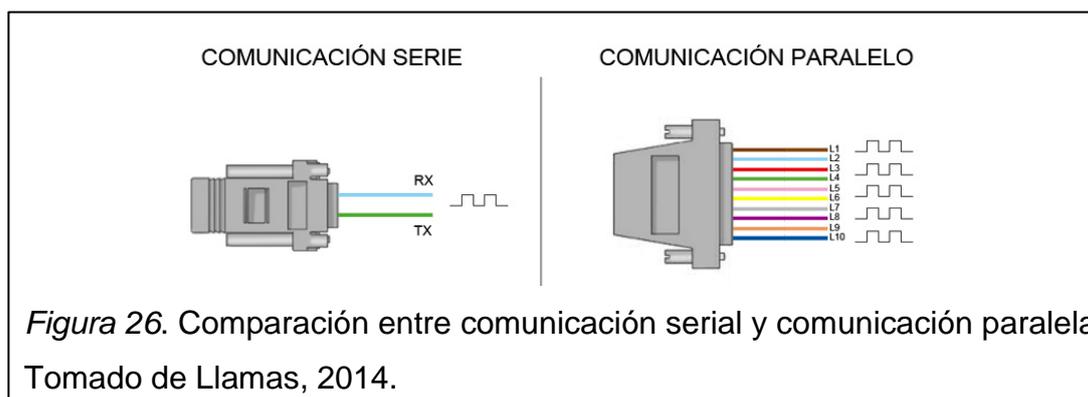
## 1.7.2 Interfaz de Comunicación Puerto Serie

La comunicación serial síncrona/asíncrona es una herramienta de gran importancia que permite la interconexión de equipos que utilicen los protocolos

adecuados, con esto; se puede conectar equipos que antes estaban aislados de diferentes periféricos.

Los dispositivos a conectarse ya sea un microcontrolador, un computador personal o cualquier equipo con puerto serie, primero debe negociar el tipo de comunicación, sea esta sincrónica o asincrónica.

Al contrario de la comunicación en paralelo, que envía la información usando varios hilos de interconexión en forma simultánea, hace que en este caso no sea la mejor opción debido a que aumentaría considerablemente el uso de puertos del microcontrolador, para la comunicación serial se necesita únicamente tres hilos, los cuales son RX, TX, GND. En la figura 26, se muestra la comparación entre la comunicación serie versus comunicación paralelo.



En la comunicación sincrónica a más de esa línea, se necesita una línea para transmisión de datos y otra que contendrá los pulsos del reloj que ayudan a identificar cuando un dato es válido o no. A diferencia de la asincrónica, no se requiere la línea del reloj. Entre los tipos sincrónicos están:

- **UART** (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) es un chip que permite realizar la conversión de los datos recibidos en formato paralelo a serie o viceversa para la transmisión hacia el exterior. Es el protocolo serie asincrónica, compatible con la clásica conexión del puerto RS232, utiliza 2 líneas RX y TX y su velocidad está comprendida entre 9600-250k

b/s. A este dispositivo se lo puede utilizar para interconectar dispositivo bajo el mismo protocolo de comunicación. (Cortés, 2013).

- **SPI** (Serial Peripheral Interface): es la interfaz serie sincrónica y transmisión full dúplex, puede ser configurado como maestro esclavo. La comunicación lo puede hacer entre componentes electrónicos de mismo sistema que requieran de buen ancho de banda la velocidad de hasta 8Mhz.
- **I2C** (Inter-Integrated Circuit): Es un protocolo serie usa topología bus y trabaja de la forma maestro/ esclavo. Fue diseñado para comunicación entre componentes que no necesiten de altas velocidades, sino de bajo costo. La versatilidad técnica y la simplicidad del bus lo hizo popular.(Cortés, 2013)

En la tabla 3 se puede apreciar las características de las interfaces más usadas en las diferentes aplicaciones.

Tabla 3. Características de las interfaces más populares.

Interfaz	Señal	Señales (cables)	Modo	Baudrate Max	Topología	Otras características
UART	Asíncrono	Rx, Tx	Full duplex	1Mb/s	point-to-point	Protocolo simple, solo capa física definida
SPI	Síncrono	MDSL, Miso, SCK, SS	Full duplex	60 Mb/s	bus master/ esclavo	Protocolo simple, solo capa física definida
I2C	Síncrono	SDA, SCL	Half dúplex	400Kb/s	bus master/ esclavo	Poca complejidad,

						tiene direcciones
USB	Síncrono	D+, D-	Half duplex	480Mb/s	point-to-point host-device	Protocolo complejo, varias capas, paquetes, etc.

Tomado de Cortés, 2013.

### 1.7.3 Placas de Desarrollo

Son mini computadoras de tamaño pequeño en los que se puede conectar accesorios como sensores, las más conocidas son Arduino, RFDuino, Raspberry Pi, Netduino, Pi, pero existen otras menos populares como HummingBoard, Banana Pi, Intel Galileo, Beagleboard, Odroid.

- **RFDuino:** Microcontrolador compatible con Arduino de tamaño pequeño controlado por Bluetooth 4.0. Puede ser ejecutado con el mismo código de Arduino Uno y DUE además es compatible con cualquier tipo de dispositivo para trabajar con Arduino incluyendo sensores, servos, etc.
- **Raspberry Pi:** creado como una plataforma de bajo costo, no fue diseñado para makers, por su bajo costo \$35, ha creado un gran mercado. La misma comunidad de la Pi, es lo que lo ha hecho famoso. Popularmente utilizado para ejecución de múltiples tareas de cálculo, manejo de robots.
- **Banana Pi:** pequeña placa de desarrollo que tiene similitudes con Raspberry Pi. Es de modelo sencillo y con pequeñas limitaciones de potencia, pero dispone de varios puertos como ethernet, giga y SATA.

#### 1.7.3.1 Microcontrolador Arduino

Arduino es una plataforma libre de desarrollo de computación física de código abierto basado en hardware y software de fácil uso. Arduino ha simplificado el

proceso para trabajar con los microcontroladores ofreciendo ventajas como costo bajo, puede trabajar bajo Linux, Windows, Macintosh, además es una herramienta de código abierto.

Básicamente está conformado por un microcontrolador ATMEL y la circuitería como reguladores de tensión, puertos USB-serie que permite programar la microcontrolador desde cualquier PC. Las características del Arduino Uno, se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Características del Arduino Uno.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de entrada(Recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (Limite)	6 - 20V
Pines de entrada-salida Digital	14(6 pueden usarse como salida PWM)
Pines de Entrada Analógica	6
Corriente continua por pin IO	40Ma
Corriente continua en el pin 3,3V	50mA
Memoria Flash	32KB(0,5KB ocupados por el bootloader))
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Frecuencia de Reloj	16MHz

Tomado de I.E.S, 2011.

### 1.7.3.2 Elementos de la Placa Arduino

Es una placa de circuito impreso que está conformada por el microcontrolador, memoria, conexión de E/S y conexión de puerto USB, como se muestra en la figura 27.

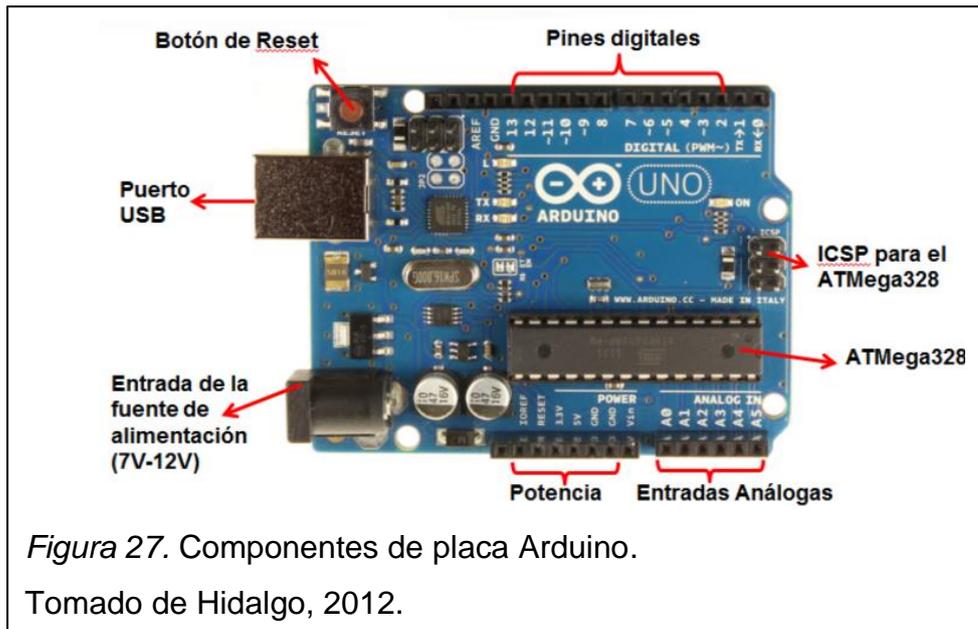


Figura 27. Componentes de placa Arduino.

Tomado de Hidalgo, 2012.

- Puerto USB: Por medio de este puerto se cargan las instrucciones que fueron realizadas en el entorno de programación Arduino; es decir comunicación Arduino-Computador.
- Microcontrolador: es un circuito integrado que se encarga de realizar las instrucciones almacenadas en el programa.
- Pines de entrada y Salida: permiten conectar elementos que brindan información.
- Botón Reset: permite resetear el programa y cargar uno nuevo.

## 1.8 Herramientas de Programación

Hoy en día existen varias herramientas para crear aplicativos, programas, rutinas, y otros, para ello pueden utilizar lenguajes de programación como: C++, Java, C#, Basic, Object Pascal, etc, los mismos que cuentan con entornos de programación denominados IDE. Entre las herramientas de programación están:

- Eclipse
- NetBeans
- IntelliJ IDEA
- JBuilder de Borland

- JDeveloper de Oracle

### **1.8.1 Eclipse**

Es un IDE (Ambiente de Desarrollo Integrado) para java, C++, C PHP, es decir soporta muchos lenguajes, además de ser de código libre, es fácil adquirirlo en su página eclipse.org, como soporte se puede tener acceso a proyectos de la comunidad. Su arquitectura está basada en plug-ins que proporcionan la total funcionalidad. Está disponible para los sistemas operativos Linux, Windows y Mac. (Atom, 2011).

### **1.8.2 NetBeans**

Es open source, de código abierto, lo que quiere decir que no tiene costo alguno. El lenguaje de programación está basado en java, sus aplicaciones están construidas por módulos que son fácilmente extensibles por cualquier desarrollador cuando se requiere implementar varias funcionalidades, actualizar software, firma digital, etc. Tanto para eclipse como para Netbeans se encuentra mucha documentación.

### **1.8.3 IntelliJ IDEA**

Su entorno de desarrollo está basado en java cliente-servidor, hay dos distribuciones que son de código abierto y comercial (Ultimate), es considerado por sus desarrolladores como el IDE más inteligente, ya que sugiere autocompletación de código solo lo esperado en el contexto (jetbrains, 2016).

## **1.9 Base de Datos**

Una base de datos consiste en una serie de registros que se almacenan de forma organizada que luego sirven para recuperarla y presentarla fácilmente. Cualquier herramienta de programación está ligada a una base de datos, necesaria para

almacenar datos, para ello puedo utilizar bases locales como SQL, Oracle, Mysql, o base datos en la nube como postgresql (JDBC).

- Sql

Es un gestor de base de datos relacionales con lenguaje declarativo que permite realizar operaciones de cálculo y algebra relacional, además de poder hacer consultas, recuperar información fácilmente y cambios en cualquier momento.

- Oracle

Es un gestor de base de datos, conexión empleada cliente/servidor, muy utilizado a nivel mundial. El software del servidor puede trabajar en varios sistemas operativos. La mayor desventaja frente a otras bases de datos es un alto costo siendo utilizada por empresas grandes multinacional.

- Postgresql

Es un gestor de base de datos relacional orientada a objetos, es de código abierto y soporta casi todas las sintaxis de SQL. Almacena los datos de usuarios y grupos en su propio catálogo del sistema, es decir que la conexión lo hace a través de un usuario y contraseña. Cada usuarios tiene un ID interno llamado Sysid, con esto puede gestionar su base de datos. Al ser desarrollado por un equipo de voluntarios su código fuente está disponible de forma gratuita.

## **2 CAPÍTULO II: REQUERIMIENTOS DE HARDWARE Y SOFTWARE.**

### **2.1 Análisis de Requerimientos de Hardware.**

Para el diseño y construcción del prototipo portable para el monitoreo de glucosa en personas diabéticas, se realizará el análisis de cada uno de los componentes que serán participes en el desarrollo del proyecto. A continuación se detalla las necesidades técnicas y operativas de los módulos del sistema que se desea implementar:

- Portabilidad: el objetivo es desarrollar un dispositivo que permita el transporte fácil para cualquier persona, es decir que debe ser de tamaño reducido.
- Facilidad de uso: Se plantea como filosofía implementar un sistema amigable al usuario, un entorno fácil de usar que sea lo más transparente en cuanto a la transmisión de datos así como su procesamiento.

#### **2.1.1 Requerimientos Módulo Emisor**

El módulo emisor es el primer componente dentro del diseño y construcción del prototipo para el monitoreo de los niveles de glucosa a personas con diabetes. A continuación se detalla las funciones que desempeñará el módulo emisor:

- Tomar la medida de la concentración de la glucosa contenida en la sangre de los pacientes, mediante un glucómetro invasivo.
- La medida resultante almacenada en el glucómetro debe ser transmitida hacia el sistema microprocesado a través de comunicación serial.
- El sistema microprocesado debe recibir el paquete de datos enviados desde el glucómetro y procesarlos para posteriormente enviar hacia otro dispositivo trasmisor.

- El dispositivo transmisor es el encargado de enviar la lectura del glucómetro, hacia el módulo receptor haciendo uso de la red de telefonía móvil.
- Permitir la visualización del proceso de transmisión de datos.

Como se detalló anteriormente, el módulo emisor realizará varias funciones que son necesarias e indispensables para el óptimo funcionamiento del sistema planteado, se detalla los componentes de hardware que se va a utilizar en el presente proyecto.

- Glucómetro: El mismo que debe contar con memoria para almacenar datos y que sea capaz de comunicarse serialmente con otro dispositivo.
- Microcontrolador: Es el encargado de leer el dato que se encuentra almacenado en el glucómetro, procesar y enviar la data a un Modem.
- Dispositivo transmisor: encargado de recibir el dato enviado por el microcontrolador y enviar al receptor haciendo uso de la red de telefonía móvil.
- Display: Servirá como indicador del estado o proceso de envío de información.
- Cable de conexión: medio de transmisión de datos.
- Fuente de alimentación.

### **2.1.2 Requerimientos Módulo Receptor**

La segunda etapa del prototipo es el módulo receptor, el mismo que está encargado de recibir los datos del glucómetro e interconectarse con el módulo emisor, además debe cumplir con las funciones detalladas a continuación:

- El módulo receptor consta de dos partes el hardware para la recepción de datos enviados desde el módulo emisor y el software en la pc para la gestión de la base de datos de los pacientes.
- El dispositivo receptor es el encargado de recibir los datos enviados desde el módulo emisor, por medio de la red celular.

El sistema microprocesado y el dispositivo receptor son los que procesarán la lectura captada por el glucómetro para luego ser observada en la interfaz de gestión que debe ser instalada en la PC del médico. En esta etapa se considera 2 estados de funcionamiento, modo off line y modo on-line. En el primer caso los mensajes se almacenarán en la SIM y el segundo caso pasará directamente hacia la base de datos. El módulo receptor debe ser capaz de discriminar los valores de nivel de glucosa; si la lectura tomada se encuentra fuera de los valores normales establecidos, inmediatamente enviará una alerta al doctor, indicando el código de paciente, el valor de glucosa y estado.

Una vez que el módulo receptor haya captado el valor de glucosa clasificará la información según el ID del paciente, para luego ser visualizada en la interfaz; es decir, el software interactuará con la base de datos, y mostrará un resumen de los niveles de glucosa de cada paciente, cabe indicar que todos los datos serán almacenados a fin de tener estadísticas del comportamiento del nivel de glucosa, además será capaz de mostrar reportes gráficos del historial de las lecturas así como imprimir un reporte en excel o pdf.

A continuación se detalla de forma general los componentes para el funcionamiento del módulo receptor:

- Cable para la comunicación serial Bidireccional: necesaria para el envío de datos del microcontrolador a la PC del médico y viceversa.
- Dispositivo Receptor: encargado de recibir los datos enviados por el módulo emisor, es decir recolección de datos del paciente.
- Sistemas Microprocesados: Encargado de procesar la señal recibida desde el receptor y establecer la comunicación bidireccional a la Base de Datos de la PC del médico.
- Computador: El mismo que interactuará con el Módulo Receptor, en donde constará la base de datos, registros de pacientes y gestión de resultados para determinar tratamientos adecuado de acuerdo al histórico almacenado en la base de Datos.

- Fuente de alimentación para el sistema microprocesado y dispositivo de recepción.

## 2.2 Identificación y Selección de los Componentes de los Módulos Emisor y Receptor.

### 2.2.1 El glucómetro

Como se definió en el capítulo anterior, el glucómetro es un instrumento electrónico que mide la concentración de la glucosa en el torrente sanguíneo. En la tabla 5 se muestra de forma resumida las especificaciones técnicas que ayudarán a seleccionar el equipo requerido, además una serie de comparaciones usando tablas de doble entrada para su mejor lectura.

Tabla 5. Características de glucómetros invasivos.

Características Técnicas	Accu check Active	Free Style Lite	One Touch Ultramini
			
Fabricante	Roche	Abbot	Life Scan
Técnica de Medida	Sensor electroquímico	Electroquímica	Electroquímica
Método enzimático (Reacción química)	Glucosa deshidrogenasa PQQ	GDH-PQQ	Glucosa Oxidasa
Memoria	350 mediciones	400 mediciones	500 mediciones
Fuente de energía	Litio CR 2032 3 voltios	Pila de litio 2032	Litio CR 2032 3 voltios

Tamaño	9,4 × 5,3 × 2,1	7,4 x4,0 x1,7 cm	10,8 × 3,2 × 1,7 cm
Peso	60 g	39,7 g	35 g (con pila)
Tiempo de lectura	5 segundos	3-5 segundos	5 segundos
Tecnología de transmisión de datos	Infrarroja	Impulso Eléctricos	Impulso Eléctricos
Conexión a PC	Si	Si	SI
Medio de transmisión	Haz de luz	Cable de cobre tipo estéreo	Cable de cobre tipo estéreo
Precio Dispositivo	52,06	\$ 53.97	\$47.88
Precio Tiras reactiva- pack 25	\$28,09	No disponible	\$ 21,58
Disponibilidad en el mercado	Media	Baja	Alta
Disponibilidad de repuestos	Media	Nula	Alta

Una vez realizada la comparación de los diferentes modelos, y características técnicas proporcionadas por los fabricantes, se llegó a la conclusión que la mejor opción por rendimiento, conectividad y precio es el dispositivo Ultra mini Life scan; debido a su forma de conexión, ya que utiliza cable de datos a lo contrario con otros que deben contar con interfaz para infrarrojos lo que implicaría recurrir a elementos más costosos. En la figura 28, se muestra la conexión del glucómetro Arduino que es sencilla.



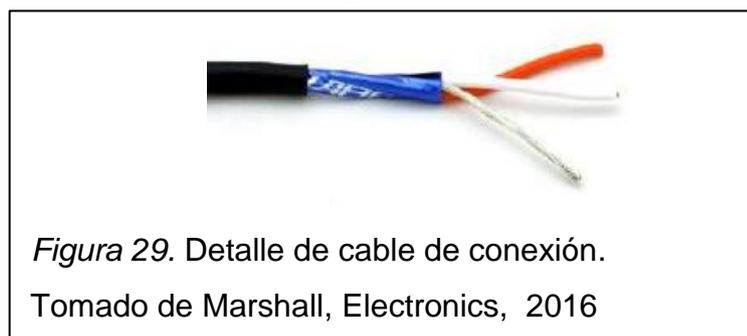
*Figura 28. Conexión de datos del glucómetro Onetouch Ultramini.*

Otro factor que contribuyó a la elección del dispositivo es la portabilidad, el tamaño reducido, bajo peso, fiabilidad y exactitud a la hora de tomar la muestra, por lo que se convierte en un acompañante portátil a la hora de realizar una prueba de glucosa, cabe señalar que es inmune a interferencias relacionadas a la medición, lo que si sucede con otros dispositivos. Además para la elección del dispositivo se consideró disponibilidad en las diferentes cadenas farmacéuticas, la existencia de lancetas y tiras reactivas, necesarias e indispensables para uso del dispositivo médico.

### 2.2.2 Cable de Conexión

Para establecer comunicación entre el glucómetro y el sistema microprocesado, es necesario definir un medio de transmisión adecuado que cumpla las características técnicas y que sea compatible tanto con el sensor de glucosa y el microprocesador.

Por lo antes mencionado, para la conexión se opta por un cable auxiliar de datos, compuesto por tres hilos conductores, el mismo que está cubierto por un apantallamiento de aluminio con el cual, podemos evitar la mayor parte del ruido electrónico proveniente de las interferencias electromagnéticas. A continuación en la figura 29, se observa en detalle una vista del cable de conexión.



Una vez definido el medio de transmisión, se requiere disponer de conectores adecuados tanto para la conexión con el microprocesador y el glucómetro. Los conectores son los usados en audio de 3.5 mm cromados para realizar el mejor contacto posible. En la figura 30, se muestra el conector compatible con la salida del glucómetro Life Scan.



Figura 30. Conectores de audio de 3,5mm.  
Tomado de Videk, 2016

### 2.2.2.1 Comunicación Serial

Históricamente el computador personal tenía dos puertos, pero hoy en día el más conocido es el USB (Bus Serial Universal) y algunas Main Boards todavía traen el case del desaparecido puerto RS-232.

La comunicación serial RS-232 utilizaba conectores DB 9 los mismos que para transmisión de datos utilizan voltajes de referencia de +15 V para representar 1 lógico y -15 V para un 0 lógico. Tomando en cuenta la velocidad de transmisión se podía obtener distancias de hasta 15 metros. En la figura 31, se representa los bits para la comunicación RS232.

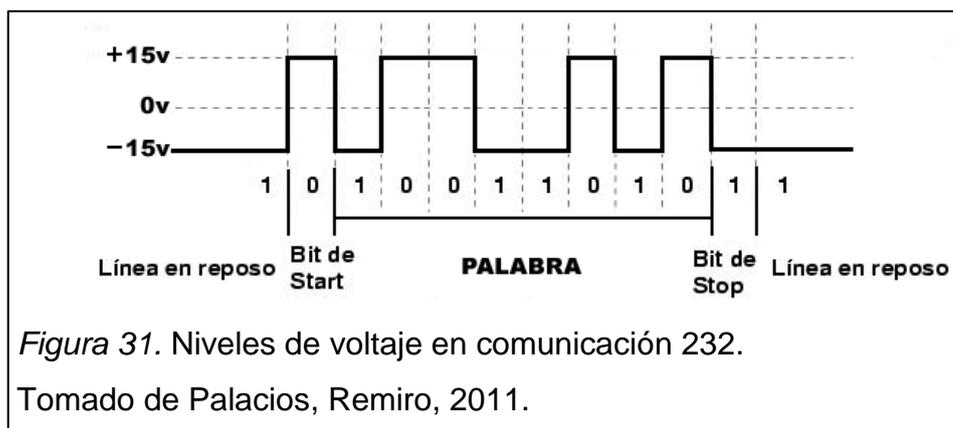
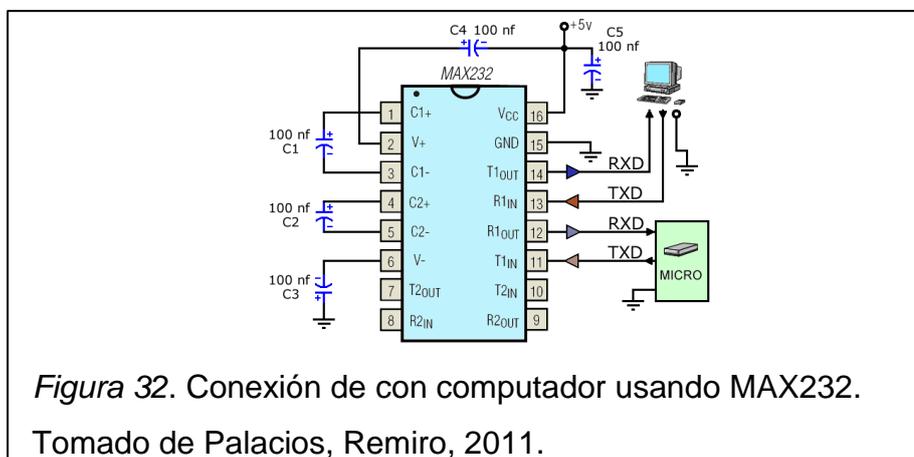


Figura 31. Niveles de voltaje en comunicación 232.

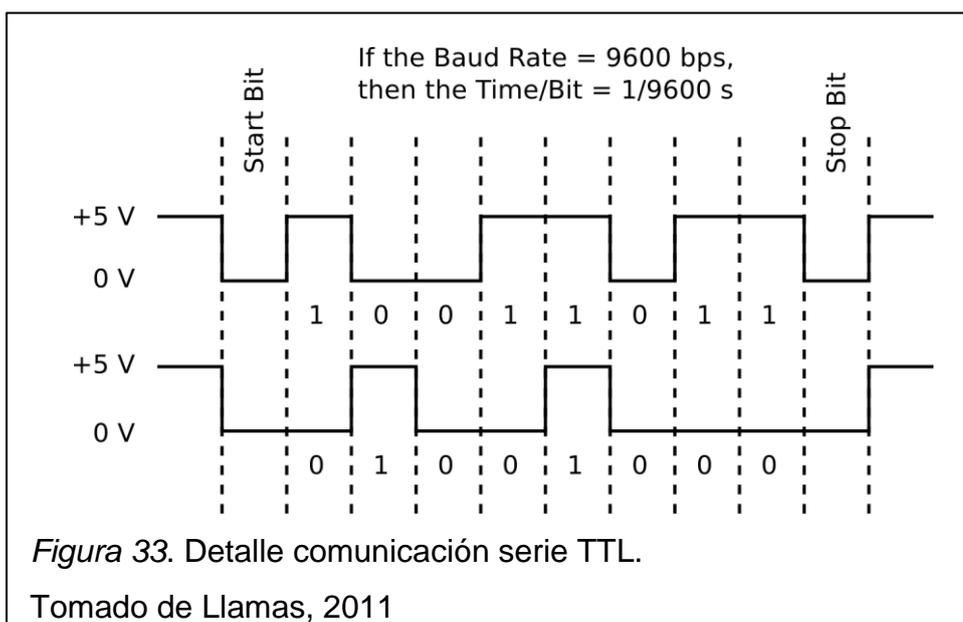
Tomado de Palacios, Remiro, 2011.

Anteriormente los voltajes de referencia hacían que el acoplamiento de niveles de voltaje entre sistemas microprocesados y computadores personales tengan un cierto grado de dificultad en el lado del hardware, para solucionar esto se

debía colocar un circuito intermedio constituido por un adaptador de niveles de voltajes utilizando el circuito integrado MAX232, con lo cual se adecuaba los voltajes que salían del Microcontrolador a la PC y viceversa. En la figura 32 se representa el esquema de conexión utilizando MAX232.



La intervención de más circuitos electrónicos periféricos al sistema microprocesado, hacía que el tamaño de las placas no sean las adecuadas; para solucionar esto, hoy en día se utiliza la comunicación serial TTL, es el mismo protocolo de comunicación pero utiliza el hardware USB lo que hace prescindir acoplar los niveles de voltaje, ya que el computador y microcontrolador están en los mismos niveles, 5 V para 1 lógico y 0 V para 0 lógico. En la figura 33 se muestra la comunicación TTL.



En conclusión todas las placas Arduino disponen al menos de una unidad UART. Las placas Arduino Uno y Mini Pro disponen de una unidad UART que operan a nivel TTL 0V / 5V, por lo que son directamente compatibles con la conexión USB. Los pines de los puertos correspondientes a los de comunicación serial, están ya conectados directamente al microcontrolador, y no son utilizables para otro fin.

### 2.2.3 Modem GSM

Para definir los requerimientos del medio de transmisión de la información es necesario analizar los diferentes tipos de módems existentes en el mercado, para ello se presenta la tabla 6, muestra la comparación de distintas especificaciones técnicas para realizar la selección del equipo.

Tabla 6. Comparación técnica entre diferente tipos de modem

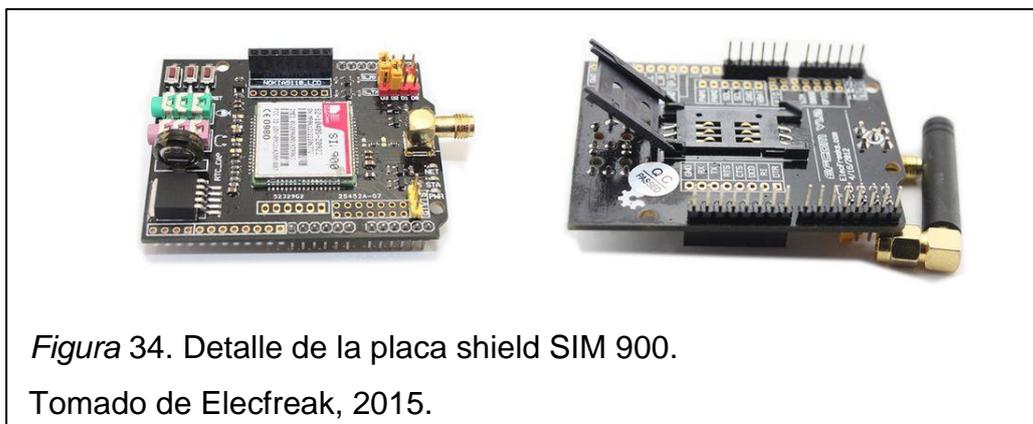
Características	605M-D1	GR64	SIM 900
			
Acoplados a dispositivos			
Empresa	EATON	Sonny Ericcson	EFCOM
Bandas	Quad-band GSM 850/900/1800/ 1900Mhz	850/900/1800/1900M hz	850/900/1800/190 0MHz
Tipo de Modulación	GSMK	GSMK	2GFSK, 2FSK

Rango de Voltaje de Alimentación	3.2 – 4.5 V	3.2 - 4.5 VDC	3.4 – 5 V
Voltaje de Alimentación Recomendado	3.6 V	3.6 V	5V
Consumo de Energía	-	-	1.5mA (sleep mode)
Tipo de Control	Comandos AT	Comandos AT	Control via AT commands (GSM 07.07 ,07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)
Tarjeta SIM	1.8 – 3 V	1.8 – 3 V	1.8 – 3 V
Peso	224g	110 g	3.4 g
Dimensiones	115 x 90 x 32m	50 x 33 x 3.2 mm	24 x 24 x 3 mm
Aplicaciones	Voz, SMS, Datos, Fax, Internet	Voz, SMS, Datos, Fax, Internet	Voz, SMS, Datos, Fax, Internet
Disponibilidad en el mercado	Baja	Media	Alta
Precio	\$ 45	\$ 45	\$ 75

Una vez revisado los diferentes aspectos técnicos y económicos se llegó a la conclusión, que la mejor elección es el modem SIMCOM SIM 900 V1.2, ya que es compatible con la distribución de pines con las placas Arduino Uno y Arduino Mega, es decir se puede acoplar físicamente sin problema alguno.

Como se muestra en la figura 34 el shield GPRS SIM900 es muy versátil y permite una configuración y control mediante el puerto UART, usando comandos AT muy sencillos de implementar en nuestra tarjeta Arduino. El modem

GSM/GPRS se comunicará mediante la red telefónica celular para enviar y recibir mensajes cortos de texto SMS desde un punto remoto.



Como medio de transmisión inalámbrico se decide utilizar la tecnología GSM, por diferentes motivos de los cuales podemos nombrar.

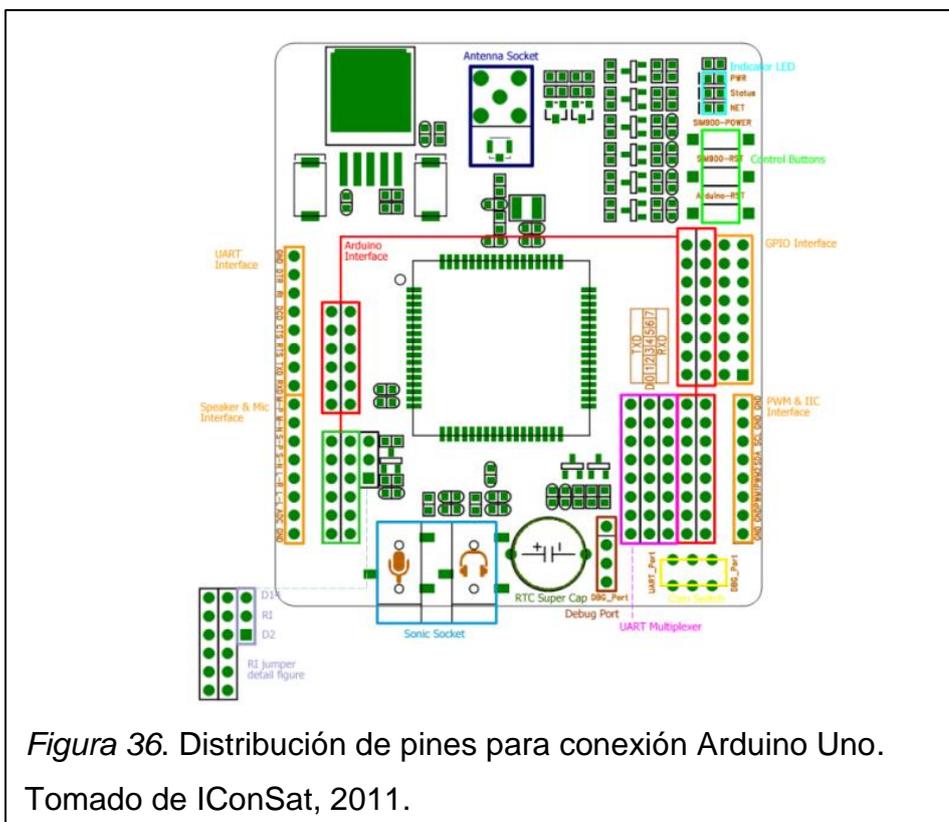
La cobertura que hoy en día tiene la red GSM a nivel nacional, hace que sea de fácil acceso para cualquier persona con precio reducido; ya que de la forma prepago es muy fácil ingresar a la red.

Además para acceder a la misma, no se necesita que exista línea de vista en el lugar en el que se encuentre el usuario, o dirigir antenas hacia cierta dirección, se tiene la facilidad de conectarse desde el hogar y poder movilizarse sin perder la conexión, utilizando la equipo mínimo que está al alcance de todos. En la figura 35 se muestra los diferentes tamaños de SIM.



Otro aspecto importante para la selección es la disponibilidad en el mercado, a lo contrario de los otros modem GSM/GPRS, además es de fácil acceso y de

configuración sencilla ya que necesita simplemente montarlos al módulo Arduino y controlarlos con la distribución de pines de la figura 36.



El módulo emisor y receptor han sido descritos anteriormente, donde se ha mencionado a mayor detalle las funciones específicas que debe realizar el microcontrolador, a continuación se muestra la tabla 7, comparativa de tres tipos de microcontroladores de familias diferentes donde se presentan varias ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Tabla 7. Comparativa entre varias familias de microcontroladores.

	PIC16F877A	ATMEGA 328P	ATMEGA 2560
Características			

Circuito de Acondicionamiento	-----		
Empresa		Atmel	Atmel
Voltaje de alimentación (recomendado)	5V	5,5 V	7-12V
Voltaje de Operación	5 V	5,5 V	5 V
Voltaje de alimentación (limite)	2.0 V – 5.5 V	1.8 - 5.5V	6-20V
Corriente DC en cada PIN	25mA	---	20 mA
Número de E/S Digitales	24 (PMW)	----	54 (of which 15 provide PWM output)
Número de E/S Analógicas	9	----	16
Memoria Flash	8k	32 Kbytes	256 KB of which 8 KB used by bootloader
EEPROM	256BYTES	1K Bytes	4 KBytes
RAM	368 Bytes	2 KBytes	8 KB
Dimensiones	51 x 15.5 mm		
Alimentación	Fuente Externa 5V		
Comunicación Serial	Si, USART	Si, Serial USART, I2C, SPI	Si, Serial USART, I2C, SPI
Comunicación con PC	Requiere circuito externo con MAX232	Cable USB	Cable USB

Forma de grabación del código fuente	Requiere grabador Externo	No requiere	No requiere
Disponibilidad en el mercado	Alta	Alta	Alta
Precio	\$8	\$45	\$ 65

De acuerdo a los requerimientos técnicos y necesidades del proyecto, el microcontrolador a emplearse será el micro ATMEGA328, el mismo que está integrado a la placa Arduino Uno, este será empleado para el módulo emisor y receptor. Dicha selección está sustentada en la tabla 8 desarrollada anteriormente, otra de las razones para elegir el Arduino Uno es su fácil programación a lo contrario con la familia de PIC's que requieren ser desmontados cada vez que se necesite programarlo, lo que conlleva a un posible daño de sus pines, sin contar con la dificultad que representa retirar y volver a colocar el microcontrolador cada vez que se necesite reprogramarlo

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que la comunicación sea serial, en el micro Atmega 328 viene por fabricación un puerto serial predefinido, pero se necesita al menos dos puertos para las comunicaciones, el Atmega 328 con su lenguaje de programación y librerías adecuadas permite la creación de nuevos puertos seriales.

Facilidad de conexión directa hacia el computador, ya que no es necesario circuitos adicionales que realicen la adaptación de niveles de voltajes, es decir no es necesarios circuitos conformados por MAX232. La tecnología Atmega-Arduino tiene incorporado un circuito que permite la adaptación y creación de un puerto COM virtual, sin necesidad de realizar muchos cambios.

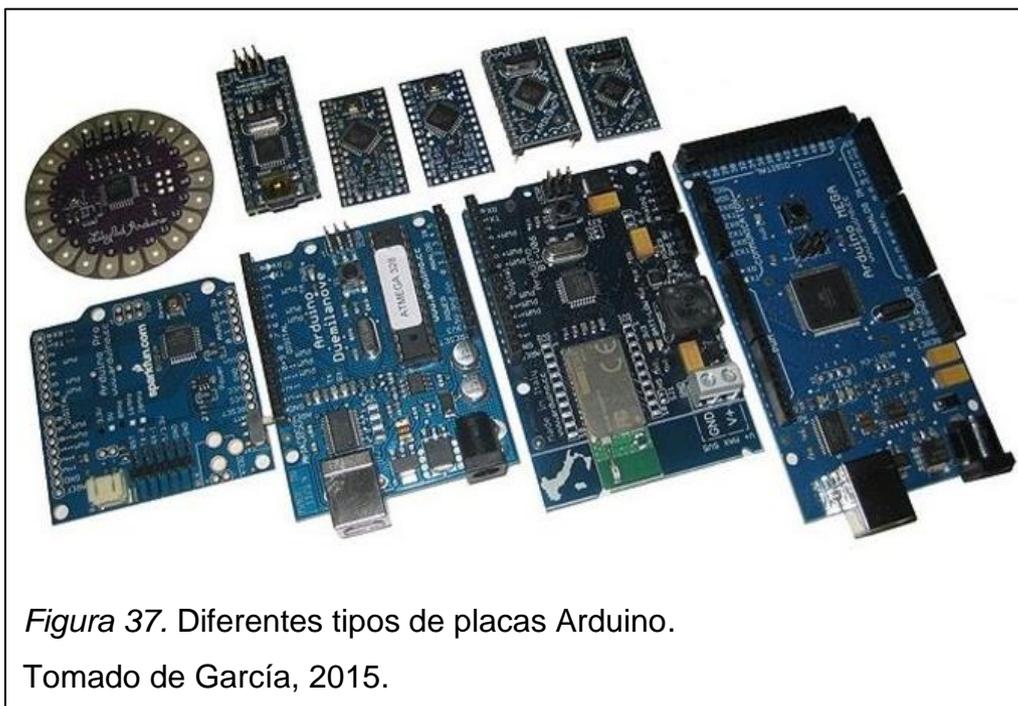
Las memorias EEPROM, Flash, SRAM del ATMEGA 328 de Arduino Uno, son suficiente con respecto a las de Arduino Mega ya que dispone de puertos seriales virtuales, lo que implica un ahorro económico al elegir el de menor costo con

funciones similares. Para finalizar se adjunta en el apartado de anexos, las especificaciones técnicas del Atmega 328 Anexo 1.

#### 2.2.4 Tecnología Arduino.

En breves términos se puede decir que Arduino es una plataforma electrónica de código abierto para el desarrollo de prototipos electrónicos. En la figura 37, se puede ver los tipos de placas Arduino. (Domadis, 2011).

Al referirse a Arduino de debe poder hacerlo tanto al software como hardware, esto debido a que su desarrollo ha venido de la mano. Los ambientes de programación y desarrollo son compatibles, y esta es la diferencia marcada con las demás tecnologías de microcontrolador.



Arduino tiene su propio IDE, el cual se muestra en la figura 38 que es compatible con todas las plataformas (Mac, Windows, Linux). Un IDE es un entorno de desarrollo, que permite al usuario/desarrollador escribir aplicaciones específicas y luego descargar la memoria de programa del Arduino.

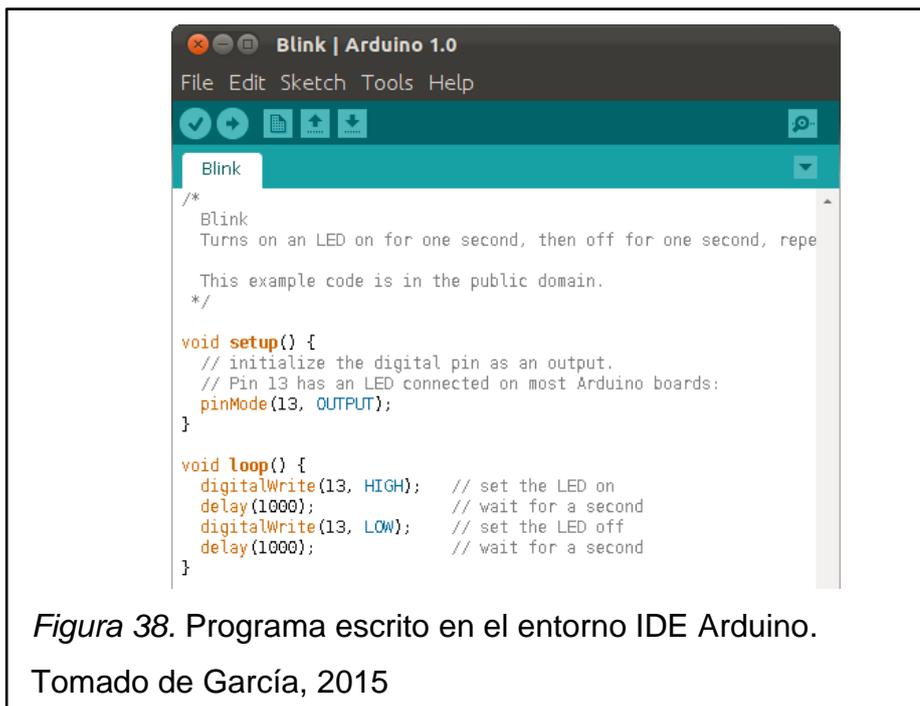


Figura 38. Programa escrito en el entorno IDE Arduino.

Tomado de García, 2015

### 2.2.5 Fuente de Alimentación.

Para finalizar el capítulo inherente a los requerimientos de hardware se debe considerar un punto fundamental dentro del sistema de telemedicina, el cual es la fuente de energía para los módulos emisor y receptor.

En lo que se refiere a la alimentación en el módulo emisor se escoge como solución de alimentación a través de una fuente de energía externa y como respaldo se considera la alimentación de baterías.

Para garantizar un voltaje continuo y una corriente adecuada del respaldo de baterías debe contar con al menos una capacidad de 2000 mAh, este valor es debido a que el shield SIM 900 al momento que envía la transmisión del mensaje SMS necesita una ráfaga de alrededor de 2 A, por unos cuantos segundos, por tal motivo el respaldo de baterías debe ser capaz de entregar un valor superior a 2 A.

En tanto que el módulo receptor, necesita alimentación continua y diaria lo que en este caso elegir baterías sería una mala decisión. Por eso, el receptor será

alimentado por un adaptador de voltaje de 110 V de AC a 5V de DC como el que se muestra en la figura 39 el cual será suficiente para energizar y garantizar el correcto funcionamiento del mismo.



*Figura 39.* Adaptador de voltaje AC-CD típico para electrónica.  
Tomado de Viajeros, 2012.

## **2.3 Requerimientos de Software.**

### **2.3.1 Análisis de Requerimientos de Software**

Para los requerimientos de software es necesario seleccionar el programa con el cual el microcontrolador trabajará, además de la interfaz de gestión hombre – máquina.

El software para los sistemas Arduinos serán desarrollados bajo el entorno de programación visual C y el programa de gestión Hombre-Máquina será desarrollado en Java, su base de datos será en la nube con la plataforma PostgreSQL.

### **2.3.2 Requerimientos de Software Módulo Emisor**

De manera simplificada el software para el módulo Emisor entorno del paciente, debe cumplir con tres operaciones básicas.

- Envío de la cadena de caracteres predefinida por el fabricante del glucómetro Life Scan Onetouch, esta cadena permitirá un acceso hacia el dispositivo de prueba para acceder al último dato guardado.
- Recibir el dato de forma serial proveniente del glucómetro e insertarlos dentro de un mensaje corto de texto (SMS) con la ayuda de los comandos AT se podrá enviar los datos de forma serial hacia la SIM 900, la misma que se encargará de transmitir hacia el módulo receptor toda la información captada.
- Además para tener el acuse de recibido, se implementa una pantalla LCD Nokia 5110 para visualizar el proceso de envío y recepción del valor tomado por el glucómetro.

### **2.3.3 Requerimientos de Software Módulo Receptor**

En la etapa del módulo receptor se debe considerar dos estados de funcionamiento, que se los llamarán Off-line y On-line.

Cuando el módulo receptor se encuentra en el modo "On-line", este estado debe permitir y garantizar la comunicación en tiempo real con el computador personal; es decir, que cuando la interfaz de gestión este abierta, los mensajes provenientes del módulo emisor son recibidos por el módulo receptor y directamente almacenadas en la base de datos, para luego ser procesadas por el software.

Dichos mensajes serán enviados hacia el computador personal empleando la comunicación UART, una vez que se envía la cadena de transmisión (mensajes) debe esperar una respuesta del software de gestión, la misma que estará compuesta de un mensaje corto y el número de teléfono celular al cual hay que enviar las instrucciones del médico. Una vez que el software realiza las dos gestiones debe seguir en espera del siguiente mensaje.

Mientras se mantiene en espera, el microcontrolador debe ser capaz de responder a la interrupción por comunicación serial que será usada para poder “conversar “ con el computador personal, ya que se le enviará caracteres que puedan conmutar entre estados de funcionamiento, así como el poder borrar y leer mensajes desde la shield SIM 900.

En determinados momentos el computador enviará un carácter con el cual podrá cambiar el modo de operación del módulo receptor, cuando esto suceda el módulo receptor entrará en modo off line, mientras el microcontrolador del módulo receptor se encuentre en este estado no se comunicará con el computador personal es decir la comunicación serial es nula.

En el modo off-line, el módulo receptor recibirá igual que en el modo online los mensajes pero no los enviará hacia el computador, los mensajes se almacenarán en la shield SIM 900, en el caso que el valor de mensaje (lectura glucómetro) este fuera del rango permitido, debe enviar una respuesta de alarma hacia el teléfono del médico tratante, indicando el valor captado por el paciente.

### **2.3.3.1 Requerimientos del Software de Gestión de Pacientes.**

El programa de gestión de pacientes constituye la interfaz hombre-máquina entre el médico y el sistema de gestión de pacientes, además de registrar todas las lecturas enviadas por el módulo emisor, las clasifica de acuerdo a cada paciente, siendo capaz de generar reportes gráficos históricos para un mejor control.

De manera simplificada se puede decir que la interfaz a desarrollar será en java y considerará los siguientes aspectos:

El desarrollo de una interfaz sencilla y fácil de usar en otras palabras se puede decir, un ambiente amigable para el médico que será el operador del sistema. Debe tener las diferentes pantallas de acceso, monitoreo, revisión, conexión de manera muy sencilla de acceder; ya que el objetivo de la propuesta es un sistema sencillo con grandes prestaciones. Debe mantener una comunicación serial con

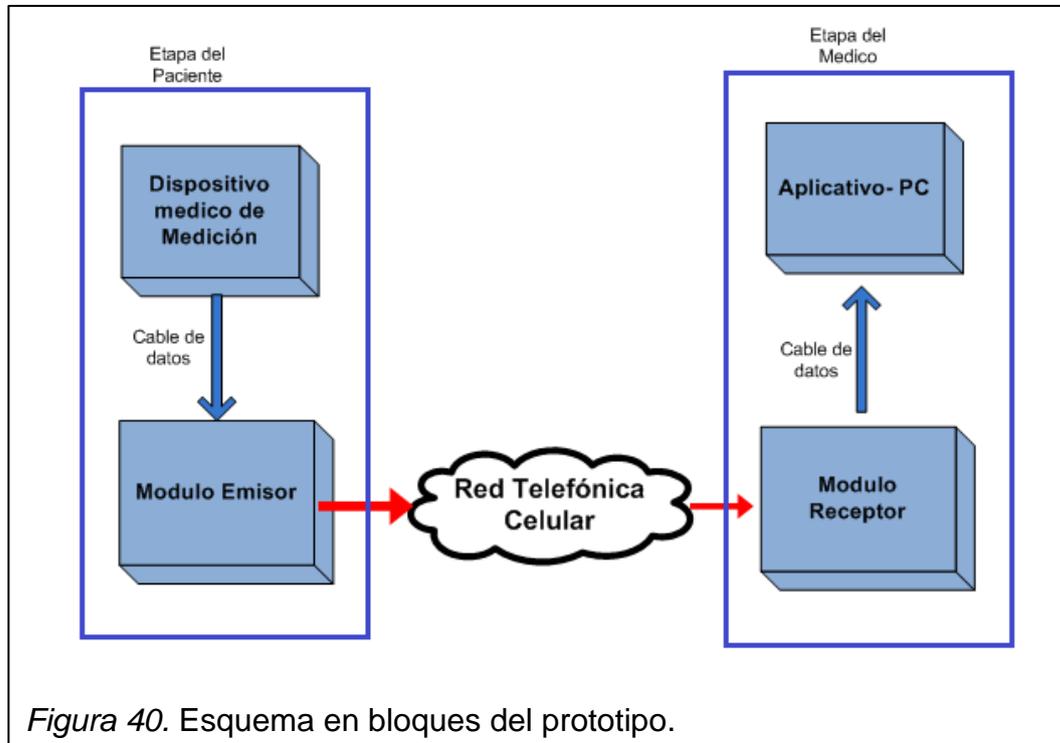
el microcontrolador que está instalado en la placa Arduino haciendo uso de la comunicación UART.

Desarrollo de las rutinas de comunicación entre el software y el motor de base de datos, que permita la comunicación en ambos sentidos para la búsqueda, escritura y lectura de los diferentes parámetros de cada usuario que en este caso son los pacientes.

### 3 CAPÍTULO III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

En el capítulo anterior se detalló cada uno de los componentes necesario para la construcción del prototipo portable para medir los niveles de glucosa en pacientes con diabetes.

El esquema del prototipo se puede evidenciar en la figura 40, principalmente está basado en la toma de muestra de sangre recolectada por el glucómetro que mediante proceso electroquímico presenta en pantalla el valor captado, este valor será trasmitido al módulo emisor, el mismo que se encargará de enviar al módulo Receptor mediante la red de telefonía celular, el módulo receptor será el encargado de trasferir los datos hacia la PC del médico, en donde se almacenarán cada lectura de forma automática, además se proporcionará alertas de aviso cuando los niveles no estén dentro de los establecidos.



Adicionalmente se muestra en la figura 41 el esquema con los componentes utilizados, el glucómetro One Mini Touch de LifeScan, Arduino Uno, Modem GSM y la red GSM, que se utilizó para el envío del SMS.

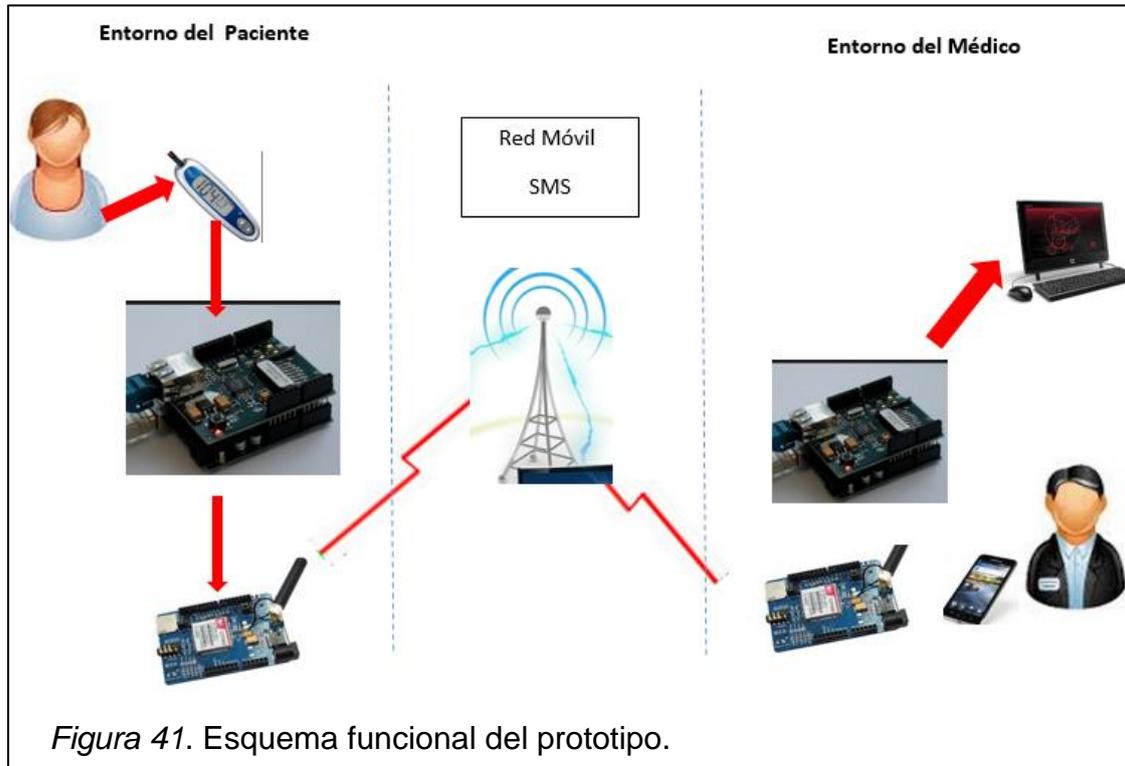


Figura 41. Esquema funcional del prototipo.

### 3.1 Diseño y Construcción de Hardware

#### 3.1.1 Descripción del Módulo Emisor

Una vez que el paciente se haya realizado la toma de muestra de glucosa, el módulo emisor es el encargado de procesar la información registrada en el glucómetro, y enviarla al modem GSM, el mismo que finalmente lo transmitirá al módulo Receptor utilizando la red GSM. Los dispositivos que intervendrán en la construcción del prototipo y que fueron definidos en el capítulo anterior, son:

- Glucómetro Lifescan,
- Arduino Uno,
- Cable de conexión,
- Modem GSM-SIM 900

- Fuente de alimentación externa.

El diagrama de bloques para esta etapa se presenta en la figura 42, como primera fase está el glucómetro, luego el Arduino Uno con el Modem GSM- SIM 900 y finalmente la pantalla LCD que permitirá observar el avance de cada actividad realizada.

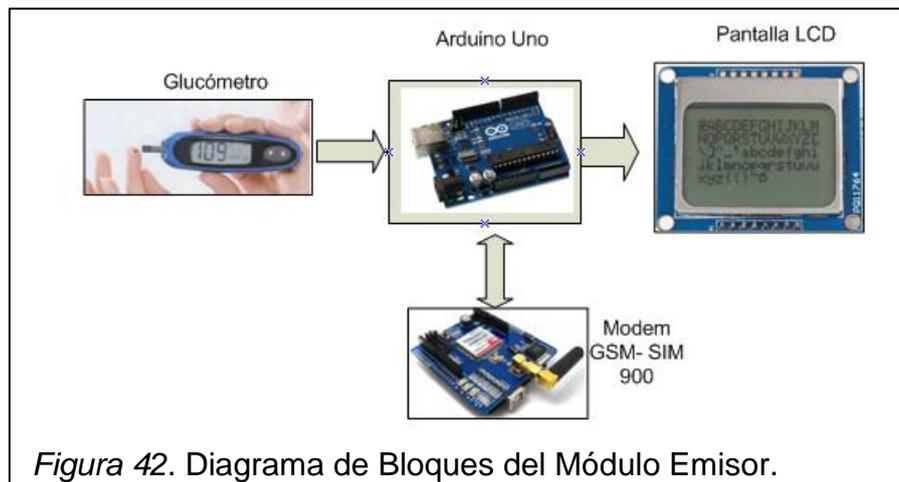


Figura 42. Diagrama de Bloques del Módulo Emisor.

### 3.1.1.1 Conexión Glucómetro- Arduino Uno.

Previo al establecimiento de comunicación entre el Glucómetro y Arduino Uno, se encuentra el switch S1, para el encendido y apagado del equipo, el circuito On-Off como se lo llamará a lo largo de la construcción del prototipo, el mismo que va directamente conectado a la entrada analógica A0 del Arduino Uno. En la figura 43 se puede apreciar el esquemático del circuito On-Off.

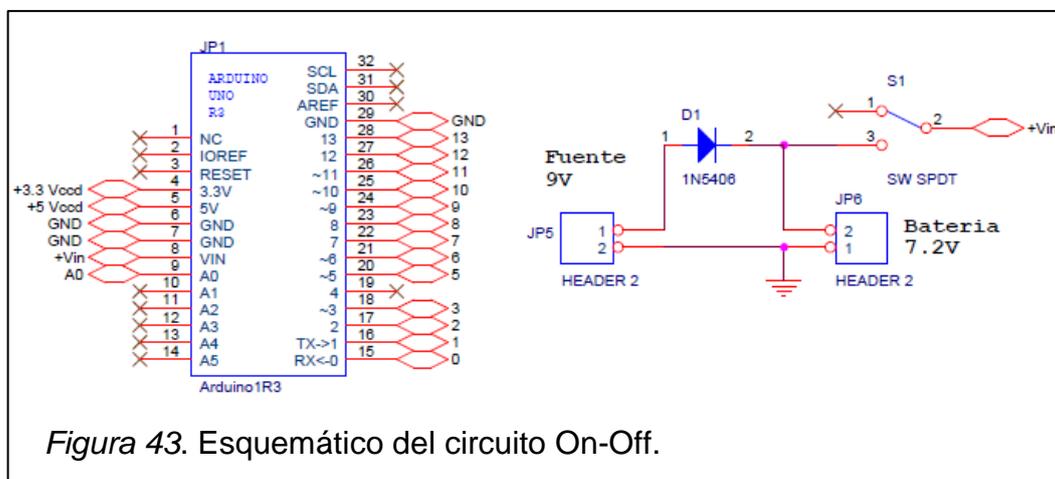
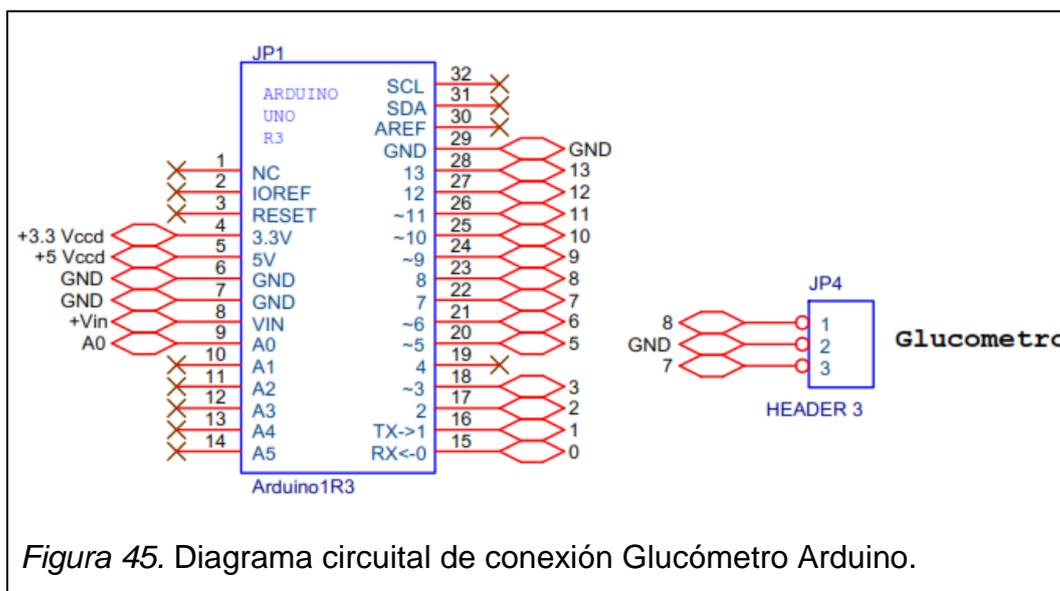


Figura 43. Esquemático del circuito On-Off.

Una vez encendido el módulo, empieza la comunicación entre el glucómetro y el Arduino, a través del cable de audio stereo 3,5 mm para dicha comunicación se analizó la secuencia de caracteres del glucómetro, más adelante en el Anexo 2, se encuentra información de la secuencia de trasmisión de la trama del glucómetro Life Scan de Jhonson & Jhonson. En la figura 44, se muestra el cable utilizado para la conexión.



Las líneas utilizadas para la transferencia de información son el Pin 7 y Pin 8; RX, TX y GND con la comunicación Serial TTL, por software, el glucómetro funciona con esta comunicación, por lo tanto, se utilizó el mismo protocolo en los dos dispositivos. En la figura 45 se muestra el diagrama circuital de la conexión del Glucómetro One Touch y el Arduino UNO.



### 3.1.1.2 Conexión Arduino- Modem GSM

Para realizar la conexión entre los dispositivos Arduino y Modem GSM, se ha diseñado y construido una tarjeta interfaz para facilitar la conexión y acoplamiento de entradas/salidas del Arduino, entradas para la conexión de la fuente de alimentación, conexión de alimentación de respaldo y conexiones de otros periféricos que ayudan al funcionamiento del prototipo. En la figura 46, se presenta el esquemático de la placa acopladora entre el Arduino y el Modem GSM. En la figura 47 se indica el diseño de la placa de acoplamiento del Arduino Uno con el Modem GSM. En la figura 48 el ruteo de pista de la tarjeta acopladora.

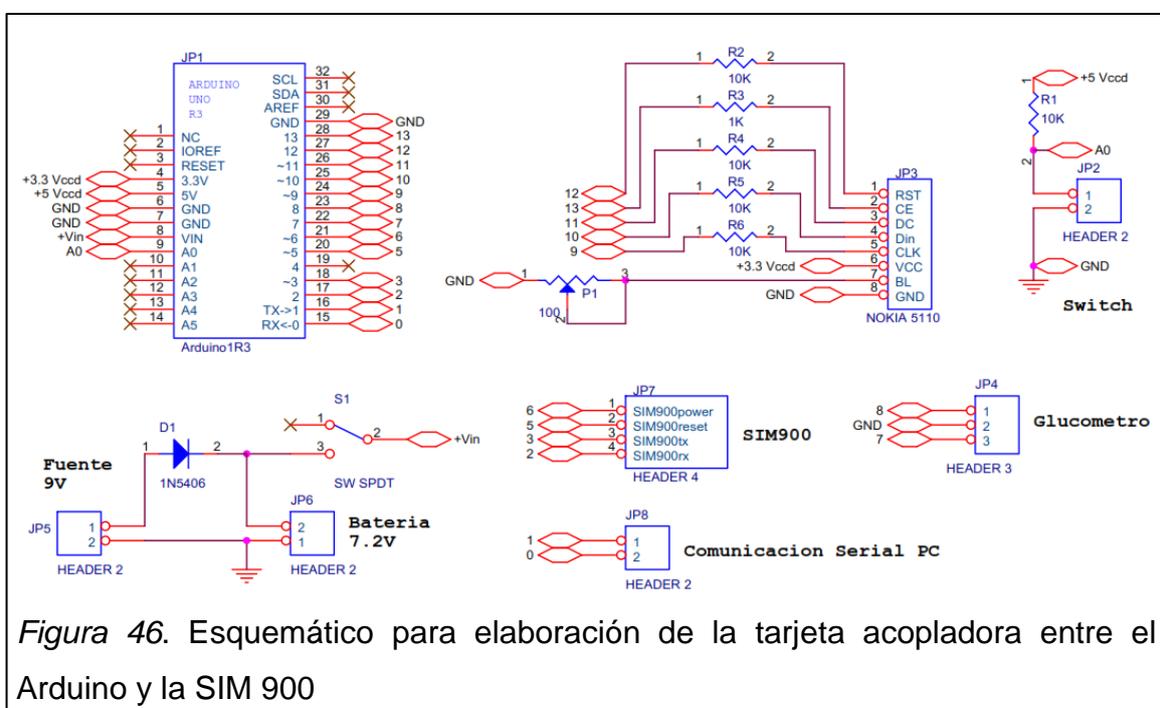
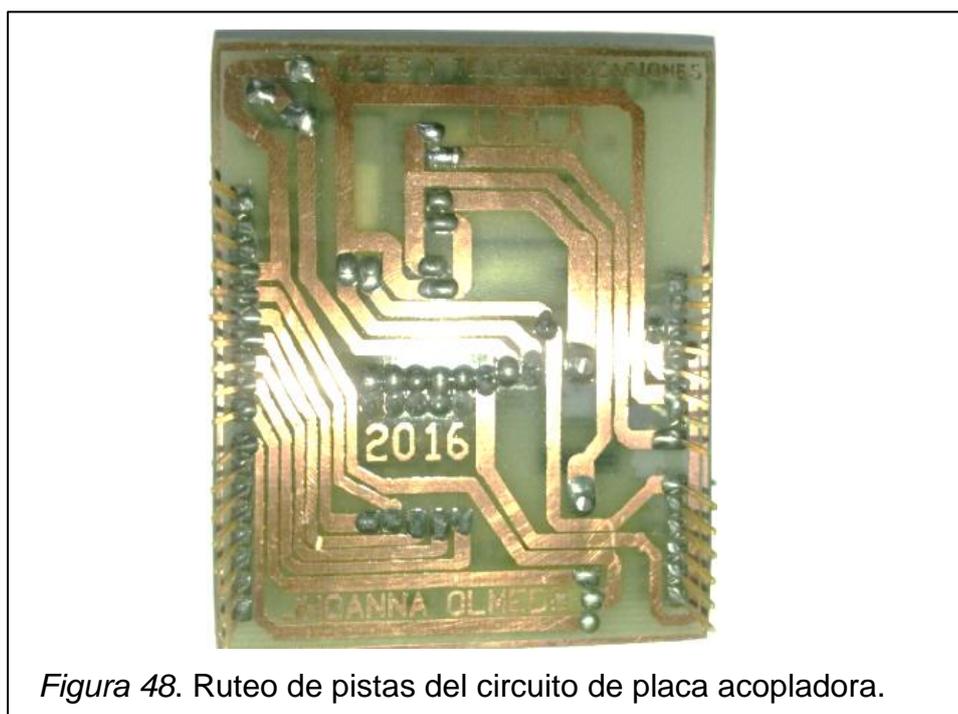
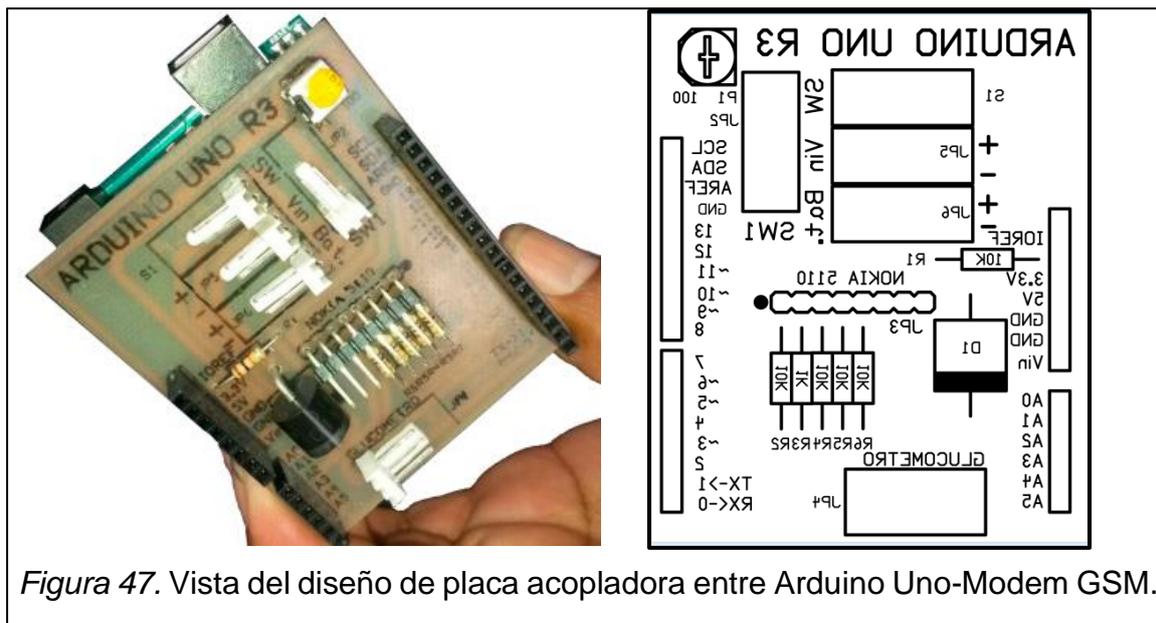
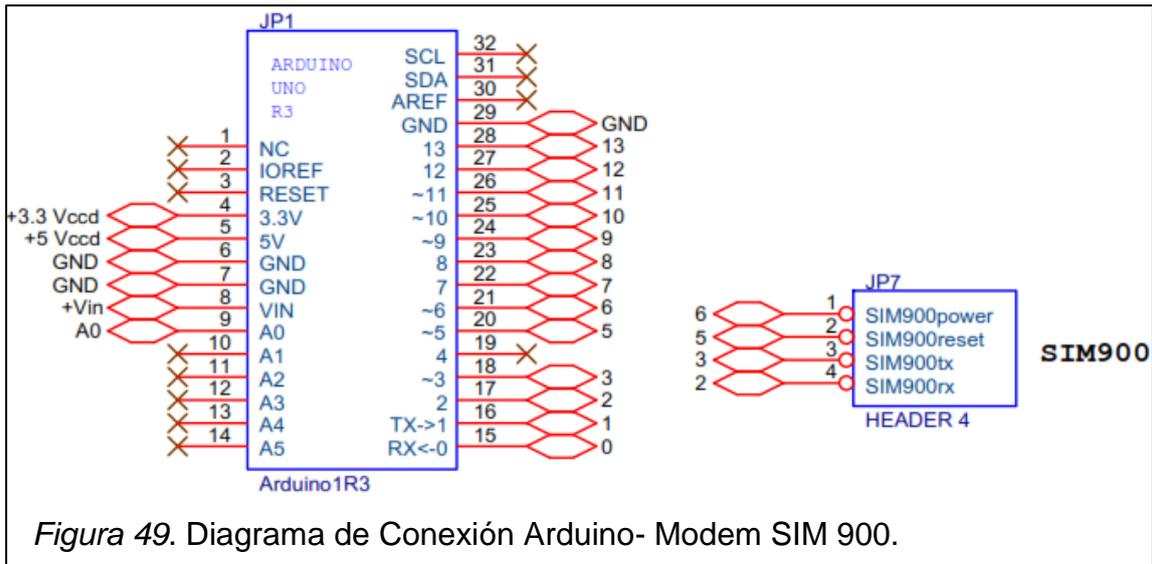


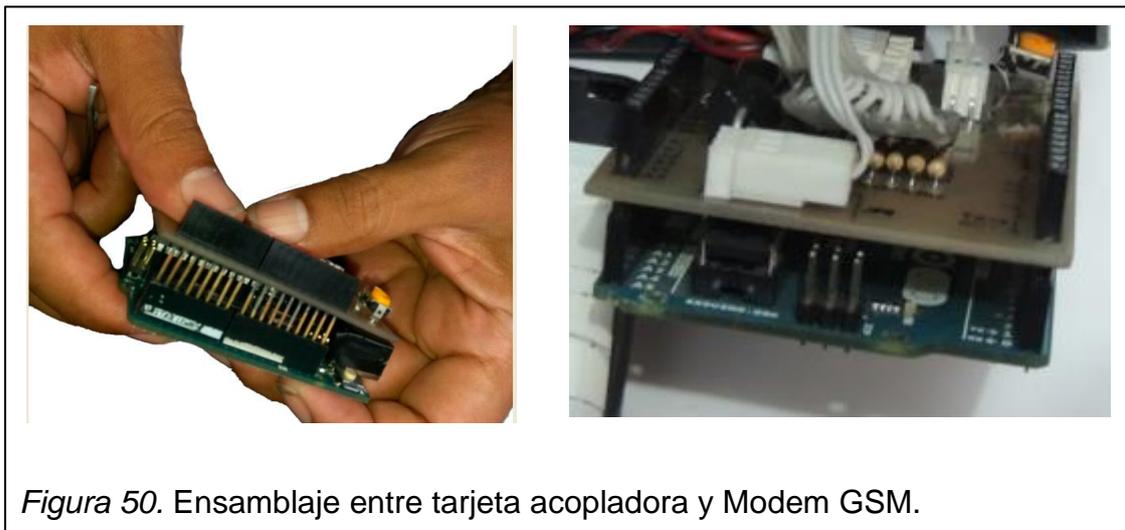
Figura 46. Esquemático para elaboración de la tarjeta acopladora entre el Arduino y la SIM 900



De acuerdo a los requerimientos del capítulo anterior el Modem GSM debe ser conectado en las líneas 6, 5, 4 y 2, que son Power, Reset, Tx y Rx, respectivamente, gestionadas por software. En la figura 49, se presenta el diseño circuital de la conexión SIM 900.



En la figura 50, presenta el ensamblaje del Arduino, la placa acopladora y el modem SIM 900.



Para que el Modem GSM envíe el valor de glucosa hacia el módulo receptor es indispensable contar con un chip de cualquier operadora telefónica, la misma que debe estar activa para el envío de SMS y disponer del servicio de paquete de mensajes contratados. Para el prototipo se adquirió la tarjeta SIM de la operadora Claro. En la figura 51 se muestra la tarjeta SIM, colocada en la parte posterior del Modem GSM.

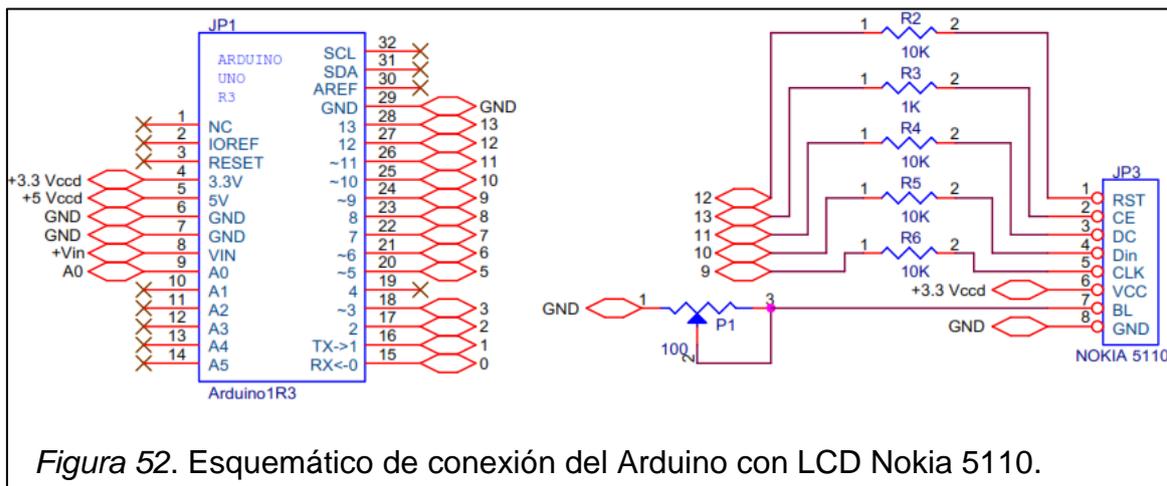


### 3.1.1.3 Conexión Arduino-LCD Nokia 5110

El objetivo de la instalación de la pantalla LCD Nokia 5110, es presentar en pantalla si efectivamente se ejecutaron las instrucciones configuradas en el Arduino Uno, es decir tener retroalimentación del funcionamiento de los dispositivos participantes en el módulo emisor. Para ello se han utilizado los pines.9, 10, 11, 12,13 que controlan Clock, Din, Dc, CE, RST.

El voltaje requerido por el LCD Nokia es de 3.3 Vcd, por lo que se ha colocado resistencias de 10K $\Omega$ , para disminuir el voltaje proveniente de la fuente de alimentación externa y proporcionar el voltaje requerido para que el LDC pueda funcionar. En la figura 52, se presenta el diseño del diagrama circuital de la conexión de Arduino Uno y pantalla LCD.

El potenciómetro instalado, regula el contraste de la pantalla para que la imagen sea más clara.



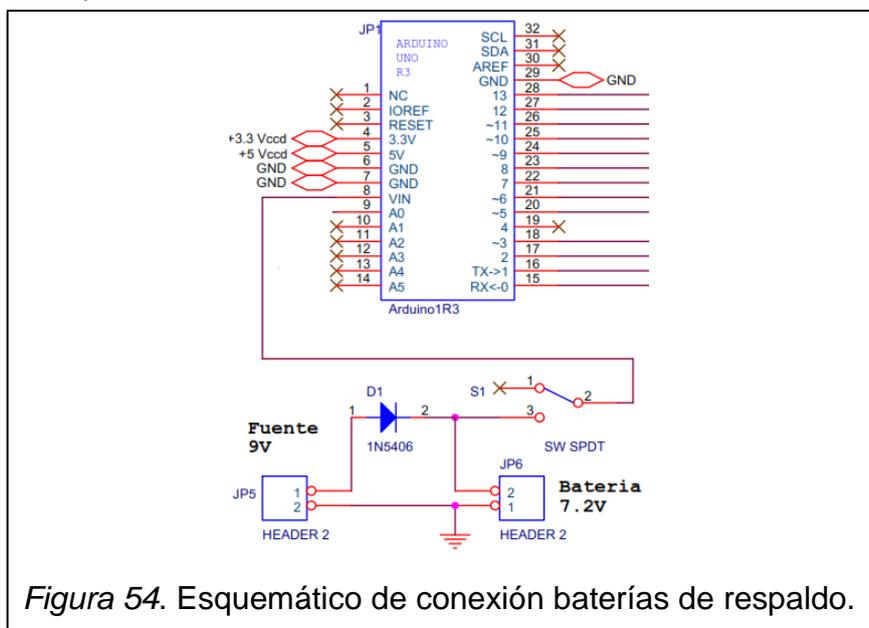
La conexión física del Arduino y la pantalla LCD Nokia 5110 es mediante el bus de datos, que también consta en la interfaz acopladora para facilitar el ensamblaje de los dispositivos como se había mencionado anteriormente. En la figura 53, se muestra la construcción física.



### 3.1.1.4 Conexión Fuente de Alimentación

La principal fuente de alimentación del módulo emisor está conformada por 6 pilas de 1,2 Vdc, que en conjunto proporcionan un voltaje de 7,2 Vdc con capacidad de corriente de 4800mAh, se ha considerado el voltaje recomendado por el fabricante de Arduino y el Módem GSM-SIM 900 tal como se indica en las especificaciones técnicas del Anexo 3.

La carga de las baterías se puede realizar mediante la conexión de una fuente de alimentación externa, proporcionando el voltaje y la corriente necesaria para recargar correctamente las baterías. De esta manera el prototipo puede ser transportado a cualquier lugar donde se encuentre el paciente. En la figura 54 se presenta el esquema circuital.



En la figura 54, se puede apreciar que la batería de respaldo se cargará cuando la fuente de alimentación externa se encuentre conectada, para evitar que la corriente suministrada se regrese a la fuente se ha colocado un diodo de protección. Para los cálculos se considera la tabla 8, especificaciones técnicas del Modem GSM, Arduino Uno y Pantalla LCD.

*Tabla 8. Especificaciones de Corriente Dispositivos del Módulo Emisor.*

Dispositivo	Min (contin)	Max (pulse)
Modem GSM-SIM 900	500mA	2000mA
Arduino Uno R3	---	200mA
Nokia 5110	----	20mA

### Cálculo de Consumo de Corriente en Modo Espera.

- $I_{GSM} = 500mA$
- $I_{arduino} = 200mA$
- $I_{Nokia} = \text{Máxima: } 20mA$
- $T_{lectura} = 50 \text{ seg o } 0.0139h \rightarrow \text{tiempo empleado para el envío de una lectura}$
- $C_{batería} = 4800mAh.$
- Rendimiento Baterías : $R = 85\%$

a) Cálculo de consumo de corriente total del Módulo Emisor

$$I_{TOTAL} = I_{gsm} + I_{arduino} + I_{nokia} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$I_{TOTAL} = 500mA + 200mA + 20mA \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$I_{TOTAL} = 720mA \quad (\text{Ecuación 3})$$

b) Cálculo de tiempo con Rendimiento de batería al 100%

$$Tiempo \text{ de espera} = \frac{4800mAh}{720mA} = 6,66 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 4})$$

c) Con rendimiento de batería al 85%

$$Tiempo \text{ de espera} = \frac{4080mAh}{720mA} = 5,66 \text{ horas} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En conclusión, el respaldo de baterías proporcionará independencia energética de al menos 5 horas con 39 minutos, considerando que la batería opera a una eficiencia del 85%, como se muestra en la ecuación 5.

### Cálculo de Consumo de Corriente en Modo Operación.

- $I_{GSM} = 2000mA$
- $I_{arduino} = 200mA$
- $I_{nokia} = \text{Máxima: } 20mA$

- $T_{lectura} = 50 \text{ seg o } 0.0139h \rightarrow$  tiempo empleado en un envío de lectura
- $C_{batería} = 4800mAh.$
- Rendimiento Baterías :  $R = 85\%$

a) Cálculo de consumo de corriente total del Módulo Emisor

$$I_{TOTAL} = I_{gsm} + I_{arduino} + I_{nokia} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$I_{TOTAL} = 2000mA + 200mA + 20mA \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$I_{TOTAL} = 2220 \text{ mA} \quad (\text{Ecuación 8})$$

b) Cálculo de consumo de corriente en una lectura.

$$I_{LECTURA} = I_{total} \times T_{lectura} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$I_{LECTURA} = 2220 \text{ mA} \times 0.0139H \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$I_{TOTAL} = 30,858 \text{ mAH} \quad (\text{Ecuación 11})$$

c) Cálculo de número de veces de lectura si:

- Se asume el rendimiento de la batería del 85%

$$veces = \frac{4080mA}{30,858 \text{ mA}} = 132,22 \text{ veces} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$horas = 132,22 \text{ veces} \times 0.0139h \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$veces = 1,84 \text{ horas} \quad (\text{Ecuación 14})$$

- Se asume el rendimiento de la batería del 100%

$$veces = \frac{4800mA}{30,858 \text{ mA}} = 155,55 \text{ veces} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$horas = 155,55 \text{ veces} \times 0.0139h \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$veces = \mathbf{2,16 \text{ horas}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Es decir que la batería dura 2 horas con 09 minutos, realizando 155 lecturas consecutivas con rendimiento de la batería de 100%.

Mientras la fuente externa se encuentre conectada, proveerá energía para que las baterías de respaldo se carguen, por el contrario, si la fuente externa esta desconectada automáticamente el sistema funcionará con las baterías de respaldo. En la figura 55, se muestra el ensamblaje de la parte de alimentación energética del módulo Emisor.



*Figura 55. Conexión Física de Baterías de Respaldo.*

### **3.1.2 Descripción de Módulo Receptor**

El módulo receptor es el encargado de recibir el valor de glucosa proveniente del módulo emisor, a través de la red telefónica GSM, mediante un mensaje de texto, dicha lectura será transmitida a la aplicación que está instalada en la PC del médico. En este entorno es necesario un segundo Modem GSM, un Arduino Uno y la fuente de alimentación externa. Para brindar monitoreo constante y en tiempo real se ha establecido dos modos de funcionamiento que se les denominó On-line y Off-line.

- El modo On-line, se utiliza cuando el doctor está en línea, es decir con la aplicación ejecutada en su PC, lo que significa que todos los valores de

glucosa se almacenarán directamente en la base de datos, cada vez que se registra un valor de glucosa, llegará la notificación que se ingresó un dato con el respectivo ID de Usuario.

- El modo Off-line, se utiliza cuando el doctor esta fuera de línea, es decir cuando la aplicación de la PC está cerrada, por lo que los valores de glucosa en este caso se almacenarán en la SIM del Modem GSM, cuando la aplicación se ejecute, toda la información se transferirá a la base de datos, tomando en consideración que, después de leer los valores de glucosa guardados, automáticamente se libera el espacio de memoria de la SIM, más adelante en el diseño de software se detallará este particular.

Para la construcción del prototipo se utilizará los elementos descritos en el capítulo anterior:

- Arduino Uno
- Modem GSM
- Tarjeta SIM
- Fuente de alimentación externa.
- Cable USB

En la figura 56, se muestra el diagrama de bloques del Módulo Receptor que corresponde a la etapa del médico.

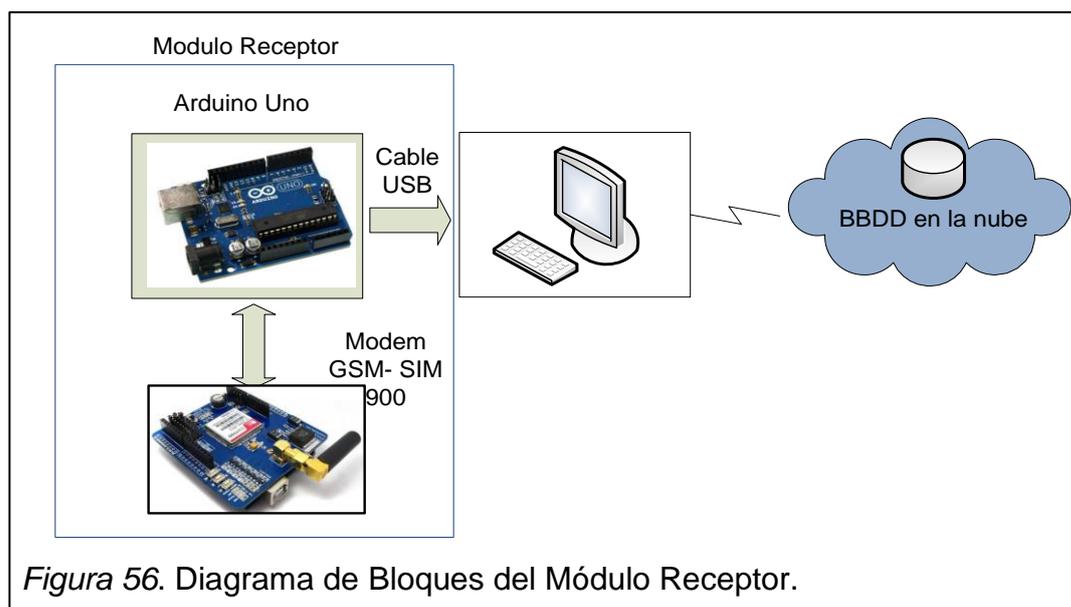


Figura 56. Diagrama de Bloques del Módulo Receptor.

En la figura 57, se presenta el esquemático general de la etapa del módulo Receptor, con las respectivas conexiones a los dispositivos que son parte del funcionamiento de esta etapa.

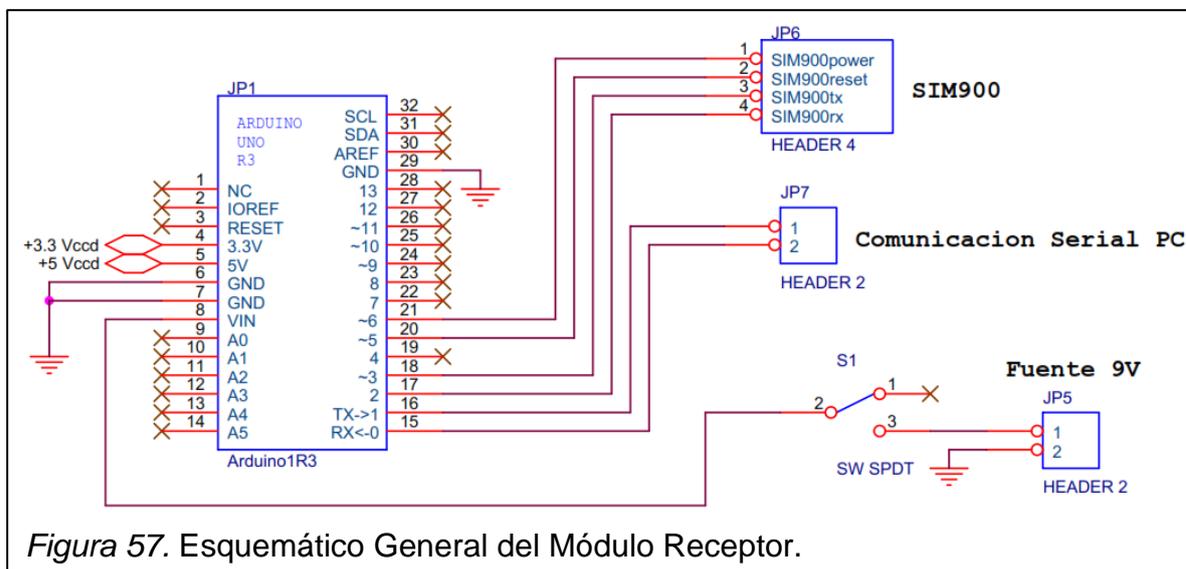


Figura 57. Esquemático General del Módulo Receptor.

### 3.1.2.1 Conexión de Arduino Uno y Modem GSM.

El módulo receptor está formado por el Arduino Uno y el modem GSM encargados de recibir el valor de glucosa procesarlo para que el Arduino puede transferir hacia la PC del médico, para esto los pines utilizados en el diseño son 6, 5, 3, 2, Power, Reset, Tx, Rx respectivamente, como se muestra en la figura 58, esquemático de conexión Arduino Uno y Modem GSM, .en esta etapa es indispensable contar con una tarjeta SIM con disponibilidad de paquete de mensajes de texto al igual que el módulo Emisor.

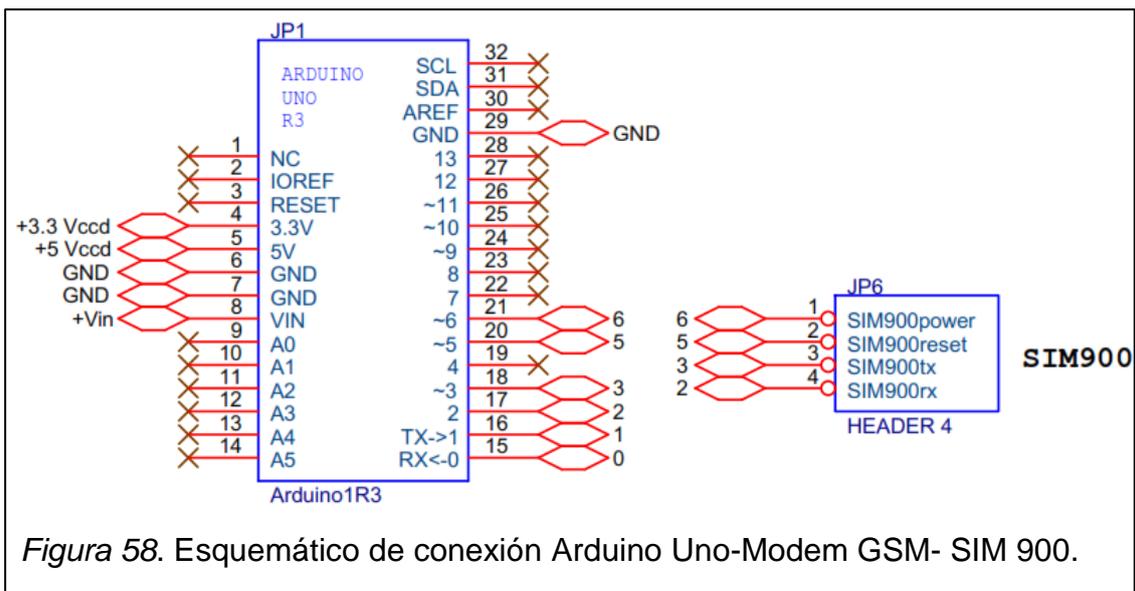


Figura 58. Esquemático de conexión Arduino Uno-Modem GSM- SIM 900.

En la figura 59 se muestra el ensamblaje de la placa Arduino Uno y el Modem GSM para la etapa del Módulo Receptor, basta con posicionar el Modem con cada socket del Arduino, para saber que están en los pines adecuados para comenzar la transferencia de la información.



Figura 59. Ensamblaje de Arduino Uno y Modem GSM- SIM del Módulo Receptor.

Cabe señalar que el Receptor es el encargado de generar alertas de aviso al médico en los modos que se había mencionado en el diseño de hardware.

- Control de Alertas

En esta etapa se ha diseñado la particularidad de generar alertas, tanto para el modo On-line y Off-line, si el valor de glucosa tomado por el paciente Vs el valor normal establecido, es superior a 130mg/dl en ayunas y después de 2 horas de haber ingerido alimento superior a 180mg/dl; enviará una alerta de SMS al médico, indicando el valor del glucosa y el ID del paciente.

En modo on-line, el médico será el encargado de enviar el mensaje al paciente a través de la aplicación instalada en su PC, indicando si requiere nueva prueba o una cita médica, y en el modo off-line el Arduino realiza el envío del SMS directamente al número celular del médico tratante, indicando el valor de glucosa.

### **3.1.2.2 Comunicación del Módulo Receptor y PC del Médico.**

Para el intercambio de información del módulo receptor y PC del médico, se utiliza la comunicación serial UART, en la cual envía serialmente el ID del paciente, nombre del paciente, último valor de glucosa y la fecha, los mismos que serán almacenados en la base de datos tan pronto se reciba. En la figura 60, se muestra el cable USB utilizado para la conexión física del módulo Receptor con la PC.



*Figura 60.* Cable USB para conexión entre Módulo Receptor y PC.

## 3.2 Diseño de Software

### 3.2.1 Descripción de Software para Arduinos

Para comenzar y hacer uso de las funciones del Arduino, se debe preparar el entorno de programación, es decir instalar el IDE que es propio de la familia de Arduino, a través del cual, se genera los sketch con el código del programa que se cargará a los dispositivos Arduino Uno.

En primer lugar, se debe descargar de la página web de Arduino la versión del software dependiendo del sistema operativo en el que se va a trabajar, en este caso la versión será para Windows. El entorno de programación de Arduino es “Processing” y “Wiring”, debido al código abierto y extensible de Arduino, se puede utilizar librerías C++ o también el lenguaje AVR C que es propio de Arduino.

#### 3.2.1.1 Software para Módulo Emisor

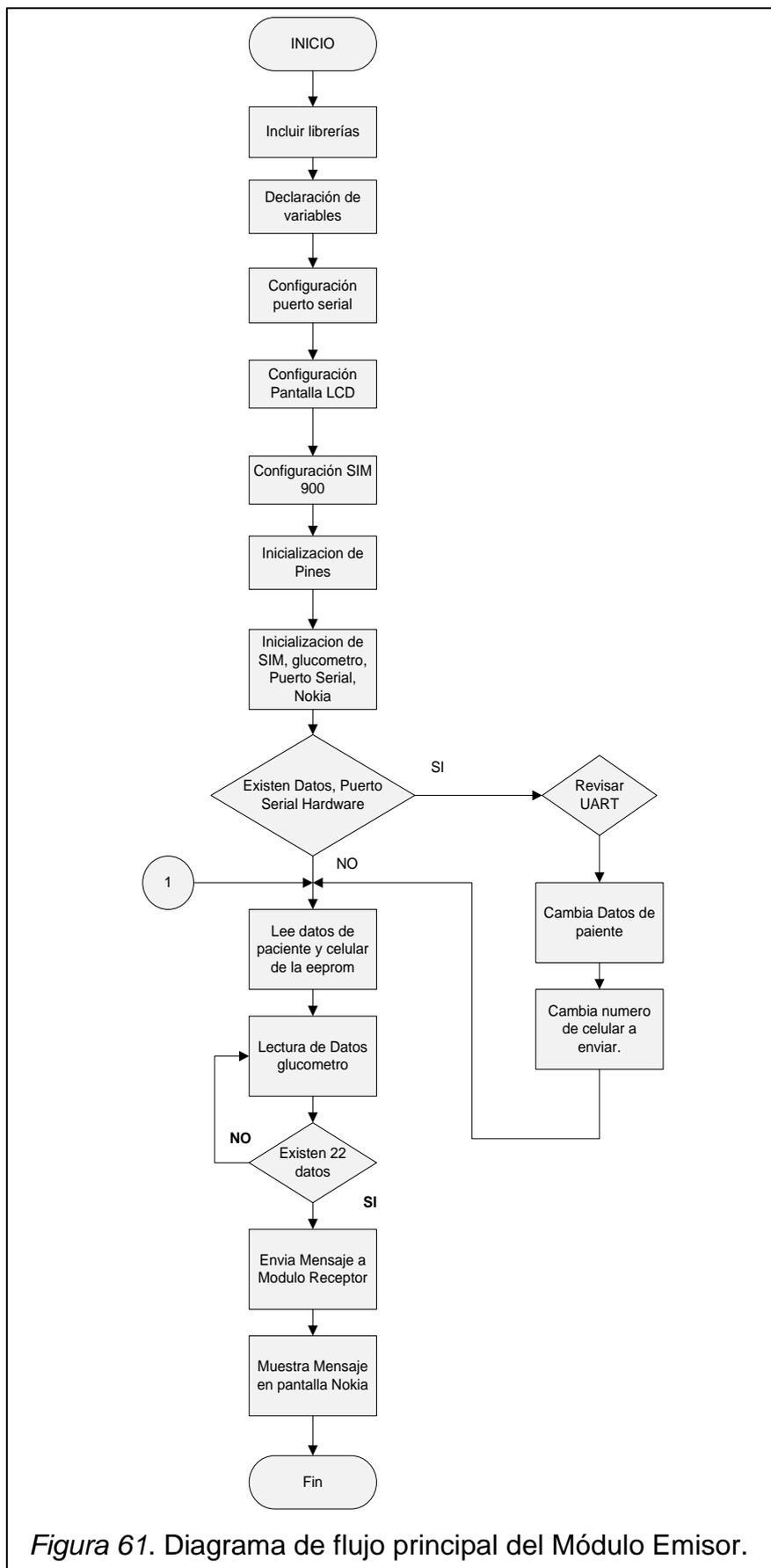
El software para el módulo emisor está basado en varias etapas de funcionamiento que son:

- Comunicación glucómetro One-touch - Arduino Uno.

- Comunicación Arduino Uno- Modem GSM- SIM 900.
- Envío de lectura del Módulo Emisor al Módulo Receptor.
- Conexión Arduino-Pantalla Nokia LCD 5110.

De forma general se presenta, en la figura 61 el diagrama de flujo principal del módulo Emisor y su estructura de desarrollo:

- Inclusión de librerías a utilizar, para tener habilitadas las funciones con las que tiene que trabajar el Arduino,
- Declarar las variables que servirán para almacenar datos y permitir ser visualizados al final del proceso.
- Para la configuración del modem SIM 900, la pantalla LCD y los puertos de comunicación, se configura en valores a los cuales debe trabajar con los comandos apropiados.
- Inicialización de todos los dispositivos para comenzar la transmisión de la última lectura tomada.



## - Comunicación entre el Glucómetro y el Arduino Uno.

Para que exista comunicación entre el glucómetro One Touch Ultra Mini y el Arduino Uno, es necesario conocer la trama que utiliza el glucómetro para enviar la información de valor de glucosa y fecha. Para ellos se obtuvo las especificaciones técnicas del fabricante LifeScan de Jhonson & Jhonson que se encuentra en el Anexo 2.

La trama de petición y respuesta que utiliza el glucómetro es la que muestra la figura 62, la misma que describe la secuencia de caracteres que permiten enviar y recibir información.

Command Message from PC: Read Glucose Record 1 ( offset=000)												
STX	Len	Link	CM1	CM2	Record 1	ETX	CRC	CRC				
0X002	0x0A	0x03	0x05	01x1f	0x00, 0x00	0x03	0x4B	0X5F				
Reply Message 1 from Meter: Acknowledge												
STX	Len	Link	ETX	CRC	CRC							
0X002	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
0X002	0x10	0x01	0x05	01x1F	0XAC	0x86	0X55	0X68	0x4C	0x00	0X00	0x00
ETX	CRC	CRC										
0x03	0x86	0x0B										

*Figura 62.* Trama petición-respuesta, utilizada por el glucómetro One Touch Ultra Mini.  
Tomado de LifeScan, 2016.

El Arduino utiliza la trama de la figura 63, para solicitar al glucómetro información de la última lectura tomada, el mismo que está en formato hexadecimal.

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

STX	Len	Link	CM1	CM2	Record 1	ETX	CRC Low	CRC
0X002	0x0A	0x03	0x05	01x1f	0x00, 0x00	0x03	0x4B	0X5F

*Figura 63.* Trama de petición de la última lectura tomada.  
Tomado de LifeScan, 2016.

Después de las pruebas realizadas se llegó a la conclusión que la trama válida e importante para este proyecto es la que muestra la figura 64, que contiene el valor de glucosa y fecha y hora de la última medición. Como respuesta a la petición el glucómetro envía la trama conformada por 22 caracteres, de los cuales se utiliza el 14-11(DT4-DT1) y 18-15(GR4- GR1), que son el valor de glucosa y fecha y hora de la lectura tomada respectivamente.

**Reply Message 1 from Meter: Acknowledge**

STX	Len	Link	ETX	CRC Low	CRC
0X002	0x06	0x05	0x03	0x9E	0X14
0	1	2	3	4	5

**Reply Message 2 from Meter: Record glucosevalue + date stamp**

STX	Len	Link	RM1	RM2	DT1	DT2	DT3	DT4	GR1	GR2	GR3	GR4
0X002	0x10	0x01	0x05	01x1F	0XAC	0x86	0X55	0X68	0x4C	0x00	0X00	0x00
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
					Fecha /hora de Medición				Valor de Glucosa			
ETX	CRC Low	CRC										
0x03	0x86	0x0B										
19	20	21										

*Figura 64.* Trama de respuesta glucómetro, contenedora de valor glucosa y fecha-hora.  
Tomado de LifeScan, 2016.

Finalmente, se validó que la trama que contiene el valor de glucosa y la fecha, contenga 22 caracteres, así se garantiza el envío completo de la información, caso contrario debe retornar a leer los datos del glucómetro, hasta que esté completa la información, luego se almacena la variable “dato”, para continuar el proceso de envío hacia el módulo receptor.

#### - **Comunicación Arduino Uno- Modem GSM- SIM 900.**

El Arduino Uno es el dispositivo contenedor de la lógica de funcionamiento del módulo Emisor, aquí se ejecutan las funciones que realiza la pantalla LCD, el Modem GSM y Switch de selección de tiempos de lectura; ayunas y después de la comida. En el caso de la Pantalla LCD para desplegar los mensajes, el Modem SIM para el envío de mensajes hacia el módulo Receptor.

En primera instancia la comunicación con el modem GSM debe estar activada, para ello, se crea una función que pueda activar la SIM, ejecutar lecturas y luego desactivar con la finalidad de ahorrar la energía para que el dispositivo pueda operar por más tiempo. En la figura 65, se muestra el diagrama de flujo específicamente para el módulo GSM-SIM, luego continúa al paso 2 del diagrama de flujo para realizar el envío del mensaje.

#### - **Envío de Lectura del Módulo Emisor al Módulo Receptor.**

Para el proceso de envío de la trama hacia el Modem GSM, es necesario concatenar los caracteres de glucosa y fecha/hora, para que luego el modem envíe los datos al módulo receptor de la forma **% 222,101,56BCB920,C**, además se crea la función "AT+CMGS =" para que el modem ejecute el envío del mensaje al receptor y espere 4 seg para recibir respuesta de la red. Esta función se realiza cuando los 22 caracteres están completos y para delimitar la finalización del mensaje se ha colocado el carácter Ctrl+z. En la figura 66, se muestra el diagrama de flujo del envío de la lectura desde el Emisor al Receptor.

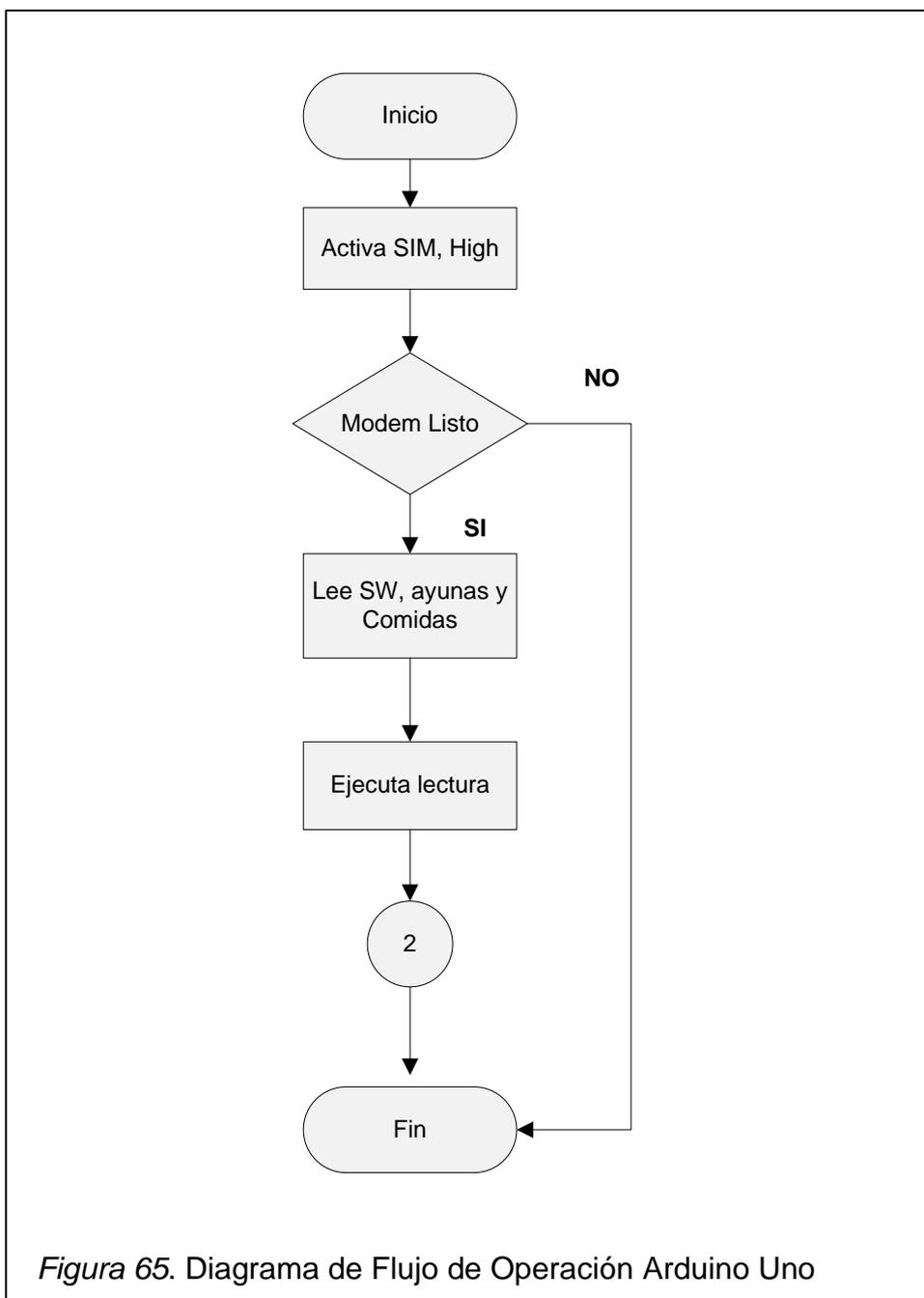


Figura 65. Diagrama de Flujo de Operación Arduino Uno

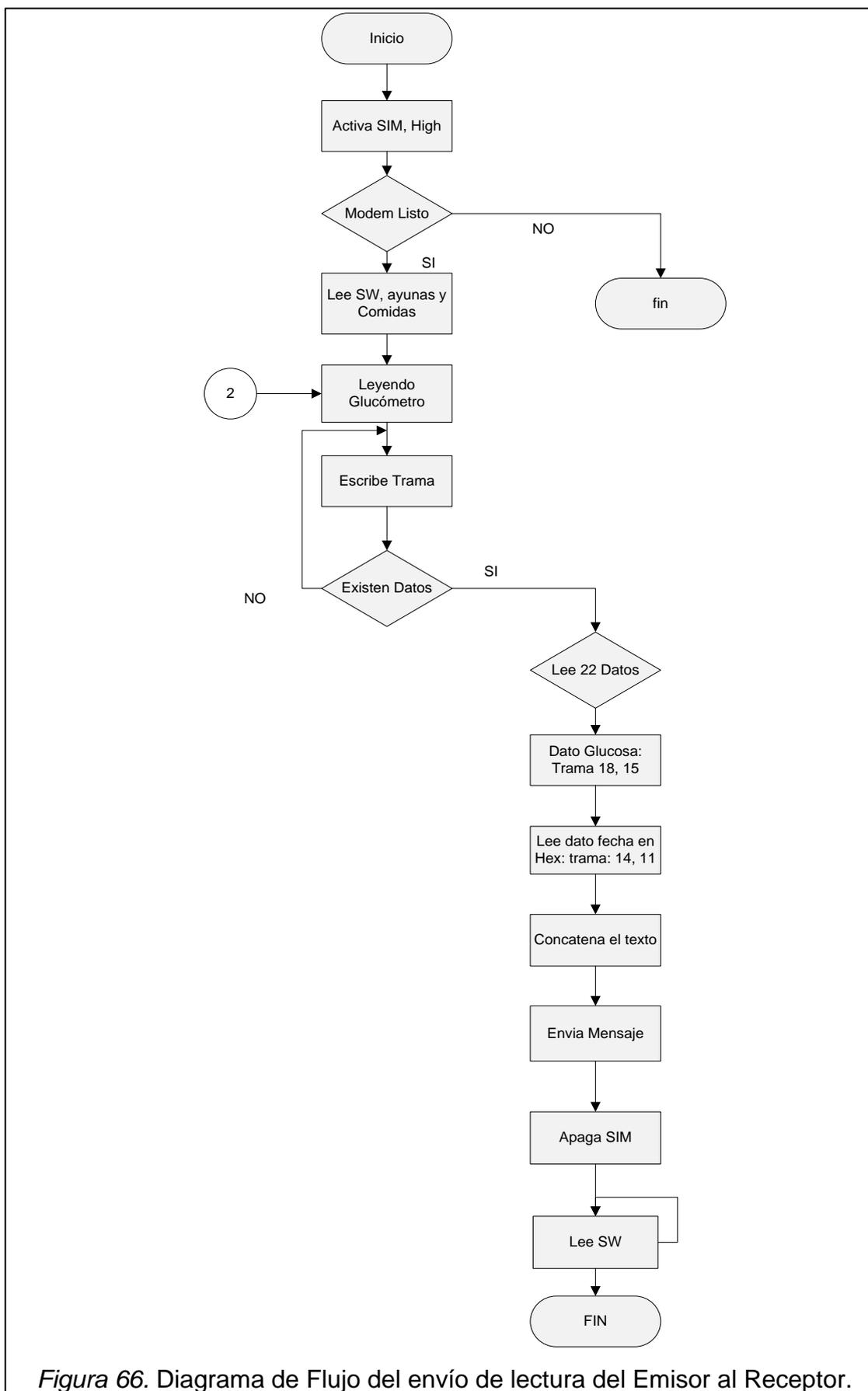
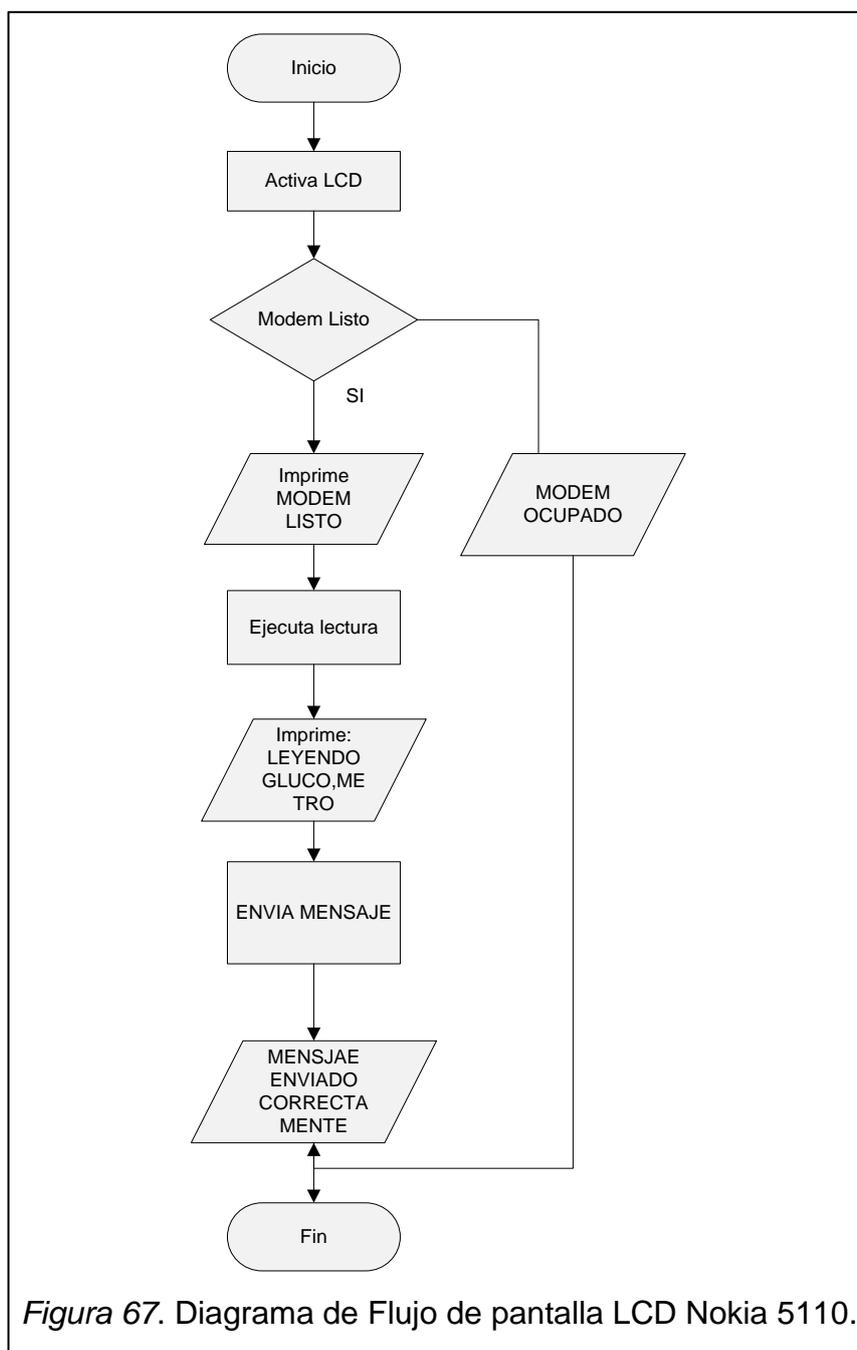


Figura 66. Diagrama de Flujo del envío de lectura del Emisor al Receptor.

## - Comunicación Arduino-Pantalla Nokia LCD 5110

Para la conexión del Arduino Uno con el LCD Nokia 5110, existe la tarjeta acopladora mencionada en el apartado de diseño de hardware, el objetivo de su implementación es presentar los mensajes en pantalla de cada evento que realice el Arduino Uno, se muestra en la figura 67, diagrama de flujo de LCD Nokia.



El prototipo tiene la alternativa para modificar los datos del paciente de forma sencilla y ágil en la figura 68, se muestra el diagrama de flujo para cambiar al módulo Emisor, el ID del paciente, número telefónico del módulo receptor, para ello, se utilizó el puerto serial por hardware UART, esto para el caso en que el prototipo llegara a comercializarse. En el diagrama de flujo, detalla, si no existen datos para cambiar de usuario, retorna al punto 1 del diagrama principal, que es la lectura de datos en la EEPROM.

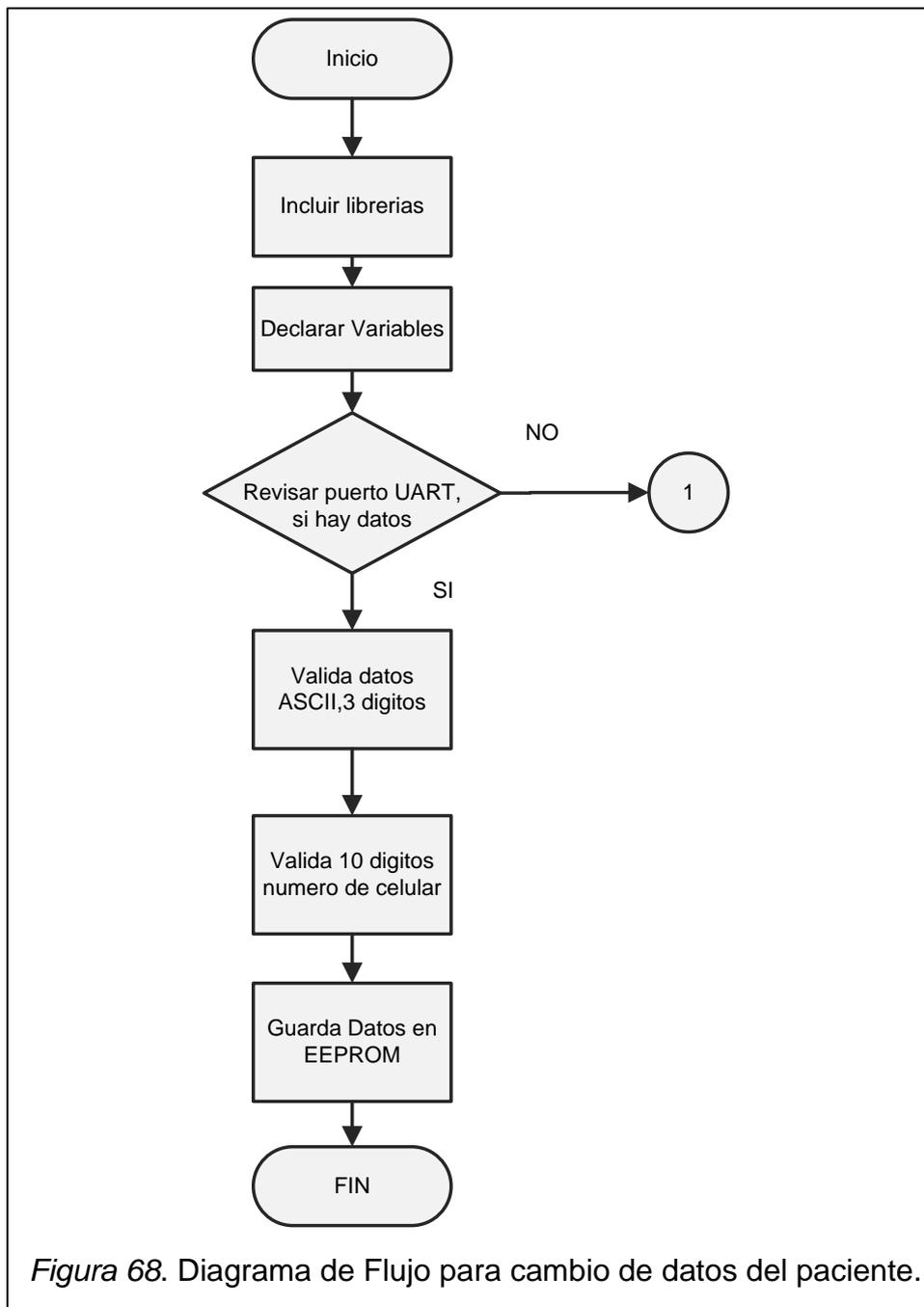


Figura 68. Diagrama de Flujo para cambio de datos del paciente.

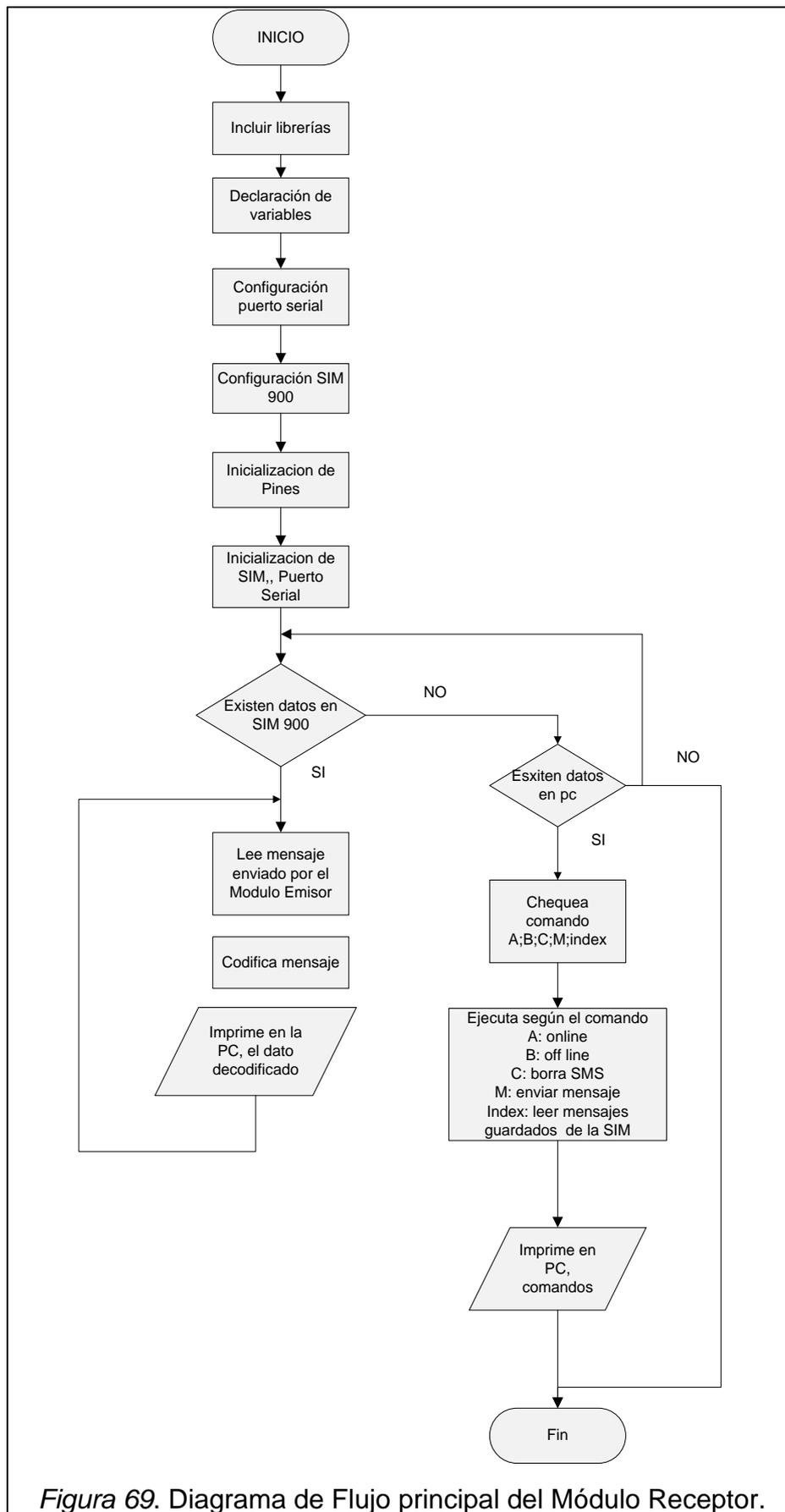
### 3.2.1.2 Software para Módulo Receptor

El entorno de programación para el módulo Receptor es similar al módulo Emisor, lo que hay que diferenciar es que en esta etapa se debe hacer un control de límite del valor de glucosa para enviar alertas de cuidado o cita médica al paciente. En esta etapa se desarrolló tres fases:

- Recepción de datos del módulo Emisor.
- Trasmisión de Datos de Modem GSM al PC
- Administración de la comunicación serial entre Módulo Receptor y PC

A continuación se indica el proceso en el cual se basó para el desarrollo del programa, en la figura 69, se muestra el diagrama de flujo principal del módulo Receptor.

- Incluir librerías.
- Declaración de variables.
- Configuración de Modem SIM y puerto serial
- Inicialización de pines, SIM, puerto Serial
- Validación de existencia de datos en el puerto Serie y Modem GSM SIM.
- Si existen datos en el Modem SIM, envía mensaje recibido por el Módulo Emisor hacia a la PC, decodificando antes de ser presentado en la aplicación- PC
- Si existen datos en el puerto de la PC, chequea estados del módulo, on-line- off-line, envío de mensajes y mensajes guardados.



- **Recepción de datos del Módulo Emisor.**

Para la recepción de los datos desde el módulo emisor al receptor se debe contar con servicio de mensajes de texto, para que sea posible el envío de la información. La lectura que se tomó del glucómetro en el módulo emisor por el paciente es enviada desde cualquier parte del Ecuador hacia el módulo receptor.

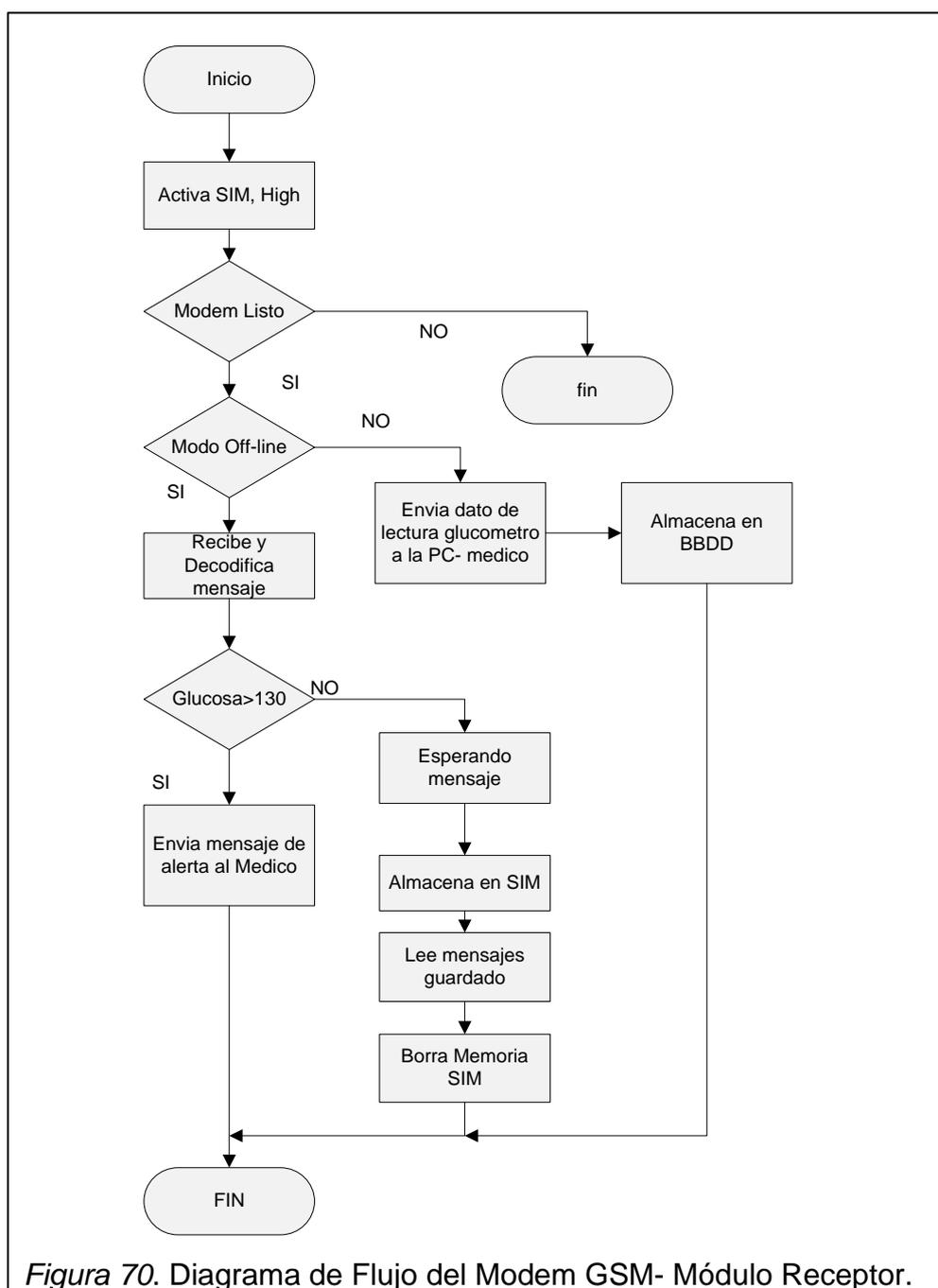
Los datos que han sido recibidos, están encapsulados dentro de un mensaje corto de texto (SMS), una vez que ingresan a la SIM 900 el Arduino Uno ejecuta una subrutina de lectura del mensaje de texto para poder importarlos de forma serial hacia el Arduino Uno. Cabe señalar que para la recepción se consideró 2 modos de funcionamiento debido a que monitoreo de ser continuo, por lo tanto se distingue el modo on-line y off-line que se indica a continuación:

- **Modo Off-line:** Cuando se energiza por primera vez el Arduino el modo de operación predefinido es Off line esto quiere decir que los datos que han sido enviados desde el emisor serán almacenados en la SIM 900. La computadora enviará de manera serial el carácter "B" en código ASCII, el Arduino recibe el dato lo compara con el carácter guardado en su memoria EEPROM y realiza, si es correcto la conmutación entre modo On-line y Off-line.
- **Modo On-line:** el Arduino pasa a este modo de operación cuando el computador personal envía el carácter "A" encapsulado por el puerto serial, una vez que el Arduino conmute a este modo de operación extraerá la información del SMS y los enviará instantáneamente hacia la PC para su procesamiento. Es decir mientras se mantenga en modo On-line el microcontrolador se podría considerar que es de "paso".

El comando para la captura del valor de glucosa tan pronto cuando llegue es: `SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");` utilizado para el modo on-line y para el

caso de almacenar los mensajes en la SIM se utilizó la subrutina `SIM900.print("AT+CNMI=3,3,0,0,0\r");` en el caso del modo off-line.

De esta manera se plantea todos los estados que tiene el módulo receptor para que funciones con toda normalidad a fin de garantizar un óptimo desempeño en la recepción, registro y envío de información. Se muestra en la figura 70, el diagrama de flujo del Modem GSM del módulo Receptor.



### - **Trasmisión de Datos de Modem GSM-SIM 900 al PC**

El dato recibido por el modem GSM SIM-900 del emisor, es guardado en una variable para luego ser colocado en el puerto al cual está conectado el Arduino, el mismo que se encarga de transferir el mensaje hacia la PC del médico, utilizando el puerto hardware UART, que previamente tuvo que ser inicializado con 9600 Baurate para la transferencia del mensaje. El mensaje contiene más información, pero la necesaria para almacenar son: los valores de glucosa, fecha y hora e ID de paciente que se ha segregado.

El Arduino es la interfaz para la comunicación con la PC, el Arduino es aquel que posee la programación, en este caso el Arduino lee los mensaje almacenados mediante la función visualizar SMS, y se rescata los mensaje almacenados en la SIM 900 empleando el comando AT, ("AT+CMGR="), luego serán almacenados en la base de datos postgresql.

Después de haber sido almacenados en la BD debe borrarse la SIM, para continuar guardando nuevas medidas realizados por el paciente.

### - **Administración de la Comunicación Serial entre Módulo Receptor y PC**

El Arduino necesita de un puerto serial que facilite la comunicación bidireccional receptor – PC y PC – receptor, la herramienta que será de gran utilidad para esta labor es la interrupción serial por hardware.

Los datos que el Arduino ha procesado y separado del mensaje de texto original pasa a ser transmitida hacia la PC de forma serial para que el computador con ayuda del software de gestión los almacene y los procese debidamente según se los requiera en la base de datos Postgresql.

El software del Arduino una vez que realiza la lectura y el envío de datos hacia la PC, comienza a permanecer en estado de espera, y empezará a correr otra

subrutina, cuando el Arduino detecte cambio de estado en el bit de inicio de recepción de datos seriales, como se mencionó anteriormente, todo con la ayuda de la interrupción de comunicación serial. En la figura 71, se muestra el diagrama de flujo que realiza el Arduino Uno, además se detalla los estados en los que puede operar el Arduino mientras está a la espera de una respuesta de la comunicación serial.

- **A:** Lectura de mensajes guardados: la lectura se da exclusivamente en modo On-line, una vez cambiado de modo de operación el computador enviará de manera seguida una serie de números decimales en código ASCII, es decir el microcontrolador barre el índice formado por "1,2,3,4,5,6,7,8,9,10..". Cada vez que recibe uno de los dígitos, el Arduino responde enviando el mensaje guardado en la posición 1, cuando recibe el número 2 lee el mensaje 2, y sucesivamente hasta el número 35. Si en una de las posiciones de memoria no se encuentra almacenado ningún mensaje el Arduino simplemente enviará el carácter de espacio hacia la PC.

-**B:** Almacenamiento de mensajes. Este carácter ASCII, sirve para entrar al modo off-line, de igual forma es controlada desde la PC; es decir, que cada vez que la aplicación de la PC, esté cerrada el módulo Receptor empieza a almacenar los mensajes enviados desde el módulo emisor.

-**C:** Borrado de los mensajes almacenados en la SIM 900: una tarea sencilla es igualmente controlada desde el computador personal, y se trata de borrar los mensajes almacenados. La SIM 900 no dispone de mucha memoria para almacenar los mensajes, así que el sistema de gestión de datos necesita liberar la memoria, por esta razón enviará el carácter "C" por el puerto serie lo cual al ser recibido por el microcontrolador interrumpe su funcionamiento y pasa a generar los comandos AT necesarios para borrar todo el contenido de la SIM 900.

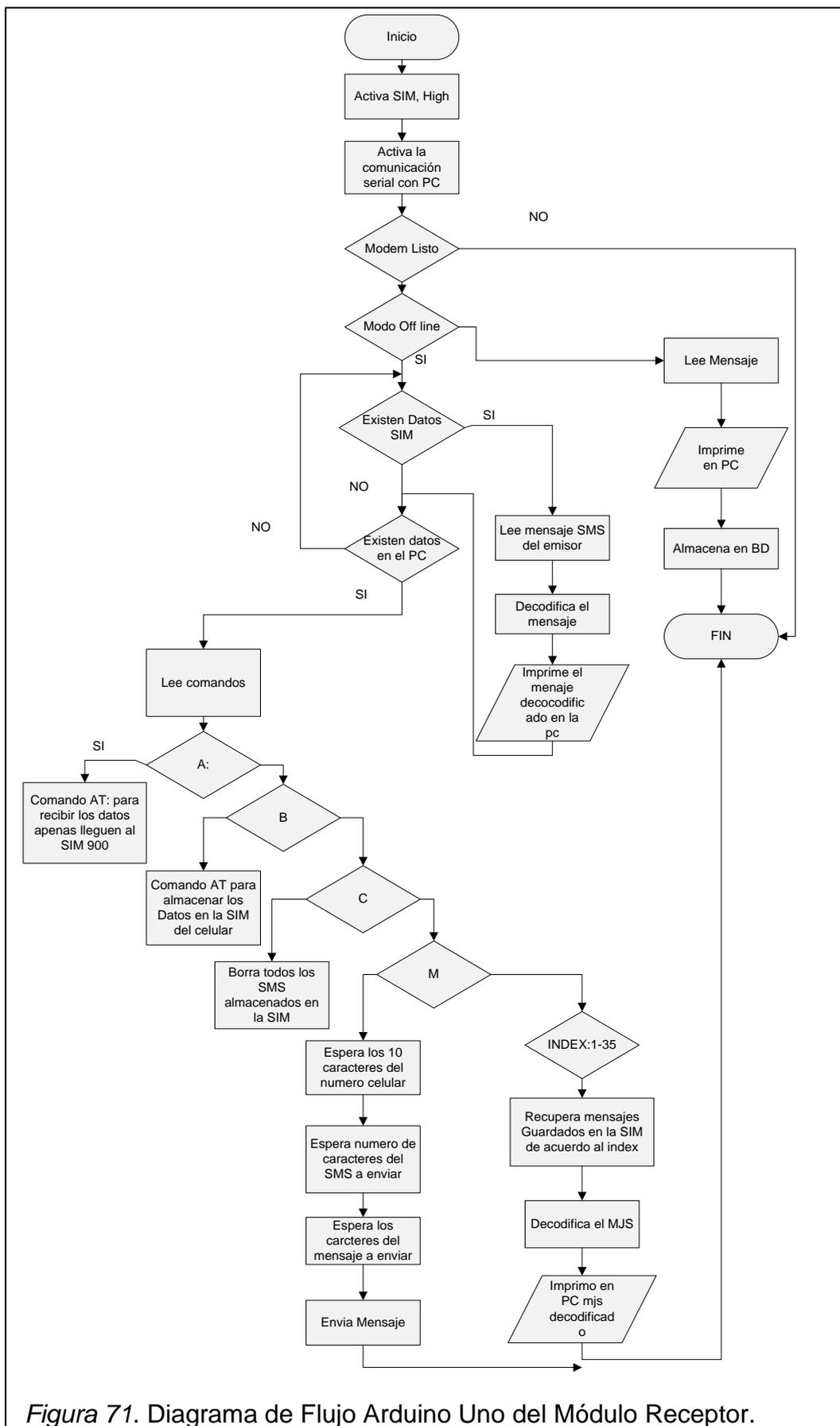


Figura 71. Diagrama de Flujo Arduino Uno del Módulo Receptor.

**-M:** Envió de mensajes de texto: El Arduino va a brindar la facilidad de enviar un mensaje de texto conformado con un máximo de 70 caracteres y teniendo un destinatario con un número celular de 10 dígitos. Se propone como base de funcionamiento una interrupción de software que permita re-direccionar el puntero de programa hacia una nueva subrutina, la misma que estará conformada de tres bloques. El primer bloque es la recepción del número celular al cual se le enviara el SMS, el segundo bloque tiene por objetivo recibir el número de caracteres del cual está conformado el texto del SMS, y el tercer bloque es la recepción de los caracteres que conforman el texto del SMS.

El computador personal dentro de su programación del sistema de gestión de datos tiene que enviar una secuencia de la siguiente manera:

- a. Enviará 10 dígitos en ASCII que corresponde al número celular, el Arduino al realizar un lazo de conteo recibe 10 dígitos y sabe que es un número destinatario y lo almacenará en una variable.
- b. Después de un tiempo de pausa el computador realiza el conteo de cuantos caracteres se ha escrito en el cuerpo del SMS, y los enviará en un formato de tres dígitos así “0, 0, 9”, de igual manera el Arduino lo almacenará en otra variable de tipo word.
- c. Por último se le enviará toda la cadena del texto del SMS, de esta manera el Arduino sabe que recibió un número celular cuantos caracteres tiene el SMS y los caracteres de mensajes, con todos estos datos el Arduino genera un secuencia de transmisión serial hacia la SIM 900 y de esta manera envía un mensaje de retorno hacia el paciente.

### **3.2.2 Desarrollo de Software para Aplicación PC**

Para administrar los datos captados por el glucómetro se diseñó una aplicación de software libre mediante el lenguaje de programación java y con el motor de base de datos PostgreSQL ubicada en la nube, de tal forma que todas las lecturas realizadas por el paciente sean almacenadas en la base y se pueda

extraer la información del paciente en cualquier momento, además permitir visualizar en tiempo real los valores de lectura siempre y cuando el módulo receptor se encuentre en modo on-line.

En la aplicación se considera tres Capas de desarrollo:

- Capa de Conexión
- Capa de Acceso a Datos
- Capa de Interfaz de Usuario.

### **3.2.2.1 Capa de Conexión**

Esta capa es encargada de establecer la comunicación con el Arduino Uno a través del puerto serial del módulo Receptor, realizando la acción de abrir el puerto y configurar los parámetros a los cuales el Arduino va a trabajar que son BAUDRATE\_9600, SerialPort.DATABITS\_8, SerialPort.STOPBITS\_1, paridad ninguna.

Luego se realizó una función que permita la selección del puerto en el que se encuentre el Arduino, para la transferencia se utiliza el puerto UART del módulo Receptor.

Para la conexión se hace uso de la librería JSSC que permite establecer un nexo de comunicación entre la aplicación construida con Java y el dispositivo Arduino. La comunicación está dada a través de una comunicación en la cual se envían cadenas de texto en forma de bytes que pueden ser interpretados por el dispositivo, y para la lectura de las respuestas del mismo, dentro de la aplicación se creó un "Listener" que se encarga de escuchar en todo momento los flujos de salida a fin de interpretar y ejecutar las acciones correspondientes en cada caso. Un ejemplo práctico de ello, es cuando se requiere procesar la información en modo on-line, el "Listener" queda abierto durante todo el tiempo de vida de la aplicación de modo que al llegar un flujo, es procesado dentro de la aplicación y a continuación se traduce la información útil para la aplicación, en este caso una

nueva medida por parte del glucómetro. En la figura 72, se muestra el diagrama de flujo para la conexión.

Note como el método SerialEvent se encuentra escuchando todo el tiempo por nuevos eventos del dispositivo.

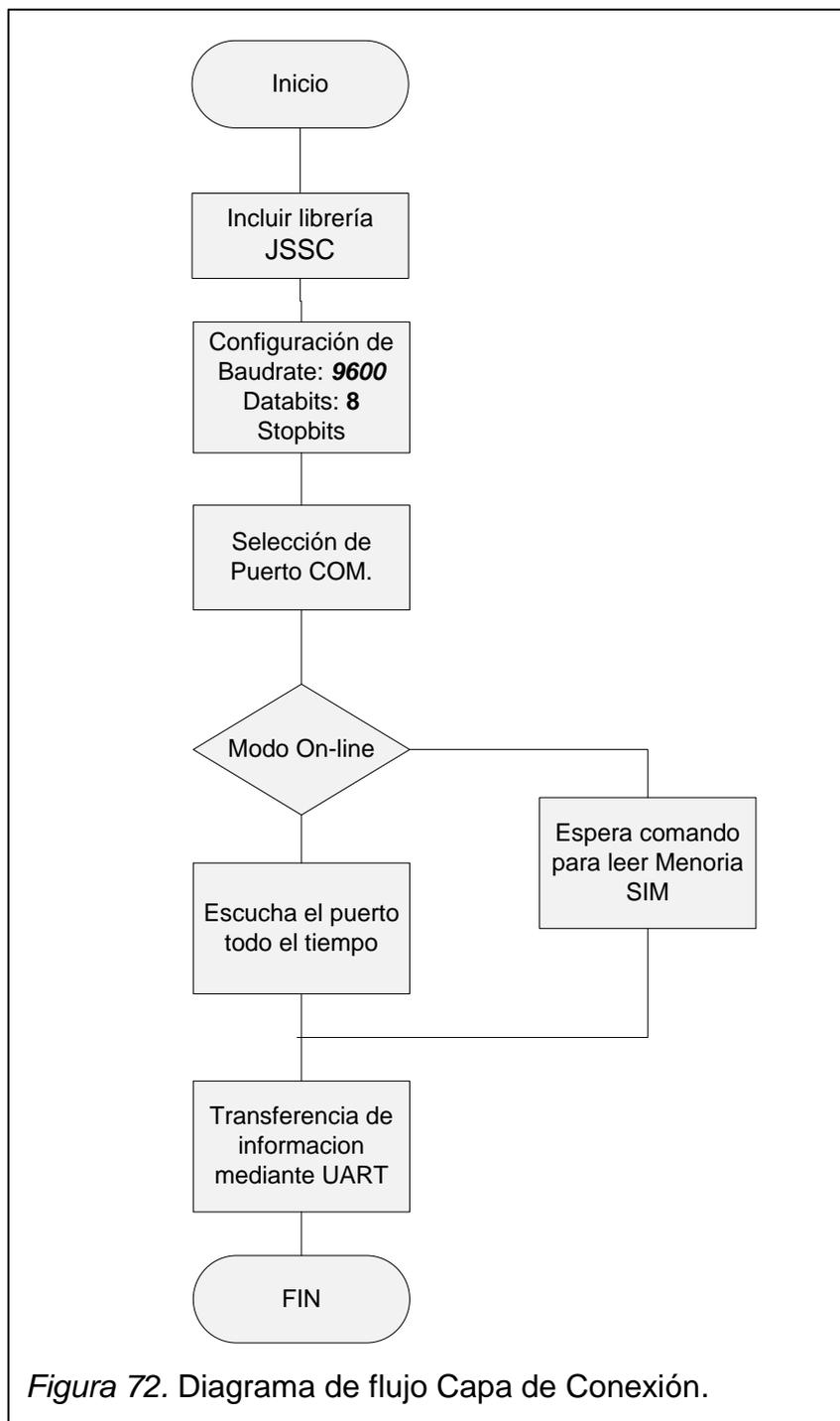


Figura 72. Diagrama de flujo Capa de Conexión.

### 3.2.2.2 Capa de Acceso a Datos

En esta capa se desarrolla el acceso hacia la base de datos, la misma que está creada en la nube con la ayuda del hosting de servicio ElephantSql para utilizar la base de datos PostgreSQL, para acceder se hace uso de JDBC, la cual es una tecnología de java que permite establecer conexiones hacia bases de datos relacionales como PostgreSQL. Para reducir costos se eligió el plan básico llamado Tiny Turtle que tiene capacidad máxima de 20MB, que es de fácil expansión contratando un plan más avanzado. Para la conexión se requiere de un usuario y contraseña de correo, además de la URL para el establecimiento de la conexión.

El paquete contenedor de las clases que permiten el acceso a la base es el package `ec.edu.udla.domain.dao`; además existen clases creadas para realizar consultas de las tablas de usuario, tabla paciente y tabla de lecturas del glucómetro. A continuación en la figura 73, se presenta el diagrama de flujo para la capa Acceso a Datos.

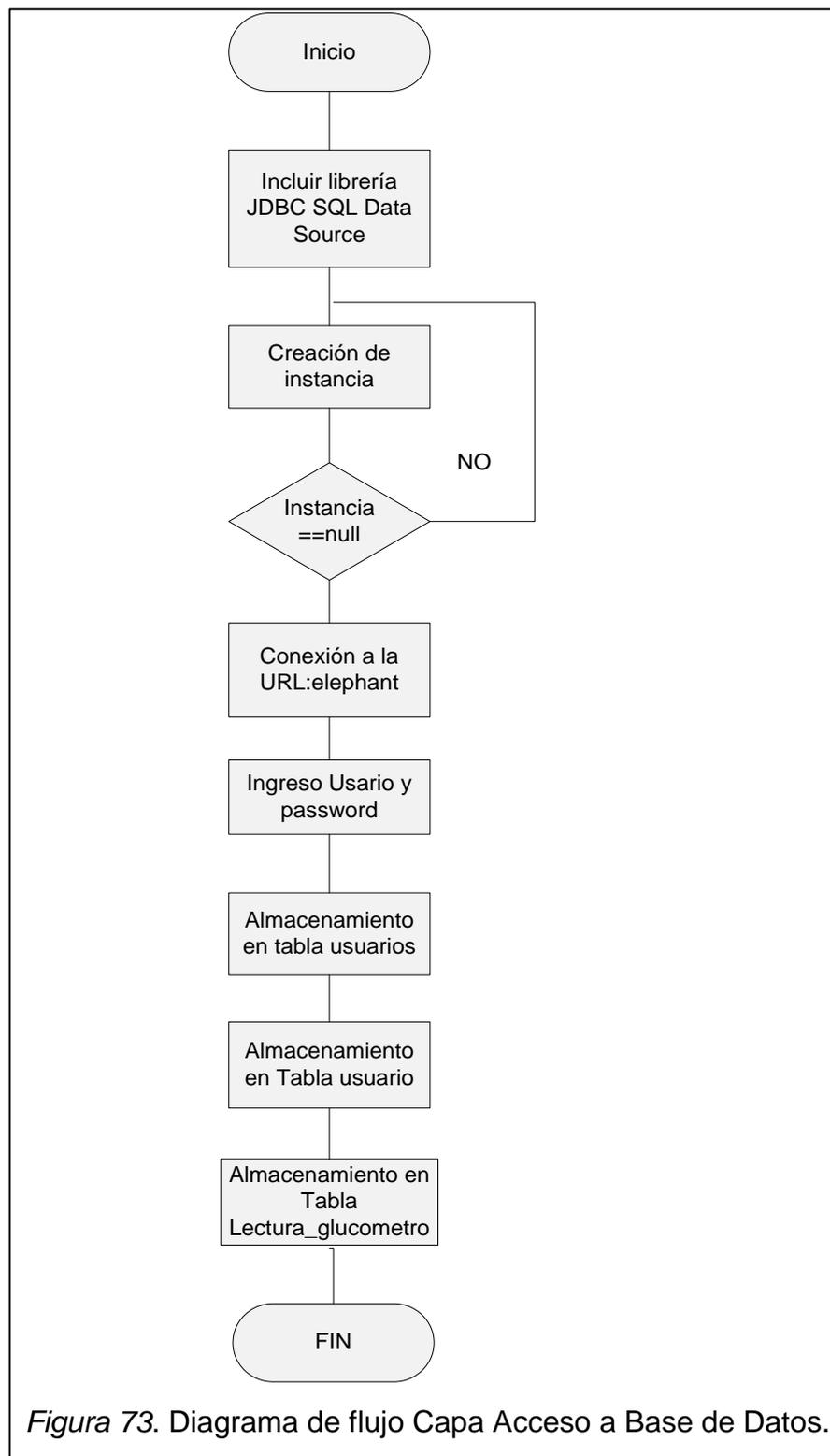
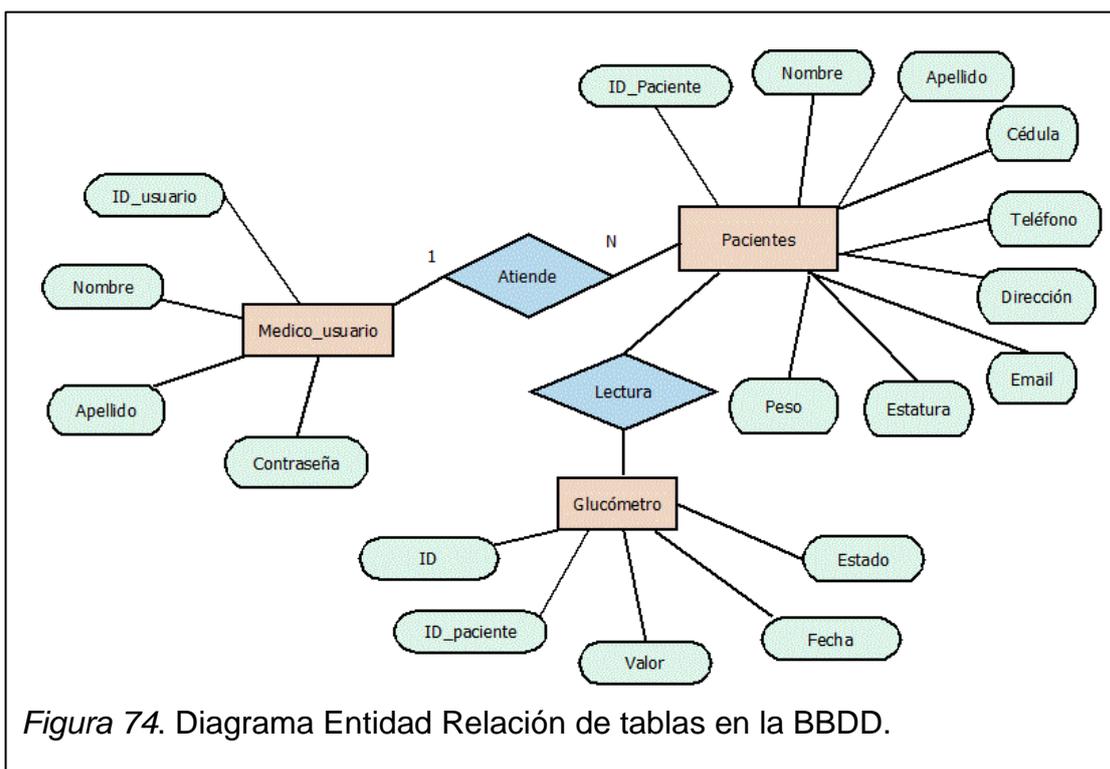
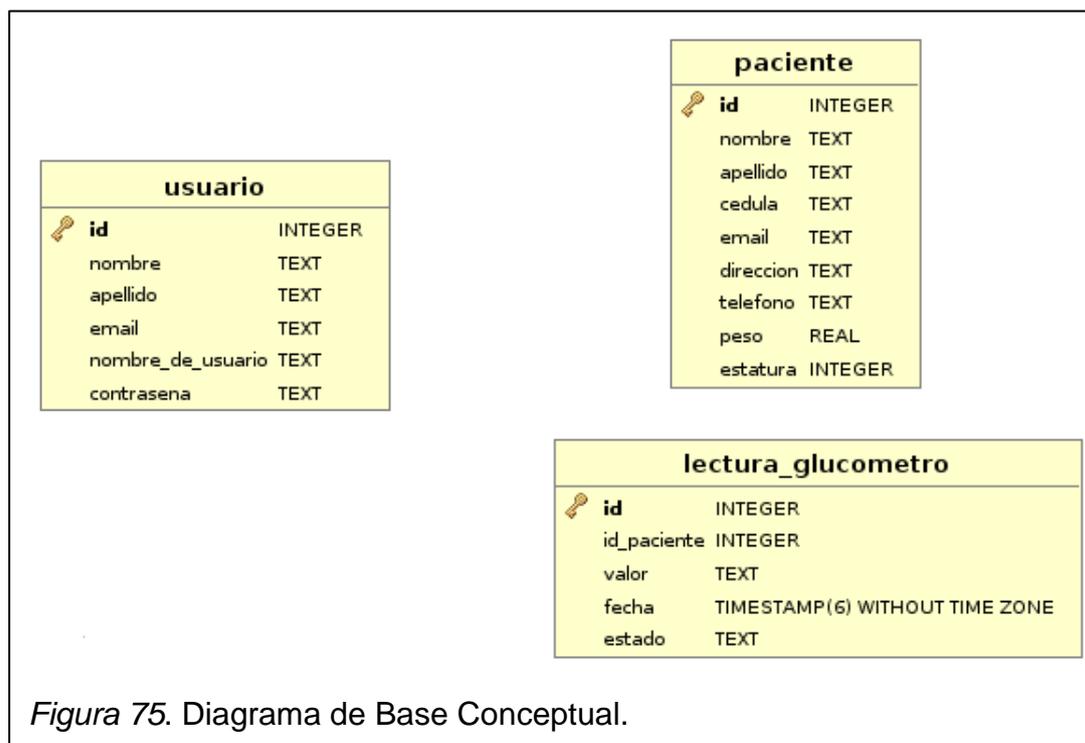


Figura 73. Diagrama de flujo Capa Acceso a Base de Datos.

La tabla usuario tiene relación 1: N, es decir que un mismo doctor puede atender a varios pacientes, en la figura 74, se muestra el diagrama entidad relación.



La base de datos está conformada por tres tablas que son: tabla usuarios que representa a los médicos, tabla paciente en la que consta los datos importantes del paciente y la tabla de lectura en la que se almacena el valor y fecha de glucosa, así como muestra la figura 75.



### 3.2.2.3 Capa de Interfaz de Usuario

Esta capa está interactuando con el usuario que en este caso es el médico tratante, es decir, la interfaz que está a la vista del usuario. Para la configuración inicial es indispensable contar con la librería javafx, que nos permite tener mejor presentación y mejor estilo en la aplicación, la CSS brinda el estilo de hojas en cascada que es lo que se utilizó en la capa de interfaz de usuario. Dentro del código fuente, el paquete contenedor de esta capa es `ec.edu.udla.ui`, en el diagrama de flujo de la figura 76, se parecía el proceso de utilización y validación de ingreso a la aplicación vista por el usuario.

La primera validación es que la autenticación sea en base a los datos almacenados en la BBDD, para luego continuar a las ventanas de administración de pacientes, médicos y lecturas del glucómetro. Teniendo en consideración la habilitación del puerto COM, indispensable para establecer comunicación con el módulo Receptor.

En el Anexo 10 se presenta el manual de usuario que esta orienta para personas que sufren diabetes y el anexo 11 se muestra el manual de la aplicación de gestión instalada en el PC del médico, especialmente dirigida al personal de la Salud.

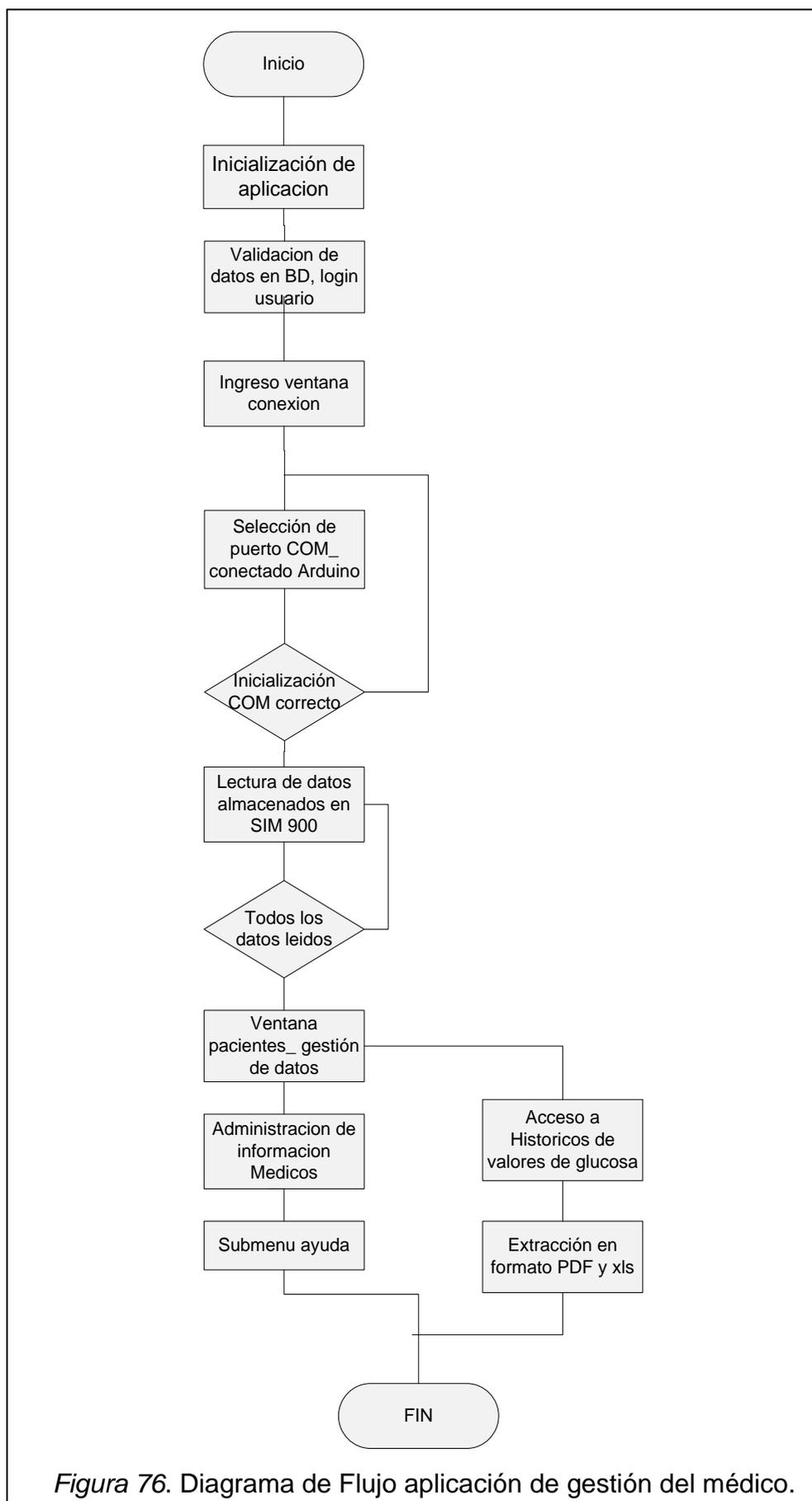


Figura 76. Diagrama de Flujo aplicación de gestión del médico.

## 4 CAPÍTULO IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este apartado se detallarán las diferentes pruebas y resultados realizados para comprobar el correcto funcionamiento del sistema implementado, básicamente se considera pruebas de comunicación, envío y recepción de datos hacia el módulo Receptor y el almacenamiento de los mismos, en la base de datos. Además de incluir el análisis costo beneficio del proyecto construido.

### 4.1 Pruebas de Lectura de Glucómetro.

Para comprobar la efectividad del glucómetro One touch Ultra Mini utilizado en el proyecto, se realizó una prueba de laboratorio, la misma que fue tomada el 03 de julio 2016 a las 9:52 am estado ayunas, el resultado obtenido por SaludLab es de 106.1 mg/dl, como se muestra en la figura 77.

SALUD LAB		CLÍNICA "EL BATAN"	
 <b>SALUD LAB</b> <small>NUESTRO COMPROMISO, EL PACIENTE NUESTRO IDEAL, SU SALUD</small>		LABORATORIO CLÍNICO Av. 6 de Diciembre N43-11 y Tomas de Berlanga 02-2245500 / 02-2445061 / 09-9922980 <a href="http://www.saludlab.com">http://www.saludlab.com</a>	
<b>Nombres:</b> OLMEDO CHICAIZA JHOANNA JACQUELINE <b>Edad:</b> 32 Años 4 Meses <b>Céd. Identidad:</b> 1003225842 <b>Médico:</b> PARTICULAR <b>Servicio:</b> CONSULTA EXTERNA <b>Habitación:</b> <b>Fecha:</b> jul 3, 2016 9:52 <b>F. Impr:</b> jul 7, 2016 17:38 <b>Hist. Clínica:</b> CONSULTA EXTERNA		<b>Serie Interna:</b> 2016 - 1215 <b>N. Orden:</b> 57008	
SNS-MSP / HCU - form. 010B / 2008 <b>CIE10:</b> Z00.0 EXAMEN MEDICO GENERAL			
<b>BIOQUIMICA</b>			
	<b>Resultados</b>	<b>Und.</b>	<b>Referencia</b>
GLUCOSA BASAL	106.1	mg/dL	75-115
 JEFFERSON UJEDA REYES Laboratorista Clínico			

Figura 77. Prueba de Glucosa Laboratorio SaludLab.

Luego de 7 minutos después de la muestra del laboratorio, se realiza la toma con el glucómetro Onetouch Ultra Mini, el resultado obtenido el 03 de julio 2016 a las 9:59 am es de **110mg/dl**, como se puede corroborar en la figura 78.



Por lo tanto, el glucómetro One Touch UltraMini demuestra la efectividad en sus lecturas, ya que el margen de diferencia es de 3,55%, es decir, dicho margen se encuentra dentro de los parámetros normales del dispositivo que es de  $\pm 5\%$ , de esta forma garantiza su uso.

## 4.2 Pruebas de Comunicación Glucómetro-Módulo Emisor

Para realizar las pruebas de comunicación entre el glucómetro y el módulo Emisor, se configuró como destino el número de celular de Jhoanna Olmedo, este ejercicio práctico se lo realizó para que permita observar la trama de envío con el valor captado por el glucómetro, esto con el afán de que cada lectura captada por el Arduino en el módulo emisor, efectivamente sea enviada al número de celular 0984758708. Para ello se realizó la toma de glucosa a tres usuarios diferentes como se muestra a continuación.

### - Lectura Uno.

Se requiere enviar la lectura de glucosa de 136 mg/dL con la fecha 18/junio/2016 a las 15:22, que está almacenada en la última posición de memoria como se observa en la figura 79.



Figura 79. Lectura de 136 mg/dL en el glucómetro.

Una vez que se realizó la conexión física entre el glucómetro y el módulo emisor a través de cable stereo, se envía el mensaje de texto y se comprueba la recepción de los siguientes datos. En la figura 80 se evidencia el valor enviado al celular:

- ID del paciente: 222
- Valor de Glucosa: 136 mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 5765673E que corresponde al 18 de Junio de 2016.
- Condición de la prueba: Comida, representado con la letra "C".

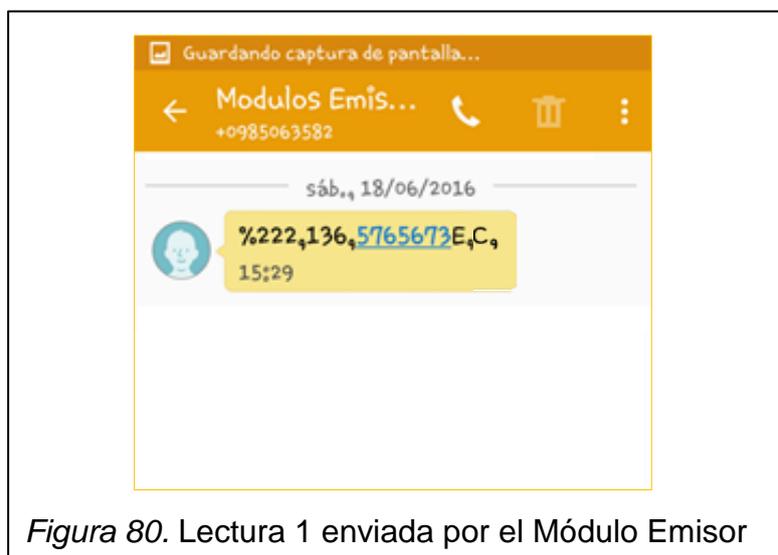


Figura 80. Lectura 1 enviada por el Módulo Emisor

Por lo tanto, se evidencia que los datos del glucómetro y los recibidos coinciden exactamente, como se mostró en la figura 80.

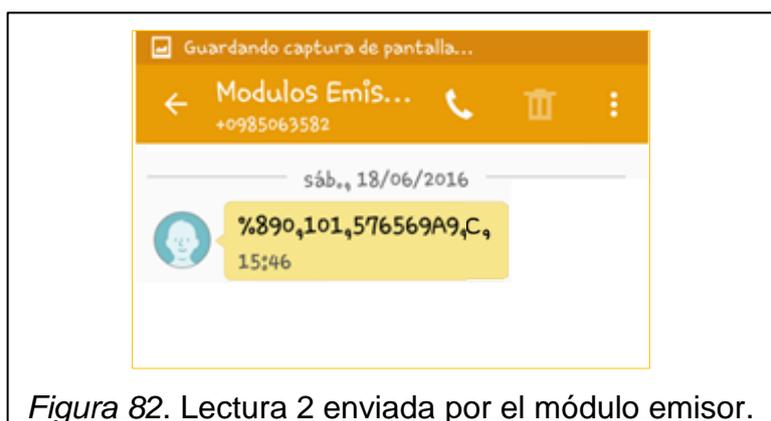
- **Lectura dos**

El proceso se repite como se indicó en la lectura 1, esta vez se requiere enviar la lectura de glucosa de 101 mg/dL con la fecha 18/junio/2016 a las 15:32, que está almacenada en última posición de memoria como se observa en la figura 81.



Una vez que se realizó la conexión entre el glucómetro y el módulo emisor se envía el mensaje de texto, en la figura 82 se muestra lo recibido que es lo siguiente:

- ID del paciente: 890
- Valor de Glucosa: 101 mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 576569A9 que corresponde 18 de Junio de 2016, 15h32.
- Condición de la prueba: Comida, representado como "C".



En la lectura se ratifica la correcta recepción de la información captada por el glucómetro One touch, por lo tanto los datos del glucómetro y los recibidos en el celular coinciden exactamente, así como se mostró en la figura anterior.

### - Lectura Tres

Se requiere enviar la lectura como muestra la figura 83, valor de glucosa de 133 mg/dL con la fecha 18/junio/2016 a las 15:50, que está almacenada en última posición de memoria.

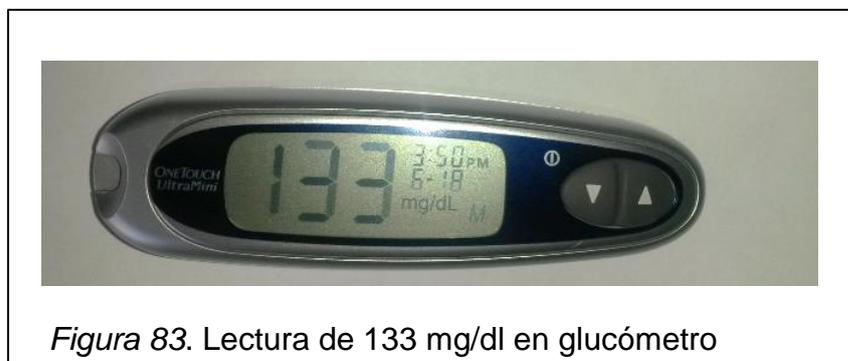


Figura 83. Lectura de 133 mg/dl en glucómetro

Una vez que se realizó la conexión entre el glucómetro y el módulo emisor se envía el mensaje de texto, y se recibe los datos tal como muestra la figura 84, que es:

- ID del paciente: 568
- Valor de Glucosa: 133 mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 57656DA8 que corresponde 18 de Junio de 2016, 15h50.
- Condición de la prueba: Comidas, presentado por "C"

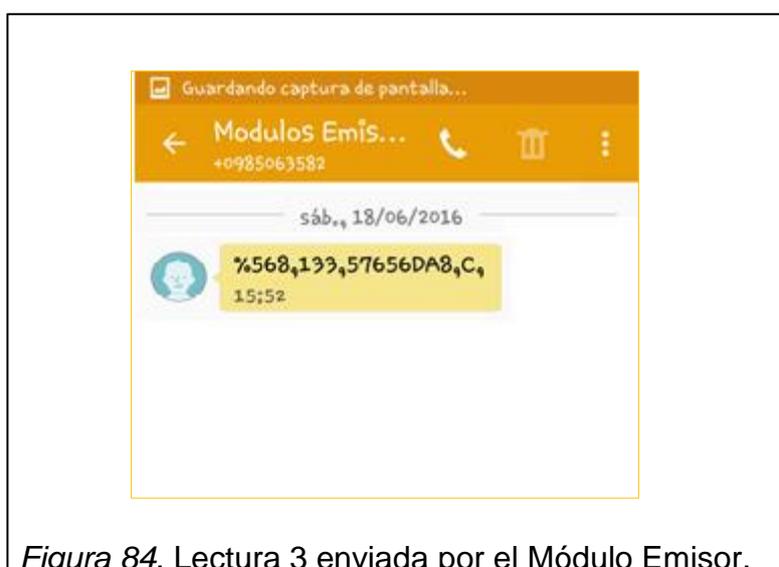


Figura 84. Lectura 3 enviada por el Módulo Emisor.

Se realizaron varias lecturas y envíos de datos, como se puede observar, los datos enviados y recibidos corresponden exactamente. Por lo tanto se concluyó que las pruebas fueron satisfactorias, ya que no se tuvo errores en las primeras pruebas.

### 4.3 Pruebas en el Módulo Receptor

Para evaluar el funcionamiento del módulo receptor básicamente se realizó pruebas similares a las realizadas en el Módulo Emisor, con la salvedad de que los datos pasarán directamente hacia el computador personal y serán desplegados en la pantalla del software de gestión del médico.

#### - Recepción 1.

Se realizó la prueba con el glucómetro a la paciente Johana Pilapaña con ID de paciente: 222, en estado "Comida" que significa con la ingesta de alimentos, que se representó como "C", la lectura se la observa en la figura 85.



El mensaje de texto con la información de la lectura se recibió en el receptor e inmediatamente fue enviado al software de gestión del médico, en primer lugar se muestra una alerta de mensaje que se refleja en la parte inferior tal como muestra la figura 86.

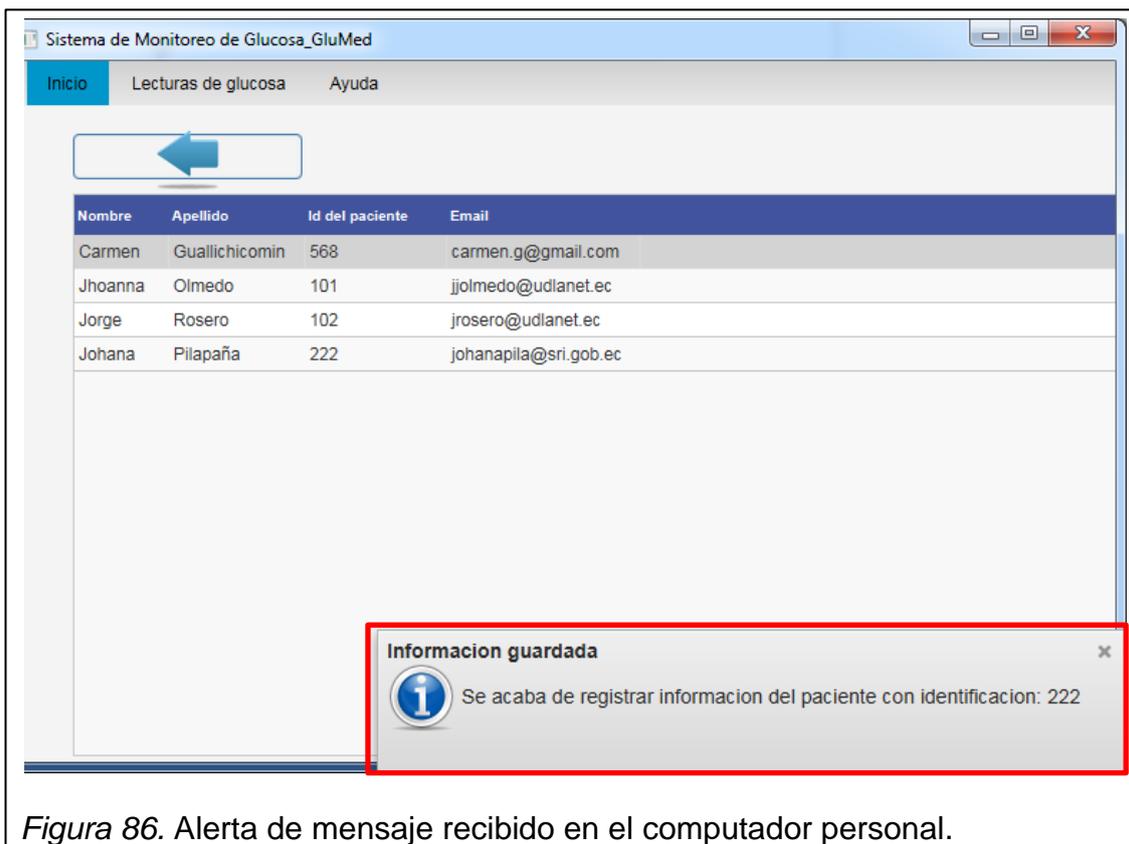


Figura 86. Alerta de mensaje recibido en el computador personal.

Para apreciar mejor el ingreso de la lectura realizada, se despliega en la figura 87 el contexto de aviso.

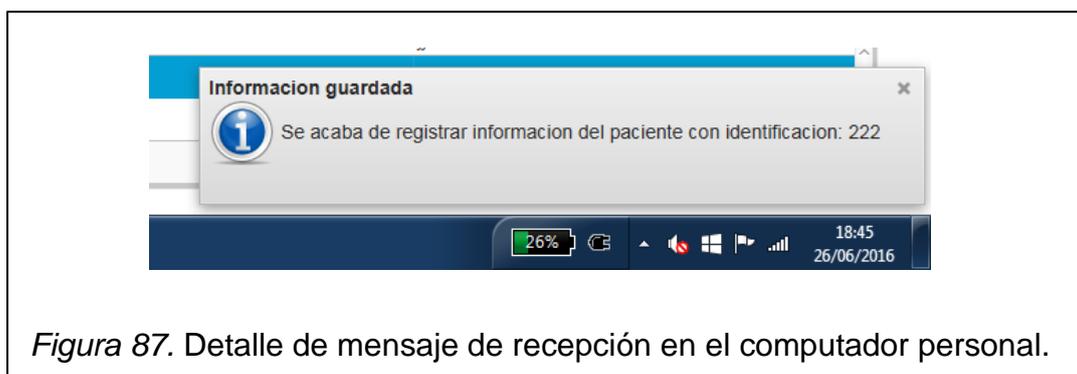
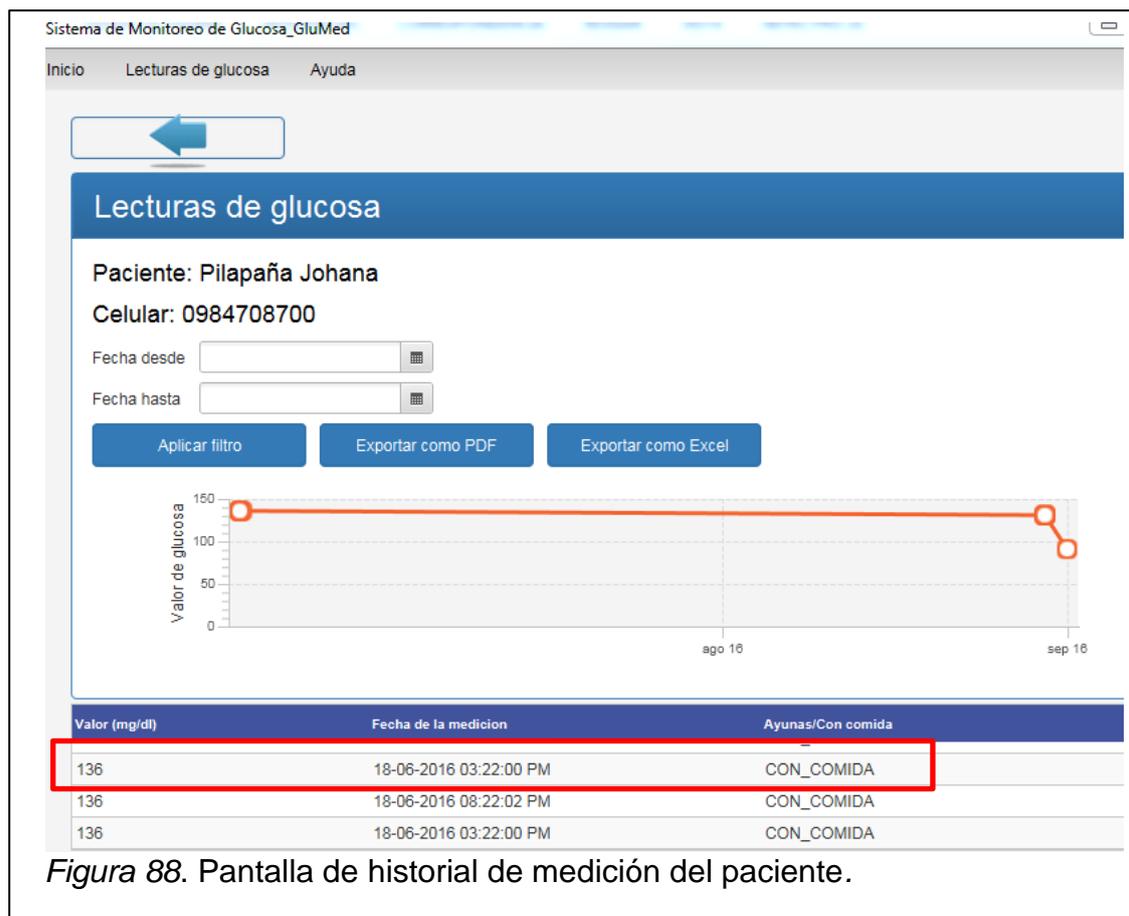


Figura 87. Detalle de mensaje de recepción en el computador personal.

Para ingresar al histórico de mediciones de cada paciente, basta con ingresar al submenú "Mediciones", que re direcciona a la pantalla del historial de las medidas de cada paciente como se observa en la figura 88, el ingreso del dato recibido en la lectura 1, indicada anteriormente.



En la figura 89 se aprecia a mejor detalle los datos enviados por el glucómetro y que fueron recibidos satisfactoriamente por la aplicación de gestión.

Valor (mg/dl)	Fecha de la medicion	Ayunas/Con comida
136	18-06-2016 03:22:00 PM	CON_COMIDA
136	18-06-2016 08:22:02 PM	CON_COMIDA
136	18-06-2016 03:22:00 PM	CON_COMIDA

*Figura 89. Detalle de la lectura recibida.*

## - Recepción 2.

Se realiza la prueba con el glucómetro a la paciente Carmen Guallichicomín con ID de paciente: 568, la prueba se realizó con alimentación, su lectura se observa en la figura 90.

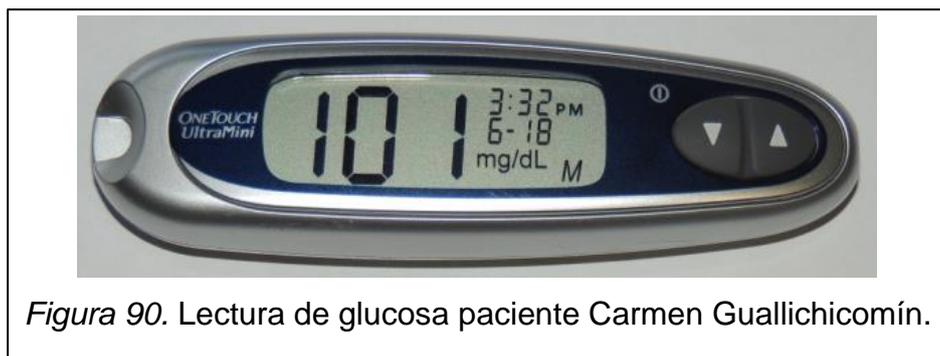


Figura 90. Lectura de glucosa paciente Carmen Guallichicomín.

De igual manera la lectura es enviada inmediatamente, se conecta el glucómetro al módulo emisor y se visualiza la recepción de la alerta de mensaje en la figura 91.

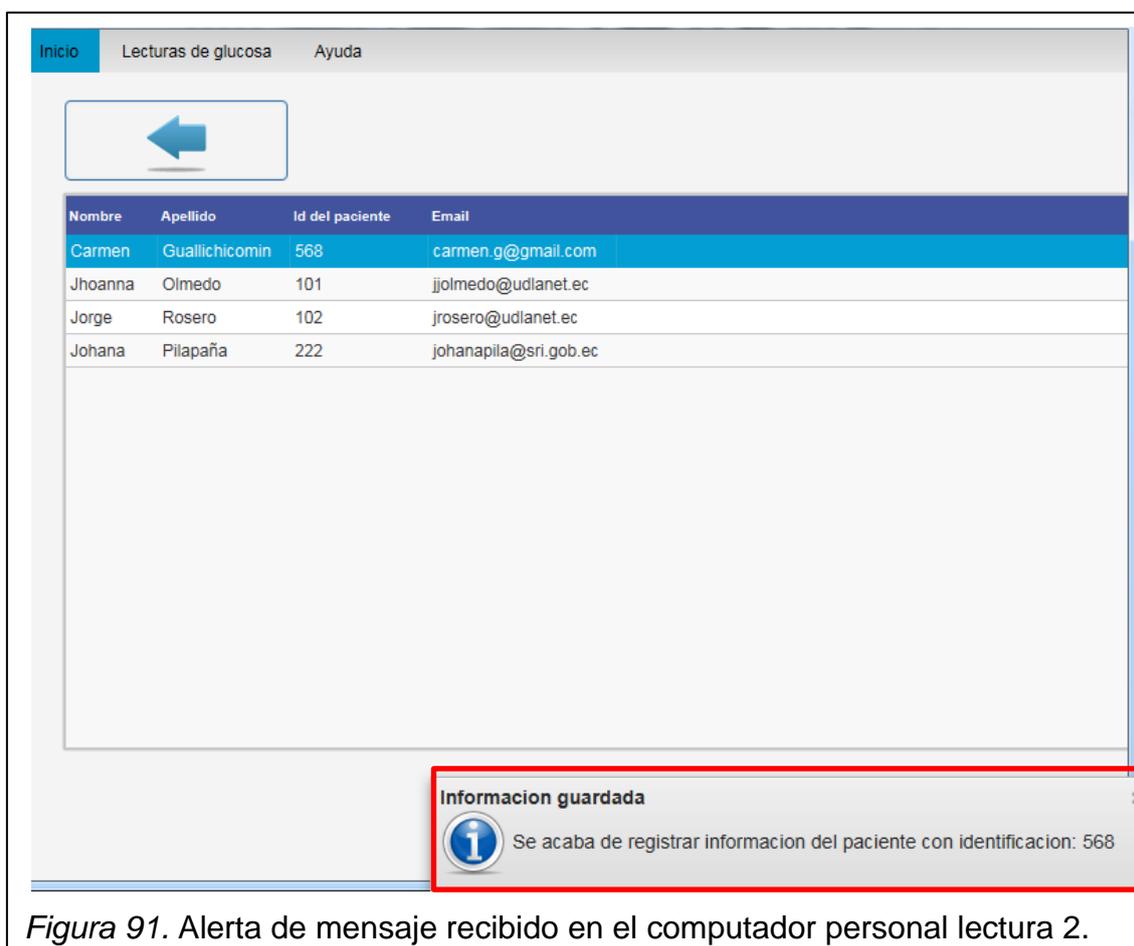


Figura 91. Alerta de mensaje recibido en el computador personal lectura 2.

En la figura 92 se muestra el valor de glucosa recibido, donde se puede apreciar mejor el dato recibido.

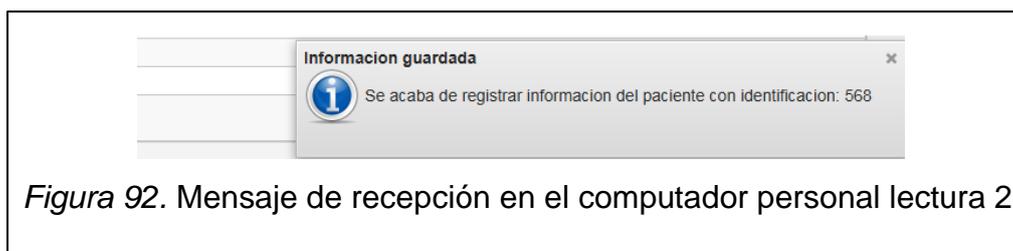


Figura 92. Mensaje de recepción en el computador personal lectura 2.

Se observa en la figura anterior, que la lectura que se muestra en el software de gestión de pacientes es la misma que la mostrada en el glucómetro, figura 93.

Valor (mg/dl)	Fecha de la medicion	Ayunas/Con comida	Paciente
101	18-06-2016 03:32:04 PM	CON_COMIDA	Carmen Guallichicomin
136	18-06-2016 03:22:00 PM	CON_COMIDA	Johana Pilapaña
136	18-06-2016 08:22:02 PM	CON_COMIDA	Johana Pilapaña
136	18-06-2016 03:22:00 PM	CON_COMIDA	Johana Pilapaña
136	18-06-2016 03:22:00 PM	CON_COMIDA	Johana Pilapaña
136	18-06-2016 03:22:00 PM	CON_COMIDA	null null
136	18-06-2016 08:22:02 PM	CON_COMIDA	null null
136	18-06-2016 03:22:00 PM	CON_COMIDA	null null

Figura 93. Detalle de la lectura 2.

#### 4.4 Pruebas Módulo Receptor Estado Off-Line

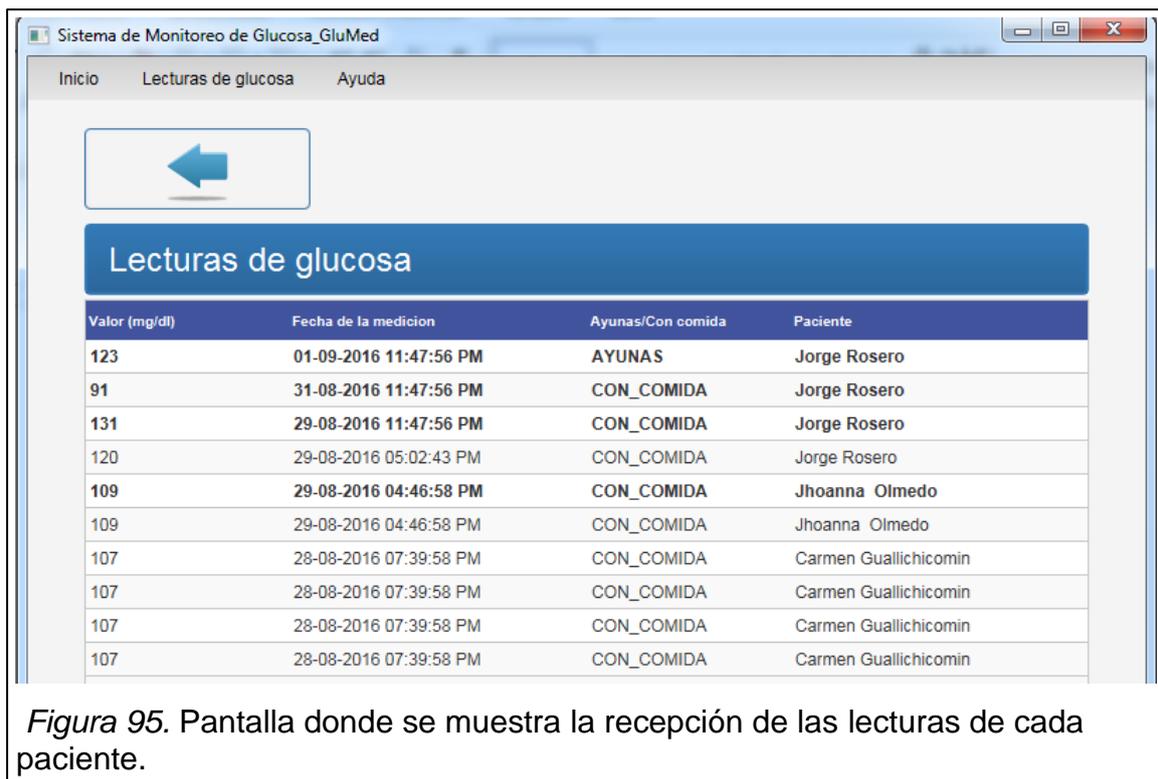
El módulo receptor dentro de su funcionamiento el modo de operación Off-Line, el cual se activa automáticamente cuando la aplicación de gestión de pacientes se cierra.

El módulo receptor permanecerá en modo Off-Line, los mensajes y respuestas se realizará automáticamente desde el módulo receptor, basándose en valores limites que tienen previamente guardados en la memoria del microcontrolador. Para verificar el funcionamiento se realizaron envíos de medidas desde un teléfono celular a fin de simular lecturas enviadas mientras se encuentran fuera de horario.

Además se envió deliberadamente lecturas que sobrepasan los límites y se observó la respuesta del módulo emisor. En la figura 94, se muestra varias lecturas enviadas desde un teléfono celular en orden cronológico.



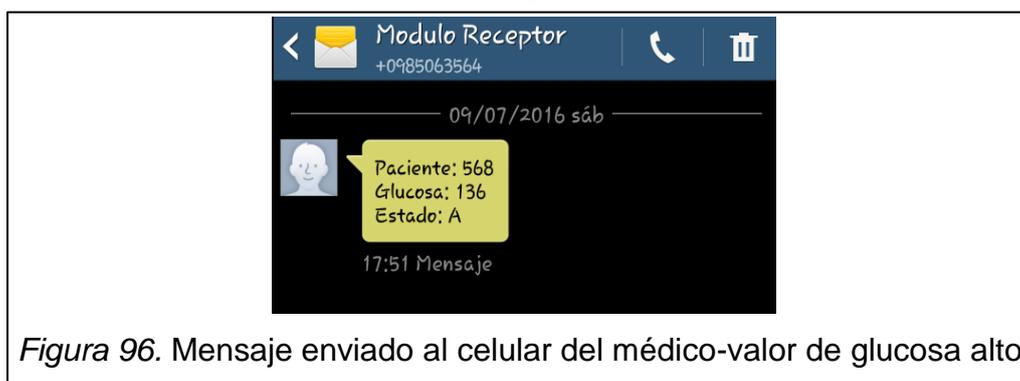
Como el módulo receptor no se encuentra en comunicación con el sistema de gestión de pacientes, todos los mensajes se almacenaron en la memoria del microcontrolador, para visualizar si los mensajes efectivamente se almacenarón, se conecta nuevamente el módulo receptor al computador personal y se realiza la lectura de los mensajes, así como muestra la figura 95.



#### 4.4.1 Pruebas de Envío de Alertas

El sistema de monitoreo de glucosa cuenta con una opción en envíos de alerta automáticos, los mismos que están configurados de tal manera que permite limitar las lecturas en ayunas y comidas. Si un paciente se realiza una prueba en ayunas y su valor esta sobre el límite de 130 mg/dL, el módulo receptor le enviará al médico tratante información del paciente indicando que el valor de glucosa se encuentra alta, esto con el fin de alertar sobre una posible complicación.

Si la prueba se la realiza con ingesta de alimento (Comida) el límite será de 180 mg/dl para alertar de igual manera. En la figura 96, se muestra el mensaje enviado al médico cuando la lectura de glucosa es alta.



## **4.5 Pruebas del Sistema de Gestión de Pacientes**

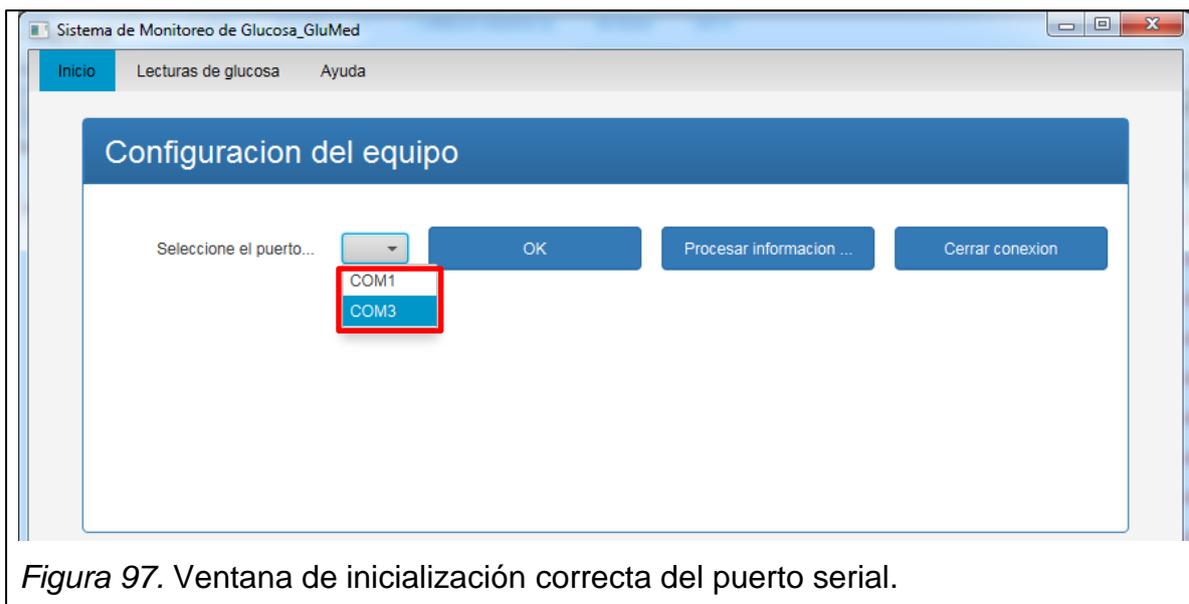
De forma general se puede decir que el sistema prototipo de monitoreo de glucosa construido está conformado de tres elementos que son: módulo emisor, módulo receptor y software de gestión de pacientes que es la interfaz hombre máquina. Para revisar el funcionamiento de software se realizaron diferentes pruebas, entre las cuales podemos citar:

- Comunicación entre el software de gestión de pacientes y el módulo receptor.
- Almacenamiento de las lecturas de cada paciente.
- Correcta clasificación de las lecturas de cada paciente.
- Revisión de cada de las ventanas del sistema.

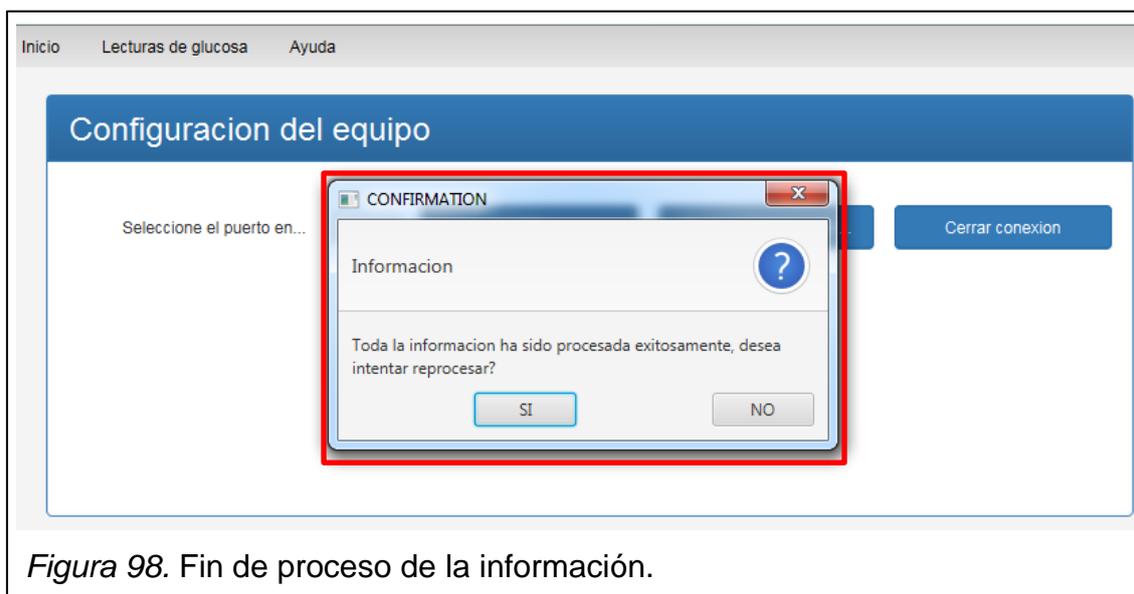
Las pruebas del sistema de gestión de pacientes se realizaron cuando el módulo receptor se encuentra conectado con el computador personal, como se describió en el capítulo 3.

### **4.5.1 Comunicación entre el Software de Gestión y el Módulo Receptor.**

La comunicación entre el software de gestión y el módulo receptor se realizó mediante el puerto serial, con la conexión al puerto físico USB. Para seleccionar el puerto se despliega la ventana tal como se muestra en la figura, una vez elegido el puerto hay que confirmar la elección, con el botón ok, para establecer la comunicación, así como muestra la figura 97.



Como se observa en la figura 98 la ventana presenta la opción de escoger el puerto serial, el proceso de lectura de mensajes y la ventana de cerrar sesión. Una vez que se realizó la lectura de todos los mensajes almacenados en el modo Off-line, a fin de ser procesados y almacenados en el sistema de gestión de pacientes, el computador mostrará el mensaje, indicando que toda la información ha sido transferida exitosamente.



#### 4.5.2 Verificación de Almacenamiento de Información

A continuación se muestra la tabla donde se ingresó información de cada uno de los pacientes que el médico haya registrado, el sistema de gestión permite almacenar múltiples datos a fin de hacer un correcto seguimiento de cada paciente, como se observa en la figura 99.



The image shows a web form titled "Pacientes" with a blue header. The form contains several input fields for patient data, each with a label and a text box. The data entered is as follows:

Label	Value
Nombre:	Jorge
Apellido:	Rosero
Id del paci...	102
Email:	jrosero@udlanet.ec
Cedula:	1003225842
Peso:	165
Estatura (c...	171
Teléfono	0986003675

At the bottom right of the form is a blue button labeled "Ingresar información".

*Figura 99. Ventana de ingreso de pacientes.*

El sistema mantendrá una correcta administración de la lectura recibida y los clasificará por pacientes, de esta manera cada lectura será única e inequívoca.

A continuación se muestra en la figura 100 una captura de pantalla de los pacientes ingresados con su ID.

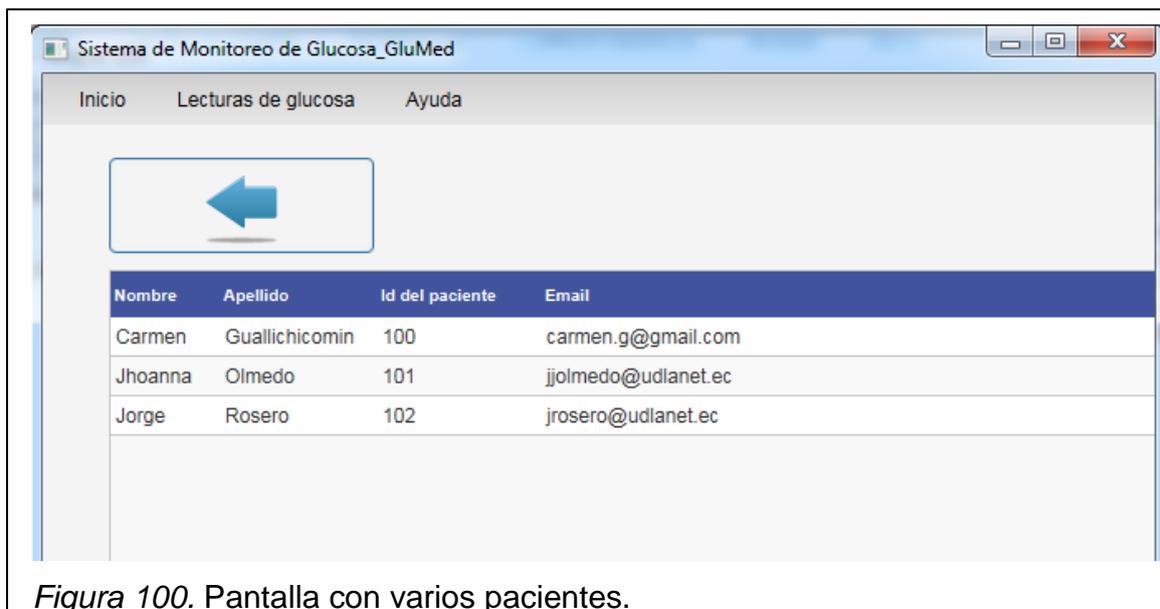


Figura 100. Pantalla con varios pacientes.

El médico tratante lleva un control de los mensajes recibidos e irá determinando que valores de glucosa son riesgosos para la salud del paciente, por este motivo, el doctor dispone de una ventana que le permite enviar un mensaje de texto desde el sistema de gestión de pacientes para alertar al usuario sobre el nivel alto, lo favorable es que el mensaje de texto permite enviar mensajes personalizados y no simples plantillas como se observa en la figura 101.

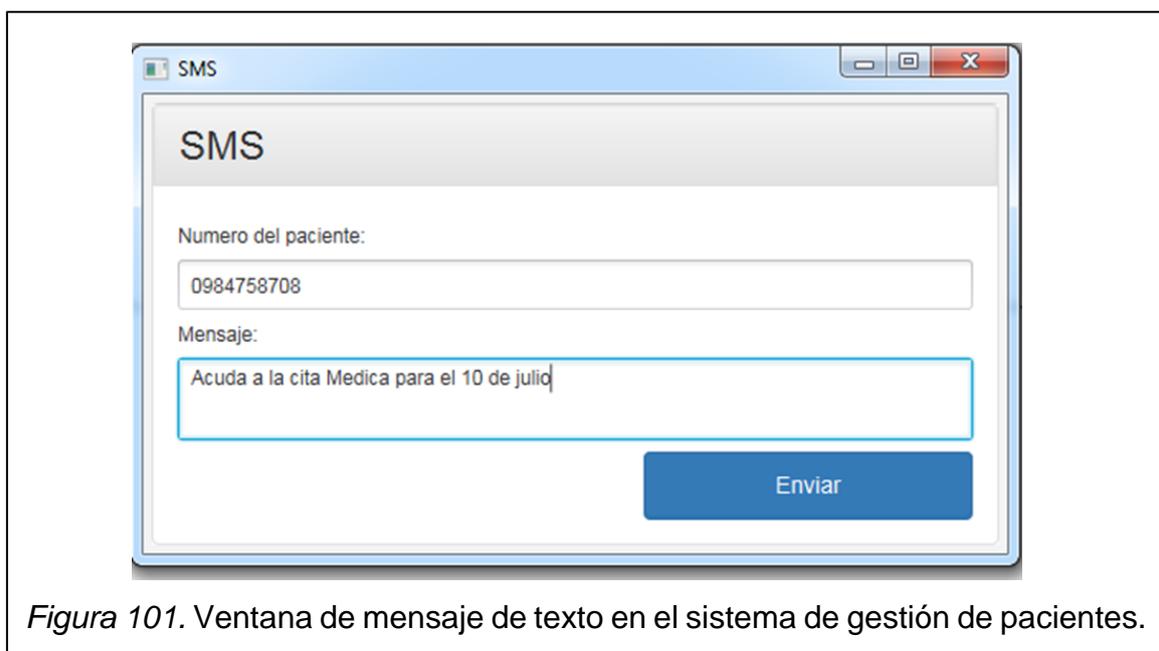
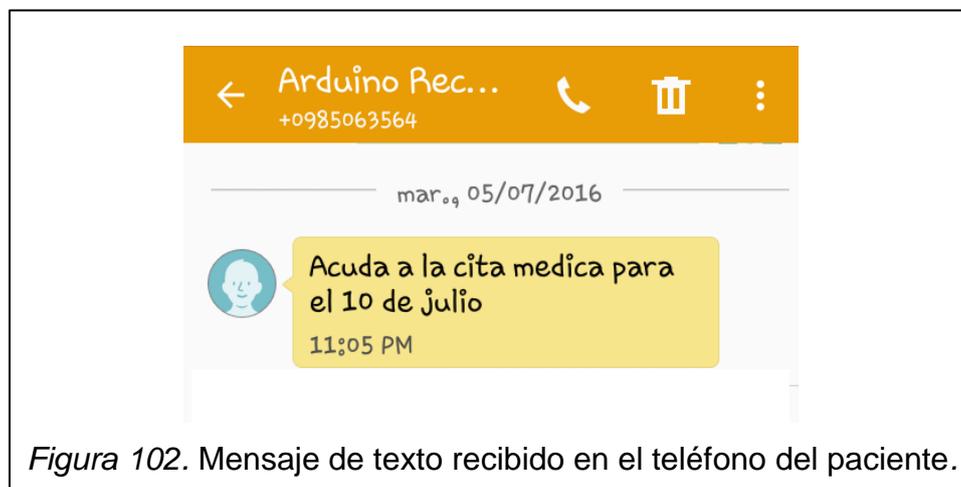


Figura 101. Ventana de mensaje de texto en el sistema de gestión de pacientes.

Se confirma en la figura 102 que el texto enviado a través de la aplicación, fue recibido en el teléfono del paciente mediante un SMS, el celular del paciente fue 0984758708.



Después de las pruebas realizadas se concluyó que el prototipo funciona adecuadamente, en el caso del módulo emisor realiza el proceso de adquisición de datos desde el glucómetro y mediante confirmación en el display muestra el envío correcto del mensaje, con la utilización de la red telefónica GSM, tan solo con el envío de un SMS, el mismo que contiene el valor de glucosa , ID de paciente y hora fecha; por otro lado se confirma la operación exitosa del módulo Receptor ya que la información es almacenada en la base datos, y pudo ser visualizada en el programa de gestión como se mostró en este capítulo.

## 4.6 Análisis Costo Beneficio del Prototipo Construido

### 4.6.1 Presupuesto de la Construcción del Prototipo

El presupuesto del prototipo construido está distribuido de acuerdo a las etapas diseñadas. En la tabla 9 se muestran los ítems utilizados con el costo respectivo.

Tabla 9. Presupuesto de Módulo Emisor.

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor total
1	Arduino Uno	\$ 30,00	\$ 30,00
1	Modem GSM	\$ 55,00	\$ 55,00

1	Tarjeta SIM Claro	\$ 3,50	\$ 3,50
1	Glucómetro One touch Ultra Mini	\$ 45,00	\$ 45,00
1	Otros elementos	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Caja para Arduino	\$ 3,00	\$ 3,00
1	Pantalla Nokia 5110 LCD	\$ 8,00	\$ 8,00
1	Imprevistos	\$ 10,00	\$ 10,00
<b>TOTAL</b>			\$ 164,50

El presupuesto del prototipo del módulo Receptor se muestra en la tabla 10, considerando todos los elementos utilizados.

Tabla 10. Presupuesto para el Módulo Receptor

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor total
1	Arduino Uno	\$ 30,00	\$ 30,00
1	Modem GSM	\$ 55,00	\$ 55,00
1	Tarjeta SIM Claro	\$ 3,50	\$ 3,50
1	Otros elementos	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Caja para Arduino	\$ 3,00	\$ 3,00
1	Cable de conexión USB	\$ 3,50	\$ 3,50
1	Fuente Externa de alimentación 12VC	\$ 8,00	\$ 8,00
1	Imprevistos	\$ 10,00	\$ 10,00
<b>TOTAL</b>			\$ 123,00

En cuanto al software de gestión diseñado, no se incurre en gastos debido a que tanto la herramienta de desarrollo como la base datos utilizados son libres, ya que su almacenamiento es en la nube a través de un usuario y contraseña.

Adicionalmente se considera un rubro por ingeniería, que se detalla en la tabla 11.

Tabla 11. Gastos de Ingeniería.

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor total
1	Ingeniería	\$ 200,00	\$ 200,00
<b>TOTAL</b>			\$ 200,00

Finalmente se muestra en la tabla 12, el presupuesto total invertido en el diseño y construcción del prototipo.

Tabla 12. Presupuesto total de proyecto.

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor total
1	Módulo Emisor	\$ 164,50	\$ 164,50
1	Módulo Receptor	\$ 123,00	\$ 123,00
1	Ingeniería	\$ 200,00	\$ 200,00
	<b>TOTAL</b>		\$ 487,50

#### 4.6.2 Beneficios del Prototipo

Después de analizar los costos incurridos en la construcción del prototipo y los beneficios que presta a los pacientes con diabetes, se puede concluir que el sistema es una buena alternativa para monitorear los niveles de glucosa en cualquier sitio del país en el que se encuentre el paciente, debido a la portabilidad de los módulos. Además el software de gestión diseñado le permite al médico estar informado de cada muestra tomada. Así de esta manera se contribuye al cuidado y control de la diabetes, permitiendo al médico proporcionar diagnósticos más precisos.

Los sistemas comerciales de monitoreo continuo están basados en sensores que deben colocarse debajo del brazo, su constante emisión de alertas es muy abrumador para el paciente, además de tener poca confiabilidad del valor de la muestra ya que su método está basado en el humor corporal que presenta un retraso con respecto a la muestra de sangre, por eso se dice que el método de punzación es más confiable. Además, los pacientes que utilicen este método deben confirmar la lectura con cualquier tipo de glucómetro.

Este sistema puede ser muy costoso, el kit básico tiene un costo aproximado de \$1000 y un costo adicional de \$10 a \$15 dólares por los sensores, ya que son desechables. (Inzucchi, Rosenstock, Umpierrez, 2010).

Otro sistema de medición de glucosa en tiempo real Modelo “MiniLink Real Time Transmitter Complete Kit MMT-7707NA” tiene un costo de \$1413,41. (Amazon, 2015).

En cuanto a los beneficios del prototipo construido se puede citar:

- Control adecuado de los niveles de glucosa, siendo visualizados y monitoreados en tiempo real por el médico tratante.
- Mejor diagnóstico y suministro de medicamento por parte del médico ayudando a controlar la enfermedad del paciente.
- Ahorro debido a emergencias presentadas cuando los niveles de glucosa sean muy altos.
- También existen beneficios para el médico ya que evitaría el registro manual de glucosa de cada paciente, con el sistema diseñado no tiene necesidad de hacerlo, porque todo se registra automáticamente, luego puede obtener la información desde el inicio de la enfermedad.
- Garantizar diagnósticos y tratamientos dependiendo del avance de la diabetes.
- Fácil configuración de un nuevo número de celular debido a pérdida o cambio.

Como se puede ver las prestaciones que tienen frente a los comerciales, es alta, ya que el bajo costo permite dar accesibilidad a cualquier tipo de usuario.

## CONCLUSIONES

Tras el desarrollo del presente trabajo de titulación se diseñó y construyó el prototipo para medir los niveles de glucosa en personas diabéticas utilizando placas de desarrollo y dispositivos de tecnología inalámbrica, en este caso se empleó tecnología GSM por su nivel de cobertura.

Se analizó los sistemas de telemedicina existentes y las especificaciones técnicas de varios dispositivos electrónicos como las placas de desarrollo Arduino, tras lo que se concluye que el Arduino Uno satisface las necesidades del sistema electrónico planteado, ya que el número de entradas y salidas es suficiente, además del tamaño reducido de la tarjeta Arduino Uno permite que el sistema sea portable y fácilmente transportando a cualquier lugar del país.

Se concluyó que a través de la configuración de un “Listener” en la aplicación de gestión del médico, es posible monitoreo constante, permitiendo así que la lectura de glucosa del paciente se pueda hacer en cualquier momento.

Se finaliza las pruebas y resultados exitosamente, corroborando la recepción y envío de la glucosa en tiempo real, a través del monitor serial y la llegada al destino final que es la aplicación de Gestión, además generando descargas en formato Excel y PDF en la que constan todas las lecturas realizadas.

Se concluye que el hypeterminal y monitor Serial de Arduino son de ayuda para determinar cuál es la secuencia de la trama que emplea el glucómetro One touch Ultra Mini indispensable para obtener los datos requeridos, adicionalmente se comprobó con la información proporcionada por Jhonson&Jhonson, para transmitir solo la información necesario para el desarrollo del prototipo.

Al finalizar el diseño del prototipo se llegó a la conclusión que las prestaciones que brinda el dispositivo con relación al costo invertido es muy alta, lo que antecede está sustentado en el análisis económico realizado en el capítulo

correspondiente, lo que hace posible la viabilidad de adquisición por cualquier persona que requiera del monitoreo de niveles de glucosa.

Se concluye que es indispensable el uso del cable stereo 3,5mm para la transferencia de las lecturas tomadas, desde el glucómetro al módulo Emisor, ya que el Arduino no dispone de un puerto físico stereo, para la conexión física instantánea, por lo tanto se configuró una entrada virtual del Arduino Uno a velocidad Baudrate de 9600 que es con la que trabajan la mayoría de dispositivos.

Se concluye que la capacidad de almacenamiento de la base de datos no es un limitante, si el dispositivo llegara a comercializarse la adaptación a mayor información es irrelevante, ya que se utilizó la base de datos PostgreSQL es esta incrustada en la nube, y que dispone de varias capacidades, las de mayor tamaño tiene costo y se accede al igual que la base empleada en este proyecto, con la misma base de conexión que es el usuario y contraseña.

Se concluye que el módulo receptor está configurado correctamente con los valores de glucosa dados por la ADA, los normales son de 130mg/dl para ayunas y 180mg/dl después de 2 horas de haber ingerido alimentos, esta configuración emite alertas en cualquier instante de tiempo en que el pacientes decida tomarse la lectura de glucosa, para ello se dispone del modo online y modo off-line, así el medico podrá proporcionar medicación o recomendaciones. El modo on-line para el envío de mensajes de texto es controlado por la aplicación de la PC y en el modo off-line es controlado por el Módulo Receptor.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de la culminación de este proyecto están dirigidas a estudiantes de las carreras de Redes y Telecomunicaciones y Electrónica, para elaboración de trabajos de titulación futuros.

Se recomienda que todas las alertas sean manejadas a través de la Aplicación en la PC ya que debido a la disponibilidad de los recursos de las PC's respecto al Arduino se podrá manejar más número de caracteres en el mensaje que envía el médico.

Conocer los aspectos técnico de los dispositivos electrónicos como son modem GSM, Arduino y pantalla LCD, para evitar problemas de alimentación en cada uno de ellos y que la fuente utilizada sea común para todos los elementos del sistema simplificando conexiones.

Se recomienda que las configuraciones de velocidad Baurate sean configurados a la 9600 tanto para la parte de transmisión como para la recepción, debido a que es una velocidad estándar en la mayoría de dispositivos, un ejemplo de ellos las PC's, el glucómetro y el modem GSM.

Antes de adquirir el LDC Nokia 5110, verificar que los pines de conexión sean compatibles con el Arduino utilizado, así evitamos conexiones erróneas, además de facilitar la lógica de programación del funcionamiento del LCD Nokia 5110.

## REFERENCIAS

- ADA. (2015). *El control de Glucosa en la sangre*. Recuperado el 13 de marzo de 2016 de <http://www.diabetes.org/es/vivir-con-diabetes/tratamiento-y-cuidado/el-control-de-la-glucosa-en-la-sangre/control-de-la-glucosa.html?referrer=https://www.google.com.ec/#sthash.42ab5RmJ.dpuf>
- Atom, L. (2011). *IDE's para Java II*. Recuperado el 12 de junio 2016 de <http://programacion-laura.blogspot.com/2011/08/ides-para-java-ii.html>.
- Barrios, R. (2009). *Tele radiología*. Recuperado el 06 de marzo de 2016, de <http://www.urbe.edu/info-consultas/web-profesor/12697883/articulos/ensayos/Tele-Radiologia.pdf>.
- Briñas, O. (2014). *Reloj medidor de glucosa no invasivo*. Recuperado el 3 de julio 2016 de <http://www.jediazucarado.com/reloj-medidor-de-glucosa-no-invasivo/>
- Cortés, T. (2013). *Introducción comunicación Serial*. Recuperado el 16 de febrero de 2016 de <http://www.slideshare.net/TethAzraelCortsAguilar/protocolo-comunicacin-serial>.
- Díaz, A. (2014). *Tipos de memoria en el microcontrolador de Arduino, flash, SRAM, EEPROM*. Recuperado el 10 de junio 2016 de <http://www.ajpdsoft.com/modules.php?name=News&file=article&sid=571#memoriaeepromarduino>
- Díaz, J. Escobar F., y Caramutti, F. (2009). *Estudio y planeación para la migración de una red telefónica móvil de segunda generación (GSM/GPRS), a una red de tercera generación (UMTS/WCDMA) en la jurisdicción del salvador*. Recuperado el 23 marzo del 2016 de

<http://ri.ufg.edu.sv/jspui/bitstream/11592/7345/1/621.382-D542e-Paaatri.pdf>

Domadis, A. (.2011). *Plataforma electrónica de código Abierto*. Recuperado el 12 de mayo 2016 de <http://domadis.com/2011/10/02/%C2%BFsabes-que-es-arduino-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-esta-plataforma-electronica-de-codigo-abierto/>

Elecfreaks (2015). *GPRS/GSM shield*. Recuperado el 12 abril de 2016 de [http://www.elecfreaks.com/wiki/index.php?title=EFCOM\\_GPRS/GSM\\_Shield](http://www.elecfreaks.com/wiki/index.php?title=EFCOM_GPRS/GSM_Shield)

González, J. (s.a). *Recomendaciones sobre el control adecuado de la glucosa Sanguínea*. Recuperado el 12 de marzo de 2016 de <http://medicinasalud.org/dolor-enfermedad-enfermedades-trastorno-mal-trastornos/diabetes-tratamiento-causas-sintomas-diagnostico-y-prevencion/>

I.E.S. (2011). *Teoría de Arduinos 4° ESO*. Recuperado el 10 de marzo 2016 de [http://www.cscjprofes.com/wp-content/uploads/2014/02/teoria\\_arduino2009.pdf](http://www.cscjprofes.com/wp-content/uploads/2014/02/teoria_arduino2009.pdf).

Inzucchi, S., Rosenstock, J., Umpierrez, G. (2010). *Control continuo de la glucosa*. Recuperado el 10 de julio 2016 de <http://www.hormone.org/audiencias/pacientes-y-cuidadores/preguntas-y-respuestas/2010/control-continuo-de-la-glucosa>

Jetbrains (2016). *IntelliJ IDEA*. Recuperado el 12 de junio 2016 de <https://www.jetbrains.com/idea/>.

Marshall Electronics. (2016). *Cable stereo 24AWG*. Recuperado el 02 de julio de 2016 de <http://www.mogamicable.com/category/bulk/microphone/stereo/>

Omega. (2009). *Comandos AT*. Recuperado el 10 de mayo 2016 de <http://www.zonabot.com/9-comandos-at.html>

Palacios, E., Remiro F. (2011). *Comunicación RS232*. Recuperado el 13 de febrero 2016 de [http://perso.wanadoo.es/pictob/comunicacion\\_pic\\_pc\\_via\\_rs232.htm](http://perso.wanadoo.es/pictob/comunicacion_pic_pc_via_rs232.htm)

Pallo, P. (2011), *Sistema de control inalámbrico con tecnología GSM*. Recuperado el 23 de marzo 2016 de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/429>

Pérez, C. y López, A. (2007). *Sistemas de Telecomunicaciones*. Recuperado el 10 de febrero de 2016 de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Compilacion4.pdf>

Punto flotante. (s.a). *Tutorial modem GSM-GPRS*. Recuperado el 23 de marzo 2016 de <http://www.puntoflotante.net/TUTORIAL-MODEM-GSM-GPRS.htm>.

Rosario, J. (2005). *La Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC). Su uso como Herramienta para el Fortalecimiento y el Desarrollo de la Educación Virtual*. Recuperado el 21 de enero 2016 de <http://www.cibersociedad.net/archivo/articulo.php?art=218>

Rodríguez, D (2013). *Aplicaciones clínicas de la Telemedicina*. Recuperado el 04 de mayo 2016 de <http://telemedicinadanielarodriguezacevedo.blogspot.com/2013/03/aplicaciones-clinicas-de-la-telemedicina.html>.

Rodríguez I. (2009). *Las tecnologías de la información y comunicación en la educación*. Recuperado el 30 de agosto de 2016 de <http://www.csi->

csif.es/andalucia/modules/mod\_ense/revista/pdf/Numero\_16/INMACULA  
DA\_RODRIGUEZ\_2.pdf

Ruano, A. (2007). *Despliegue de un sistema de telefonía móvil GSM/GPRS en las comarcas de Tarragona*, Recuperado el 30 de marzo 2016 de <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1162pub.pdf>

SA. (2016). *Salud y bienestar Diabetes*. Recuperado el 13 de marzo 2016 <https://www.personasque.es/diabetes/salud/diagnostico/tipos-glucometros-2327>

Videk. (2015). *3.5mm Stereo Cables*. Recuperado el 02 de julio 2016 de <http://www.videk.co.uk/section.php/1682/1/3-5mm-stereo-cables>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Especificaciones Técnicas ATmega 328P

### Features

- High Performance, Low Power AVR<sup>®</sup> 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)
  - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - 512/1K/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<sup>(1)</sup>
  - 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 I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
- 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 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:
  - Active Mode: 0.2 mA
  - Power-down Mode: 0.1 µA
  - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



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

**ATmega48PA**  
**ATmega88PA**  
**ATmega168PA**  
**ATmega328P**

**Summary**

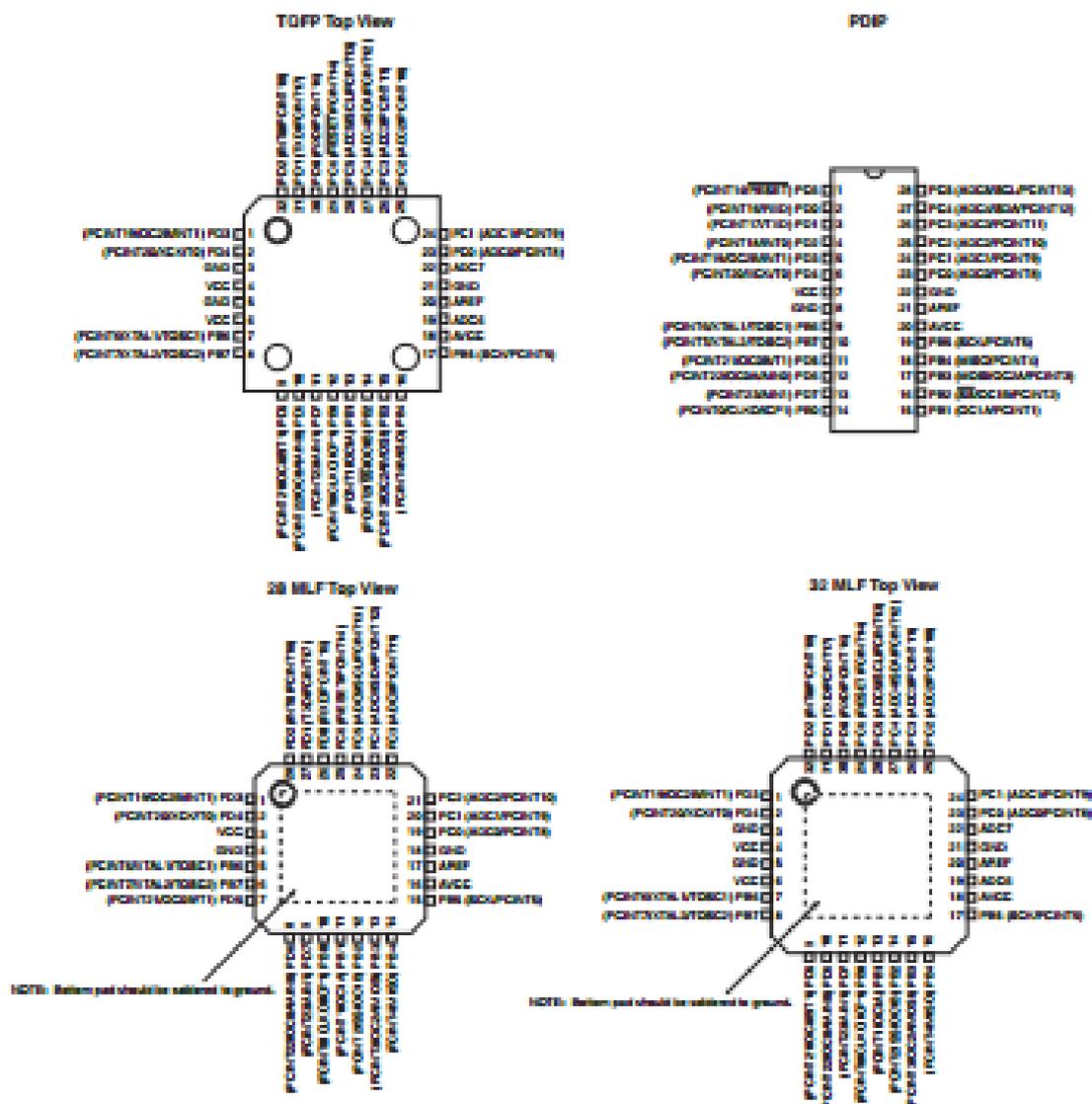
Rev. 8161CS-AVR-05/09



# ATmega48PA/88PA/168PA/328P

## 1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48PA/88PA/168PA/328P



## Anexo 2. Protocolo de comunicación Glucómetro One Touch



### PROTOCOLO DE COMUNICACION GLUCOMETRO 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 may be required depending on the computer and version of the

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

25-pin to 9-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.

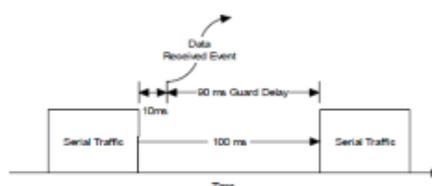


Figure 1 Inter-character timeout timing

## Anexo 3. Especificaciones Técnicas Modem GSM- SIM900

# IComSat v1.1

-SIM900 GSM/GPRS shield

## Overview



IComsat is a GSM/GPRS shield for Arduino and based on the SIM900 Quad-band GSM/GPRS module. It is controlled via AT commands (GSM 07.07, 07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands), and fully compatible with Arduino / Iteduino and Mega.

## Features

- Quad-Band 850/900/1800/1900MHz
- GPRS multi-slot class 10/8
- GPRS mobile station class B
- Compliant to GSM phase 2/2+
- Class 4 (2W@850/900MHz)
- Class 1 (1W@1800/1900MHz)
- Control via commands (GSM 07.07, 07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)
- Short message service
- Free serial port selection
- All SIM900 pins breakout
- RTC supported with Super Cap
- Power on/off and reset function supported by Arduino interface

## Anexo 4: Manual De Usuario dirigido a Pacientes.

### Manual de Usuario Para Pacientes

#### Guía rápida del Módulo Emisor

#### Prototipo portable para el monitoreo de glucosa

##### Introducción.

Este dispositivo fue diseñado y pensado para personas que sufran de diabetes y que requieran de monitoreo en tiempo real por su médico de confianza. Para esto, es importante disponer del glucómetro One Touch Ultra mini y el módulo emisor con su fuente de alimentación.

El dispositivo está diseñado para enviar todas las lecturas tomadas por el paciente hacia el módulo del Médico, y mediante la aplicación del médico pueda recibir dichas lecturas y poder verificar el comportamiento de la glucosa de un paciente específico. Debido a la portabilidad del equipo podrá llevarlo al trabajo, de viaje, en cualquier lugar del hogar.

##### Descripción de Partes del Dispositivo Emisor

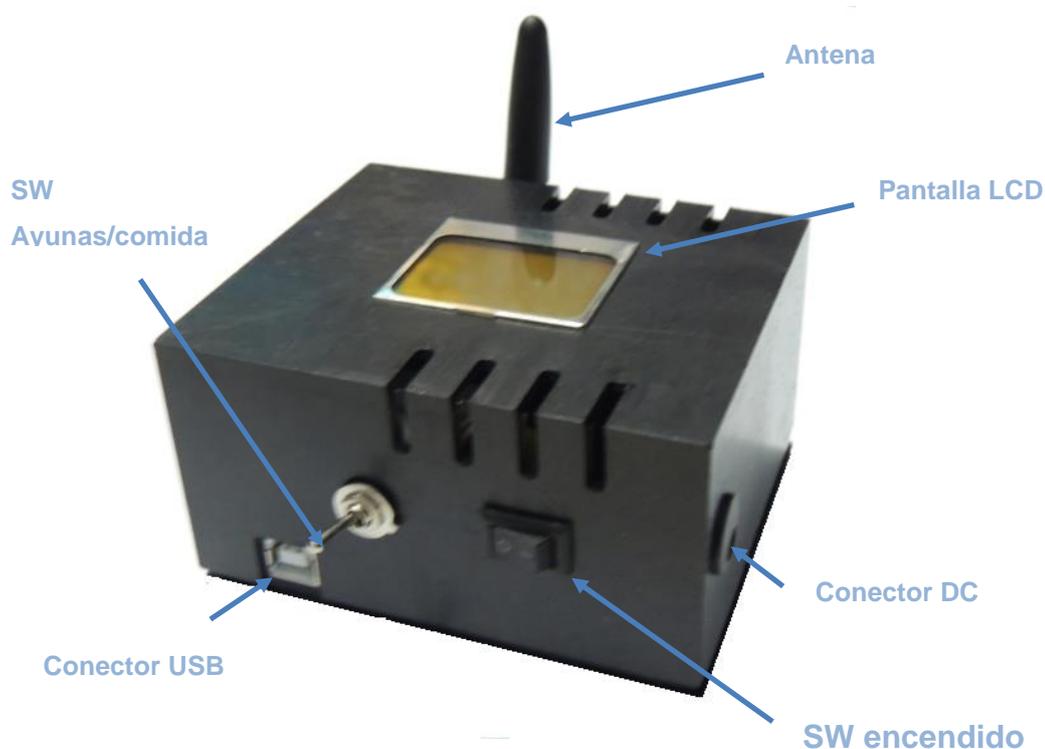


Figura 1: Partes del módulo Emisor

## Instrucciones de Uso

1. Tome el glucómetro y realice la medición como de costumbre. La lectura a transmitirse hacia el médico es la última tomada.



Figura 2: Lectura de glucosa.

2. Ya finalizada la lectura, es recomendable apagar el glucómetro.



Figura 3: Glucometro apagado

3. Utilizando el cable que viene incorporado en su equipo, conecte el glucómetro con el módulo emisor.



Figura 4: Conexión entre el glucómetro y módulo emisor

4. Presione el botón de “encendido”, mientras se enciende puede ver en la pantalla que el glucómetro se está inicializando.

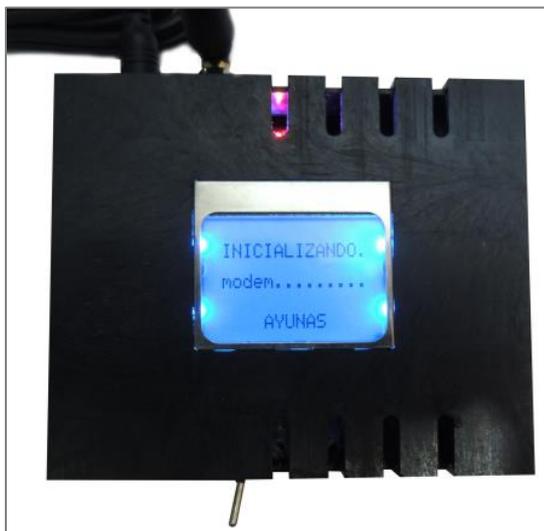


Figura 5: Módulo emisor inicializando.

5. Cuando en pantalla muestre modem Listo, empieza la transmisión de la última lectura tomada.



Figura 6: Módulo emisor Listo

6. Cuando el mensaje sea enviado, en la pantalla le aparecerá mensaje enviado correctamente.

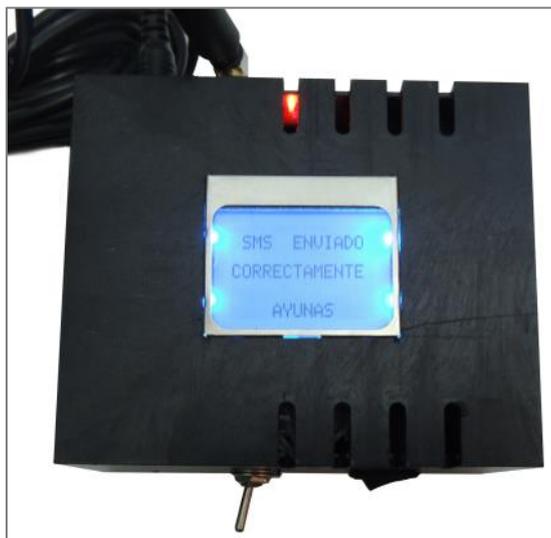


Figura 7: Mensaje enviado correctamente por el módulo emisor.

7. Si desea volver a tomarse la lectura después de comer, solo basta con seleccionar la otra posición del Switch, que indica "Ayunas/Comidas"



Figura 8: Escogiendo la opción comidas/ayunas

8. Finalmente, debe retirar el cable de los dispositivos



Figura 9: Desconectado los cables del módulo emisor

**9.** Apagar el módulo Emisor.

**10.** Si requiere nuevamente de tomarse el nivel de glucosa, repita los pasos del 1-10.

### **Cuando llegan las notificaciones.**

Las Notificaciones llegarán cuando los niveles de glucosa no se encuentren dentro de los normales establecido en el dispositivo; el mensaje que recibirá el doctor es:

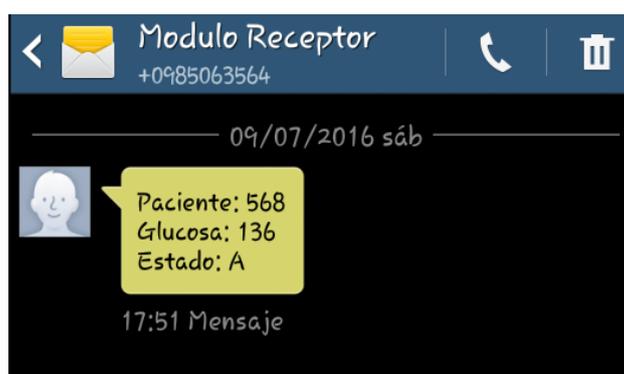


Figura 10: Mensaje enviado como alerta de glucosa alta

**Consejos para buen uso del dispositivo.**

- ✓ Apague el equipo y glucómetro cuando haya finalizado la lectura,
- ✓ Recuerde recargar mensajes de Texto a su plan celular.
- ✓ Recuerde recargar el dispositivo para ser transportado hacia otro lugar sin necesidad del alimentador de energía externa.

**Anexo 5. Manual de Módulo Receptor dirigido al Médico.  
Manual del Médico.**

**Guía Rápida del Módulo Receptor  
Prototipo portable para el monitoreo de glucosa**

**Introducción**

El sistema para medir los niveles de glucosa en pacientes con diabetes, tiene el objetivo de facilitar y ayudar al paciente a tomar una lectura y que esta sea analizado por el médico tratante en tiempo real permitiendo de esta manera ofrecerle al paciente un mejor control de su diabetes.

**Objetivo,**

El objetivo primordial de este manual es guiar al médico tratante, para que realice el correcto uso del prototipo portable para medir los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y de esta manera ofrecerle al paciente una respuesta rápida en cuanto a una dolencia. Obteniendo así un proceso de tomada de valor de glucosa seguro, confiable y fácil de leer el valor captado.

Este Manual está dirigido a personas diabéticas y a médicos especialistas en esta rama, que interactúan con el paciente

**CONOZCA SU DISPOSITIVO**



Figura 1: Módulo receptor partes importantes

## SOFTWARE DE GESTIÓN DE PACIENTES

### INICIO DEL PROGRAMA

Ejecute el software de gestión de pacientes haciendo doble clic sobre el icono del programa, la primera pantalla que observa es la ventana de presentación, en la cual para continuar se debe presionar el botón OK.

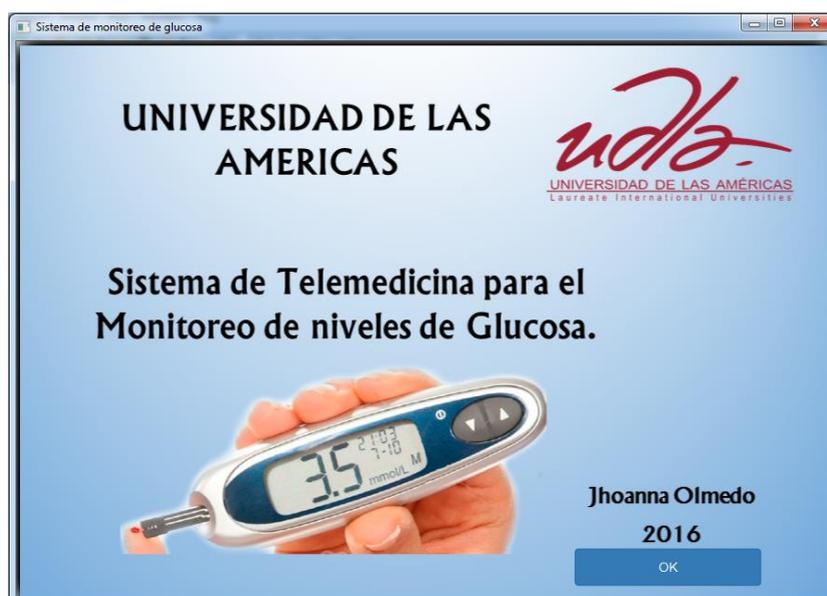
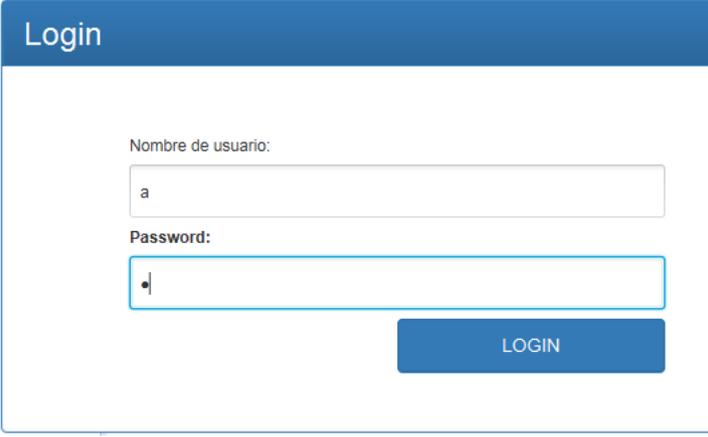


Figura 2: Pantalla de Presentación.

Para acceder a las ventanas de administración de paciente, introduzca sus credenciales suministradas que fueron entregadas por el personal técnico, de esta manera accederá al escritorio del software de gestión



Nombre de usuario:  
a

Password:  
|

LOGIN

Figura 3: Ventana de login.

Una vez que introduzca correctamente el nombre de usuario y el password, aparecerá una ventana que le permitirá escoger el puerto de comunicación y realizar la lectura de los mensajes recibidos mientras el receptor se encontraba en modo Off-Line.



Configuracion del equipo

Seleccione el puerto...

COM1  
COM3

OK

Procesar informacion ...

Cerrar conexion

Figura 4: Ventana de comunicación y lectura de mensaje almacenados

Cuando haya terminado de leer todos los mensajes el sistema le indicará que la operación ha terminado, para esto le mostrará el siguiente mensaje figura 5.

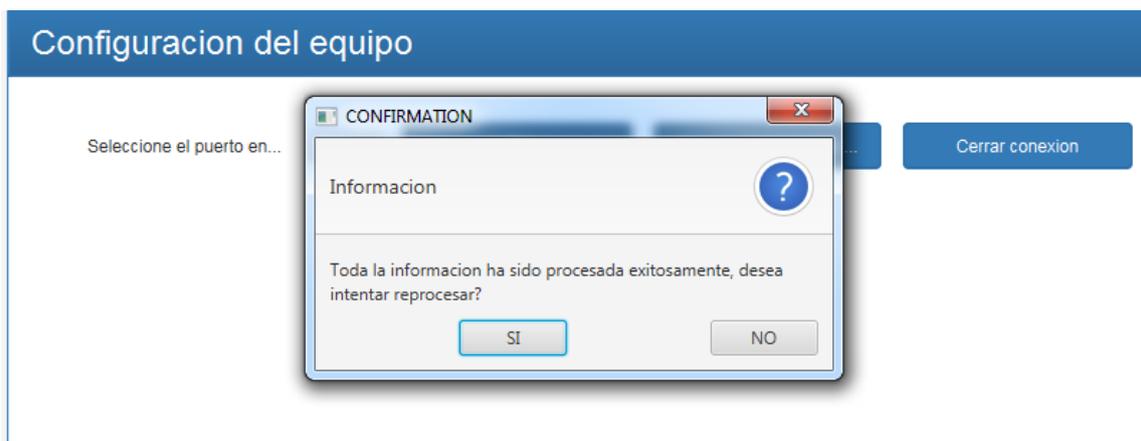


Figura 5: Fin de lectura de mensajes almacenados.

Una vez que haya finalizado los pasos anteriores se mostrará la ventana principal del sistema de gestión de pacientes, desde la cual el usuario podrá administrar los diferentes datos de cada paciente y revisar el historial de lecturas almacenadas.

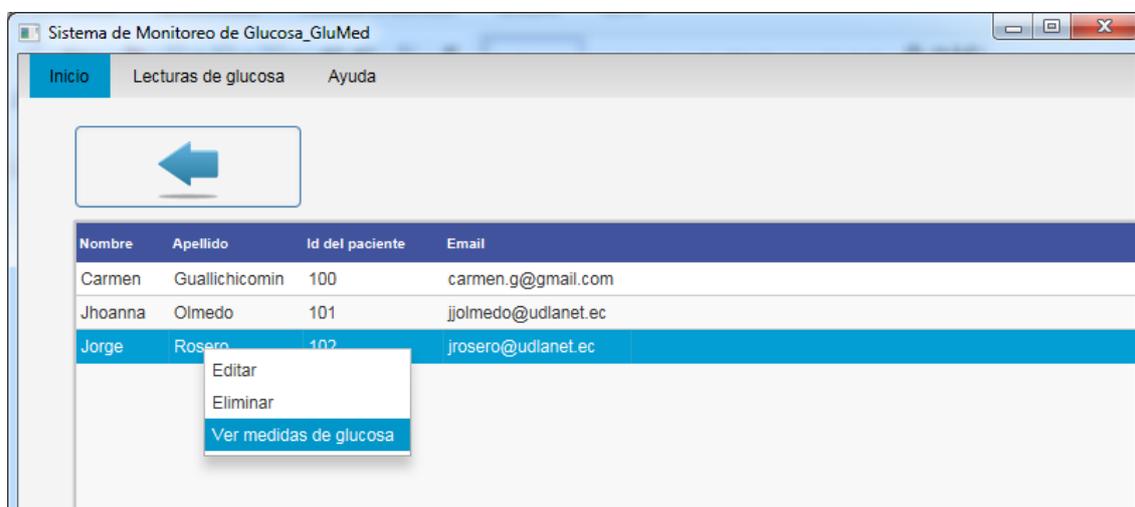
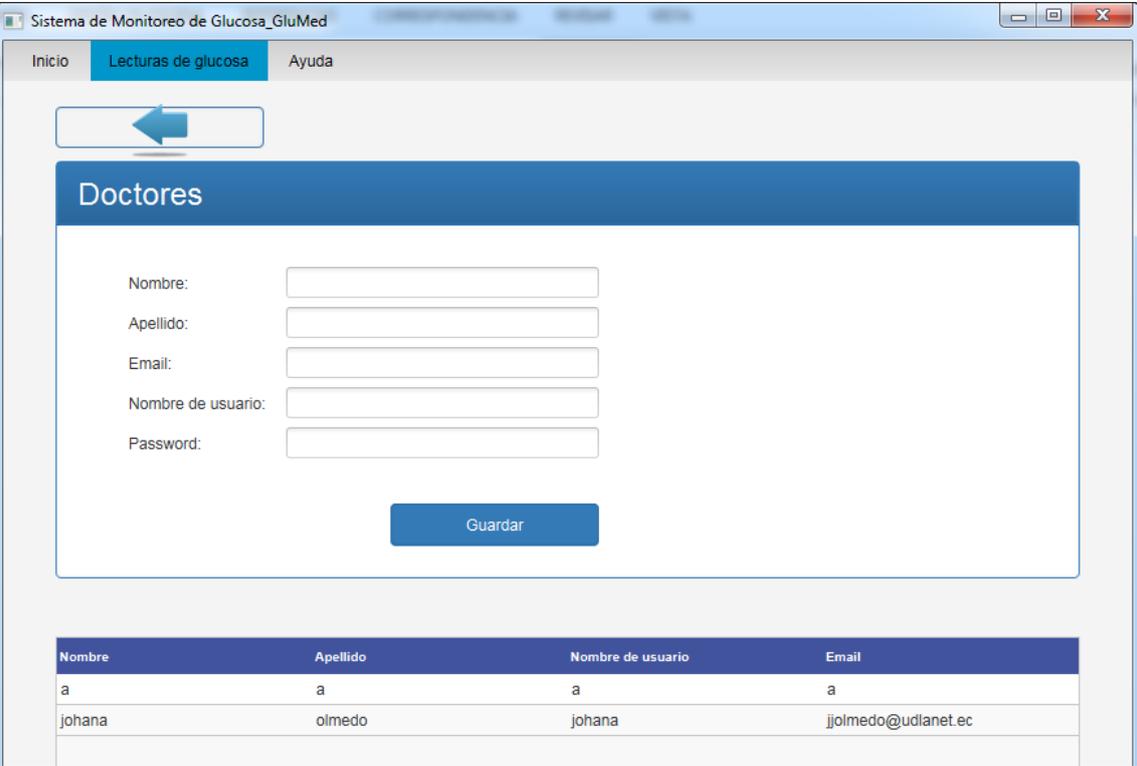


Figura 6: Ventana principal del sistema de gestión de pacientes.

El médico usuario puede registrar la información de cada uno de los pacientes que tenga a su cargo, esta acción se realiza con gran facilidad debido a la ventana de administración de pacientes figura 6

Todos los médicos registrados estarán visibles en la parte inferior de la ventana su organización será de acuerdo al orden de ingreso.



Nombre	Apellido	Nombre de usuario	Email
a	a	a	a
johana	olmedo	johana	jjolmedo@udlanet.ec

Figura 7: Ventana de pacientes registrados.

Si el médico tratante necesita hacer el seguimiento de un paciente tiene que ir a la opción INICIO luego PACIENTES, y se desplegará todo el historial de los pacientes acompañado de una gráfica para que rápidamente se pueda observar la evolución del paciente en cuanto a los niveles de glucosa, además existe la posibilidad de poder realizar una búsqueda por fechas y exportar los datos en formato PDF y en una hoja de Excel.

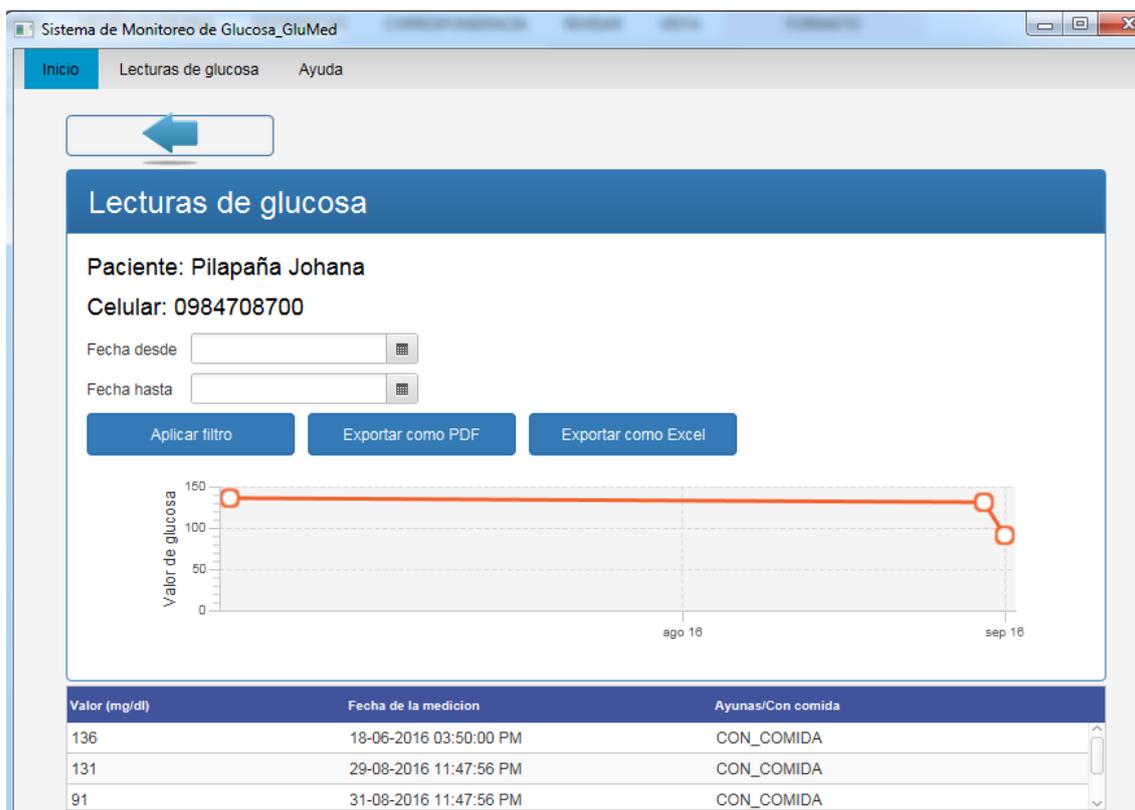


Figura 8: Venta con información detallada del paciente.

Si uno de los pacientes presenta una lectura de glucosa fuera de los niveles de referencia el médico tratante posee una herramienta que le permite enviar un mensaje corto de texto con una recomendación personalizada como se muestra en la figura 9.

Figura 9: Ventana para enviar mensaje SMS al paciente.

<sup>i</sup> Modo Off-Line: Modo de operación cuando el módulo receptor se encuentra desconectado del software de gestión de paciente.