



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA:

**“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE LOS NIVELES DE
GLUCOSA EN PACIENTES DIABÉTICOS Y LA DETECCIÓN DE
HIPERGLUCEMIA E HIPOGLUCEMIA SÍNTOMAS PREVIOS A UN COMA
DIABÉTICO”**

AUTORA: GÓMEZ SANTANDER PAOLA ABIGAIL

DIRECTOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA

IBARRA-ECUADOR

2019-2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | |
|---------------------|--|---------------------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD | 1003450796 | |
| APELLIDOS Y NOMBRES | Gómez Santander Paola Abigail | |
| DIRECCIÓN | Cda. Jacinto Collahuazo 2da etapa. Otavalo-Ecuador | |
| EMAIL | pagomezs@utn.edu.ec | |
| TELÉFONO FIJO | 2520863 | TELÉFONO MÓVIL 0986776496 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|------------------------|---|
| TÍTULO | "Sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la detección de hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos a un coma diabético" |
| AUTOR (ES): | Gómez Santander Paola Abigail |
| FECHA: DD/MM/AAAA | 08/01/2021 |
| PROGRAMA | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA | Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación |
| ASESOR /DIRECTOR | MSc. Carlos Alberto Vásquez |

2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los ocho días del mes de enero de 2021

LA AUTORA:

Paola Abigail Gómez Santander



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ, DIRECTOR DEL PRESENTE
TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de titulación denominado: "SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE LOS NIVELES DE GLUCOSA EN PACIENTES DIABÉTICOS Y LA DETECCIÓN DE HIPERGLUCEMIA E HIPOGLUCEMIA SÍNTOMAS PREVIOS A UN COMA DIABÉTICO", ha sido desarrollado por la Srta. Paola Abigail Gómez Santander bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

MSc. Carlos Alberto Vásquez

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico de manera especial con todo mi amor y mi cariño a mi Abuelito José Luis Alfonso Santander Santander, que en sus años de lucha y resistencia contra la insuficiencia renal me enseñó que siempre hay que sonreírle a la vida que por más obstáculos que se presenten en nuestro camino si nosotros queremos podemos con todo porque tenemos la posibilidad de elegir ser invencibles. Ahora él es un ángel que cuida a su palomita desde el cielo.

A mi Mamá, que siempre ha estado apoyando y cuidando de sus hijos de manera incondicional y a pesar de las dificultades nunca le faltó el amor hacia nosotros ella es el pilar fundamental de esta familia.

Una especial mención y dedicatoria al Dr. Ramiro Ruiz quien me ayudó en el desarrollo de este trabajo que siempre tuvo las mejores palabras de apoyo y desde el principio creyó en mí y en mi proyecto.

Paola Abigail Gómez Santander



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar el más sincero agradecimiento a todos aquellos que formaron parte de este trabajo de titulación. A mi madre que me enseñó a ser fuerte a forjar mi carácter y me apoyó en aquellos momentos en los que estuve a punto de renunciar a esta carrera y me incentivó a continuar a pesar de las dificultades.

A Ramiro Ruiz quien colaboró de manera desinteresada con el desarrollo del presente trabajo de titulación, me dio sus consejos y me inspira a cada día ser mejor y a luchar por mis sueños.

Un agradecimiento al MSc. Carlos Vásquez que aceptó dirigir esta tesis y ha guiado el transcurso de la misma con su conocimiento, sus comentarios y sabios consejos, que se ha convertido en un docente que admiro y respeto por sus valores y el apoyo que brinda a los estudiantes, agradezco a la Academia Universitaria y a todos los docentes que impartieron sus enseñanzas en el transcurso de mi vida universitaria y me formaron como una profesional con valores.

Paola Abigail Gómez Santander

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre en pacientes diabéticos, este sistema permitirá mediante algoritmos de predicción detectar síntomas previos a un coma diabético como lo son la hiperglucemia e hipoglucemia, con lo cual se pretende ayudar al médico en el monitoreo del estado de la diabetes de su paciente.

El sistema trabajará con la plataforma de software libre Arduino en donde se almacenarán los resultados de los niveles de azúcar en la sangre mismos que serán obtenidos de los análisis realizados con un glucómetro para posteriormente ser enviados a una base de datos local que almacenará estos datos, también serán almacenados en una nube a través de un módulo de datos móviles con la finalidad de vincular estos datos a una página web la cual servirá al especialista de la salud para monitorear de manera remota los análisis del paciente diabético, la minería de los datos se la realizará con algoritmos de predicción y en caso de encontrar estados de hiper o hipo glucemia generar una alarma que sea recibida por el paciente, familia y médico.

Una vez finalizado el diseño del sistema se procedió con la integración de todos los módulos que lo conforman. Para el desarrollo del sistema propuesto se usó la metodología del modelo iterativo y se realizaron pruebas de funcionamiento al final de cada iteración. En el capítulo cuatro se realiza la implementación del sistema en un entorno real ya que de acuerdo a la metodología aplicada la última etapa es la implementación del dispositivo, para ello se trabajó con dos pacientes diabéticas y el médico encargado de controlar su diagnóstico, observando resultados favorables para los usuarios del sistema.



ABSTRACT

This project describes the development of an electronic system for monitoring blood glucose levels in diabetic patients, this system can activate prediction algorithms to detect symptoms before a diabetic coma, like hyperglycemia and hypoglycemia.

The system works with Arduino, the results of the same blood sugar level are gathered from the analysis performed with a glucometer to be later sent to a local database that will store this data. These will be accumulated in a cloud through a mobile data module linking this information with which the health specialist will remotely monitor diabetic patient, data mining is performed with prediction algorithms and in case of finding hyper or hypoglycemic states generate an alarm is received by the patient, family, and doctor.

Once the structure is completed, it will undergo the integration of all the modules that comprise it. For the development of the proposed system, the methodology of the iterative model is employed, and performance tests will be carried out at the end of each iteration. In chapter four, the implementation of the system in a real environment is carried out according to the methodology applied to the terminal stage is the implementation of the device. For this, it is proved in two diabetic patients and the doctor in charge of regulating their diagnosis, observing positive results for its users.



Raúl Rodríguez

Reviewed by Victor Raúl Rodríguez Viteri

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

BDD: Base de datos

FID: International Diabetes Federation

GSM/GPRS: Global System for Mobile communications/General Packet Radio Service

IoE: Internet of everything

IoT: Internet of things

KDD: Knowledge Discovery in Databases

MCG: Monitoreo continuo de la glucosa

Nightscout: Software para el registro y documentación de los resultados de análisis de glucemia en la sangre

OMS: Organización Mundial de la Salud

PNBV: Plan Nacional para el Buen Vivir

TC: Tecnologías de la comunicación

TI: Tecnologías de la información

TICs: Tecnologías de la Información y Comunicación

UID: Universally unique identifier/Identificador único universal

LPWANs: Low-Power Wide Area Networks/Redes de área amplia de baja potencia

BLE: Bluetooth low energy

RFID: Radio Frequency Identification

PCA: Principal components analysis, algoritmo de minería de datos no supervisado

IP: Protocolo de internet

HTTP: HyperText Transfer Protocol

LoRaWan: Long Range Wide Area Network

MQTT: Message Queue Telemetry Transport

CoAP: Constrained Application Protocol

AMQP: Advanced Message Queuing Protocol

M2M: Machine-to-Machine

XMPP: Extensible Messaging and Presence Protocol

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

SMS: Short Message Service

SBC: Single board computer

SGBD: Sistema gestor de base de datos

EC2=Amazon Elastic Compute Cloud

AWS=Amazon Web Services

RTC=Real Time Clock

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES | 20 |
| 1.1. Introducción | 20 |
| 1.2. Problema..... | 21 |
| 1.3. Objetivos | 22 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 22 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 22 |
| 1.4. Alcance..... | 23 |
| 1.5. Justificación..... | 25 |
| CAPÍTULO 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 26 |
| 2.1. Diabetes..... | 27 |
| 2.1.1. Enfermedades y complicaciones derivadas de la diabetes..... | 28 |
| 2.1.2. Métodos de medida de los niveles de glucemia en la sangre..... | 29 |
| 2.1.2.1. Monitoreo continuo de glucosa. | 30 |
| 2.1.2.2. Monitoreo flash de glucosa..... | 31 |
| 2.1.2.3. Medición autónoma en casa o en centros de salud. | 32 |
| 2.1.2.3.1. Glucómetro. | 32 |
| 2.1.2.3.2. Lanceta..... | 32 |
| 2.1.2.3.3. Tiras reactivas..... | 33 |
| 2.1.2.4. Ventajas y desventajas de los métodos para la medición de glucemia..... | 33 |
| 2.1.3. Horario de las mediciones de glucosa en la sangre..... | 35 |
| 2.1.3.1. Valores referenciales de los niveles de glucosa en la sangre. | 35 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2.1.4. | Atención integral de la diabetes..... | 36 |
| 2.2. | Internet de las cosas..... | 37 |
| 2.2.1. | Arquitectura de IoT..... | 37 |
| 2.2.2. | Protocolos para IoT..... | 39 |
| 2.2.2.1. | Protocolos de red IoT..... | 40 |
| 2.2.3. | Tecnologías de comunicación para IoT..... | 40 |
| 2.2.4. | IoT en el sector de la salud..... | 42 |
| 2.2.5. | El internet de las cosas aplicado a la diabetes..... | 42 |
| 2.2.5.1. | El páncreas artificial semiautomático..... | 43 |
| 2.2.5.2. | Documentación automática..... | 44 |
| 2.3. | Aprendizaje automático..... | 45 |
| 2.3.1. | Algoritmos de aprendizaje automático..... | 45 |
| 2.3.1.1. | Algoritmos de aprendizaje supervisado..... | 46 |
| 2.3.1.1.1. | Regresión Lineal..... | 46 |
| 2.3.1.1.2. | Regresión Logística..... | 47 |
| 2.3.1.1.3. | Árbol de decisión..... | 47 |
| 2.3.1.1.4. | Naïve Bayes..... | 48 |
| 2.3.1.1.5. | KNN..... | 48 |
| 2.3.1.2. | Algoritmos de aprendizaje no supervisado..... | 49 |
| 2.3.1.3. | Ventajas y desventajas de los algoritmos supervisados de aprendizaje automático..... | 50 |
| 2.4. | Minería de datos..... | 51 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.4.1. | Descubrimiento de conocimiento en bases de datos..... | 51 |
| 2.4.1.1. | Pasos del proceso KDD. | 52 |
| 2.5. | Metodologías para el diseño de proyectos tecnológicos | 53 |
| 2.5.1. | Modelo en cascada..... | 54 |
| 2.5.1.1. | Casos de uso del modelo en cascada. | 55 |
| 2.5.2. | Modelo iterativo..... | 55 |
| 2.5.2.1. | Casos de uso del modelo iterativo. | 56 |
| 2.5.3. | Modelo en espiral..... | 56 |
| 2.5.3.1. | Casos de uso del modelo en espiral. | 58 |
| 2.5.4. | Modelo en V. | 58 |
| 2.5.4.1. | Casos de uso del modelo en V..... | 59 |
| 2.5.5. | Modelo ágil..... | 59 |
| 2.5.5.1. | Casos de uso del modelo ágil. | 60 |
| 2.5.6. | Resumen..... | 60 |
| 2.5.7. | Elección de la metodología..... | 61 |

CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE LOS NIVELES DE GLUCOSA EN PACIENTES DIABÉTICOS Y LA DETECCIÓN DE LA HIPERGLUCEMIA E HIPOGLUCEMIA SÍNTOMAS PREVIOS A UN COMA DIABÉTICO, APLICANDO UN ALGORITMO DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO⁶²

| | | |
|----------|--|----|
| 3.1. | Modelo iterativo: primera iteración..... | 63 |
| 3.1.1. | Requerimientos del sistema Pigeon-Chek. | 63 |
| 3.1.1.1. | Nomenclatura usada para los requerimientos. | 63 |

| | | |
|------------|---|----|
| 3.1.1.2. | Requerimientos de Stakeholders. | 64 |
| 3.1.1.3. | Requerimientos de arquitectura. | 65 |
| 3.1.1.4. | Requerimientos del sistema. | 67 |
| 3.1.1.5. | Requerimientos de aprendizaje automático. | 68 |
| 3.1.2. | Análisis del escenario actual. | 69 |
| 3.1.2.1. | Niveles de glucosa en la sangre de las pacientes diabéticas. | 70 |
| 3.1.3. | Diseño del sistema Pigeon-Chek. | 73 |
| 3.1.3.1. | Descripción general del funcionamiento de Pigeon-Chek. | 74 |
| 3.1.3.2. | Módulo toma de datos. | 76 |
| 3.1.3.2.1. | Selección de dispositivos. | 76 |
| 3.1.3.3. | Módulo central. | 78 |
| 3.1.3.3.1. | Selección de dispositivos. | 79 |
| 3.1.3.3.2. | Diagrama de conexión. | 81 |
| 3.1.3.4. | Módulo de aprendizaje automático. | 82 |
| 3.1.3.5. | Módulo base de datos local. | 83 |
| 3.1.3.5.1. | Selección de dispositivos. | 84 |
| 3.1.3.5.2. | Selección del gestor de base de datos. | 85 |
| 3.1.3.5.3. | Diagrama de conexión. | 86 |
| 3.1.3.6. | Módulo base de datos en la nube. | 87 |
| 3.1.3.6.1. | Selección de cloud. | 87 |
| 3.1.3.6.2. | Esquema de funcionamiento. | 89 |
| 3.1.3.7. | Módulo alerta local. | 89 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 3.1.3.8. | Módulo servidor web..... | 90 |
| 3.1.3.8.1. | Estructura de la página web..... | 90 |
| 3.1.3.9. | Módulo eléctrico o de alimentación. | 91 |
| 3.1.3.9.1. | Cálculo de voltaje. | 91 |
| 3.1.3.9.2. | Cálculo de corriente..... | 92 |
| 3.1.3.9.3. | Diseño de la fuente de alimentación eléctrica. | 92 |
| 3.1.3.9.4. | Diagrama de conexión. | 93 |
| 3.1.4. | Codificación del software para el sistema Pigeon-Chek..... | 94 |
| 3.1.4.1. | Módulo central..... | 94 |
| 3.1.4.2. | Módulo de aprendizaje automático..... | 97 |
| 3.1.4.2.1. | Selección de la base de datos de pacientes diabéticos..... | 97 |
| 3.1.4.2.2. | Preprocesamiento y transformación de los datos. | 99 |
| 3.1.4.2.3. | Selección del algoritmo de aprendizaje automático. | 105 |
| 3.1.4.2.4. | Aplicación del algoritmo de aprendizaje automático. | 106 |
| 3.1.4.3. | Módulo de base de datos. | 107 |
| 3.1.4.3.1. | Estructura de la base de datos..... | 108 |
| 3.1.4.3.2. | Dimensionamiento de la base de datos..... | 111 |
| 3.1.4.4. | Módulo de alerta local. | 119 |
| 3.1.4.5. | Módulo servidor web..... | 119 |
| 3.1.5. | Pruebas de la primera iteración del sistema Pigeon-Chek..... | 123 |
| 3.1.5.1. | Prueba 1, primera iteración: envío y recepción de los resultados de los análisis de glucosa en la sangre. | 125 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 3.1.5.2. | Prueba 2, primera iteración: publicación de los datos en la página web, en la cuenta de usuario de la Paciente 1. | 126 |
| 3.1.5.3. | Conclusión. | 126 |
| 3.2. | Modelo iterativo: segunda iteración..... | 127 |
| 3.2.1. | Análisis del escenario actual..... | 127 |
| 3.2.2. | Diseño del sistema Pigeon-Chek, segunda iteración. | 127 |
| 3.2.2.1. | Diseño-Módulo central, segunda iteración..... | 128 |
| 3.2.2.1.1. | Selección de dispositivos..... | 128 |
| 3.2.2.1.2. | Diagrama de conexión. | 129 |
| 3.2.3. | Codificación del software para el sistema Pigeon-Chek, segunda iteración. .. | 129 |
| 3.2.3.1. | Codificación-Módulo central, segunda iteración..... | 130 |
| 3.2.3.2. | Codificación-Módulo de aprendizaje automático, segunda iteración. | 130 |
| 3.2.3.2.1. | Aplicación del algoritmo de aprendizaje automático, segunda iteración. 130 | |
| 3.2.3.2.2. | Evaluación del algoritmo de aprendizaje automático..... | 132 |
| 3.2.4. | Pruebas de la segunda iteración del sistema Pigeon-Chek. | 137 |
| 3.2.4.1. | Prueba 1, segunda iteración: Envío y recepción de los valores de glucosa, hora y fecha de la toma. | 138 |
| 3.2.4.2. | Prueba 2, segunda iteración: Publicación en la página web de los datos procesados con el algoritmo de predicción y el tiempo actualizado..... | 138 |
| 3.2.4.3. | Conclusión, pruebas segunda iteración. | 139 |
| 3.3. | Modelo iterativo: tercera iteración..... | 139 |

| | | |
|---|--|-----|
| 3.3.1. | Diseño del sistema Pigeon-Chek, tercera iteración..... | 139 |
| 3.3.2. | Pruebas de la tercera iteración. | 143 |
| 3.3.2.1. | Prueba 1, tercera iteración: Switch para el encendido del sistema. | 143 |
| 3.3.2.2. | Prueba 2, tercera iteración: Reconocimiento entre el glucómetro y el dispositivo Pigeon-Chek. | 143 |
| 3.3.2.3. | Prueba 3, tercera iteración: Envío y recepción de los valores de glucosa, hora y fecha actualizadas. | 144 |
| 3.3.2.4. | Conclusión, pruebas tercera iteración..... | 145 |
| CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA | | 146 |
| 4.1. | Implementación de la propuesta, sistema Pigeon-Chek..... | 146 |
| 4.1.1. | Toma de muestras y registro de los análisis de glucosa en la sangre de las pacientes diabéticas, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek..... | 150 |
| 4.1.2. | Almacenamiento de los valores de glucosa en la base de datos, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek..... | 151 |
| 4.1.3. | Ejecución del algoritmo de predicción y publicación de la información, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek..... | 152 |
| 4.1.4. | Monitoreo remoto del estado de salud de las pacientes-entorno médico, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek..... | 153 |
| 4.1.5. | Conclusiones de la primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek. | 154 |
| 4.1.6. | Segunda semana de implementación del sistema Pigeon-Chek. | 155 |
| 4.1.6.1. | Conclusiones de la segunda semana de implementación del sistema Pigeon-Chek. | 157 |

| | | |
|---|--|-----|
| 4.1.7. | Tercera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek..... | 157 |
| 4.1.8. | Resultados de la implementación del sistema Pigeon-Chek..... | 158 |
| 4.1.8.1. | Certificado de aprobación médica del sistema Pigeon-Chek. | 161 |
| CONCLUSIONES | | 162 |
| RECOMENDACIONES..... | | 163 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 164 |
| APÉNDICE A. ENTREVISTA | | 169 |
| APÉNDICE B. ENCUESTA | | 171 |
| APÉNDICE C. CÓDIGO FUENTE MÓDULO CENTRAL, MÓDULO MACHINE LEARNING Y MÓDULO ALERTA LOCAL..... | | 180 |
| APÉNDICE D. INSTALACIÓN DE BASE DE DATOS LOCAL | | 186 |
| APÉNDICE E. INSTALACIÓN DE BASE DE DATOS EN LA NUBE..... | | 187 |
| APÉNDICE D. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA PIGEON-CHEK | | 193 |
| ANEXO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISPOSITIVO ACCU-CHEK INSTANT | | 201 |
| ANEXO 2. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN DEL GLUCÓMETRO ONETOUCH ULTRA MINI..... | | 203 |
| ANEXO 3. FICHA TÉCNICA ATmega328 | | 214 |
| ANEXO 4. FICHA TÉCNICA SIM808 | | 218 |
| ANEXO 5. FICHA TÉCNICA RTC DS3231 | | 225 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Esquema de las complicaciones derivadas de la diabetes. | 29 |
| Figura 2 Ubicación de un sistema de medición continua de glucosa adherido a la piel..... | 31 |
| Figura 3 Monitoreo de los niveles de glucosa con el dispositivo FreeStyle Libre. | 31 |
| Figura 4 Toma de muestra de sangre y análisis de los niveles de glucosa de manera autónoma. | 32 |
| Figura 5 Componentes de una tira reactiva para la toma de muestras de los niveles de glucosa. | 33 |
| Figura 6 Modelo de siete capas de la arquitectura del Internet de las cosas..... | 37 |
| Figura 7 Modelo de cuatro capas de la arquitectura IoT | 38 |
| Figura 8 Tecnologías de comunicación para IoT su velocidad y distancia que pueden alcanzar. | 41 |
| Figura 9 Representación simplificada de un circuito cerrado de monitoreo de los niveles de glucosa de un páncreas artificial. | 44 |
| Figura 10 Captura de pantalla del Software Nightscout para la documentación automática de los resultados de glucosa en la sangre..... | 45 |
| Figura 11 Representación de datos en el plano de una regresión lineal, como una línea en forma de $y = a + bx$ | 46 |
| Figura 12 Estructura de un árbol de decisión para la minería de datos. | 47 |
| Figura 13 Vecino más cercano interpretación en el plano cartesiano..... | 49 |
| Figura 14 Proceso de tratamiento de datos utilizando la metodología KDD..... | 52 |
| Figura 15 Esquema de los procesos involucrados en el modelo en cascada. | 54 |
| Figura 16 Esquema de los procesos involucrados en el método iterativo. | 55 |
| Figura 17 Esquema de los procesos involucrados en el modelo en espiral. | 57 |
| Figura 18 Esquema de los procesos involucrado en el modelo en "V". | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 19 Esquema de los procesos involucrados en el modelo ágil..... | 59 |
| Figura 20 Nombre y logotipo del dispositivo electrónico de monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la detección de la hiperglucemia e hipoglucemia sintomatologías previas a un coma diabético..... | 63 |
| Figura 21 Glucómetro marca Accu-chek Modelo Instant..... | 70 |
| Figura 22 Tendencias de los resultados obtenidos con los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 3..... | 73 |
| Figura 23 Arquitectura del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa PIGEON-CHEK75 | |
| Figura 24 Diagrama de distribución de los pines de transmisión, recepción y tierra de un cable estéreo de 3.5mm..... | 78 |
| Figura 25 Diseño y distribución de elementos del módulo GSM/GPRS SIM900..... | 81 |
| Figura 26 Diagrama de conexión de los dispositivos involucrados en el módulo central del dispositivo PIGEON-CHEK..... | 82 |
| Figura 27 Diagrama de conexión entre el módulo central y el módulo de base de datos local, placas Arduino UNO y Raspberry Pi 4..... | 87 |
| Figura 28 Esquema general de la transmisión de datos de sensores a un servicio en la nube y visualización de esta información desde dispositivos clientes..... | 89 |
| Figura 29 Diagrama del contenido de la página web para el diseño del sistema de monitoreo PIGEON-CHEK..... | 91 |
| Figura 30 Diagrama esquemático del circuito para la fuente de alimentación eléctrica de PIGEON-CHEK..... | 93 |
| Figura 31 Trama de petición del glucómetro OneTouch UltraMini..... | 94 |
| Figura 32 Ejemplo de una trama de respuesta del glucómetro OneTouch UltraMini..... | 95 |
| Figura 33 Diagrama de flujo general del módulo central del sistema Pigeon-Chek..... | 96 |

| | |
|---|-----|
| Figura 34 Líneas de código de la programación del módulo central, declaración de variables, inicialización de puertos | 97 |
| Figura 35 Registro de datos de un paciente diabético y nombre de los atributos dependiendo de la etiqueta asignada..... | 99 |
| Figura 36 Esquema del árbol de decisión para la detección de la hiperglucemia e hipoglucemia | 106 |
| Figura 37 Modelo entidad-relación para el diseño de la BDD del sistema Pigeon-Chek..... | 107 |
| Figura 38 BDD bookmedic y tablas creadas en la base de datos del sistema Pigeon-Chek.. | 108 |
| Figura 39 Tabla “category” de la BDD del sistema Pigeon-Chek..... | 109 |
| Figura 40 Tabla "glucose" de la BDD del sistema Pigeon-Chek..... | 109 |
| Figura 41 Tabla "medic" de la BDD del sistema Pigeon-Chek | 110 |
| Figura 42 Tabla "patient" de la BDD del sistema Pigeon-Chek | 110 |
| Figura 43 Tabla "reservation" de la BDD del sistema Pigeon-Chek | 110 |
| Figura 44 Tabla "user" de la BDD del sistema Pigeon-Chek | 111 |
| Figura 45 Líneas de código de la programación del módulo de alerta local | 119 |
| Figura 46 Diagrama de flujo de la página web del sistema Pigeon-Chek, registro y acceso a usuarios | 120 |
| Figura 47 Página principal del servidor web del sistema Pigeon-Chek..... | 121 |
| Figura 48 Pestaña información de la página web del sistema Pigeon-Chek..... | 121 |
| Figura 49 Opción niveles de la pestaña Información de la página web del sistema Pigeon-Chek | 121 |
| Figura 50 Contenido de la pestaña "Funcionamiento" de la página web del sistema Pigeon-Chek | 122 |
| Figura 51 Ventana de Inicio de sesión para acceder a información de usuario del sistema Pigeon-Chek..... | 122 |

| | |
|--|-----|
| Figura 52 Menú de todas las funciones de la ventana "Cuenta" de la página web del sistema Pigeon-Chek..... | 123 |
| Figura 53 Elementos de hardware para las pruebas de la primera iteración del dispositivo Pigeon-Chek..... | 124 |
| Figura 54 Componentes del dispositivo electrónico Pigeon-Chek | 124 |
| Figura 55 Resultado de análisis de glucosa de 105 mg/dl con el glucómetro OneTouch UltraMini..... | 125 |
| Figura 56 Parámetros recibidos desde el módulo central a la tabla "glucose" de las BDD... | 126 |
| Figura 57 Publicación de los datos recibidos desde la BDD en AWS dentro de la cuenta de usuario de la Paciente 2, en la página web del sistema Pigeon-Chek..... | 126 |
| Figura 58 Diagrama de conexión de los dispositivos de reloj y Arduino pertenecientes al módulo central del sistema Pigeon-Chek..... | 129 |
| Figura 59 Líneas de código de la programación del módulo RTC, declaración de variables, inicialización de puertos. | 130 |
| Figura 60 Código fuente del árbol de decisión para la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia, discriminación de horario y análisis de valores de glucosa | 131 |
| Figura 61 Publicación en la página web de los datos utilizados para el aprendizaje automático, asignación de etiquetas al tipo de horario de medición y estado del paciente..... | 131 |
| Figura 62 Componentes del dispositivo Pigeon-Chek, integración del módulo RTC al módulo central..... | 137 |
| Figura 63 Parámetros de nuevo registro recibido en la base de datos, hora y fecha del nuevo ingreso comprados con la hora y fecha de una PC de tiempo actualizado | 138 |
| Figura 64 Ingreso de información actualizada a la cuenta de usuario de la Paciente1, ingreso pasado y nuevo ingreso con etiquetas correspondientes..... | 139 |
| Figura 65 Distribución de elementos de la placa electrónica del dispositivo Pigeon-Chek .. | 140 |

| | |
|--|-----|
| Figura 66 Diagrama de pistas de la placa del dispositivo Pigeon-Chek | 140 |
| Figura 67 Elementos dispuestos en un contener para el dispositivo electrónico Pigeon-Chek | 141 |
| Figura 68 Distribución de los dispositivos electrónicos ubicados en la parte superior de la caja Pigeon-Chek..... | 142 |
| Figura 69 Sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre de pacientes diabéticos y la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos al coma diabético | 142 |
| Figura 70 Verificación del encendido del sistema, led indicador rojo encendido | 143 |
| Figura 71 Verificación dl estado de conexión entre e glucómetro y el dispositivo Pigeon-Chek | 144 |
| Figura 72 Secuencia del proceso realizado con el sistema Pigeon-Chek | 145 |
| Figura 73 Arquitectura por módulos del sistema Pigeon-Chek..... | 148 |
| Figura 74 Diagrama de flujo del proceso general del sistema Pigeon-Chek..... | 149 |
| Figura 75 Almacenamiento de los datos de glucosa de las pacientes 1 y 2 en la BDD-Primera semana de implementación del sistema | 151 |
| Figura 76 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 1-Día 1-Semana 1 de la implementación del sistema Pigeon-Chek | 152 |
| Figura 77 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 2-Día1-Semana 1 de la implementación del sistema Pigeon-Chek | 152 |
| Figura 78 Formato del contenido del SMS enviado como alerta local..... | 154 |
| Figura 79 Almacenamiento de los datos de glucosa de las pacientes 1 y 2 en la BDD-Segunda semana de implementación del sistema | 156 |

| | |
|---|-----|
| Figura 80 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 1-Día1-Semana 2 de la implementación del sistema Pigeon-Chek | 156 |
| Figura 81 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 2-Día1-Semana 2 de la implementación del sistema Pigeon-Chek | 157 |
| Figura 82 Tendencias de los valores de glucosa de la Paciente 1, antes y después de la implementación del sistema Pigeon-Chek | 160 |
| Figura 86 Herramienta Survey Monkey para cálculos estadísticos, cálculo del tamaño de muestra para la encuesta realizadas a personas diabéticas..... | 175 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Comparativa de las ventajas y desventajas de los métodos citados de control y monitoreo de la glucosa en la sangre | 34 |
| Tabla 2 Frecuencia de las mediciones de glucemia en la sangre y valores normales..... | 35 |
| Tabla 3 Valores referenciales para los estados de hipoglucemia e hiperglucemia en pacientes diabéticos, dependiendo de la hora en la cual se realizó el análisis de glucosa..... | 36 |
| Tabla 4 Tecnologías de IoT y sus campos de aplicación..... | 41 |
| Tabla 5 Pros y contras de los algoritmos supervisados para el aprendizaje automático..... | 50 |
| Tabla 6 Ventajas y desventajas del modelo en cascada..... | 54 |
| Tabla 7 Ventajas y desventajas del modelo iterativo..... | 55 |
| Tabla 8 Ventajas y desventajas del modelo en espiral..... | 57 |
| Tabla 9 Ventajas y desventajas del modelo en "V" | 59 |
| Tabla 10 Ventajas y desventajas del modelo ágil | 60 |
| Tabla 11 Nomenclatura a usar para los requerimientos del sistema..... | 64 |
| Tabla 12 Listado de stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre | 64 |
| Tabla 13 Requerimientos de Stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre | 65 |
| Tabla 14 Requerimientos de arquitectura para el diseño del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre | 66 |
| Tabla 15 Requerimientos del sistema Pigeon-Chek | 67 |
| Tabla 16 Requerimientos de machine learning para el diseño del sistema Pigeon-Chek..... | 68 |
| Tabla 17 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 1- Semana 1 | 70 |
| Tabla 18 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 1 | 71 |
| Tabla 19 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 1- Semana 2 | 71 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 20 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 2 | 71 |
| Tabla 21 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 1- Semana 3 | 72 |
| Tabla 22 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 3 | 72 |
| Tabla 23 Comparativa para selección de Glucómetro para el diseño del sistema PIGEON-CHEK..... | 76 |
| Tabla 24 Comprobación de los resultados en los análisis de glucosa en la sangre utilizando un glucómetro ACCU-CHEK y el ONE TOUCH ULTRA MINI..... | 77 |
| Tabla 25 Comparativa de las características de tres placas de Arduino para el diseño del módulo central del sistema PIGEON-CHEK..... | 79 |
| Tabla 26 Comparativa de las características de algunos módulos GSM/GPRS para el diseño del módulo central del sistema PIGEON-CHEK..... | 80 |
| Tabla 27 Comparativa de tres SBC Raspberry para el diseño del módulo de base de datos local del sistema PIGEON-CHEK..... | 84 |
| Tabla 28 Comparativa de las principales características de algunos gestores de bases de datos para el diseño del módulo de base de datos local del sistema PIGEON-CHEK..... | 85 |
| Tabla 29 Comparativa de las características de Cloud Databases para el diseño del módulo de base de datos en la nube del sistema de monitoreo PIGEON-CHEK..... | 88 |
| Tabla 30 Consumo de voltaje y corriente de los dispositivos del módulo central y del módulo de base de datos local..... | 91 |
| Tabla 31 Nombres de archivo y formato de registro de los datos de glucosa en la BDD utilizada para el aprendizaje automático..... | 98 |
| Tabla 32 Horario para la toma de los niveles de glucosa preprandial y postprandial y niveles de glucosa fuera de horario y rango de los valores de glucosa en la sangre..... | 100 |
| Tabla 33 BDD para el algoritmo de aprendizaje automático, con valores de glucosa, hora y fecha..... | 101 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 34 "category" elementos, tipo de datos y peso en bytes | 113 |
| Tabla 35 "glucose" elementos, tipo de datos y peso en bytes..... | 113 |
| Tabla 36 "medic" elementos, tipo de datos y peso en bytes | 113 |
| Tabla 37 "patient" elementos, tipo de datos y peso en bytes | 114 |
| Tabla 38 "payment" elementos, tipo de datos y peso en bytes | 114 |
| Tabla 39 "reservation" elementos, tipo de datos y peso en bytes | 115 |
| Tabla 40 "status" elementos, tipo de datos y peso en bytes..... | 115 |
| Tabla 41 "user" elementos, tipo de datos y peso en bytes | 116 |
| Tabla 42 Cantidad de datos generados por un paciente diabético al mes, de acuerdo a la información registrada en la base de datos del sistema Pigeon-Chek | 117 |
| Tabla 43 Dimensionamiento anual de la BDD del sistema Pigeon-Chek y resultados de la cantidad de espacio que requerirá la base de datos mensualmente..... | 118 |
| Tabla 44 Comparativa de las características de los dos dispositivos RTC para el diseño del módulo central del sistema Pigeon-Chek..... | 128 |
| Tabla 45 Valores de glucosa para realizar las pruebas y entrenamiento del algoritmo de aprendizaje automático | 132 |
| Tabla 46 Primera iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento..... | 133 |
| Tabla 47 Segunda iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento | 134 |
| Tabla 48 Tercera iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento..... | 135 |
| Tabla 49 Cuarta iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento..... | 135 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 50 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente1-Semana 1 de implementación del sistema Pigeon Chek. | 150 |
| Tabla 51 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente2-Semana 1 de implementación del sistema Pigeon Chek. | 151 |
| Tabla 52 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente1-Semana 2 de implementación del sistema Pigeon Chek. | 155 |
| Tabla 53 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente2-Semana 2 de implementación del sistema Pigeon Chek. | 155 |
| Tabla 54 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente1-Semana 3 de implementación del sistema Pigeon Chek. | 158 |
| Tabla 55 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente2-Semana 3 de implementación del sistema Pigeon Chek. | 158 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|-----|
| Ecuación 1 Cálculo de Y en función de una variable x | 46 |
| Ecuación 2 Algoritmo Naïve Bayes, cálculo de que la probabilidad de la hipótesis sea cierta | 48 |
| Ecuación 3 Cálculo de intensidad de corriente total | 92 |
| Ecuación 4 Fórmula para el cálculo del tamaño de la base de datos | 112 |
| Ecuación 5 Fórmula para el cálculo del tamaño de una tabla con datos..... | 112 |
| Ecuación 6 Fórmula para el cálculo del tamaño de datos variables | 112 |
| Ecuación 7 Fórmula para el cálculo del tamaño de datos variable máximo | 112 |
| Ecuación 8 Fórmula para encontrar el tamaño del mapa de bits nulo | 113 |

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1. Introducción

El sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la detección de hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos a un coma diabético, intenta optimizar el control de la enfermedad en las personas que la padecen, ya que el médico tiene acceso a la información en tiempo real de su paciente garantizando que pueda fijar un tratamiento lo más acorde al estado de salud de la persona diabética.

Una de las principales motivaciones para el desarrollo del presente trabajo es la de ayudar a personas diabéticas a sobrellevar la enfermedad, destinando tecnología moderna y conocimientos aprendidos en el transcurso de la carrera universitaria. Este trabajo de titulación se realiza en cuatro capítulos que se detallan a continuación:

En el Capítulo I se formula el problema que se desea solucionar, una vez definido el problema se plantean los objetivos que se quieren cumplir junto con el alcance que delimita el proyecto y finalmente la justificación con la cual se exponen las razones por las cuales se desea realizar el presente trabajo de titulación.

El segundo capítulo describe bases teóricas resultado de investigaciones bibliográficas relacionadas con el tema planteado, esto permite adentrarse y conocer a fondo el contenido de la temática.

En el tercer capítulo, considerado como el más extenso dentro de este proyecto se definen los requerimientos para el diseño del sistema, se obtendrá la base de datos para la ejecución y validación del algoritmo de predicción y se realizará el diseño y codificación del dispositivo.

Finalmente, en el cuarto capítulo se realiza la implementación de la propuesta y se culmina con las conclusiones y recomendaciones a las cuales se llegó una vez terminado el proyecto.

1.2. Problema

La diabetes es una enfermedad que según datos de la International Diabetes Federation (FID) han revelado que el 8,8% de adultos entre los 20-79 la padecen, la prevalencia de esta enfermedad ha aumentado de manera considerable en países de tercer mundo en los cuales la población tiene una capacidad de ingresos económicos de medianos a bajos. Investigaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) dieron a conocer que hasta hace unos años la diabetes era una enfermedad que solo afectaba a adultos, pero hoy en día este padecimiento también se está presentado en niños (Organización Mundial de la Salud, 2018). Una vez un hombre o mujer fueron diagnosticados con diabetes deben mantener un control continuo de los niveles de azúcar en la sangre ya que existen consecuencias derivadas de esta enfermedad como lo son: la neuropatía de los pies, retinopatía diabética, insuficiencia renal, el coma diabético, hiperglucemia, hipoglucemia, entre otras. Siendo el coma diabético una de las complicaciones de mayor gravedad e incidencia en pacientes diagnosticados con diabetes mellitus, existen tres entornos en los cuales se presenta el coma diabético: la cetoacidosis en la cual se acumulan cuerpos cetónicos en el plasma de la sangre (Mollinedo Patzi & Huayta Prado, 2014), el coma por aumento o disminución crítico de los niveles de azúcar en la sangre más conocido como coma hiper e hipo glucémico y el coma hiperosmolar que es originado por una grave deshidratación.

El Ecuador es uno de los países de Latinoamérica que no tiene un sistema o control de datos fiables de la prevalencia de la diabetes (International Diabetes Federation, 2015)., siendo una de las razones del deterioro de esta enfermedad la falta de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre por parte del personal médico y del paciente, por dicho motivo el personal de salud se ve limitado al momento de la administración y dosificación de los medicamentos, como lo son la cantidad de insulina requerida y los tratamientos a emplearse con el paciente, ya que es

necesario mantener un registro con el cual se pueda analizar las condiciones en las cuales se encuentra el paciente y evitar enfermedades derivadas de la diabetes.

Es necesario para el entorno médico-paciente y familia la implementación de un sistema que les permita controlar y monitorear los niveles de glucosa de manera remota y a la vez que este sistema realice un análisis de los resultados de azúcar en la sangre, con la finalidad de predecir estados de emergencia, que para el caso de este sistema son la hiperglucemia e hipoglucemia estados previos a un coma diabético, generando una alarma que será recibida por el médico y el paciente, lo cual permitirá actuar de manera temprana y tomar las medidas necesarias para controlar la enfermedad y evitar riesgos y complicaciones en la salud del afectado.

La diabetes es una enfermedad en la cual los niveles de azúcar en la sangre se disparan o decrecen en cuestión de minutos, motivo por el cual es necesario un sistema que realice el control y monitoreo constante del estado de salud del paciente por parte del personal de salud y la familia, con lo cual se pueda actuar inmediatamente en situaciones de emergencia.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Detección de la hiperglucemia e hipoglucemia en pacientes diabéticos mediante un sistema electrónico de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre con la finalidad de anunciar sintomatologías previas a un coma diabético.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Fundamentar las bases teóricas del sistema mediante una revisión bibliográfica acerca de la diabetes, situaciones de emergencia de la enfermedad, posibles complicaciones, manera en la cual se llevan los registros de la diabetes en la actualidad, algoritmos de aprendizaje automático y metodologías para el diseño del sistema electrónico.
- Definir los requerimientos técnicos (software y hardware) y de usuario para el desarrollo del sistema de monitoreo para pacientes diabéticos.

- Realizar la toma de datos de los valores de glucosa para la aplicación del algoritmo de predicción, e implementar la metodología de minería de datos KDD, para describir los patrones de comportamiento de la hiper e hipoglucemia, de acuerdo a la información de los niveles de azúcar en la sangre.
- Comprobar el funcionamiento del sistema a través de pruebas a nivel de software y de hardware.

1.4. Alcance

En la realización del presente proyecto de pregrado se abordará conceptos acerca de la diabetes, la forma en la cual se realiza el registro de análisis de glucosa en la sangre, enfermedades derivadas de un mal manejo de la diabetes, información que permitirá organizar los medios necesarios para el diseño de sistema electrónico con el cuál será posible monitorear los valores de azúcar en la sangre, y establecer los valores de riesgo en la diabetes. El objetivo del sistema que se ha propuesto es, determinar dentro de los resultados de los niveles de glucosa valores anormales que sean de utilidad para la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos a un coma diabético en pacientes que padecen la enfermedad.

Durante la ejecución del presente trabajo de titulación se va a realizar un análisis de metodologías de diseño de proyectos para determinar la más idónea para el diseño del sistema electrónico. El proyecto en todo el transcurso de su ejecución será asistido en la parte de salud por el Dr. Ángel Ramiro Ruiz Ruiz., médico de cabecera de las pacientes diabéticas: Carmen Amelia Santander y Ruth Elizabeth Santander con las cuales se llevará a cabo por un período de tres semanas y una relación de alrededor de cuatro muestras diarias la obtención de valores de los análisis de glucosa en la sangre, tiempo considerado como prudente por parte del médico ya que cada semana se hace una valoración del estado de salud de las pacientes diabéticas.

El sistema estará constituido por un glucómetro comercial que permita extraer los resultados y posteriormente enviarlos al módulo en el cual se realizará el tratamiento de la información

en donde se optará por la plataforma de código abierto Arduino ya que esta brinda amplias posibilidades en el diseño de sistemas embebidos. Para el almacenamiento de la información se integrará una base de datos local instalada en un dispositivo Raspberry Pi, esta BDD local también servirá como un Backup de los valores de glucosa. Estos datos además serán almacenados dentro de un servicio en la nube, con lo cual se vinculará la información de los valores de glucemia del paciente diabético a una página web, permitiendo al especialista y a la familia visualizar en tiempo real los resultados de los análisis, la transferencia de los datos a la nube se la realizará implementando al diseño del sistema un módulo GSM/GPRS que estará comunicado con el módulo de tratamiento de la información.

Una vez obtenidos los registros de glucemia y almacenados en la base de datos, serán evaluados mediante un algoritmo de predicción, con lo cual el sistema será capaz de predecir la hiper e hipo glucemia sintomatologías previas a un coma diabético. La minería de la información se la realizará con la metodología Knowledge Discovery in Databases (KDD) esta metodología implementa un proceso secuencial de pasos para encontrar conocimiento dentro de un conjunto de datos en bruto, estos pasos son los siguientes: Abstracción del escenario, selección de datos, limpieza y procesamiento, transformación de los datos, elección de tareas de minería de datos, elección del algoritmo, aplicación del algoritmo, evaluación e interpretación, entendimiento del conocimiento. Este proceso permitirá encontrar un modelo válido y útil para la predicción de un estado hiper o hipo glucémico. Para el monitoreo remoto de la información por parte del médico y de la familia del paciente se vinculará a una página web la información previamente subida dentro de un servicio en la nube, y en el caso de existir una emergencia debido a un estado de hiperglucemia o hipoglucemia se enviará una alarma a las partes involucradas en forma de mensaje de texto mediante el módulo GSM/GPRS.

En la etapa de pruebas de funcionamiento se valorará la eficacia del algoritmo de predicción, evaluando los patrones generados y el rendimiento que se obtuvo para verificar que cumpla

con la meta planteada que es el predecir la hiperglucemia y la hipoglucemia previas a un coma diabético. Para realizar esta evaluación se utilizará la técnica de Validación Cruzada en la cual se realiza una partición de datos, dividiéndolos entre entrenamiento y prueba. No es posible establecer un margen de error constante en la predicción de los síntomas de hiper e hipoglucemia debido a que los valores de la glucosa pueden dispararse en cuestión de minutos, pero se espera que la confiabilidad del algoritmo sea la mayor posible.

1.5. Justificación

La falta de un sistema que permita el monitoreo constante de la diabetes, por parte del personal de salud, del paciente y del entorno familiar ha llevado a que personas diabéticas no acudan a tiempo a los controles médicos, a que exista déficits en la adecuada dosificación de medicinas y tratamientos, y a padecer enfermedades derivadas de los incrementos o decrementos abruptos de los niveles de glucemia en la sangre. Ocasionando en muchos casos situaciones de emergencia que llevan a la muerte de la persona afectada.

Debido a la constante evolución tecnológica y de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's), se ha hecho avances en el campo de la medicina implementado y modernizando los instrumentos médicos, también se han abierto las posibilidades de consultas médicas a distancia, sin la necesidad de que el paciente acuda al consultorio médico con el uso de la Telemedicina. Así como se ha evolucionado tecnológicamente en equipos de cirugías, ecos, hospitalización, entre otros., también se está trabajando en la actualidad en dispositivos o sistemas electrónicos que vinculan terminales de control de signos vitales con el fin de enlazarlos al internet para realizar monitoreos remotos, emitir alarmas, activar o desactivar dispositivos, etc., es decir integrando la medicina con IoT. Estos equipos van destinados a personas con padecimientos que necesitan ser monitoreados constantemente, si bien es cierto que estos dispositivos permiten el control de enfermedades de manera remota, también algunos de estos terminales realizan el estudio de los datos generados por los dispositivos como: la

presión arterial, azúcar en la sangre, oxigenación, ritmo cardiaco, etc., en el caso de la diabetes se realiza minería de datos a los valores de glucosa en la sangre con lo que es posible determinar eventos más precisos, tal es el caso de la predicción de sintomatologías previas a un coma diabético.

En el mercado se puede encontrar una gran variedad de dispositivos destinados al análisis de los valores de glucosa en la sangre, estos son conocidos como glucómetros, algunos son muy básicos se limitan solamente al análisis de muestras, otros más modernos pueden enviar los datos a una aplicación, y dispositivos como el llamado FreeStyle, que consta de un sensor adherido a la piel y un dispositivo que al acercarse al sensor toma las lecturas y envía los datos al internet (Gil, 2017), este dispositivo está aún en fase de fabricación ya que su costo se acerca a los seiscientos dólares por lo que se están buscando materiales que permitan abaratar los costos.

El desarrollo de este sistema busca presentar un dispositivo que sea capaz de predecir estados hiper e hipo glucémicos y que esté al alcance de la ciudadanía, contribuyendo a lo establecido en el Objetivo 1 del Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) 2017-2021 “Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas” (CONSEJO NACIONAL DE PLANIFICACIÓN (CNP), 2017), en el cual se menciona que un componente primordial de una vida digna constituye la salud y promueve el desarrollo de redes de servicios de salud centrados en las necesidades de sus usuarios.

CAPÍTULO 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se establecen conceptos en relación con la diabetes, desde una definición general, hasta las consecuencias del deterioro de la enfermedad, tecnología utilizada para el monitoreo de la diabetes en la actualidad, la diabetes e IoT, además se toparán temas como el aprendizaje automático y metodologías para el diseño de proyectos.

2.1. Diabetes

La diabetes es calificada como uno de los grandes problemas dentro de la salud pública ocasionado por su alta prevalencia, esta es una enfermedad grave y crónica causada por la insuficiente producción de insulina en el páncreas, la insulina es la hormona destinada a regular los niveles de azúcar (glucosa) en la sangre conocido también como glucemia (Organización Mundial de la Salud, 2016), además se puede desencadenar en la diabetes cuando el cuerpo no tiene la capacidad de asimilar de manera correcta la insulina producida.

En la actualidad se conocen algunos tipos de diabetes siendo los siguientes los de mayor incidencia a escala mundial:

- Diabetes tipo 1, en este tipo de diabetes el cuerpo no tiene la capacidad para generar las cantidades necesarias de insulina debido a que el sistema inmunológico ataca y elimina a las células producidas en el páncreas, este tipo de complicación se diagnostica en su mayoría en niños y jóvenes adultos, aunque no se limita a aparecer a cualquier edad, cuando una persona es diagnosticada con Diabetes tipo 1 deberá usar insulina a diario para poder vivir (Isla Pera, 2014).
- Diabetes tipo 2, este es el tipo más común de la enfermedad y es diagnosticada con mayor frecuencia en adultos mayores y personas de mediana edad, como el anterior tipo de diabetes también puede afectar a personas de cualquier edad y es lo que está sucediendo en la actualidad (National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, 2017), este padecimiento es originado por déficit del páncreas en la producción de la hormona insulina.
- Diabetes gestacional, como su nombre lo indica afecta a mujeres embarazadas, en la mayoría de las ocasiones este padecimiento desaparece una vez hubo nacido el bebé, para una mujer que fue diagnosticada con diabetes gestacional la probabilidad de padecer diabetes tipo 2 durante el transcurso de su vida aumenta, en ocasiones la diabetes gestacional es en realidad

diabetes tipo 2 (Instituto Nacional de la Diabetes y las Enfermedades Digestivas y Renales, 2019).

- Existen también otros tipos no tan comunes de diabetes entre estos tenemos la diabetes monogénica que es de carácter hereditario y la diabetes que tiene relación con una enfermedad conocida como la fibrosis quística.

2.1.1. Enfermedades y complicaciones derivadas de la diabetes.

Así como es de gran importancia conocer el adecuado manejo de la diabetes y el estilo de vida que debe llevar el paciente una vez haya sido diagnosticado con esta enfermedad es fundamental estar en conocimiento de las complicaciones que pueden llegar a presentarse, entre algunas de estas se conocen:

- Cetonas, esto ocurre en el momento en el cual el azúcar en la sangre está elevado por los bajos niveles de insulina, el organismo del paciente utiliza las grasas que han sido consumidas para tratar de producir energía y este proceso produce desechos conocidos como cetonas y son perjudiciales para la salud.
- Daño renal, el constante aumento de glucosa presente en la sangre ocasiona también afecciones de los riñones, afectando su normal proceso impidiendo el adecuado filtrado de sustancias altamente tóxicas que se hallan o pueden encontrarse en la sangre.
- Enfermedades del corazón y de los vasos sanguíneos, debido a la hiper e hipoglucemia se puede llegar a tener daños en el corazón y en los vasos, incluyendo infarto al miocardio, angina, dolor en el tórax y obstrucciones de las arterias que irrigan sangre y nutren al corazón.
- Hipoglucemia, que se traduce como el bajo nivel de glucemia en la sangre menor a 60mg/dl, generando síntomas como mareo, sofocos, pérdida del estado de conciencia entre otros.

- Hiperglucemia, esta sintomatología hace referencia a los elevados niveles de glucemia en la sangre, por ejemplo, en ayunas un valor mayor de 110 mg/dl, si este padecimiento es persistente puede desencadenar en trastornos como impotencia sexual, daño permanente en los nervios, contracciones de los músculos involuntarias, entre otras (Ministerio de Salud de Colombia, 2014).

Estas son algunas de las enfermedades y complicaciones derivadas de la diabetes, para el desarrollo de este proyecto se hace especial énfasis en las dos últimas sintomatologías mencionadas en el listado anterior, la hiperglucemia e hipoglucemia trastornos que tienen que ver en primer lugar con los niveles de los resultados de glucosa en la sangre, con estos datos se desarrollará la predicción de estas sintomatologías que pueden desencadenar en un coma diabético, posteriormente se incluirán o no variables a criterio del especialista de salud con la finalidad de hacer más exacto el proceso de predicción. La Figura 1 representa un esquema de las complicaciones causadas por el deterioro de la diabetes.

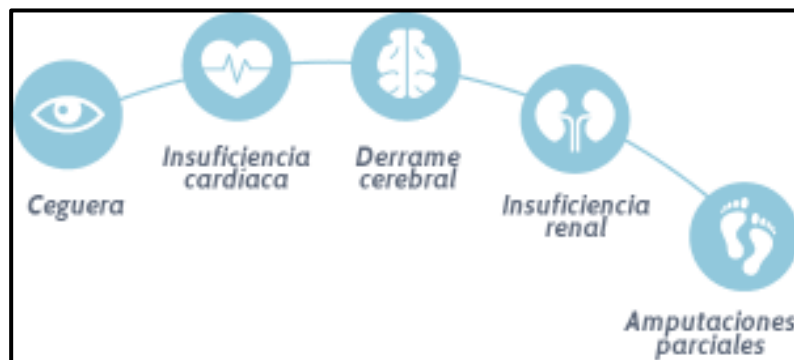


Figura 1 Esquema de las complicaciones derivadas de la diabetes.

Fuente: (PATIA, 2017)

2.1.2. Métodos de medida de los niveles de glucemia en la sangre.

La diabetes es una enfermedad crónica y mantener un estricto control glucémico es esencial para prevenir complicaciones en la salud del paciente. Es esencial controlar los niveles de glucosa para lograr este objetivo. La automonitorización y la monitorización continua de la glucosa en la sangre son un complemento importante para mantener un control glucémico

óptimo. A continuación, se describen algunos métodos para controlar los niveles de glucosa en la sangre.

2.1.2.1. *Monitoreo continuo de glucosa.*

Los sistemas de monitoreo continuo de glucosa son equipos diseñados para realizar análisis de glucosa de manera ininterrumpida, pudiendo realizar lecturas cada cinco minutos dependiendo del modelo y del fabricante, para realizar este tipo de monitoreo el dispositivo cuenta con un sensor compuesto con un hilo o filamento flexible que debe ser colocado debajo de la piel puede ser del brazo o pierna, este filamento en general tiene un tiempo de vida que se ronda entre los seis y catorce días, para la transmisión de los datos cuenta con un dispositivo transmisor que es el encargado de enviar los resultados a un receptor generalmente es una pantalla o monitor (Cardona Hernández, 2016).

Estos sistemas en comparación con los glucómetros o medidores de glucosa convencionales lo que miden es los niveles de glucemia en el tejido (intersticial) y no la glucemia en la sangre. Estos resultados de niveles de azúcar en el tejido y en la sangre no necesariamente dan el mismo resultado, en ocasiones cuando la glucemia se mantiene por un tiempo los valores pueden coincidir pero en otras situaciones cuando se disparan los niveles de azúcar tanto si se elevan o disminuyen la comparación entre tejido y sangre tiende a ser mayor, esto no quiere decir que la efectividad de los sistemas de monitoreo continuo sea menor que el monitoreo convencional sino que miden valores diferentes de glucemia. En la Figura 2 se observa el método de colocación de un sistema de medición continua.

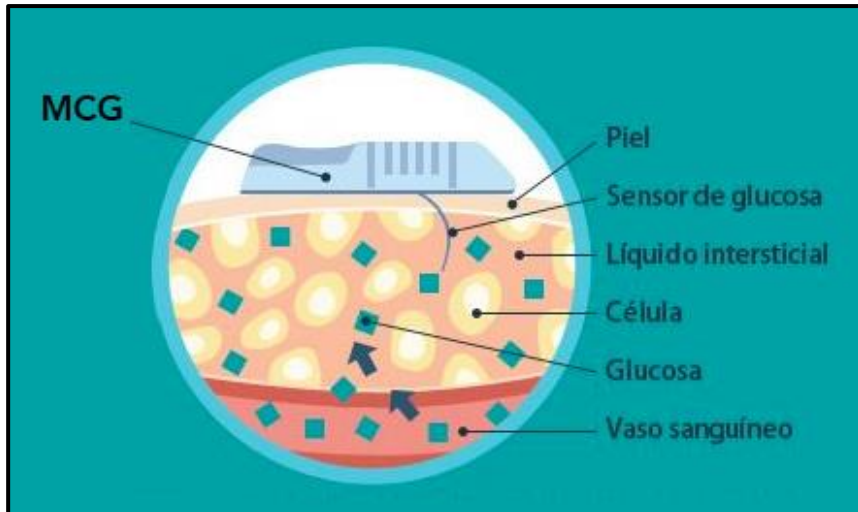


Figura 2 Ubicación de un sistema de medición continua de glucosa adherido a la piel.

Fuente: (Cardona Hernández, 2016)

2.1.2.2. Monitoreo flash de glucosa.

En este tipo de monitoreo se miden los niveles de glucosa en el líquido intersticial como se muestra en la Figura 3, es desarrollado y manufacturado únicamente por el laboratorio Abbot y el dispositivo se lo conoce como FreeStyle Libre, a diferencia del monitoreo continuo de glucemia en este sistema es necesario pasar el receptor sobre el sensor para que pueda escanear los resultados y obtener las gráficas (Asociación de Diabetes Madrid, 2018).



Figura 3 Monitoreo de los niveles de glucosa con el dispositivo FreeStyle Libre.

Fuente: (Asociación de Diabetes Madrid, 2018)

2.1.2.3. *Medición autónoma en casa o en centros de salud.*

Cuando una persona fue diagnosticada con diabetes tipo 1 o tipo 2 tiene la posibilidad de realizar un control personal de los niveles de azúcar en la sangre, utilizando dispositivos accesibles conocidos como glucómetros y se los encuentra en farmacias y centros comerciales, este método de medición requiere de una tira reactiva que se coloca en el glucómetro y posteriormente con la ayuda de una aguja se extrae una gota de sangre de un dedo del paciente y es colocada en la tira como se observa en la Figura 4, para unos instantes después obtener los resultados.



Figura 4 Toma de muestra de sangre y análisis de los niveles de glucosa de manera autónoma.

Fuente: (Rodríguez, 2014)

2.1.2.3.1. *Glucómetro.*

Un glucómetro es un instrumento electrónico destinado a la medición de los niveles de glucemia en la sangre, los resultados de este análisis se muestran en cuestión de segundos y es práctico ya que una persona diabética puede realizarse el examen de glucosa en su hogar sin necesidad de un médico especialista o de acudir a un centro de salud. Para realizar el análisis de glucosa se necesitan tres elementos: glucómetro, tiras reactivas y lanceta.

2.1.2.3.2. *Lanceta.*

La lanceta es un instrumento médico para realizar punciones y obtener muestras de sangre, es similar a un bisturí, pero tiene una punta pequeña y afilada en forma de aguja.

2.1.2.3.3. *Tiras reactivas.*

Las tiras reactivas de la actualidad son diseñadas para que sean utilizadas una sola vez en dispositivos medidores electroquímicos (glucómetros o test de embarazo), para el caso de la medición de glucemia estas tiras reactivas constan en uno de sus extremos de una encima conocida como glucosa oxidasa que al contacto con la glucosa presente en la sangre desencadena una reacción electroquímica que genera pequeños impulsos eléctricos inofensivos que son captados por el glucómetro y traducidos en nivel de azúcar en la sangre generalmente en miligramo por decilitro (mg/dl) (Vive con Diabetes, 2016). En la Figura 5 se observa los componentes de una tira reactiva y su distribución.

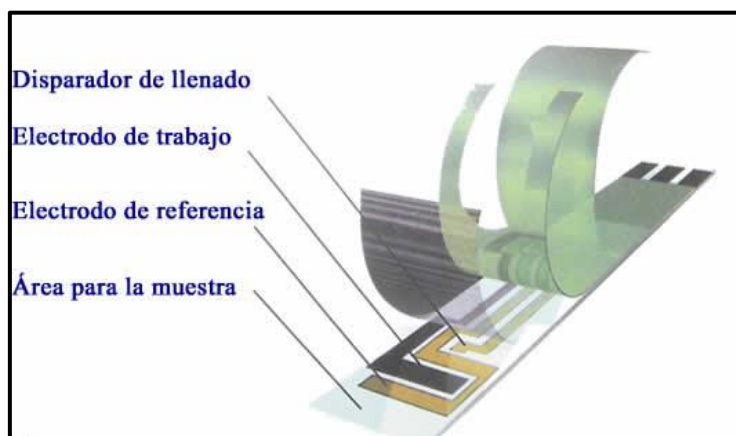


Figura 5 Componentes de una tira reactiva para la toma de muestras de los niveles de glucosa.

Fuente: (Vive con Diabetes, 2016)

2.1.2.4. *Ventajas y desventajas de los métodos para la medición de glucemia.*

Según la investigación realizada por Roque Cardona: “El costo de un monitoreo continuo y adecuado de la diabetes independientemente del equipo de medición utilizado es mucho menor al costo que implicaría el tratamiento y cuidado de enfermedades y complicaciones derivadas de la enfermedad”. A continuación, en la Tabla 1 se indican las ventajas y desventajas que tienen los métodos de análisis de glucosa.

Tabla 1 *Comparativa de las ventajas y desventajas de los métodos citados de control y monitoreo de la glucosa en la sangre*

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--|--|---|
| Monitoreo continuo de glucosa | <ul style="list-style-type: none"> • Aporta lecturas continuas de los análisis de glucemia • Informan tendencias de aumento o decremento crítico en la glucemia • Genera mensajes de alerta • Pueden ser sincronizados a una bomba de insulina para la prevención de hipoglucemia | <ul style="list-style-type: none"> • No sustituyen de manera absoluta los controles de glucemia a nivel capilar • Es necesario tener un amplio conocimiento en la utilización de estos sensores para poder ser utilizados e implantados • Su costo es muy alto y no existen muchos laboratorios que trabajen en este sistema |
| Monitoreo flash de glucosa | <ul style="list-style-type: none"> • En relación con el monitoreo continuo de glucosa su costo es menor • Genera alarmas de aumento o decremento en los niveles de glucemia • Puede producir molestias locales • Facilita la adaptación de las bombas de insulina dependiendo de los datos generados por cada paciente | <ul style="list-style-type: none"> • No sustituye los controles de glucosa a nivel capilar • El tiempo de vida del filamento es de tan solo unos días y su costo es muy elevado • Se debe tener conocimiento en el uso de esta tecnología • Puede producir molestias locales • No existe un programa de descarga de datos universal obligando al profesional de salud manejarse y adaptarse al programa de cada fabricante |
| Monitoreo autónomo en casa o centros de salud | <ul style="list-style-type: none"> • Los resultados de las mediciones son los niveles de glucosa en la sangre • Monitoreo mediante un glucómetro y tiras reactivas es la medición de menor costo en la actualidad • Ayuda a prevenir y detectar hiper e hipoglucemias • Facilita el ajuste en el tratamiento prescrito | <ul style="list-style-type: none"> • En raras ocasiones las mediciones de glucemia no son exactas • Produce dolor o molestia en la zona de punción • Frecuentemente los pacientes prescinden la necesaria visita con el médico y lo reemplazan por la automedición |

Fuente: (Cardona Hernández, 2016)

El desarrollo en cuanto a sistemas de monitoreo de los niveles de azúcar en la sangre da paso a nuevas investigaciones que permitan al paciente diabético mejorar su estilo de vida, es muy razonable que en el transcurso de los próximos años se observe en el mercado páncreas artificiales que dosifiquen la cantidad de insulina necesaria, todo esto gracias a el estudio de nuevas técnicas y tecnologías en favor de sistema sanitario del Ecuador y todo el mundo.

2.1.3. Horario de las mediciones de glucosa en la sangre.

Los niveles de glucemia en la sangre varían con el transcurso del día, estos resultados pueden elevarse o ser más bajos dependiendo si el paciente ha ingerido o no alimentos, generalmente los niveles normales de azúcar en la sangre en pacientes diabéticos son los que se muestran en la Tabla 2 (American Diabetes Association, 2015). La frecuencia con la cual se deben realizar los análisis depende del estado de salud de la persona diabética, nivel de insulina que se está tomando o inyectando, plan de alimentación, ejercicio, etc., y son asignados según el criterio del médico tratante.

Las mediciones de glucemia en la sangre pueden ser en:

- Ayuno o antes de consumir alimentos “Preprandial”
- Dos horas después de consumir alimentos “Postprandial”
- A la hora de acostarse

Tabla 2 *Frecuencia de las mediciones de glucemia en la sangre y valores normales*

| Horario para la prueba | En ayunas, antes del desayuno | 1-2 Horas después del desayuno | Antes de consumir alimentos (Almuerzo y cena) | 1-2 Horas después de consumir alimentos | Hora de acostarse | 3 a.m |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--------------------------|--------------|
| Rangos a los cuales apuntar | 80-120 mg/dl | <180 mg/dl | 80-120 mg/dl | <180 mg/dl | 100-140 mg/dl | 70-110 mg/dl |

Fuente: (American Diabetes Association, 2015)

2.1.3.1. Valores referenciales de los niveles de glucosa en la sangre.

Según un estudio realizado por la Cruz Roja Española los niveles referenciales de los valores de glucosa en la sangre son los que se indican en la Tabla 3, estos valores fueron obtenidos de un muestreo dentro de un grupo de pacientes diabéticos y tomado la media de los resultados de las distintas mediciones dependiendo del horario para crear un valor que pueda servir como referencia y a la vez rigiéndose con valores aceptados por la Unión Internacional de la Diabetes (Cruz Roja, 2018).

Las unidades de los niveles de glucosa de la siguiente tabla son los miligramos por decilitro mg/dl.

Tabla 3 *Valores referenciales para los estados de hipoglucemia e hiperglucemia en pacientes diabéticos, dependiendo de la hora en la cual se realizó el análisis de glucosa.*

| Horario | Alerta- Hipoglucemia | Precaución- Nivel Bajo | Ideal | Controlado | Precaución- Nivel Alto | Alerta Hiperglucemia |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Ayuno- Prepandial | <65 | Entre 65-70 | Entre 70-110 | Entre 110-120 | Entre 120-145 | >145 |
| Postpandial | <65 | Entre 65-70 | Entre 70-120 | Entre 120-180 | Entre 180-250 | >250 |
| Antes de dormir | <65 | Entre 65-70 | Entre 70-100 | Entre 100-180 | Entre 180-200 | >200 |
| Madrugada | <65 | Entre 65-70 | Entre 70-80 | Entre 80-110 | Entre 110-130 | >130 |

Fuente: (Cruz Roja, 2018)

2.1.4. Atención integral de la diabetes.

Las personas diagnosticadas con diabetes pueden vivir una existencia sana y extensa si la enfermedad es detectada a tiempo y bien controlada.

En países de tercer mundo en donde la capacidad de ingresos en el hogar es mediana a baja el acceso a medicina esencial (entre estas la insulina que puede salvar vidas) y el acceso a tecnologías de salud básicas lastimosamente es muy limitado. Un servicio de salud estructurado adecuadamente tiene la capacidad de brindar las atenciones e intervenciones necesarias, así como un rastreo continuo indispensable para que una persona diabética pueda llevar una vida relativamente sana, a pesar de padecer esta enfermedad crónica y progresiva (Williams, 2015).

En aquellos países en los cuales se han recogido datos acerca de la enfermedad se ha podido transformar estos datos en información útil con la cual se tiene la capacidad de analizar tendencias en la diabetes (Harding, y otros, 2014) y está comprobado que se ha disminuido en las tasa de complicaciones derivadas de la diabetes como lo son: pérdida de la vista, amputaciones de los miembros inferiores, enfermedades cardiovasculares, coma diabético entre otras.

El control de los niveles de glucemia en diabéticos es una función primordial ya que de esto depende la prevención y/o aparición de complicaciones tanto en la diabetes tipo 1 como en la del tipo 2, está comprobado de manera sólida que existe una relación entre un control intensivo de la glucosa y la incidencia de la retinopatía y neuropatía diabéticas.

2.2. Internet de las cosas

El internet de las cosas o IoT, es un sistema de dispositivos informáticos interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que cuentan con identificadores únicos (UID) y la capacidad de transferir datos a través de una red sin requerir una interacción humano-a-humano humano-a-computadora.

2.2.1. Arquitectura de IoT.

Si bien cada sistema IoT es diferente, la base de cada arquitectura de Internet de las cosas, así como su flujo de proceso de datos general, es más o menos la misma y parte de un modelo de siete capas que se ilustra en la Figura 6.

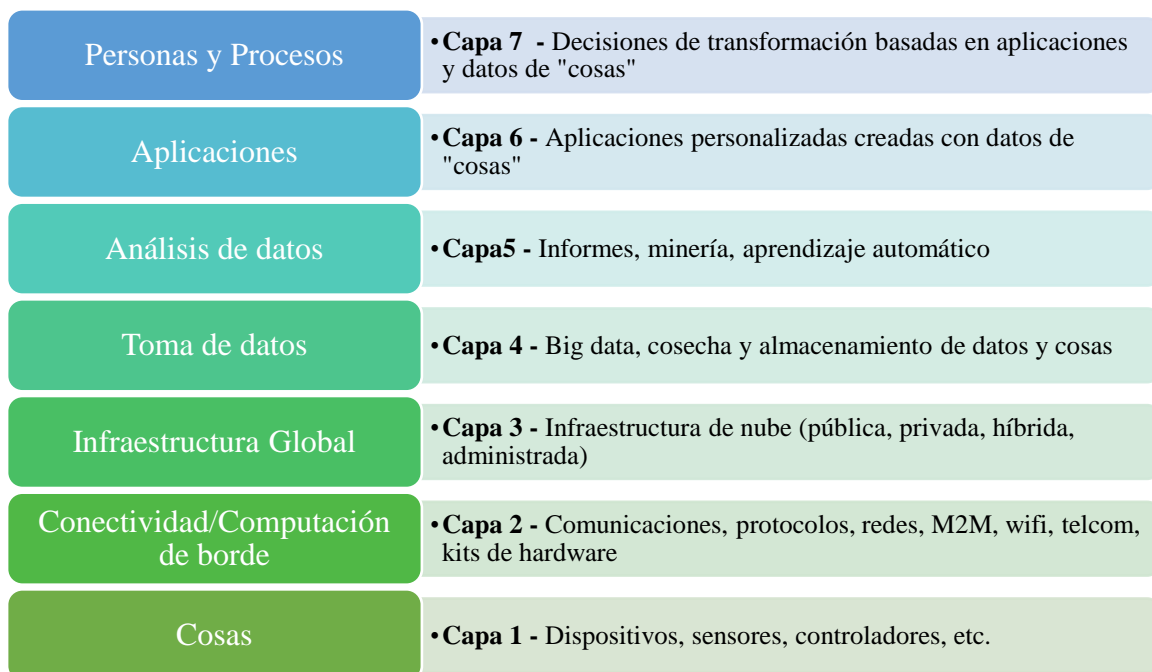


Figura 6 Modelo de siete capas de la arquitectura del Internet de las cosas

Fuente: (López Vicario & Vilajosana Guillen, 2017)

Este modelo de siete capas se puede simplificar en un modelo más sencillo de cuatro capas que se describen a continuación:

En primer lugar, consiste en las cosas, que son objetos conectados a internet que, mediante sensores y actuadores integrados, pueden detectar el entorno que los rodea y recopilar información que luego pasa a las puertas de enlace de IoT. La siguiente etapa consiste en sistemas de adquisición de datos IoT y puertas de enlace que recopilan la gran masa de datos no procesados, los convierten en flujos digitales, los filtran y los procesan previamente para que estén listos para el análisis. La tercera capa está representada por dispositivos de borde responsables de un procesamiento adicional y un análisis mejorado de los datos. Esta capa también es donde las tecnologías de visualización y aprendizaje automático pueden intervenir. Después de eso, los datos se transfieren a centros de datos que pueden estar basados en la nube o instalados localmente. Aquí es donde los datos se almacenan, administran y analizan en profundidad para obtener información procesable (Pallavi & Smruti, 2017). En la Figura 7 se observa el modelo de la arquitectura de IoT de cuatro capas

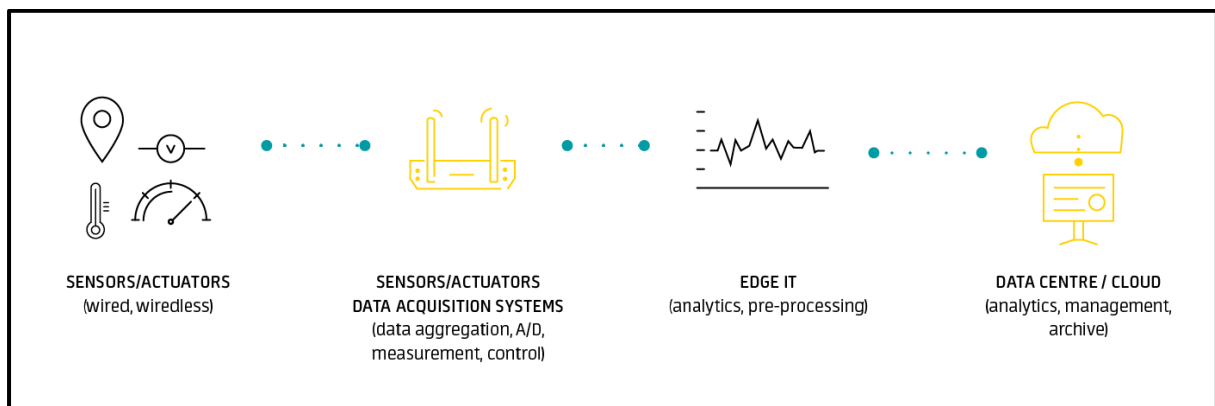


Figura 7 Modelo de cuatro capas de la arquitectura IoT

Fuente: (AVASYSTEM, 2019)

2.2.2. Protocolos para IoT.

Los protocolos de comunicación de IoT son modos de comunicación que protegen y garantizan una seguridad óptima a los datos que se intercambia entre los dispositivos conectados.

Los dispositivos IoT generalmente están conectados a Internet a través de una red IP (Protocolo de Internet). Sin embargo, dispositivos como Bluetooth y RFID permiten que los dispositivos IoT se conecten localmente. En estos casos, hay una diferencia en potencia, rango y memoria utilizada. La conexión a través de redes IP es relativamente compleja, requiere mayor memoria y energía en los dispositivos IoT, mientras que el alcance no es un problema. Por otro lado, las redes que no son IP demandan relativamente menos energía y memoria, pero tienen una limitación de rango (Uppalapati, 2019). En lo que respecta a los protocolos o tecnologías de comunicación IoT, se puede considerar una combinación de redes IP y no IP dependiendo del uso.

Los protocolos y estándares de IoT pueden clasificarse ampliamente en dos categorías separadas.

- Protocolos de red IoT: HyperText Transfer Protocol (HTTP), Long Range Wide Area Network (LoRaWan), Bluetooth, ZigBee.
- Protocolos de datos de IoT: Message Queue Telemetry Transport (MQTT), Constrained Application Protocol (CoAP), Advanced Message Queuing Protocol (AMQP), Machine-to-Machine (M2M), Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP).

Para el desarrollo de este proyecto se analizará los protocolos de red IoT específicamente el protocolo HTTP, no se utilizarán los protocolos de datos de IoT porque proporcionan comunicación punto a punto con el hardware y el lado del usuario sin ninguna conexión a Internet. Y uno de los objetivos del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa es tener una salida de la información a la red.

2.2.2.1. Protocolos de red IoT.

Los protocolos de red IoT se utilizan para conectar dispositivos a través de la red. Estos son el conjunto de protocolos de comunicación que se usan típicamente en Internet. Al usar los protocolos de red IoT, se permite la comunicación de datos de extremo a extremo dentro del alcance de la red. Para el desarrollo de este proyecto se va a utilizar el protocolo HTTP, debido a que cumple con los requerimientos del sistema.

- HTTP: Este es el mejor ejemplo de protocolo de red IoT. Este protocolo ha formado la base de la comunicación de datos a través de la web. Utilizado más comúnmente en el desarrollo de dispositivos IoT que requieren que muchos datos tengan que publicarse. El funcionamiento de http se basa en un esquema de petición-respuesta entre el servidor web y el “agente usuario”, que realiza la solicitud de transmisión de datos.

2.2.3. Tecnologías de comunicación para IoT.

La conectividad es la clave para implementaciones exitosas de IoT, pero debido a sus numerosos casos de uso y aplicaciones de IoT no existe una solución de comunicación única para todos.

Cada tecnología tiene sus propias fortalezas y debilidades cuando se trata de requisitos de alcance, escalabilidad, costo y red, por lo tanto, son adecuadas dependiendo de los diferentes entornos y escenarios. A continuación, se indican algunos tipos de tecnologías de comunicación para IoT. En la Figura 8 se aprecia los tipos de tecnologías su alcance y velocidad de transmisión.

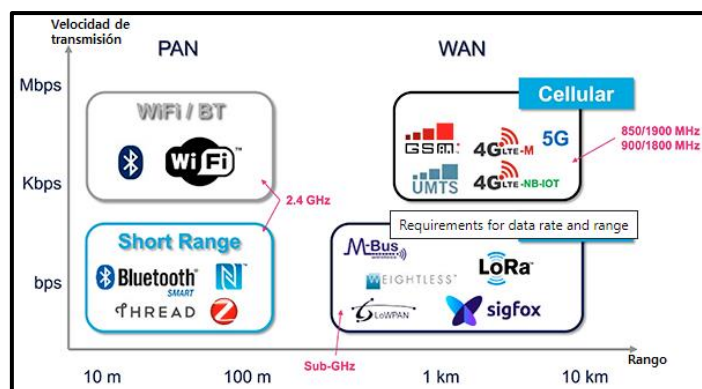


Figura 8 Tecnologías de comunicación para IoT su velocidad y distancia que pueden alcanzar.

Fuente: (Evanczuk, 2018)

Cada sistema y aplicación IoT tiene su propio conjunto único de requisitos de red. Desde el alcance, la calidad del servicio y la seguridad hasta el consumo de energía y la administración de la red, es importante sopesar estos factores al seleccionar la mejor tecnología inalámbrica para cada caso de uso de IoT (EFOR, 2018). En la Tabla 4 se realiza una comparación de los sectores y aplicativos de las tecnologías mencionadas.

- Alta aplicabilidad
- Moderada aplicabilidad

Tabla 4 *Tecnologías de IoT y sus campos de aplicación*

| | LPWAN | Celular | Zigbee | BLE | Wi-Fi | RFID |
|---------------------------------------|-------|---------|--------|-----|-------|------|
| IoT Industrial | • | ○ | ○ | | | |
| Mediciones inteligentes | • | | | | | |
| Ciudades inteligentes | • | | | | | |
| Edificios inteligentes | • | | ○ | ○ | | |
| Hogar inteligente | | | • | • | • | |
| Portables | ○ | | | • | | |
| Vehículo conectado | | • | | | ○ | |
| Salud Conectada | | • | | • | | |
| Comercio minorista inteligente | | ○ | | • | ○ | • |
| Logistics & Asset Tracking | ○ | • | | | | • |
| Agricultura Inteligente | • | | | | | |

Fuente: (EFOR, 2018)

2.2.4. IoT en el sector de la salud.

El Internet de las cosas tiene una importancia y aplicación primordiales dentro del conjunto de técnicas sanitarias. Teniendo en cuenta las tecnologías de salud, una gran cantidad de dispositivos generan una gran cantidad de datos relacionados con un paciente. Asimilar los datos y usarlos para generar inteligencia es una de las tareas principales en un entorno inteligente, IoT es de inmensa importancia ya que los datos obtenidos de un paciente y analizados facilitarían el tratamiento con más eficiencia y un conocimiento integral. Almacenar virtualmente los datos del paciente y hacerlos accesibles de manera ubicua para el personal de salud encargado sería el primer paso hacia el intercambio mutuo de conocimientos (Chatterjee & Armentano, 2016).

Otro aspecto importante del uso de estos datos conectados es el diseño de un sistema inteligente de soporte de decisiones clínicas que ayudarían a los médicos en todas las formas posibles durante la fase de tratamiento.

2.2.5. El internet de las cosas aplicado a la diabetes.

Con el fin de ayudar a las personas diabéticas a llevar vidas más seguras e independientes, varias compañías de atención médica han dedicado su poder de ingeniería al desarrollo de equipos de monitoreo y, por supuesto, aplicaciones para acompañarlos.

Una forma de ayudar a los pacientes diabéticos y a otros con necesidades de atención médica a nivel crónico o terminal, a ser más independientes es utilizar el espacio en constante expansión del Internet de las cosas (IoT). En los últimos años ha habido un rápido crecimiento en el espectro de costos, disponibilidad y tipos de dispositivos IoT. Esto brinda a todos un espacio en constante expansión para explorar creativamente formas potenciales de mejorar la calidad de vida (Quintessence, 2018). Las metas planteadas en el campo de la diabetes a nivel de monitoreo de glucemia son las siguientes:

- Monitorear el nivel de glucosa (azúcar en la sangre), para asegurarse que no sea demasiado bajo o alto.
- Conectarse a una plataforma de análisis para analizar los resultados de salud a lo largo del tiempo y establecer patrones/ disparadores para niveles anormales.
- Crear como alternativa una alarma incorporada para que se notifique a la(s) persona(s) adecuada(s) en caso de un pico o depresión en el nivel de glucosa.
- Configurar el sistema de alarma que alertará en el umbral apropiado.

2.2.5.1. El páncreas artificial semiautomático.

Las bombas de insulina y los sensores de glucosa han existido por algún tiempo y han mejorado enormemente el tratamiento de la diabetes. Aunque estos dos logros en tecnología médica son confiables y mejoran enormemente la calidad de vida de un diabético, todavía se ven como una reliquia de la década de los 2000. Los dispositivos son voluminosos y difíciles de operar: carecen del uso de inteligencia artificial y de la intuición de un teléfono inteligente moderno y compacto (Maihart, 2018).

Gracias a la comunidad de ciencia y tecnología, hoy ya es posible crear un páncreas semiautomático a partir de una bomba de insulina y un sensor de glucosa. Con los dispositivos y una computadora como centro de control, es posible crear un circuito de control cerrado que regule la tasa basal de la bomba de insulina en función de los comentarios del sensor de glucosa. En la Figura 9 se puede observar el ciclo del circuito de un páncreas artificial.

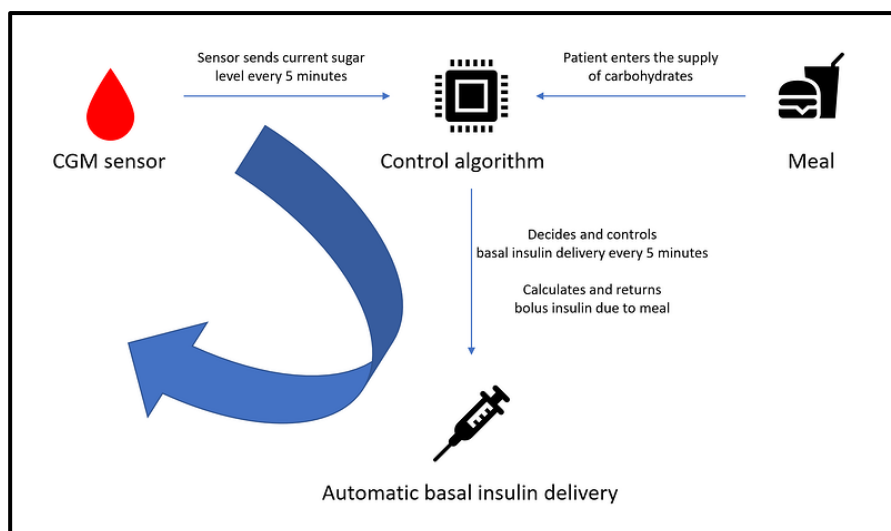


Figura 9 Representación simplificada de un circuito cerrado de monitoreo de los niveles de glucosa de un páncreas artificial.

Fuente: (Maihart, 2018)

2.2.5.2. Documentación automática.

Los diabéticos necesitan una adecuada documentación y registro de los análisis de glucemia para que también se pueda ver el éxito del tratamiento, porque sin el curso de la curva de azúcar en la sangre, el conocimiento de la nutrición y la medicación, el diabetólogo tratante no puede ajustar un tratamiento adecuado a su paciente. Para este propósito, existen soluciones de software como Nightscout, que pueden integrarse en el ecosistema de un circuito cerrado que no es otra cosa que sacar del medidor de glucosa los resultados y enviarlos a registro. Se pueden generar alarmas para situaciones específicas como: si el nivel es demasiado alto, es necesaria una corrección con insulina (hiperglucemia). Si el nivel es demasiado bajo, se reduce la dosificación de insulina (hipoglucemia) para que el nivel de azúcar regrese al rango objetivo. Nightscout se ejecuta como una aplicación web en la nube y se puede ejecutar de forma gratuita en Azure y Heroku.



Figura 10 Captura de pantalla del Software Nightscout para la documentación automática de los resultados de glucosa en la sangre.

Fuente: (Maihart, 2018)

Los servicios web de Nightscout sirven como una base de datos de diabetes y pueden ser utilizados por todos los sistemas de circuito cerrado como se muestra en la Figura 10. Nightscout también funciona con aplicaciones que solo registran los niveles de azúcar en la sangre y no controlan bombas de insulina como Spike o xDrip. Esto significa que un paciente que viaja con tiras reactivas y un glucómetro puede registrar sus datos sin espacios (Maihart, 2018).

2.3. Aprendizaje automático

El aprendizaje automático conocido comúnmente como Machine Learning es la ciencia de hacer que las computadoras aprendan y actúen como lo hacen los humanos y mejoren su aprendizaje con el tiempo de manera autónoma, al proporcionarles datos e información en forma de observaciones e interacciones con el mundo real (Obermeyer & Emanuel, 2016).

2.3.1. Algoritmos de aprendizaje automático.

Los algoritmos de aprendizaje automático son programas que pueden aprender de los datos y mejorar a partir de la experiencia, sin intervención humana. Las tareas de aprendizaje pueden

incluir aprender de la función que asigna la entrada a la salida, aprender la estructura oculta en los datos no etiquetados; o “aprendizaje basado en instancias” (DATAQUEST, 2019).

Hay tres tipos de algoritmos de aprendizaje automático:

- Algoritmos de aprendizaje supervisado
- Algoritmos de aprendizaje no supervisado
- Aprendizaje por refuerzo

2.3.1.1. Algoritmos de aprendizaje supervisado.

El aprendizaje supervisado utiliza datos de entrenamiento etiquetados para aprender la función de mapeo que convierte las variables de entrada (X) en la variable de salida (Y). En otras palabras, resuelve f en la siguiente ecuación:

$$Y = f(x) \quad (1)$$

Esto permite generar salidas con precisión cuando se dan nuevas entradas. Entre las técnicas de aprendizaje supervisado están:

2.3.1.1.1. Regresión Lineal.

En el aprendizaje automático, se tiene un conjunto de variables de entrada (x) que se utilizan para determinar una variable de salida (y). Existe una relación entre las variables de entrada y la variable de salida como se observa en la Figura 11.

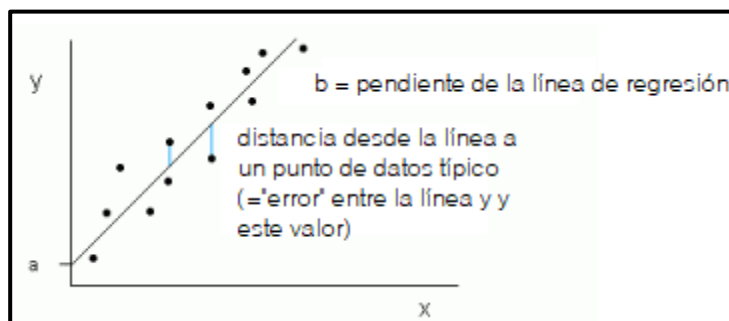


Figura 11 Representación de datos en el plano de una regresión lineal, como una línea en forma de $y = a + bx$.

Fuente: (Schapire, 2017)

2.3.1.1.2. Regresión Logística.

Las predicciones en la regresión lineal son valores continuos (ejemplo: nivel de lluvia en cm), las predicciones de regresión logística son valores discretos (ejemplo, si un estudiante aprobó / reprobó) después de aplicar una función de transformación.

La regresión logística es más adecuada para la clasificación binaria: conjuntos de datos donde $y=0$ o 1 , donde 1 denota la clase predeterminada. Por ejemplo, al predecir si un nuevo evento ocurrirá o no, solo hay dos posibilidades: que ocurra (lo que se denota como 1) o que no ocurra (0).

2.3.1.1.3. Árbol de decisión.

Modelan la toma de decisiones basándose en valores actuales reales de los atributos que tienen los datos la estructura se indica en la Figura 12. Es utilizado generalmente para la categorización de información, modelando y bifurcando caminos y la probabilidad de ocurrencia de estos para mejorar su precisión. Una vez diseñados los árboles de decisión se ejecutan rápidamente para obtener los resultados. Entre los algoritmos más usados de árbol de decisión están: Árboles de Clasificación y Regresión (CART), Decisión de árbol condicional, Random Forest.

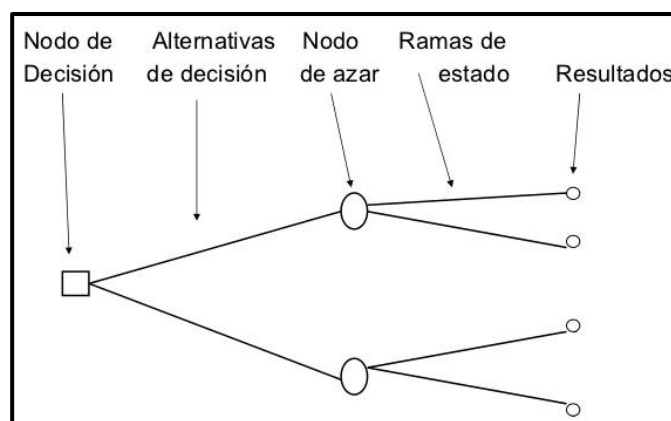


Figura 12 Estructura de un árbol de decisión para la minería de datos.

Fuente: (DATAQUEST, 2019)

2.3.1.1.4. *Naïve Bayes.*

Para calcular la probabilidad de que ocurra un evento, dado que ya ha ocurrido otro evento, se utiliza el Teorema de Bayes. Para calcular la probabilidad de que la hipótesis (h) sea cierta, dado el conocimiento previo (d), se utiliza el Teorema de Bayes de la siguiente manera:

$$P(h/d) = \frac{P(d/h)P(h)}{P(d)} \quad (2)$$

Donde:

- $P(h/d)$ = Probabilidad posterior. La probabilidad de que la hipótesis h sea verdadera, dado los datos d, donde $P(h/d) = P(d1/h) P(d2/h) \dots P(dn/h) P(d)$
- $P(d/h)$ = Probabilidad de los datos d dado que la hipótesis h sea verdadera
- $P(h)$ = Probabilidad previa de la clase. La probabilidad de que la hipótesis h sea verdadera (independientemente de los datos)
- $P(d)$ = Probabilidad previa del predictor. Probabilidad de los datos (independientemente de la hipótesis)

Este algoritmo se llama “naive” o ingenuo en español, porque supone que todas las variables son independientes entre sí, lo cual es una suposición ingenua en los ejemplos del mundo real.

2.3.1.1.5. *KNN.*

El algoritmo K-Nearest Neighbours o algoritmo de vecino más cercano utiliza todo el conjunto de datos como conjunto de entrenamiento, en lugar de dividir el conjunto de datos en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba.

Cuando se requiere un resultado para una nueva instancia de datos, el algoritmo KNN recorre todo el conjunto de datos para encontrar las instancias k más cercanas a la nueva instancia, o el número k de instancias más similares al nuevo registro y luego genera la media de los resultados (para un problema de regresión) o el modo de (clase más frecuente) para un problema de clasificación. El valor k es especificado por el usuario. La similitud entre

instancias se calcula utilizando medidas como la distancia euclidiana y la distancia de Hamming. En la Figura 13 se puede observar cómo funciona la selección del vecino más cercano.

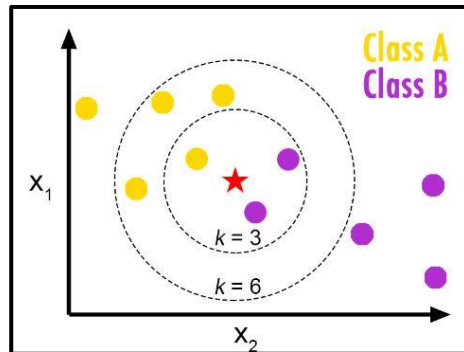


Figura 13 Vecino más cercano interpretación en el plano cartesiano.

Fuente: (Genesis, 2018)

2.3.1.2. Algoritmos de aprendizaje no supervisado.

Los modelos de aprendizaje sin supervisión se utilizan cuando solo se tienen las variables de entrada (X) y no hay variables de salida correspondientes. Utilizan datos de entrenamiento no etiquetados para modelar la estructura subyacente de los datos.

Uno de los algoritmos de aprendizaje no supervisado es el algoritmo Apriori se usa en una base de datos transaccional para extraer conjuntos de elementos frecuentes y luego generar reglas de asociación. Se utiliza popularmente en el análisis de la cesta de compra, donde se comprueban las combinaciones de productos que con frecuencia se producen en la base de datos. En general, escribimos la regla de asociación para “si una persona compra el artículo X, entonces compra el artículo Y” como: $X \rightarrow Y$.

Ejemplo: Si una persona compra leche y azúcar, es probable que compre café en polvo. Esto podría escribirse en forma de una regla de asociación como: {leche, azúcar} \rightarrow café en polvo. Las reglas de asociación se generan después de cruzar el umbral de apoyo y confianza (Pratibha, Megha , & Sharada Patil, 2018).

2.3.1.3. Ventajas y desventajas de los algoritmos supervisados de aprendizaje automático.

Básicamente, hay diferentes formas en que un algoritmo puede modelar un problema. La manera en la cual se organizan los algoritmos de aprendizaje automático es muy útil, porque obliga a pensar en los roles de los datos de entrada y el proceso de preparación del modelo. Además, para seleccionar uno que sea el más apropiado para obtener el mejor resultado dependiendo del problema planteado. En la Tabla 5 se muestra una comparativa de los pros y contras de los algoritmos de aprendizaje automático supervisado.

Tabla 5 Pros y contras de los algoritmos supervisados para el aprendizaje automático

| | Ventajas | Desventajas |
|----------------------------|--|---|
| Regresión lineal | <ul style="list-style-type: none"> • Método extremadamente simple, fácil e intuitivo de usar y entender. • Puede ser usado por personas con conocimientos básicos de matemáticas • Funciona en la mayoría de los casos | <ul style="list-style-type: none"> • Solo modela las relaciones entre variables dependientes e independientes que son lineales, a veces la relación lineal entre estas es incorrecta. • Es muy sensible a las anomalías de los datos • Si el número de parámetros no tiene un número de muestras disponibles entonces comienza a modelar ruido en lugar de la relación entre las variables |
| Regresión logística | <ul style="list-style-type: none"> • Puntuaciones de probabilidad convenientes para observaciones • Implementaciones eficientes • Dado que sus variables explicativas son binarias, debería poder dividir su espacio de entrada por resultado bastante bien | <ul style="list-style-type: none"> • No funciona bien cuando el espacio de función es demasiado grande • No maneja bien una gran cantidad de características • Se basa en transformaciones para características no lineales • Se basa en datos completos |
| Árboles de decisión | <ul style="list-style-type: none"> • Reglas de decisión intuitivas • Puede manejar características no lineales • Tiene en cuenta las interacciones variables | <ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de entrenamiento muy sesgado (Bosques aleatorios “Random forest” puede ser una alternativa de rescate) • Sin puntaje de clasificación como resultado directo |
| Naïve Bayes | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de entrenamiento, este método solo requiere una pasada en todo el conjunto de datos para calcular las probabilidades posteriores • Tiempo de predicción es muy eficiente | <ul style="list-style-type: none"> • Si la variable categórica tiene una categoría (en el conjunto de datos de prueba), que no se observó en el conjunto de entrenamiento, el modelo asignará una probabilidad cero y no podrá hacer una predicción. |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Transparencia, es fácil entender qué características influyen en las predicciones | <ul style="list-style-type: none"> • Limitación: Naive Bayes es la suposición de predictores independientes. En la vida real, es casi imposible que se obtengan un conjunto de predictores que sean completamente independientes |
| <ul style="list-style-type: none"> • KNN es bastante intuitivo y simple • KNN no tiene supuestos es un algoritmo no paramétrico, los modelos paramétricos como la regresión lineal tienen muchos supuestos que deben cumplirse antes de implementar el algoritmo • KNN no construye explícitamente ningún modelo, simplemente etiqueta el nuevo aprendizaje basado en la entrada de datos a partir de datos históricos | <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionalidad: KNN funciona bien con un pequeño número de variables de entrada, pero a medida que crece el número de variables el algoritmo empieza a fallar. • Los datos desequilibrados causan problemas, si la mayoría de etiquetas pertenecen a un grupo por ejemplo “A” entonces el modelo da preferencia a “A” • Este algoritmo elige a los vecinos en función de criterios de distancia |

Fuente: (Schapire, 2017)

2.4. Minería de datos

La minería de datos es un proceso utilizado en varios campos como: la industria, medicina, tecnología, etc., para convertir datos sin procesar en información útil. Mediante el uso de un software destinado a buscar patrones en lotes de datos, se puede aprender más sobre la fuente de información y desarrollar estrategias de manejo de la misma. La minería de datos depende de la recolección efectiva de datos, el almacenamiento y procesamiento de la computadora.

2.4.1. Descubrimiento de conocimiento en bases de datos.

El término Descubrimiento de conocimiento en bases de datos o conocido en inglés como Knowledge Discovery in Databases (KDD) para abreviar, se refiere al proceso de búsqueda de conocimiento en datos y enfatiza la aplicación de métodos particulares de minería de datos. Es de interés para los investigadores en aprendizaje automático, reconocimiento de patrones, bases de datos, estadísticas, inteligencia artificial, adquisición de conocimiento para sistemas expertos y visualización de datos.

El objetivo unificador del proceso KDD es extraer conocimiento de los datos en el contexto de grandes bases de datos (Nwagu, Omankwu, & Inyama, 2017). Esto se lo realiza mediante

el uso de minería de datos (algoritmos) para extraer (identificar) lo que considera conocimiento, de acuerdo con las especificaciones de medidas y umbrales, utilizando una base de datos junto con cualquier preprocesamiento, submuestreo y transformaciones necesarias de esa BDD.

2.4.1.1. Pasos del proceso KDD.

El proceso general de búsqueda e interpretación de patrones a partir de datos implica la aplicación repetida de una serie de pasos, en la Figura 14 se observa un bosquejo general del proceso de KDD.

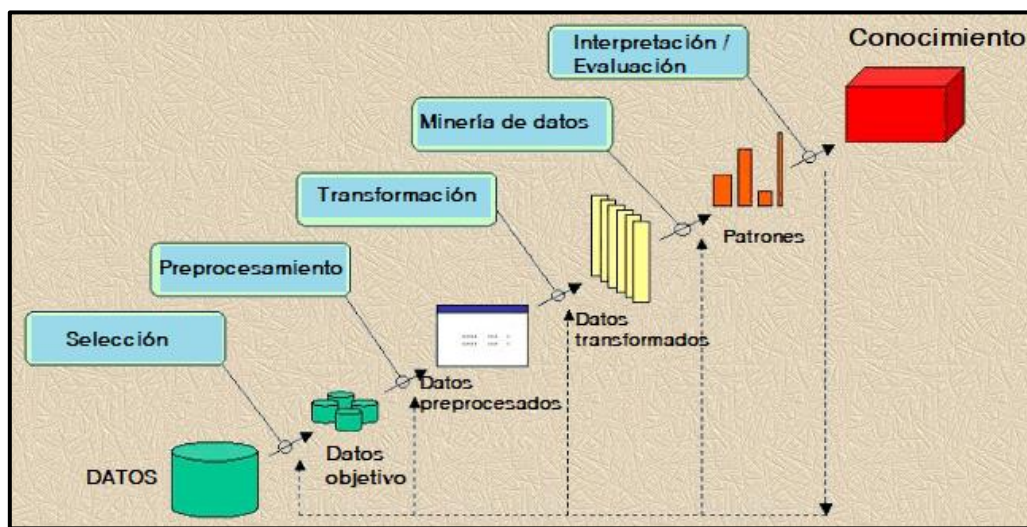


Figura 14 Proceso de tratamiento de datos utilizando la metodología KDD.

Fuente: (Nwagu, Omankwu, & Inyama, 2017)

Estos patrones se consideran nuevos conocimientos. Los pasos involucrados en todo el proceso KDD son:

1. Identificar el objetivo del proceso KDD desde la perspectiva del cliente o usuario final.
2. Comprender los dominios de aplicación involucrados y el conocimiento que se requiere.
3. Seleccionar un conjunto de datos de destino o un subconjunto de muestras de datos en el que se realiza el descubrimiento.
4. Limpiado y preprocesamiento de los datos al decidir estrategias para manejar los campos faltantes y alterar los datos según los requisitos.

5. Simplificar los conjuntos de datos eliminando variables no deseadas. Luego, analice las funciones útiles que se pueden utilizar para representar los datos según el objetivo o la tarea.
6. Hacer coincidir los objetivos de KDD con los métodos de minería de datos para sugerir patrones ocultos.
7. Elegir el algoritmo de minería de datos. Este proceso incluye decidir qué parámetros pueden ser apropiados para el proceso general de KDD.
8. Buscar patrones de interés en una forma de representación particular, que incluye reglas de clasificación o árboles, regresión y agrupación.
9. Interpretar el conocimiento esencial de los patrones minados.
10. Usar el conocimiento e incorporarlo a otro sistema para acciones adicionales
11. Documentación para las partes interesadas. (Berendet, y otros, 2016)

2.5. Metodologías para el diseño de proyectos tecnológicos

Según (Osetskyi, 2017) una de las nociones básicas de la construcción de proyectos tecnológicos es el modelo de ciclo de vida del desarrollo del proyecto. Este es un proceso continuo que comienza desde el momento en que se toma la decisión de lanzar el proyecto y finaliza en el momento de la explotación. Para realizar este proceso existen varias metodologías o modelos cada uno con sus características y debilidades.

No importa qué tipo de modelo de diseño de proyectos se haya elegido, cada uno de ellos tiene etapas básicas:

Etapa 1. Planificación y análisis de requisitos

Etapa 2. Diseño de la arquitectura del proyecto

Etapa 3. Desarrollo y programación

Etapa 4. Prueba

Etapa 5. Despliegue

La diversidad de modelos está predeterminada por la gran cantidad de tipos de productos, desde un sitio web simple a un sistema médico complejo. Si se toma uno de los modelos mencionados a continuación como base, en cualquier caso, debe ajustarse a las características del producto proyecto y empresa.

2.5.1. Modelo en cascada.

Este es un modelo en donde el flujo de los procesos va pasando paso a paso a través de las fases de análisis, proyección, realización, prueba, implementación y soporte. Este modelo incluye la ejecución gradual de cada etapa por completo como se ilustra en la Figura 15.

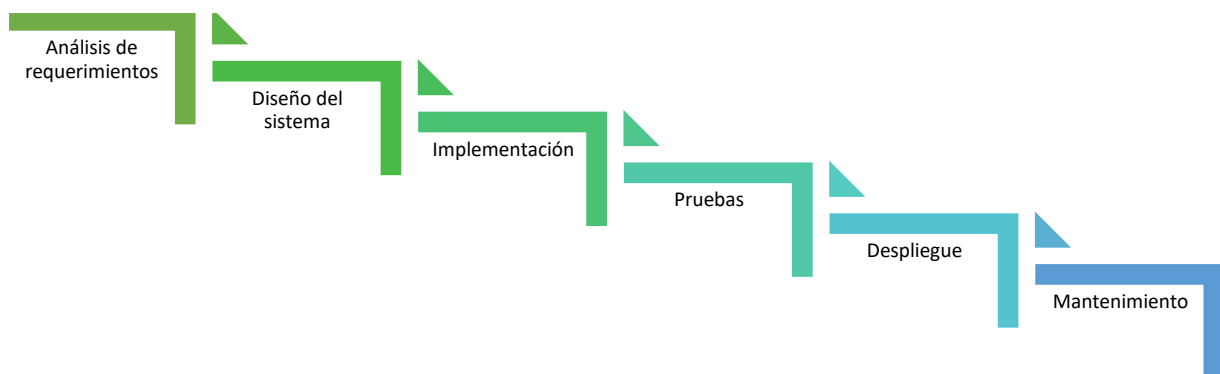


Figura 15 Esquema de los procesos involucrados en el modelo en cascada.

Fuente: (Osetskyi, 2017)

En la Tabla 6 se describen algunas de las ventajas y desventajas al usar el modelo de ciclo de vida de los proyectos en cascada.

Tabla 6 *Ventajas y desventajas del modelo en cascada*

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Simple de usar y entender | El proyecto está listo solo después de la última etapa |
| Simplicidad de gestión gracias a su rigidez: cada fase tiene un resultado definido y una revisión del proceso | Altos riesgos e incertidumbre |
| Las etapas de desarrollo van una a una | No es la mejor opción para proyectos complejos |
| Perfecto para pequeños y medianos proyectos cuando los requisitos son claros y no equívocos | Inapropiado para los proyectos a largo plazo |

| | |
|--|--|
| Fácil para clasificar y priorizar tareas | La integración se la realiza al final, lo que no brinda opciones para identificar el avance del problema |
|--|--|

Fuente: (Osetskyi, 2017)

2.5.1.1. Casos de uso del modelo en cascada.

- Los requisitos están documentados con precisión.
- La definición del producto es estable.
- La pila de tecnologías está predefinida, lo que hace que no sea dinámica.
- No hay requisitos ambiguos.
- El proyecto es corto.

2.5.2. Modelo iterativo.

El modelo Iterativo no necesita la lista completa de requisitos antes de que comience el proyecto, en la Figura 16 se esquematiza el proceso del ciclo de vida de proyectos con el modelo iterativo. El proceso de desarrollo puede comenzar con los requisitos de la parte funcional, que se puede ampliar más adelante. El proceso es repetitivo, lo que permite hacer nuevas versiones del producto para cada ciclo (Powell Morse, 2016). Cada iteración incluye el desarrollo de un componente separado del sistema y después de eso, este componente se agrega al funcional desarrollado anteriormente.



Figura 16 Esquema de los procesos involucrados en el método iterativo.

Fuente: (Powell Morse, 2016)

En la Tabla 7 se describen algunas de las ventajas y desventajas al usar el modelo de ciclo de vida de los proyectos iterativo.

Tabla 7 Ventajas y desventajas del modelo iterativo

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Algunas funciones pueden ser desarrolladas al comienzo del ciclo de vida de desarrollo | El modelo iterativo requiere más recursos que el modelo en cascada |

| | |
|---|--|
| El desarrollo paralelo puede aplicarse | Se requiere gestión constante |
| El progreso es fácil de medir | Pueden surgir problemas con la arquitectura o el diseño porque no se prevén todos los requisitos durante la breve etapa de planificación |
| Cuanto más corta es la iteración, más fáciles son las etapas de prueba y depuración | Mala elección para pequeños proyectos |
| Es más fácil controlar los riesgos y las tareas de alto riesgo se completan primero | El proceso es difícil de manejar |
| Los problemas y riesgos definidos dentro de una iteración pueden prevenirse en las próximas iteraciones | Los riesgos pueden no estar completamente determinados incluso en la etapa final del proyecto |
| Flexibilidad y disponibilidad para los cambios en los requerimientos | El análisis de riesgos requiere la participación de especialistas altamente calificados |

Fuente: (Powell Morse, 2016)

2.5.2.1. Casos de uso del modelo iterativo.

- Los requisitos para el producto final están estrictamente predefinidos.
- Aplicado a los proyectos a gran escala.
- La tarea principal está predefinida, pero los detalles pueden avanzar con el tiempo.

2.5.3. Modelo en espiral.

El modelo en espiral combina arquitectura y creación de prototipos por etapas. Es una combinación de los modelos iterativo y en cascada con la diferencia significativa en el análisis de riesgos. El tema principal del modelo en espiral es definir el momento adecuado para dar un paso hacia la siguiente etapa. Se recomiendan los marcos temporales preliminares como la solución a este problema. El cambio a la siguiente etapa se realiza de acuerdo con el plan, incluso si el trabajo en la etapa anterior aún no se ha realizado. El plan se presenta basándose en los datos estadísticos, recibidos durante los proyectos anteriores, incluso de la experiencia del desarrollador personal. En la Figura 17 se observa un esquema para la implementación de la metodología de gestión de proyectos en espiral (Osetskyi, 2017).

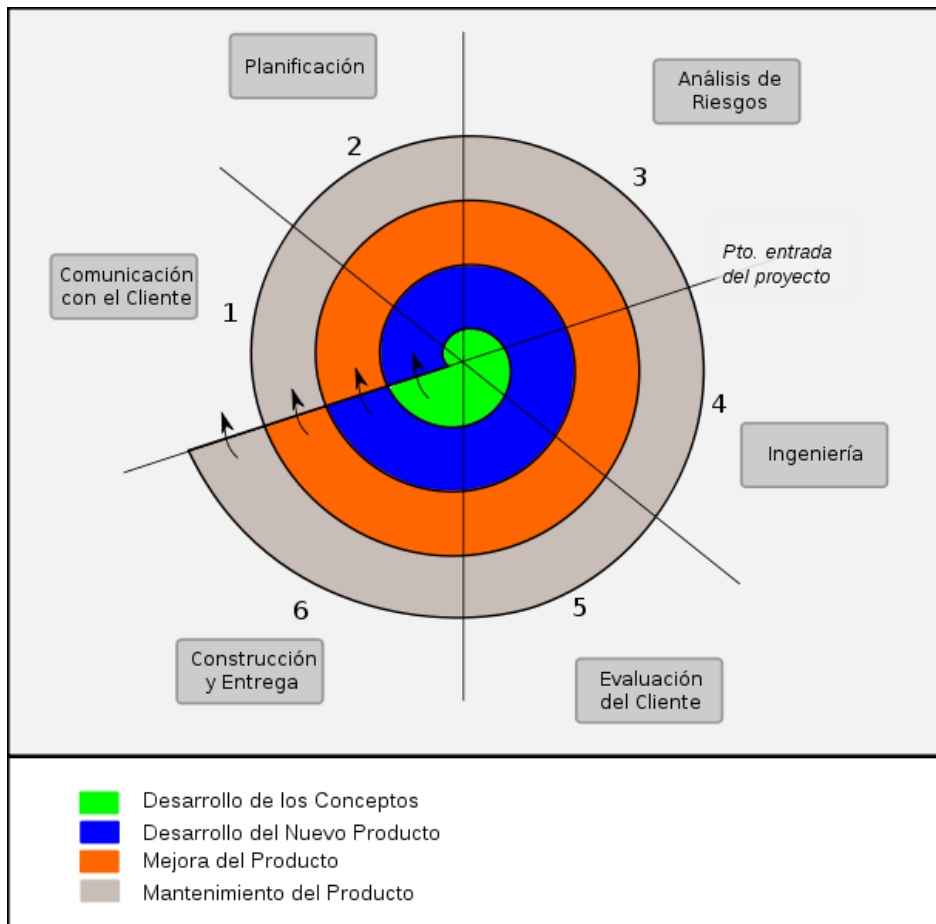


Figura 17 Esquema de los procesos involucrados en el modelo en espiral.

Fuente: (Kumar & Pushkar, 2017)

En la Tabla 8 se describen algunas de las ventajas y desventajas al usar el modelo de ciclo de vida de los proyectos en espiral.

Tabla 8 *Ventajas y desventajas del modelo en espiral*

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| El ciclo de vida está dividido en pequeñas partes, y si la concentración de riesgos es alta la fase puede terminar antes para tratar los tratamientos | Puede ser bastante caro |
| El proceso de desarrollo está documentado con precisión, pero escalable a los cambios | El análisis de riesgos requiere profesionales altamente calificados |
| La escalabilidad permite hacer cambios y agregar nuevas funcionalidades incluso en las etapas relativamente tardías | Puede ser ineficaz para proyectos pequeños |
| Cuanto antes se realice el prototipo de trabajo, antes los usuarios podrán señalar los efectos | Gran parte de las etapas intermedias requieren excesiva documentación |

Fuente: (Kumar & Pushkar, 2017)

2.5.3.1. Casos de uso del modelo en espiral.

- El cliente no está seguro de los requisitos.
- Se esperan ediciones importantes durante el ciclo de desarrollo.
- Los proyectos con riesgo de nivel medio o alto, donde es importante prevenir estos riesgos.
- El nuevo producto debería lanzarse en unas pocas etapas para tener suficientes comentarios de los clientes.

2.5.4. Modelo en V.

El modelo en forma de V es una expansión del modelo clásico en cascada y se basa en la etapa de prueba asociada para cada etapa de desarrollo. Este es un modelo muy estricto y la siguiente etapa se inicia solo después de la fase anterior. Esto se llama también modelo de “Validación y verificación” como se ilustra en la Figura 18. Cada etapa tiene el control del proceso actual, para asegurarse de la conversión a la siguiente etapa sea posible (Universidad Católica de los Ángeles Chimbote, 2017).



Figura 18 Esquema de los procesos involucrado en el modelo en "V".

Fuente: (Universidad Católica de los Ángeles Chimbote, 2017)

En la Tabla 9 se describen algunas de las ventajas y desventajas al usar el modelo de ciclo de vida de los proyectos en forma de “V”.

Tabla 9 *Ventajas y desventajas del modelo en "V"*

| Ventajas | Desventajas |
|--|--------------------------------------|
| Cada etapa en el modelo en forma de V tiene resultados estrictos, por lo que es fácil de controlar | Falta de flexibilidad |
| Las pruebas y verificaciones se las realiza en cada etapa | Mala elección para grandes proyectos |
| Adecuado para proyectos pequeños, cuando los requerimientos son estáticos y claros | Riesgos relativamente altos |

Fuente: (Universidad Católica de los Ángeles Chimbote, 2017)

2.5.4.1. Casos de uso del modelo en V.

- Para los proyectos donde se requiere una prueba precisa del producto.
- Para los proyectos pequeños y medianos, donde los requisitos están estrictamente predefinidos.
- Para proyectos de fácil acceso.

2.5.5. Modelo ágil.

En la metodología ágil después de cada iteración de desarrollo, el cliente y/o usuario puede ver el resultado y comprender si está satisfecho con él o no. Esta es una de las ventajas del modelo de ciclo de vida ágil, otra de ellas es que, a falta de requisitos definidos, es difícil estimar los recursos y el costo de desarrollo por lo que se pueden realizar cambios. La base de dicho modelo consiste en reuniones semanales cortas, La figura 19 ilustra el esquema del ciclo de vida de proyectos utilizando el modelo ágil.

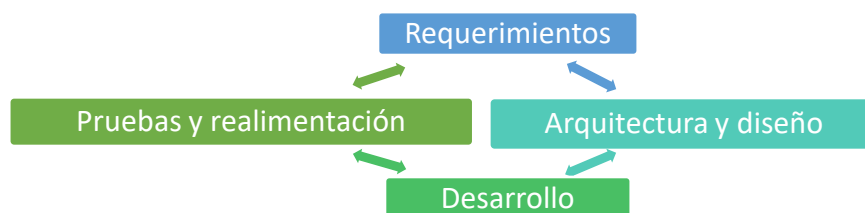


Figura 19 Esquema de los procesos involucrados en el modelo ágil.

Fuente: (Kumar & Pushkar, 2017)

En la Tabla 10 se describen algunas de las ventajas y desventajas al usar el modelo de ciclo de vida de los proyectos del modelo ágil.

Tabla 10 *Ventajas y desventajas del modelo ágil*

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Las correcciones de los requerimientos funcionales son implementadas en el proceso de desarrollo para proporcionar competitividad | Dificultades al medir el costo final debido a los cambios constantes |
| El proyecto está dividido por iteraciones pequeñas y claras | El equipo debe estar altamente orientado al cliente |
| Los riesgos son minimizados gracias a la flexibilidad de cambio de procesos | Los nuevos requerimientos pueden generar conflicto con la arquitectura existente |
| Lanzamiento rápido de la primera versión del producto | Con todas las correcciones y cambios hay la posibilidad que el proyecto exceda el tiempo esperado. |

Fuente: (Universidad Católica de los Ángeles Chimbote, 2017)

2.5.5.1. Casos de uso del modelo ágil.

- Las necesidades de los usuarios cambian dinámicamente.
- Menos precio por los cambios implementados debido a las muchas iteraciones.
- A diferencia del modelo en cascada, solo requiere una planificación inicial para comenzar el proyecto.

2.5.6. Resumen.

Durante los años de la evolución del ciclo de vida de los proyectos, se desarrollaron diferentes modelos a partir del modelo en cascada básico para cumplir con una gran variedad de requisitos y expectativas de desarrollo. No existe un solo modelo adecuado para todos los proyectos, condiciones de inicio y modelo de desarrollo. Incluso a primera vista el modelo ágil multipropósito no se puede utilizar ampliamente debido a la falta de preparación de algunos clientes para escalar el presupuesto. Los modelos de ciclo de vida de desarrollo de proyectos a menudo se cruzan en las soluciones y particularmente se parecen.

2.5.7. Elección de la metodología.

Para el desarrollo del prototipo se deben cumplir con una serie de etapas que son parte del ciclo de vida de un proyecto y esto se lo realiza aplicando una metodología que permite garantizar los resultados finales y además crear un proceso sistemático para disminuir los errores. Es por esto que una vez analizados algunos de los modelos del ciclo de vida de proyectos y comparado sus pros y contras se escoge para el diseño del sistema el modelo iterativo, que a diferencia de los modelos tradicionales en cascada o en “V”, que se centran en un estricto proceso paso a paso de las etapas de desarrollo, el modelo iterativo se considera mejor como un proceso cíclico. Después de una fase de planificación inicial, se repite una pequeña cantidad de etapas una y otra vez, y cada finalización de la iteración presenta mejoras en el prototipo y/o sistema.

Además, en el caso de que una nueva iteración rompa funcionalmente con un componente del sistema, una iteración previa puede implementarse o revertirse rápida y fácilmente con pérdidas mínimas. Si bien puede parecer que cada etapa del proceso iterativo no es tan diferente de las etapas de un modelo más tradicional como el método en cascada, y, por lo tanto, el proceso llevará mucho tiempo, el atractivo del proceso iterativo es que cada etapa puede reducirse efectivamente a plazos cada vez más pequeños, lo que es necesario para satisfacer las necesidades del proyecto. Si bien la ejecución inicial de todas las etapas puede llevar algo de tiempo, cada iteración posterior será cada vez más rápida, permitiendo que el ciclo de vida de cada nueva iteración se reduzca en cuestión de días o incluso horas en algunos casos.

CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE LOS NIVELES DE GLUCOSA EN PACIENTES DIABÉTICOS Y LA DETECCIÓN DE LA HIPERGLUCEMIA E HIPOGLUCEMIA SÍNTOMAS PREVIOS A UN COMA DIABÉTICO, APLICANDO UN ALGORITMO DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

En este capítulo se aplica la metodología del Modelo Iterativo para el diseño del sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la detección de hiperglucemia e hipoglucemia sintomatologías previas a un coma diabético, se realiza un análisis y se detallan los requerimientos necesarios para el diseño del sistema cuya arquitectura se esquematizará en un diagrama de bloques. Además, se procederá con la toma de datos de los niveles de glucosa en la sangre de las pacientes diabéticas y la aplicación de la metodología de minería de datos KDD que servirá para la búsqueda y posterior ejecución del algoritmo de predicción. Para finalmente proceder a la implementación del prototipo.

Como parte del diseño del sistema electrónico de monitoreo de los niveles de glucosa que se propone en este proyecto se asignó un nombre al dispositivo y se creó un logotipo que se puede apreciar en la Figura 20, para futuras menciones del dispositivo se lo hará con su nombre. Se escogió una paloma o Pigeon en inglés, porque simboliza la capacidad de vivir en paz y armonía después de una tragedia o enfermedad.



Figura 20 Nombre y logotipo del dispositivo electrónico de monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la detección de la hiperglucemia e hipoglucemia sintomatologías previas a un coma diabético

Fuente: Autoría

3.1. Modelo iterativo: primera iteración

A continuación, se inicia con el desarrollo de la primera iteración para el diseño del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la detección de la hiperglucemia e hipoglucemia sintomatologías previas a un coma diabético. Como primera etapa del modelo iterativo se encuentran los requerimientos del sistema mismos que con cada iteración pueden ir agregándose o eliminándose.

3.1.1. Requerimientos del sistema Pigeon-Chek.

Para realizar el análisis de requerimientos es necesario evaluar diferentes condiciones que permitan el desarrollo de un sistema adecuado a las necesidades del usuario final. Para lo cual se analizarán los siguientes requerimientos:

- Requerimientos de usuario o stakeholders
- Requerimientos de operación
- Requerimientos del sistema
- Requerimientos de aprendizaje automático

3.1.1.1. Nomenclatura usada para los requerimientos.

Para cada uno de los requerimientos se establece abreviaturas que permiten una mejor síntesis y manejo de los datos, como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11 *Nomenclatura a usar para los requerimientos del sistema*

| Requerimiento | Abreviatura |
|----------------------|--|
| RSHS | Requerimientos de Stakeholders del sistema |
| RAS | Requerimientos de arquitectura del sistema |
| RS | Requerimientos del sistema |
| RAA | Requerimientos de aprendizaje automático |

Fuente: Autoría

3.1.1.2. Requerimientos de Stakeholders.

Los Stakeholders corresponden a las personas que participan directa o indirectamente en el desarrollo del sistema. En la Tabla 12 se presenta una lista de Stakeholders presentes en el proyecto.

Tabla 12 *Listado de stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre*

| Lista De Stakeholders | | |
|------------------------------|--|--|
| 1 | Usuarios directos | <ul style="list-style-type: none"> • Pacientes diabéticos • Especialista de salud encargado del paciente. |
| 2 | Usuarios indirectos | <ul style="list-style-type: none"> • Familiares y personas cercanas a la persona diabética. • Personas interesadas en el cuidado de pacientes diabéticos |
| 3 | Administradores | <ul style="list-style-type: none"> • Gómez Paola |
| 4 | Director y fiscalizadores del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> • MSc. Carlos Vásquez • MSc. Edgar Maya • MSc. Jaime Michilena |

Fuente: Modelo Iterativo

La Tabla 13 incluye los procesos que se consideraron necesarios para identificar los requerimientos de los pacientes y encargados de la salud, a los cuales afecta directa e indirectamente la ejecución del proyecto, con el fin de analizar los intereses de los mismos y las expectativas del proyecto.

Tabla 13 *Requerimientos de Stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre*

| Requerimiento Stakeholder | Prioridad | | |
|--|-----------|-------|------|
| | Alta | Media | Baja |
| RSHS1 Medir los niveles de glucosa en la sangre del paciente diabético en ayunas y después de comidas | X | | |
| RSHS 2 Presentar resultados de los niveles de glucosa de una manera que sea entendible para el usuario | X | | |
| RSHS 3 Acceso total y continuo de los administradores al sistema de control y monitoreo | X | | |
| RSHS 4 Monitoreo del estado de salud del paciente diabético a través de una página web tanto para el entorno paciente como para el entorno médico | | X | |
| RSHS 5 El servidor web debe estar siempre disponible para el usuario y el médico | X | | |
| RSHS 6 La información que se muestra en la página web debe ser actualizada siempre que exista un nuevo dato o un cambio | | X | |
| RSHS 7 El sistema debe generar una alerta para el médico, paciente y familia cuando los niveles de glucosa sean demasiado altos y se detecte un estado hiperglucémico | X | | |
| RSHS8 El sistema debe generar una alerta para el médico, paciente y familia cuando los niveles de glucosa sean demasiado bajos y se detecte un estado hipoglucémico | X | | |

Fuente: Autoría

3.1.1.3. *Requerimientos de arquitectura.*

Dentro de los requerimientos que deben ser considerados para el desarrollo de un sistema y que se derivan de los objetivos del mismo, existe un subconjunto que tiene gran importancia y es en relación con la arquitectura. Estos requerimientos en inglés son conocidos como *drivers* que se pueden traducir al español como *guías* ya que estos requerimientos son la guía para el diseño de la arquitectura del sistema e incluyen atributos de calidad y atributos considerados como primarios para el funcionamiento del sistema. En la Tabla 14 se detallan los

requerimientos de arquitectura del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre y la predicción de la hiper e hipoglucemia. Los drivers de arquitectura pueden ser un resumen detallado de todos los requerimientos del sistema.

Tabla 14 *Requerimientos de arquitectura para el diseño del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre*

| Requerimiento de arquitectura | | Prioridad | | |
|--------------------------------------|---|------------------|-------|------|
| | | Alta | Media | Baja |
| Requerimientos Lógicos | | | | |
| RAS 1 | Soporte del protocolo UART entre el glucómetro y Arduino para la recepción y transmisión de datos | X | | |
| Requerimiento de Diseño | | | | |
| RAS 2 | Soporte del protocolo HTTP para subir datos al servidor web y a la nube | X | | |
| Requerimientos de Software | | | | |
| RAS 3 | Lenguaje de programación del sistema, debe ser compatible con los elementos a usarse | X | | |
| RAS 4 | La base de la programación debe ser software de código abierto | X | | |
| RAS 5 | Envío de un mensaje de alerta vía SMS cuando exista un estado de hiperglucemia | X | | |
| RAS 6 | Envío de un mensaje de alerta vía SMS cuando exista un estado de hipoglucemia | X | | |
| Requerimientos de Hardware | | | | |
| RAS 7 | El dispositivo tiene que tener un tamaño pequeño para que el usuario lo pueda transportar en una cartera o mochila | | X | |
| RAS 8 | Capacidad de almacenamiento en la base de datos local para cada uno de los resultados de los análisis de glucosa en la sangre | X | | |
| Requerimientos Eléctricos | | | | |
| RAS 9 | Alimentación a través de una fuente de 5v DC | X | | |

Fuente: Autoría

3.1.1.4. *Requerimientos del sistema.*

Los requerimientos del sistema son derivados de la observación directa de las necesidades de los usuarios, de la investigación acerca de sistemas de monitoreo remoto para pacientes diabéticos y se ha tomado en cuenta las sugerencias del médico especialista que es el encargado del tratamiento de las pacientes diabéticas. Para esto se realizó una encuesta a pacientes diabéticos y una entrevista al médico tratante de las pacientes que colaboran con las pruebas para este proyecto, esta entrevista y encuesta se encuentran al final del documento en el Apéndice A y Apéndice B respectivamente. En la Tabla 15 se detallan los requerimientos del sistema.

Tabla 15 *Requerimientos del sistema Pigeon-Chek*

| Requerimiento del sistema | | Prioridad | | |
|--|--|------------------|-------|------|
| | | Alta | Media | Baja |
| Requerimientos de uso | | | | |
| RS 1 | Ingreso mediante cuentas de usuario a las personas autorizadas al acceso de la información del paciente | X | | |
| RS 2 | Presentación de la información médica acerca de la diabetes y del uso del dispositivo en una página web | | X | |
| RS3 | El análisis de los niveles de glucosa en la sangre debe ser presentado de tal manera que el usuario comprenda el estado de los resultados, con etiquetas y colores | X | | |
| Requerimientos de rendimiento | | | | |
| RS 4 | Bajo consumo de energía | | X | |
| RS 5 | Lectura fiable de los niveles de glucosa en la sangre | X | | |
| Requerimientos de interfaz | | | | |
| RS 6 | Comunicación serial entre el glucómetro y el módulo de Arduino | X | | |
| RS 7 | Conexión a internet | | X | |
| Requerimientos de modos/estados | | | | |
| RS 8 | Modo inactivo de Arduino | X | | |
| RS 9 | Apagado del dispositivo al terminar las pruebas | X | | |

| Requerimientos físicos | | |
|-------------------------------|--|---|
| RS 10 | Tamaño del dispositivo pequeño para que el usuario lo pueda transportar en una cartera o mochila | X |

Fuente: Autoría

3.1.1.5. *Requerimientos de aprendizaje automático.*

Los requerimientos para el aprendizaje automático se derivan del objetivo de la creación de un algoritmo que permita la detección de la hipoglucemia e hiperglucemia, lo que se pretende es capturar conocimiento mediante la información obtenida de los exámenes de glucosa realizados en los pacientes diabéticos, que permita a las personas diabéticas e involucrados tomar decisiones basándose en el conocimiento adquirido. En la Tabla 16 se detalla una serie de requerimientos para el aprendizaje automático del sistema Pigeon-Chek.

Tabla 16 *Requerimientos de machine learning para el diseño del sistema Pigeon-Chek*

| Requerimiento de aprendizaje automático | Prioridad | | |
|--|------------------|-------|------|
| | Alta | Media | Baja |
| RML 1 Aplicar la metodología KDD <i>Knowledge Discovery in Databases</i> o Descubrimiento de conocimiento en base de datos para encontrar el algoritmo que detecte el estado de hiperglucemia | X | | |
| RML 2 Aplicar la metodología KDD <i>Knowledge Discovery in Databases</i> o Descubrimiento de conocimiento en base de datos para encontrar el algoritmo que detecte el estado de hipoglucemia | X | | |
| RML 3 Contar con una base de datos de los niveles de glucosa en la sangre en ayunas y después de comidas para aplicar el algoritmo de aprendizaje automático | X | | |
| RML 4 Aplicar la técnica de validación cruzada ó <i>k-fold cross validation</i> para validar la calidad del modelo de aprendizaje automático escogido, esta validación | X | | |

evaluará la precisión en la predicción y su porcentaje de error.

Fuente: Autoría

3.1.2. Análisis del escenario actual.

Debido a que el modelo iterativo propone un entorno de etapas con retroalimentación, para la primera iteración se va a iniciar con un análisis de los niveles de glucosa antes del diseño y pruebas del sistema propuesto. Para esto se ha recolectado información por un período de tres semanas a dos pacientes diabéticas con la finalidad de comparar las tendencias de los valores de azúcar en la sangre antes y después del sistema, y con esto poder determinar la importancia de un adecuado monitoreo de glucemia tanto para el paciente como para el médico que prescribe el tratamiento.

Para conocer en qué horario debían ser realizados los análisis se coordinó con el médico la frecuencia de los mismos, y se procedió a realizar un análisis de cuatro muestras diarias en el siguiente orden:

- Primera semana: Glucosa preprandial (antes del desayuno y antes del almuerzo), glucosa postprandial (Después del desayuno y después del almuerzo).
- Segunda semana: Glucosa preprandial (antes del desayuno y antes de la merienda), glucosa postprandial (después del desayuno y después de la merienda).
- Tercera semana: Glucosa preprandial (antes del desayuno y antes de la merienda), glucosa postprandial (después del desayuno), glucosa a la hora de acostarse.

La frecuencia y horario de los análisis de glucosa será la misma en la etapa anterior al dispositivo y cuando ya se estén realizando las pruebas con el mismo. También se tomará en cuenta los días en los que no se realizó el examen de glucosa en la sangre para comparar si existe un cambio después de la implementación del dispositivo.

Para referirse a las pacientes, en las tablas se estableció a la Señora Amelia Santander como “Paciente 1” y a la Señora Ruth Santander como “Paciente 2”.

Los análisis de glucosa fueron realizados con el glucómetro Accu-Chek Instant de la Figura 21, que posteriormente en el diseño del sistema de monitoreo servirán para comparar los resultados entre dos glucómetros y validar el que se integrará en el sistema y verificar que se obtienen los mismos resultados de glucosa en los dos dispositivos. En el Anexo 1 se encuentran las especificaciones técnicas del dispositivo Accu-Chek Instant.

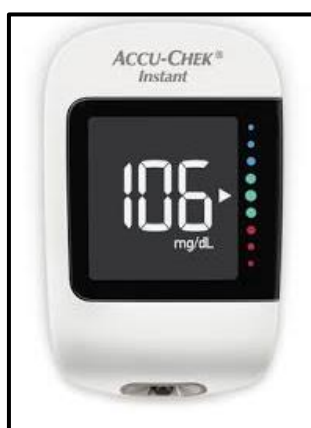


Figura 21 Glucómetro marca Accu-chek Modelo Instant

Fuente: (ACCU CHEK, 2019)

3.1.2.1. Niveles de glucosa en la sangre de las pacientes diabéticas.

A continuación, se muestran las tablas con los resultados de los análisis de glucosa de las pacientes, se ha hecho una tabla por cada semana ya que el horario de las mediciones no es el mismo. En la Tabla 17 se indican los resultados mencionados de la Paciente 1 y la Tabla 18 los resultados de la Paciente 2, tomados en la primera semana. Los horarios marcados con una X indican que no se realizó el examen de glucosa. Las unidades de las mediciones son en miligramos por decilitro mg/dl.

Tabla 17 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 1- Semana 1

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes del almuerzo | Después del almuerzo | Total, de mediciones |
|-------|--------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Día 1 | 100 | 131 | 119 | 173 | 4 |
| Día 2 | 216 | 247 | 211 | 228 | 4 |

| | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|---|
| Día 3 | 257 | X | 206 | 257 | 3 |
| Día 4 | 239 | 268 | 277 | 302 | 4 |
| Día 5 | X | X | X | 126 | 1 |
| Día 6 | 67 | 107 | 96 | 172 | 4 |
| Día 7 | 77 | 146 | 106 | 124 | 4 |

Fuente: Archivo Paciente 1

Tabla 18 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 1

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes del almuerzo | Después del almuerzo | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 134 | 151 | 100 | 180 | 4 |
| Día 2 | 65 | 178 | 238 | 260 | 4 |
| Día 3 | 84 | X | X | 200 | 2 |
| Día 4 | 135 | 192 | 175 | 263 | 4 |
| Día 5 | 94 | 156 | 217 | 229 | 4 |
| Día 6 | 64 | 123 | 202 | X | 3 |
| Día 7 | 73 | 111 | 81 | X | 3 |

Fuente: Archivo Paciente 2

Las siguientes Tablas 19 y 20 respectivamente muestran el registro de resultados del análisis de glucosa de las pacientes en la segunda semana.

Tabla 19 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 1- Semana 2

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes de la merienda | Después de la merienda | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 80 | X | 104 | 153 | 3 |
| Día 2 | 149 | 188 | X | X | 2 |
| Día 3 | 102 | 97 | 278 | 295 | 4 |
| Día 4 | 158 | X | 81 | 163 | 3 |
| Día 5 | 92 | 175 | X | 202 | 3 |
| Día 6 | X | X | 120 | 132 | 2 |
| Día 7 | 200 | 258 | 226 | 298 | 4 |

Fuente: Archivo Paciente 1

Tabla 20 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 2

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes de la merienda | Después de la merienda | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 121 | 192 | 82 | X | 3 |
| Día 2 | 73 | X | 60 | X | 2 |
| Día 3 | 168 | 210 | X | 269 | 3 |
| Día 4 | X | 197 | 81 | 305 | 3 |
| Día 5 | 65 | 182 | 100 | 134 | 4 |

| | | | | | |
|--------------|-----|-----|----|-----|---|
| Día 6 | 69 | 157 | 87 | 187 | 4 |
| Día 7 | 210 | X | 72 | 262 | 3 |

Fuente: Archivo Paciente 2

Las Tablas 21 y 22 muestran los registros de los análisis de glucosa en la paciente 1 y 2 respectivamente dentro de la tercera semana.

Tabla 21 *Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 1- Semana 3*

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes de la merienda | Hora de acostarse | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 113 | 115 | 97 | 153 | 4 |
| Día 2 | 121 | X | 106 | 237 | 3 |
| Día 3 | 94 | 111 | 203 | 289 | 4 |
| Día 4 | X | 148 | 195 | 156 | 3 |
| Día 5 | 109 | 230 | X | 107 | 3 |
| Día 6 | 151 | 176 | 136 | 172 | 4 |
| Día 7 | X | X | X | X | 0 |

Fuente: Archivo Paciente 1

Tabla 22 *Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 3*

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes de la merienda | Hora de acostarse | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 191 | 308 | 76 | 170 | 4 |
| Día 2 | 177 | 242 | 87 | 51 | 4 |
| Día 3 | 49 | 52 | 132 | 81 | 4 |
| Día 4 | 57 | 197 | 38 | 151 | 4 |
| Día 5 | 205 | 232 | 316 | 396 | 4 |
| Día 6 | 134 | X | 115 | 45 | 3 |
| Día 7 | 51 | X | 214 | 88 | 3 |

Fuente: Archivo Paciente 2

Una vez realizadas las tablas y registrados los valores de glucosa se analiza que existen variaciones destacadas dentro de los resultados, como ejemplo se analizó la Tabla 22 perteneciente a la Paciente 2 y observando la Figura 22 se puede ver que existen picos muy elevados de los niveles de glucosa, así como también declives considerables. Comparando los valores que fueron graficados con los valores que se encuentran en la Tabla 2 “Frecuencia de las mediciones de glucemia en la sangre y valores normales” se observa que hay resultados en

los análisis de glucosa que están fuera de lo normal y dan paso a estados como la hiperglucemia e hipoglucemia.

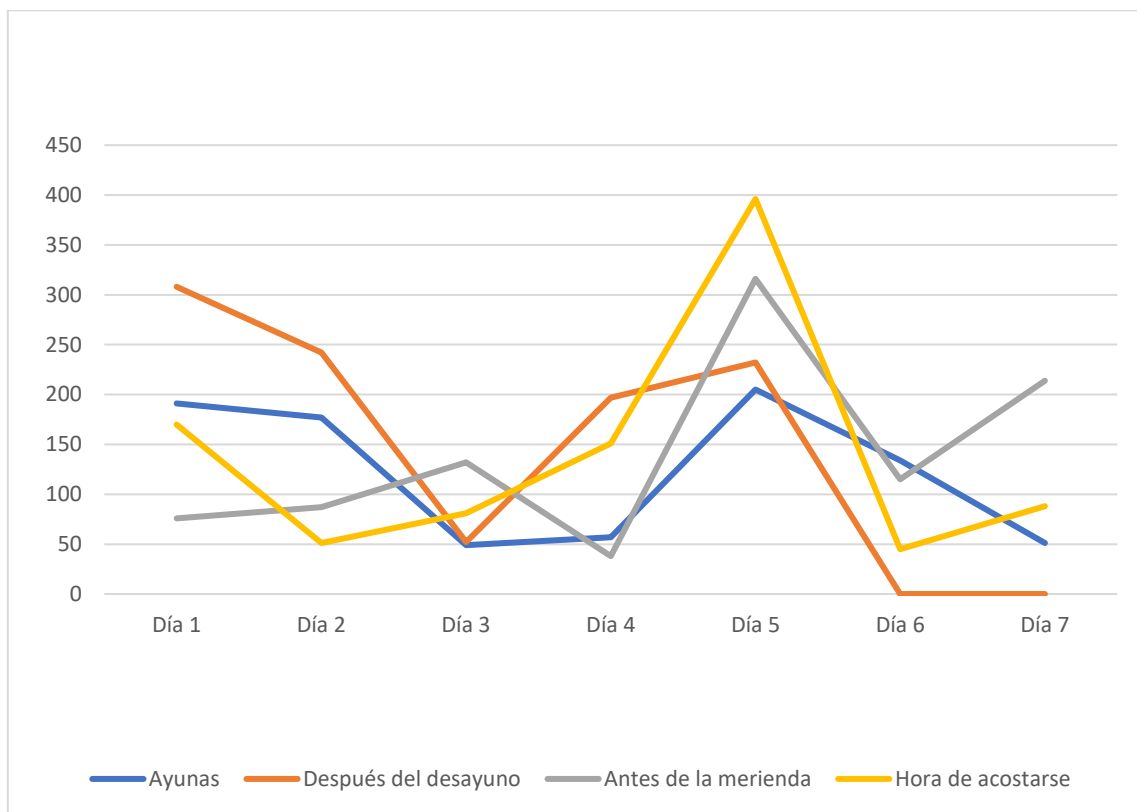


Figura 22 Tendencias de los resultados obtenidos con los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente 2- Semana 3

Fuente: Autoría

3.1.3. Diseño del sistema Pigeon-Chek.

Para la etapa del diseño del sistema se propone un entorno modular compuesto de los siguientes módulos:

- Módulo de toma de datos
- Módulo central
- Módulo de aprendizaje automático
- Módulo de base de datos local
- Módulo de base de datos en la nube
- Módulo alerta local
- Módulo del servidor web

- Módulo eléctrico o de alimentación

3.1.3.1. Descripción general del funcionamiento de Pigeon-Chek.

El presente proyecto tiene como objetivo detectar la hiperglucemia e hipoglucemia sintomatologías previas a un coma diabético, mediante el uso de un algoritmo de aprendizaje automático, este sistema está enfocado a pacientes diagnosticados con diabetes.

El funcionamiento de Pigeon-Chek, es por etapas en la primera etapa el paciente procede a realizarse la toma de muestras para los análisis de glucosa en la sangre, estos datos son transmitidos mediante UART al módulo de Arduino que se encargará del procesamiento de la información y la aplicación del algoritmo de aprendizaje automático, para proceder a enviar los datos a la BDD local ubicada en un dispositivo raspberry y a la nube mediante una conexión a internet, el módulo de alerta local enviará las alertas vía SMS cuando el sistema haya detectado un caso de hiperglucemia o hipoglucemia utilizando un dispositivo GSM/GPRS.

También se incluyó en el diseño un servidor web para mostrar información con respecto a la diabetes, horarios de medición, complicaciones, etc., a cualquier persona interesada. Este servidor estará enlazado a la nube para mostrar el registro de los niveles de glucosa de cada paciente, a estos registros solamente podrán acceder personas autorizadas ya que se crearán cuentas de usuario y se dará acceso total al médico tratante ya que él es el encargado de la dosificación de los medicamentos y el monitoreo remoto del estado de salud de los pacientes.

En la Figura 23 se observa mediante un diagrama de bloques la arquitectura y proceso de funcionamiento del sistema propuesto en este proyecto.

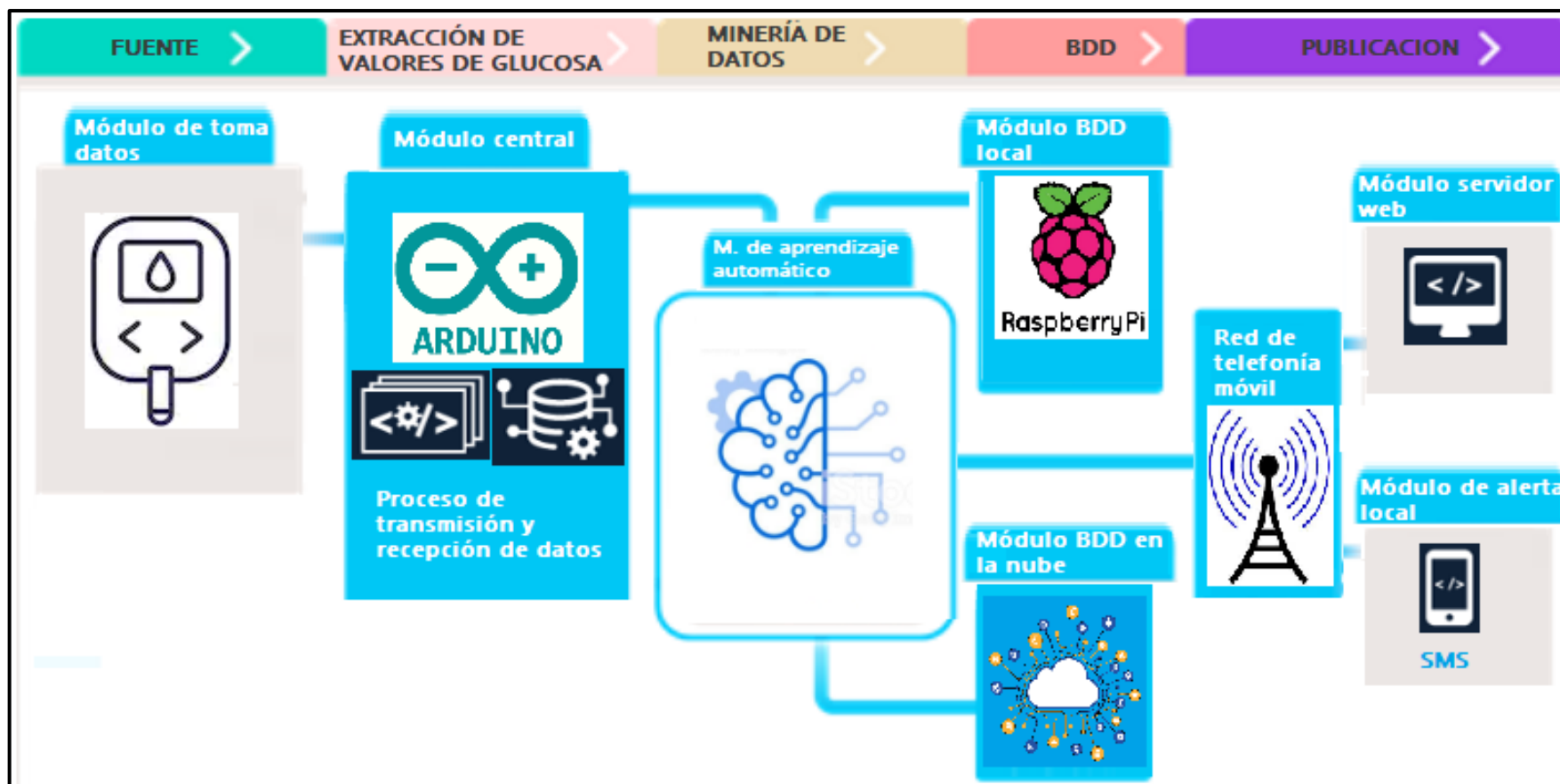


Figura 23 Arquitectura del sistema de monitoreo de los niveles de glucosa PIGEON-CHEK

Fuente: Autoría




3.1.3.2. Módulo toma de datos.

El módulo toma de datos está destinado a obtener los niveles de glucosa en la sangre del paciente a través de un glucómetro, posteriormente estos datos serán enviados al módulo central.

3.1.3.2.1. Selección de dispositivos.

En la Tabla 23 se procede a realizar una comparación entre glucómetros para escoger el adecuado para la integración al módulo de toma de datos.

Tabla 23 Comparativa para selección de Glucómetro para el diseño del sistema PIGEON-CHEK

| Características generales y técnicas | ACCU-CHEK ACTIVE | ONETOUCH ULTRAMINI | FREESTYLE FREEDOM LITE |
|--------------------------------------|--|--|--|
| |  |  |  |
| Empresa | Roche | LifeScan | Abbot |
| Método de medición | Fotométrico | Electroquímico | Electroquímico |
| Unidades de medición | mg/dl | mg/dl | mg/dl |
| Memoria | 350 mediciones | 500 mediciones | 400 mediciones |
| Fuente de energía | Litio CR 2032 3 voltios | Litio CR 2032 3 voltios | Litio CR 2032 3 voltios |
| Rango de resultados | 10 a 600 mg/dl | 20 a 600 mg/dl | 20 a 500 mg/dl |
| Tamaño de la muestra | 1-2µL | 1µL | 0,3µL |
| Tamaño del dispositivo | 10,45x5,15x2,2cm | 10,8x3,2x1,7cm | 5,1x8,4x1,6cm |
| Tiempo de lectura | 5 segundos si la tira está en el medidor. 10 segundos si la tira está fuera del medidor | 5 segundos | 3-5 segundos |
| Precio del dispositivo | \$37,50 | \$48,50 | \$33,95 |
| Precio Tiras reactivas | \$27,08 | \$20,85 | No disponible en el mercado |

| Tipo de lanceta | Específica para este modelo | Estándar | --- |
|--|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Fiabilidad | | | |
| - Precisión (CV) | 1,6-2,9 (<5) 95% | 1,6≤CV≤3,2% Exactitud: | 2,0-4,1%(CV) 97% |
| - Exactitud | Si | Cumplimiento de la | ISO: 98,6 |
| - ISO | | norma ISO 15197 | |
| Tenología de transmisión de datos | Infrarroja | Impulsos eléctricos | Impulsos eléctricos |
| Medio de transmisión de datos | Inalámbrica: Haz de luz | Guiado: Cable de cobre tipo estéreo | Guiado: Cable de cobre tipo estéreo |
| Conexión PC | Si | Si | Si |

Fuente: (Cardona Hernández, 2016)

De acuerdo a la comparativa realizada entre las características de algunos glucómetros se decide trabajar con el Glucómetro OneTouch UltraMini de LifeScan debido a que permite la extracción de los resultados mediante un puerto de datos que se comunica con el PC y es común en el mercado ecuatoriano.

La manipulación y el tamaño de este dispositivo también fueron factores decisivos, así como la fiabilidad y exactitud de los resultados en comparación con las otras marcas. La ficha detallada del glucómetro OneTouch UltraMini se encuentra en el Anexo 2.

A continuación, en la Tabla 24 se realiza una comparación de los resultados en los análisis de glucosa en la sangre realizados con un glucómetro ACCU-CHEK y el glucómetro escogido el ONE TOUCH ULTRA MINI, con la finalidad de comprobar que los resultados sean iguales.

Tabla 24 *Comprobación de los resultados en los análisis de glucosa en la sangre utilizando un glucómetro ACCU-CHEK y el ONE TOUCH ULTRA MINI*

| Glucómetro | Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes del almuerzo | Después del almuerzo |
|-------------------|-------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ACCU-CHEK | Día 1 | 100 | 131 | 119 | 173 |
| | Día 2 | 216 | 247 | 211 | 228 |
| ONE TOUCH | Día 1 | 100 | 130 | 119 | 173 |
| | Día 2 | 217 | 247 | 211 | 228 |

Fuente: Registro de información de la Paciente 2

De acuerdo al análisis de los niveles de glucosa realizado con los dos glucómetros son en su mayoría los mismos, en dos ocasiones el resultado varió en uno esto se puede ocasionar a

que se tomó la muestra de sangre instantes después o segundos antes. Pero este valor no afecta al rendimiento del sistema final.

3.1.3.3. *Módulo central.*

El propósito de este módulo conlleva la recepción de los datos obtenidos del glucómetro, la transmisión de la información procesada en el módulo de Machine Learning a las bases de datos local y la nube. Este módulo consta de una placa de Arduino donde llegarán los datos y se realizará la minería de los mismos para obtener la información y de un módulo GSM/GPRS mediante el cual se tiene una conexión a internet.

El medio utilizado para la transmisión entre el módulo de toma de datos y el módulo central es alámbrico con un cable tipo estéreo mediante comunicación serial y el protocolo UART, este cable consiste en un conector estéreo de 3.5mm. En términos generales para realizar la comunicación serial se emplean los pines de transmisión (tx), recepción (rx) y tierra(gnd), como se muestra en la Figura 24.

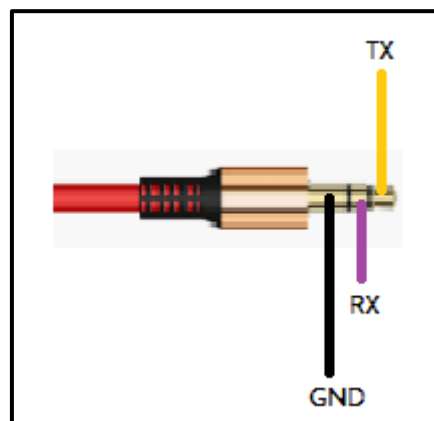


Figura 24 Diagrama de distribución de los pines de transmisión, recepción y tierra de un cable estéreo de 3.5mm




Fuente: (SDTEK, 2018)

La transmisión desde el módulo central a la base de datos local se la realiza mediante comunicación serial, con el módulo GSM/GPRS y el protocolo HTTP se realiza la transmisión de la información a la nube.

3.1.3.3.1. Selección de dispositivos.

En la Tabla 25 se procede a realizar una comparación entre tres placas de Arduino para escoger la adecuada para la integración al módulo central.

Tabla 25 Comparativa de las características de tres placas de Arduino para el diseño del módulo central del sistema PIGEON-CHEK

| Características | Arduino NANO | Arduino UNO | Arduino MEGA |
|--|---|--|--|
| |  |  |  |
| Empresa | Arduino-ATMEL | Arduino-ATMEL | Arduino-ATMEL |
| Microcontrolador | ATMega328 | ATMega328 | ATMega2560 |
| Voltaje de operación | 5V | 5V | 5V |
| Voltaje de alimentación (recomendado) | 7-12V | 7-12V | 7-12V |
| Entradas/Salidas Digitales | 14 (6 son PWM) | 14 (6 son PWM) | 54 (15 son PWM) |
| Entradas/Salidas Análogas | 8 (solo entradas) | 6 (solo entradas) | 16 (solo entadas) |
| Memoria flash | 32KB | 32KB | 256KB |
| EEPROM | 1KB | 1KB | 4B |
| Precio | \$8 | \$9,85 | \$17 |
| Dimensiones | 45x18mm | 75x54mm | 109x54mm |

Fuente: (ARDUINO , 2019)




Para el diseño de este proyecto y debido a los requerimientos que exige, el microcontrolador a emplearse es el ATmega328 que viene integrado en la placa de Arduino UNO.

La selección de Arduino UNO se encuentra justificada con la tabla comparativa, uno de los factores a considerarse en comparación con Arduino MEGA fue su precio y su tamaño ya que

lo que se desea es que el dispositivo final sea pequeño. En el Anexo 3 se encuentra la ficha técnica del microcontrolador ATMEL328 que viene integrado a Arduino UNO.

En la Tabla 26 se procede a realizar una comparación entre Módems GSM/GPRS para identificar el adecuado para el diseño de PIGEON-CHEK.

Tabla 26 Comparativa de las características de algunos módulos GSM/GPRS para el diseño del módulo central del sistema PIGEON-CHEK

| Características | GR64 | SIM808 | TC65 |
|--|---|--|---|
| |  |  |  |
| Empresa | Sony Ericsson | SIMCOM | Siemens |
| Bandas GSM/GPRS | 850/900/1900 MHz | 850/900/1900 MHz | 850/900/1900 MHz |
| Modulación | GSMK | 2GFSK, 2FSK | GSMK |
| Voltaje de alimentación recomendado | 3.6V | 4V | 12V |
| Rango de voltaje de alimentación | 3.2V-4.5V | 3.2V-4.8V | 8V-30V |
| Dimensiones | 85x54x25mm | 24x24x3mm | 130x90x38mm |
| Aplicaciones | Voz, SMS, datos, fax, internet | Voz, SMS, datos, fax, internet | Voz, SMS, datos, fax, internet |
| Disponibilidad de información | Baja | Alta | Baja |
| Precio con la placa integrada | \$45.00 | \$32.50 | \$28.00 |
| Conexión con otros dispositivos | Existen módulos basados en GR64 | Existen módulos adaptables a Arduino, Raspberry Pi | Existen módulos basados en el TC65 de siemens como GPRS MTX65 |

Fuente: (Behr, 2018)

De acuerdo a la comparativa de las características de los Módems GSM/GPRS se seleccionó el módulo SIM808 de la empresa SIMCOM, ya que es compatible con la placa de Arduino. Este módulo permite la comunicación través de la red móvil celular por lo que es posible enviar

y recibir datos desde una ubicación remota, siempre y cuando exista una conexión a la red, con este dispositivo es posible transmitir datos en forma de: SMS, MMS, GPRS y audio. En la Figura 25 se muestra la distribución de elementos del módulo SIM808 identificando en ellos una serie de pines que brindan la posibilidad de la comunicación con Arduino. En el Anexo 4 se encuentra la hoja de especificaciones del módulo y la distribución de pines.



Figura 25 Diseño y distribución de elementos del módulo GSM/GPRS SIM900

Fuente: (SIMCOM, 2016)

3.1.3.3.2. Diagrama de conexión.

El diagrama que se muestra en la Figura 26 corresponde al diseño esquemático del módulo central. El glucómetro está conectado a Arduino mediante comunicación serial con el cable de datos descrito en la Figura 24, las entradas de recepción y transmisión se las ubica en los pines 2 y 3 respectivamente y última entrada es la conexión a tierra. Los pines 7 y 8 de Arduino se comunican vía serial a los pines de transmisión y recepción del módulo GSM/GPRS.

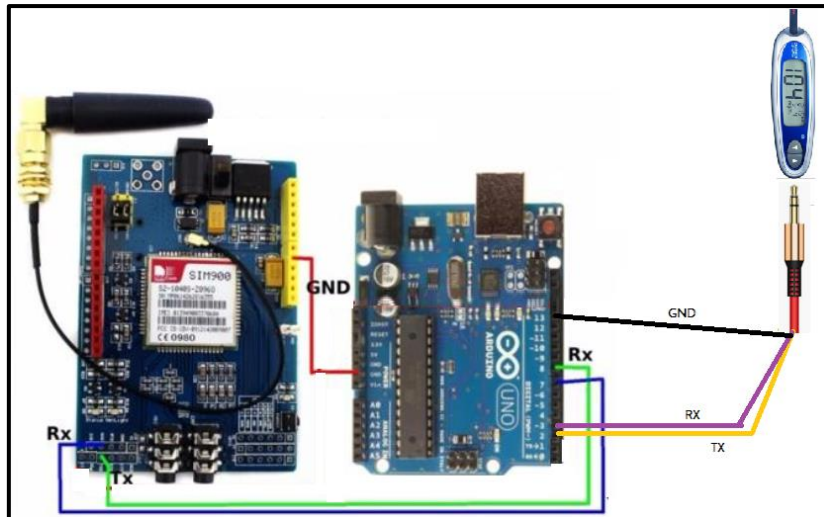


Figura 26 Diagrama de conexión de los dispositivos involucrados en el módulo central del dispositivo PIGEON-CHEK

Fuente: Autoría

3.1.3.4. Módulo de aprendizaje automático.

En este módulo se va a realizar la minería de datos, para convertir los resultados de los análisis de glucosa en información útil para el médico y el paciente. Se va a implementar la metodología de Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos o KDD por sus siglas en inglés, este método permitirá encontrar un algoritmo de aprendizaje automático óptimo para la detección de dos estados de emergencia en la diabetes que son la hiperglucemia y la hipoglucemia. De acuerdo a la Imagen de la Figura 14 en el apartado “Paso del proceso KDD” para la obtención de conocimiento se va a realizar un proceso de seis etapas que se enlistan y detallan a continuación:

- Selección: Como primer paso se necesita obtener una fuente de datos estos pueden ser obtenidos de bases de datos relacionales, colecciones de documentos, bases de datos de procesos, registros en la web, etc. Estos datos como se describe pueden ser obtenidos de varias fuentes, pero es necesario homogenizarlos para poder aplicar la minería de datos.
- Preprocesamiento: En este paso, se mejora la fiabilidad de los datos, incorpora la eliminación de los datos, por ejemplo, cantidades faltantes o valores atípicos. Puede incluir

técnicas estadísticas o utilizar un algoritmo de minería de datos, en donde los atributos faltantes podrían convertirse en el objetivo del algoritmo de aprendizaje supervisado.

- **Transformación:** En esta etapa, se prepara y desarrolla la creación de datos apropiados para la minería. Las técnicas aquí incorporan reducción de dimensiones, por ejemplo; discretización de atributos numéricos, selección y extracción de características y muestreo de registros.
- **Selección del algoritmo de aprendizaje automático:** Esta etapa incorpora la elección de una técnica particular que se utilizará para buscar patrones y obtener conocimiento. Aquí se intenta comprender la situación en la que un algoritmo de minería de datos es más adecuado. Cada algoritmo tiene parámetros y estrategias de inclinación dentro de un problema en específico.
- **Aplicación del algoritmo de minería de datos:** En esta etapa se procede con la implementación del algoritmo de minería de datos, es posible que se necesite aplicar el algoritmo varias veces hasta obtener un resultado satisfactorio. Por ejemplo, al cambiar o combinar los parámetros de control de algoritmos, como el número mínimo de instancias en una sola hoja de un árbol de decisión.
- **Evaluación:** En este paso se evalúa e interpreta los patrones minados, las reglas del algoritmo y la confiabilidad del mismo. Esta etapa se enfoca en la comprensibilidad y utilidad del modelo inducido.




3.1.3.5. Módulo base de datos local.

El propósito de este módulo es almacenar la información que ha sido procesada en el módulo central y archivarla en forma de tablas con etiquetas que permitan discriminar cada tipo de dato, estas etiquetas serían las siguientes: paciente, horario de medición *preprandial* ó *postprandial*, hora, nivel de glucosa en la sangre, estado del paciente.

3.1.3.5.1. Selección de dispositivos.

A continuación, se procede con la selección del dispositivo en donde se va a alojar la base de datos local. Alineándose al alcance de este proyecto se va a utilizar un ordenador de placa única u ordenador de placa simple (SBC) por sus singlas en inglés “Single board computer” desarrollado por Raspberry Pi Foundation, el nombre de la placa es Raspberry Pi. En la Tabla 27 se hace una comparación de algunas versiones de placas SBC Raspberry con la finalidad de escoger la idónea para integrarse al módulo base de datos local.

Tabla 27 Comparativa de tres SBC Raspberry para el diseño del módulo de base de datos local del sistema PIGEON-CHEK

| Características | Raspberry Pi 2 | Raspberry Pi 3 | Raspberry Pi 4 |
|---------------------------------------|--|---|---|
| |  |  |  |
| CPU | ARMCortex-A7 | ARM Cortex-A53 | ARM Cortex-A72 |
| Cores | Quad-core | Quad-core | Quad-core |
| Velocidad | 900MHz | 1200-1400MHz | 1500MHz |
| RAM | 1GB (1024MB) | 1GB (1024MB) | 1GB (1024MB) 2GB (2048MB) 4GB (4096MB) |
| Almacenamiento memoria interna | MicroSD slot | MicroSD slot | MicroSD slot |
| Conexiones | HDMI 4x USB2 ports 10/100 Ethernet 40 GPIO pins MIPI camera connector MIPI display DSI Vídeo compuesto (PAL y NTSC) vía 3.5 mm TRRS 84ack compartido con audio estéreo | HDMI 4x USB2 ports 10/100 Ethernet 10/100/300(#) Ethernet 40 GPIO pins MIPI camera connector MIPI display DSI Vídeo compuesto (PAL y NTSC) vía 3.5 mm TRRS 84ack compartido con audio estéreo | 2 x micro HDMI 2x USB3 ports 2x USB2 ports 10/100/1000Gigabit Ethernet 40 GPIO pins MIPI camera connector MIPI display DSI Vídeo compuesto (PAL y NTSC) vía 3.5 mm TRRS 84ack compartido con audio estéreo |

| | | | |
|-----------------------|---|---|---|
| Wifi-Bluetooth | --- | Wi-Fi 2.4/5GHz Bluetooth 4.2 | Wi-Fi 2.4Ghz/5Ghz Bluetooth 5.0 |
| Alimentación | 5 V a 2A micro USB | 5 V a 3A microUSB 5 V a 2.5A (#) microUSB | 5 V a 3A USB-C |
| Precio | \$50,66 | \$84,99 | \$99 |
| Tamaño | Largo: 8.6cm Ancho: 5.7cm Peso: 45g | Largo: 8.6cm Ancho: 5.7cm Peso: 45g | Largo: 8.6cm Ancho: 5.7cm Peso: 45g |


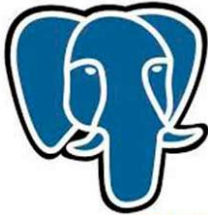

Fuente: (RASPBERRY , 2019)

Se ha escogido la placa Raspberry Pi 4 ya que haciendo una comparación con Raspberry Pi 3 se observa que tienen características similares y el precio no varía mucho uno de otro, pero por esa diferencia se puede escoger una placa con mejores velocidades de rendimiento y un mayor espacio de memoria.

3.1.3.5.2. Selección del gestor de base de datos.

Para la selección del sistema gestor de base de datos (SGBD) se realiza la Tabla 28 que reúne un conjunto de características de tres gestores de base de datos. El SGBD escogido será el encargado de administrar y gestionar la información recibida desde el módulo central.

Tabla 28 *Comparativa de las principales características de algunos gestores de bases de datos para el diseño del módulo de base de datos local del sistema PIGEON-CHEK*

| Características principales | MySQL | PostgreSQL | Microsoft SQL Server |
|-----------------------------|---|---|---|
| |  |  PostgreSQL |  |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de uso y gran rendimiento • Facilidad para instalar y configurar • Soporte multiplataforma • Soporte SSL | <ul style="list-style-type: none"> • Control de concurrencias multiversión • Flexibilidad en cuanto a lenguajes de programación • Multiplataforma • Dispone de una herramienta (pgAdmin, https://www.pgadmin.org/) muy fácil e intuitiva para la | <ul style="list-style-type: none"> • Soporte exclusivo por parte de Microsoft • Seguridad, estabilidad y escalabilidad • Es posible cancelar las consultas |

| | | | |
|-----------------------|---|---|---|
| | administración de las bases de datos | <ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad, robustez y eficiencia | <ul style="list-style-type: none"> • Entorno gráfico de gran potencia • Aunque es originario de Windows desde hace algún tiempo se lo puede manejar en otras plataformas como Docker o Linux. |
| Inconvenientes | <ul style="list-style-type: none"> • Un gran porcentaje de las utilidades de MySQL no están documentadas | <ul style="list-style-type: none"> • Respuesta lenta • No es intuitivo • Requiere hardware | <ul style="list-style-type: none"> • Utiliza mucha RAM • Tamaño de página fijo y pequeño |

Fuente: (Ramakrishnan & Gehrke)

Para la gestión de la base de datos se utilizará MySQL de Oracle Corporation ya que brinda un entorno de trabajo de código abierto y desarrollo web. Otra de las características importantes de este gestor es que funciona sobre múltiples plataformas entre ellas: GNU/Linux, Solaris, Windows 10, Mac OS X, entre otras, siendo las citadas las más conocidas.

Al ser un software de código abierto MySQL permite poder realizar modificaciones al código fuente y ajustarlo a las necesidades que se vayan presentado. Como se mencionó en la descripción de este módulo se va a crear una base de datos con diferentes etiquetas y este entorno permite archivar los datos de manera separada en lugar de colocar todos en un solo archivo, con esto se logra velocidad y flexibilidad ya que las tablas estarán conectadas por etiquetas definidas permitiendo una combinación de datos de diferentes etiquetas dependiendo de los requerimientos que se tenga.

3.1.3.5.3. Diagrama de conexión.

La conexión entre las placas de Arduino UNO y Raspberry Pi 4 se realiza mediante comunicación serial con un cable de conexión USB, como se puede ver en la Figura 27. Una vez el módulo central recibió los datos de los análisis de glucosa en la sangre los procesa asigna

etiquetas a los datos y se envían a la base de datos local en donde se archivarán de acuerdo a cada etiqueta.

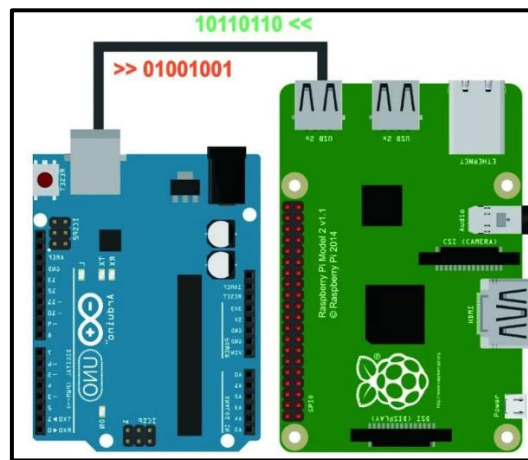


Figura 27 Diagrama de conexión entre el módulo central y el módulo de base de datos local, placas Arduino UNO y Raspberry Pi 4

Fuente: (ARDUINO , 2019)




3.1.3.6. Módulo base de datos en la nube.

El módulo de base de datos en la nube es uno de los requerimientos fundamentales del sistema propuesto en este proyecto, si bien es cierto este tipo de BDD tiene la misma función que la base de datos local su propósito fue ser el centro de atención en lo referente al almacenamiento de la información, la idea de guardar los registros de datos de manera local surgió con la necesidad de tener un Backup o respaldo de la información en caso de no tener una conexión a internet y que esta no pueda ser subida a la nube. A diferencia de la base de datos en la nube que es el enlace principal entre la información procesada de los niveles de glucosa del paciente diabético mediante el algoritmo de aprendizaje automático y el monitoreo remoto por parte del médico tratante y de la familia, uno de los objetivos principales de PIGEON-CHEK.

3.1.3.6.1. Selección de cloud.

Para escoger una base de datos en la nube que sea adecuada para el desarrollo del sistema propuesto se hace un análisis de características de entre algunas bases de datos, este análisis se lo presenta en la Tabla 29.

Tabla 29 Comparativa de las características de Cloud Databases para el diseño del módulo de base de datos en la nube del sistema de monitoreo PIGEON-CHEK

| Características | Amazon Relational Database | Microsoft Azure SQL Database | Cloud SQL de Google |
|-----------------------|--|--|--|
| |  |  |  |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Escalabilidad • Soporte de bases de datos múltiples para datos estructurados • Simplicidad • Gestión automática • Soporte robusto de MySQL • Tiempo de inactividad mínimo • Asequibilidad • Velocidad y rendimiento • Copia de seguridad automatizada • Seguridad | <ul style="list-style-type: none"> • Escalabilidad • Latencia de 15 milisegundos en escrituras • Latencias de 10 milisegundos en lecturas • Alta velocidad y tiempo de inactividad mínimo • No se requiere codificación con SQL estándar, es mucho más fácil administrar los sistemas de bases de datos sin tener que escribir o actualizar una gran cantidad de código. • Herramientas de migración fáciles de usar | <ul style="list-style-type: none"> • Copias de seguridad automatizadas • Conectividad más segura • Totalmente gestionado • Disponibilidad mejorada del centro de datos • Importar y exportar bases de datos |
| Inconvenientes | <ul style="list-style-type: none"> • Algunos parámetros no son modificables en los grupos o tablas y no se proporciona acceso al sistema de archivos del servidor | <ul style="list-style-type: none"> • No se puede usar la autenticación de Windows en SQL Azure. Solo puede usar inicios de sesión de SQL • No se puede realizar consultas de bases de datos distribuidas con nombres de tres o cuatro partes | <p>Si bien puede personalizar su lista de control de acceso, le proporciona una dirección IP pública</p> |

Fuente: (John Bhatti & Bashari Rad, 2017)

Para el diseño de la base de datos en la nube se escogió Amazon Relational Database perteneciente a los Servicios Web de Amazon, debido a que es un sistema libre de

mantenimiento. Con él, no se tiene que aprovisionar de hardware, parchear software, respaldar datos. Se puede cambiar a una instancia más grande cuando se lo necesite, escalabilidad automática, hacia arriba o hacia abajo, vertical u horizontalmente, con un rendimiento de clase mundial. Además, el servicio de base de datos relacional de Amazon está disponible para varios tipos de instancias de base de datos y proporciona varios gestores entre ellos MySQL que es el gestor de BDD con el cual se va a trabajar la base de datos local, esta característica permitirá replicar la base de datos local al servicio de Amazon.

3.1.3.6.2. Esquema de funcionamiento.

Una vez los datos de los análisis de glucosa fueron extraídos y pasaron por el proceso de minería de datos en Arduino son enviados a la base de datos local como se explicó anteriormente y también son transmitidos a la base de datos en la nube mediante una conexión a internet utilizando el protocolo HTTP, esta conexión a internet es posible gracias al módulo GSM/GPRS SIM808, en la Figura 28 se observa el esquema de funcionamiento general de transmisión de datos a un servicio en la nube.

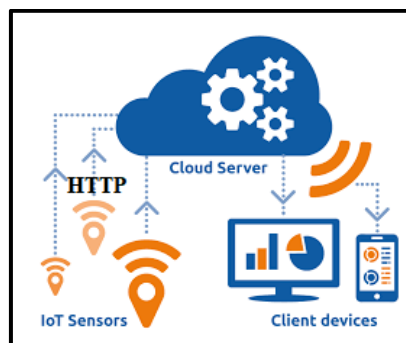


Figura 28 Esquema general de la transmisión de datos de sensores a un servicio en la nube y visualización de esta información desde dispositivos clientes

Fuente: (Behr, 2018)

3.1.3.7. Módulo alerta local.

Este módulo es diseñado para el envío de mensajes tipo SMS de alerta tanto al médico tratante de los pacientes diabéticos como a la familia, con la finalidad de anunciar estados de emergencia o cambios drásticos en los niveles de azúcar en la sangre que puedan afectar la

salud de la persona diabética, estas situaciones de emergencia son detectadas con el algoritmo de aprendizaje automático y las alertas generadas serán en las siguientes situaciones:

- Niveles de glucosa demasiado elevados que se encuentren dentro del rango de valores hiperglucémicos o se acerquen.
- Niveles de glucosa demasiado bajos que se encuentren dentro del rango de valores hipoglucémicos o que se acerquen

Para el envío de los mensajes de texto se programará una lista de personas a las cuales es importante que reciban la alerta y para ello se utilizará el módulo GSM/GPRS.

3.1.3.8. Módulo servidor web.

El propósito de este módulo es la presentación de la información obtenida en el módulo central, dentro de una página web.

La página web contará con algunos servicios tanto para el paciente y médico como para los familiares y personas interesadas, estos servicios van desde la presentación de información relevante acerca de la diabetes, una tabla de valores referenciales y horarios para los análisis de glucosa, así como el acceso por usuario a la base de datos, es importante mencionar que el médico tendrá un acceso total a todas las bases de datos. El diagrama de funcionamiento es el mismo que se muestra en la Figura 28.

3.1.3.8.1. Estructura de la página web.

El esquema que se observa en la Figura 29 describe el contenido que va presentarse en la página web.

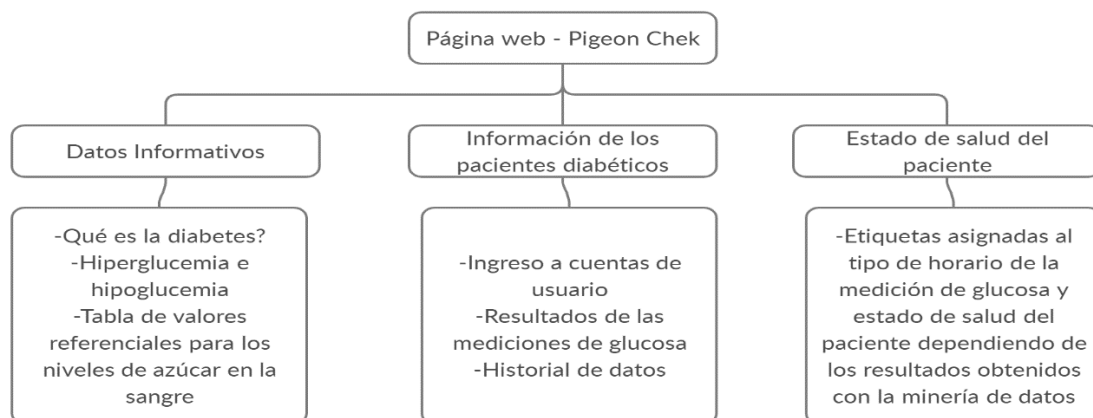


Figura 29 Diagrama del contenido de la página web para el diseño del sistema de monitoreo PIGEON-CHEK

Fuente: Autoría

3.1.3.9. Módulo eléctrico o de alimentación.

Este módulo es el encargado de suministrar energía eléctrica al módulo central y al módulo de base de datos local. Una vez los elementos de estos módulos fueron determinados es posible fijar los elementos requeridos para el diseño de la fuente de alimentación eléctrica. En la Tabla 30 se hace un listado de los dispositivos con la cantidad de voltaje y corriente necesarias para funcionar.

Tabla 30 Consumo de voltaje y corriente de los dispositivos del módulo central y del módulo de base de datos local

| Elemento | Corriente (mA) | Voltaje de operación (V) | Voltaje de alimentación "recomendado" |
|--|--|--------------------------|---------------------------------------|
| Arduino UNO | Consumo por cada pin (entrada/salida) 46mA x 2pines=92mA | 5V | 7-12V |
| Módulo SIM 808 | 40mA | 4,2V | 5-18V |
| Raspberry Pi 4 | 2500-3000mA ó 2.5-3Amperios | 5V | 5V |
| Total, corriente: 2632mA o 2,6Amp | | | Total, Voltaje: ±5V |

Fuente: Módulo eléctrico del sistema Pigeon-Chek

3.1.3.9.1. Cálculo de voltaje.

Para determinar el voltaje de funcionamiento de PIGEON-CHEK se tomó en cuenta el voltaje de operación de los tres dispositivos que van a ser alimentados con el módulo eléctrico

“Módulo Arduino, SIM808, Raspberry pi”, teniendo como resultado que con un valor de $\pm 5V$ se garantiza el funcionamiento de los elementos implicados.

3.1.3.9.2. *Cálculo de corriente.*

Para obtener este cálculo se basó en las especificaciones de técnicas de los tres dispositivos antes mencionados y de acuerdo a la fórmula de la Ecuación 3 se obtuvo el valor de corriente total, que es una sumatoria de todas las corrientes involucradas.

$$IT = \sum_{i=1}^n I_i \quad (3)$$

$$IT = I_1 + I_2 + I_3$$

$$IT = (92 + 40 + 2.5)mA$$

$$IT = 2632mA$$

En base a los resultados obtenidos se utilizará para alimentar de energía eléctrica al sistema una fuente de $\pm 5 V$ cd a 3A.

3.1.3.9.3. *Diseño de la fuente de alimentación eléctrica.*

El diseño del circuito de la fuente se ilustra en la Figura 33, la fuente está conformada de cuatro etapas, la primera, la etapa de transformación, la cual se la realiza con un transformador de 12V, que además deberá proporcionar como mínimo 3A.

La etapa de rectificación permite obtener a su salida un voltaje continuo, esto se lo realiza incluyendo al circuito un puente rectificador, en donde los diodos utilizados deben ser capaces de soportar una corriente de 3A como mínimo, para esto se utilizará el 1N5408.

En la etapa de filtrado se va a obtener un voltaje más continuo que el obtenido en la anterior etapa, para después proceder a la fase de regulación utilizando un regulador 7805, necesario para obtener voltajes de salida que se encuentren dentro del rango establecido. Este regulador

no es capaz de conducir 3A, razón por la cual se agregará dos transistores de potencia, se utiliza el transistor pnp TIP42C que es capaz de conducir hasta 6A; uno de estos transistores manejará la corriente absorbida de la carga y el otro se utiliza para impedir las sobrecargas y sirva de barrera ante un cortocircuito.

3.1.3.9.4. Diagrama de conexión.

El esquema de la Figura 30 ilustra el circuito de la fuente de alimentación de 5V a 3A, las etapas de funcionamiento se detallaron en el anterior apartado, en este esquema se observa un transistor T2 y una resistencia R2 de $0,33\Omega$ estos elementos protegerán al circuito de una sobrecarga o cortocircuito.

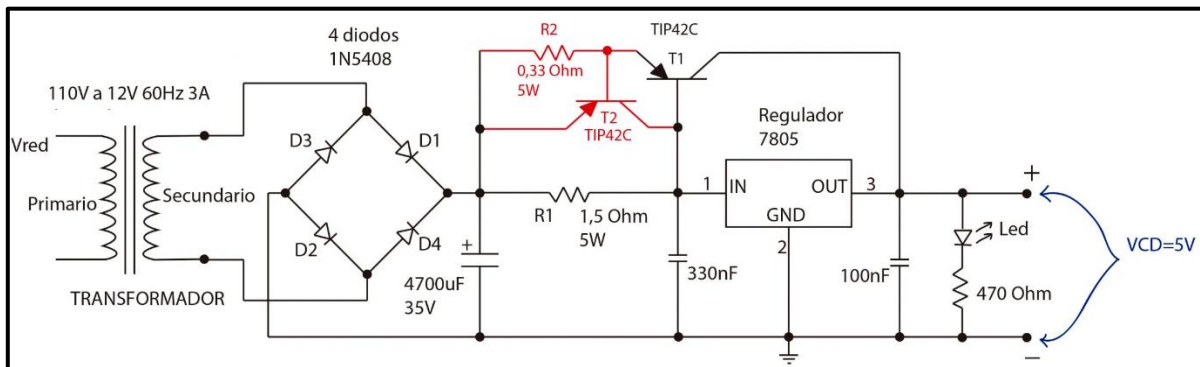


Figura 30 Diagrama esquemático del circuito para la fuente de alimentación eléctrica de PIGEON-CHEK

Fuente: (Díaz, 2017)

3.1.4. Codificación del software para el sistema Pigeon-Chek.

En esta sección se procederá a la codificación de los módulos los cuales tienen un diseño de software siendo estos: Módulo central, aprendizaje automático, base de datos local, base de datos en la nube, alerta local, servidor web.

3.1.4.1. Módulo central.

En este módulo se va a realizar el acoplamiento entre el glucómetro del módulo de toma de datos y Arduino. Para realizar la conexión lógica se necesita conocer las tramas de comunicación del dispositivo de medición de la glucosa “Glucómetro ONE TOUCH ULTRA MINI”, pues este emite una respuesta a una secuencia determinada de caracteres. El protocolo de comunicación se obtuvo de la hoja de especificaciones propia del fabricante del glucómetro y se encuentra en el Anexo 2, en esta se enlista las tramas que se necesitan para la transmisión y recepción de datos. En la Figura 31 se detalla la secuencia de caracteres que debe enviarse desde Arduino para obtener una respuesta desde el glucómetro.

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

Figura 31 Trama de petición del glucómetro OneTouch UltraMini

Fuente: (LifeScan, 2007)

Al enviar esta trama en formato hexadecimal se establece la comunicación con el glucómetro y se solicita el envío del valor de la glucosa con la fecha en la cual se realizó la última medición.

Del glucómetro se obtiene una trama de respuesta conformada por veintidós caracteres de los cuales se necesitan específicamente los datos del 14 al 11 tomados de derecha a izquierda, estos valores corresponden a la fecha y hora de la medición y los datos del 18 al 15 representan el valor de la glucosa en miligramos por decilitro.

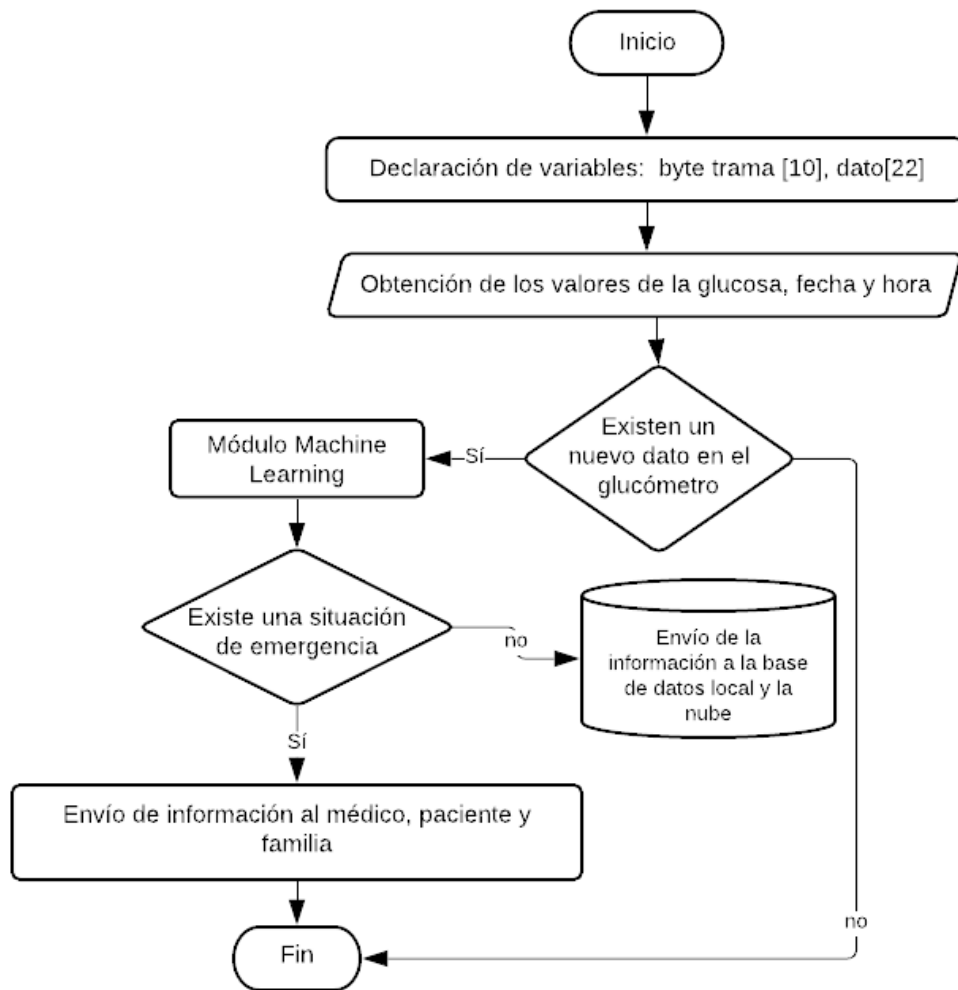


Figura 33 Diagrama de flujo general del módulo central del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Autoría

En la Figura 34 se muestra una parte del código de programación del módulo central, mientras que en el Apéndice C se encuentra el código en su totalidad, incluyendo el proceso de minería de datos y el envío de la alerta local.

```
//DECLARACIÓN E INICIALIZACIÓN DE VARIABLES
int i;
int cont;
/*Cadena de caracteres equivalente a la trama serial para la lectura de la última
medición del glucómetro OneTouch UltraMini*/
byte cadena [10] = {0x02, 0x0A, 0x03, 0x05, 0x1F, 0x00, 0x00, 0x03, 0x4B, 0x5F};
byte dato[22]; /*variable usada para almacenar la información obtenida
desde el glucómetro*/
byte posicion = 0; //variable usada como contador
int glucosa = 0; //variable que almacena el valor de glucosa

void setup() {
  Serial.begin(9600);//Inicializar el puerto a 9600 baudios
  SIM808.begin(19200);//Iniciaiza el puerto serial SIM8008
  gluco.begin(9600);//Iniciliza el puerto seril gluco
  pinMode(D4, INPUT);
  delay(5000);
  Serial.println("Sistema Iniciado");
  gluco.listen(); //Escuchar el puerto gluco
}
void loop() {
  int boton = digitalRead(D4);
  if (boton == 1) {
    delay(500);
    Serial.println();
    Serial.println("Obteniendo medicion...");
    gluco.flush();//Limpiar el buffer del puerto gluco
    gluco.write(cadena, 10);
    cont=1;
  }
}
```

Figura 34 Líneas de código de la programación del módulo central, declaración de variables, inicialización de puertos

Fuente: Código de programación de Arduino para el sistema Pigeon-Chek

3.1.4.2. Módulo de aprendizaje automático.

En este módulo se procede a realizar las seis etapas que son parte del proceso KDD. Para la elección del algoritmo de aprendizaje automático y las posteriores pruebas del sistema propuesto en este proyecto.

3.1.4.2.1. Selección de la base de datos de pacientes diabéticos.

Para la selección de los datos se va a trabajar con una BDD ya existente, esta base de datos se la obtuvo del Repositorio de aprendizaje automático de la Universidad de California, este repositorio cuenta en la actualidad con 488 conjuntos de bases de datos de diferentes tipos y están a disponibilidad de todas las personas interesadas en el aprendizaje automático y diseño de sistemas inteligentes.

La BDD escogida reúne un conjunto de datos de la diabetes, en donde los archivos de los pacientes se obtuvieron de dos fuentes: un dispositivo de registro electrónico automático y registros en papel. Estos registros se tomaron en espacios de tiempo lógico (antes y después del desayuno, antes y después del almuerzo, antes y después de la cena, hora de acostarse, madrugada, horario no especificado). La base de datos cuenta con veinte atributos tomados en una población de setenta personas diabéticas, existen cuatro campos por registro, en la Tabla 31 se encuentra la distribución de los diferentes campos y atributos:

Tabla 31 *Nombres de archivo y formato de registro de los datos de glucosa en la BDD utilizada para el aprendizaje automático*

| Nombres de archivo y formato | Códigos de los atributos |
|--|---|
| (1) Fecha en formato MM-DD-AAAA | 33 = dosis regular de insulina 34 = dosis de insulina NPH |
| (2) Hora en formato: XX:YY | 35 = dosis de insulina UltraLente 48 = Medición de glucosa en sangre no especificada |
| (3) Código del atributo | 57 = Medición de glucosa en sangre no especificada |
| (4) Valor | 58 = medición de glucosa en sangre antes del desayuno 59 = Medición de glucosa en sangre después del desayuno 60 = medición de glucosa en sangre antes del almuerzo 61 = medición de glucosa en sangre después del almuerzo 62 = Medición de glucosa en sangre antes de la cena 63 = Medición de glucosa en sangre después de la cena 64 = Medición de glucosa en sangre previa a la merienda 65 = síntomas de hipoglucemia 66 = Ingestión típica de comida 67 = Ingestión de comida más de lo normal 68 = Ingestión de comida menos de lo normal 69 = actividad de ejercicio típica 70 = Actividad de ejercicio más de lo habitual 71 = Actividad de ejercicio inferior a la habitual 72 = Evento especial no especificado |

Fuente: (Kahn, 2007)

En la Figura 35 se puede observar parte del registro dentro de la base de datos de un paciente diabético, se aprecia que existen varias etiquetas dependiendo del atributo al cual pertenezca cada dato.

| Archivo | Edición | Formato | Ver | Ayuda | |
|------------|---------|---------|-----|-------|---|
| 04-21-2001 | 9:09 | 58 | 100 | | Medición de glucosa en la sangre antes del desayuno |
| 04-21-2001 | 9:09 | 33 | 009 | | |
| 04-21-2001 | 9:09 | 34 | 013 | | |
| 04-21-2001 | 17:08 | 62 | 119 | | |
| 04-21-2001 | 17:08 | 33 | 007 | | |
| 04-21-2001 | 22:51 | 48 | 123 | | Medición de glucosa en horario no especificado |
| 04-22-2001 | 7:35 | 58 | 216 | | |
| 04-22-2001 | 7:35 | 33 | 010 | | Dosis regular de insulina |
| 04-22-2001 | 7:35 | 34 | 013 | | Dosis de insulina NPH |
| 04-22-2001 | 13:40 | 33 | 002 | | |
| 04-22-2001 | 16:56 | 62 | 211 | | |
| 04-22-2001 | 16:56 | 33 | 007 | | |
| 04-23-2001 | 7:25 | 58 | 257 | | |
| 04-23-2001 | 7:25 | 33 | 011 | | |
| 04-23-2001 | 7:25 | 34 | 013 | | |
| 04-23-2001 | 17:25 | 62 | 129 | | |
| 04-23-2001 | 17:25 | 33 | 007 | | |
| 04-24-2001 | 7:52 | 58 | 239 | | |

Figura 35 Registro de datos de un paciente diabético y nombre de los atributos dependiendo de la etiqueta asignada

Fuente: (Kahn, 2007)

3.1.4.2.2. Preprocesamiento y transformación de los datos.

En esta etapa se van a eliminar los datos que no se utilizarán en el proceso de aprendizaje automático, los atributos necesarios en la base de datos son los siguientes: medición de glucosa en horario no especificado, antes y después del desayuno, antes y después del almuerzo, antes y después de la merienda.

Los horarios que se asignaron para la clasificación de los datos se encuentran en la Tabla 32, estos tiempos se basaron en una investigación realizada por (Garaulet, 2014) catedrática de Fisiología de la Universidad de Murcia, en donde se especifican los tiempos óptimos para cada comida basándose en una encuesta realizada a mil personas. Una vez se fijaron los horarios de las comidas se asignó una etiqueta perteneciente a niveles de glucosa tomados fuera de horario para ello se tomó en cuenta los valores de glucosa de una media aritmética realizada por la Cruz Roja. Las unidades de los valores de glucosa se encuentran en mg/dl.

Tabla 32 *Horario para la toma de los niveles de glucosa preprandial y postprandial y niveles de glucosa fuera de horario y rango de los valores de glucosa en la sangre*

| Tipo de horario para las mediciones de glucosa | Rango de espacios de tiempo | Hipoglucemia | Nivel bajo | Ideal | Controlado | Nivel alto | Hiperoglucemia |
|--|-----------------------------|--------------|------------|--------|------------|------------|----------------|
| Madrugada | 03:00-05:00 | <65 | 66-69 | 70-79 | 80-109 | 110-129 | >130 |
| Ayunas | 05:01-07:00 | <65 | 66-69 | 70-109 | 110-119 | 120-144 | >145 |
| Después del desayuno | 07:01-09:00 | <65 | 66-69 | 70-119 | 120-179 | 180-249 | >250 |
| Antes del almuerzo | 11:00-12:15 | <65 | 66-69 | 70-109 | 110-119 | 120-144 | >145 |
| Después del almuerzo | 12:16-14:16 | <65 | 66-69 | 70-119 | 120-179 | 180-249 | >250 |
| Antes de la merienda | 16:30-18:00 | <65 | 66-69 | 70-109 | 110-119 | 120-144 | >145 |
| Después de la merienda | 18:01-20:01 | <65 | 66-69 | 70-119 | 120-179 | 180-249 | >250 |
| FUERA DE HORARIO | ----- | <65 | 66-70 | 71-110 | 111-160 | 161-198 | >199 |

Fuente: (Garaulet, 2014)

La base de datos con la cual se va a trabajar cuenta con una media de 300 datos por cada paciente, multiplicando esto por los 70 pacientes se obtiene una BDD de alrededor de 21000 datos. Para obtener el tamaño de la muestra con la cual se va a trabajar se utilizó la calculadora del tamaño de la muestra de la empresa SurveyMonkey el detalle de esta herramienta se encuentra en el Apéndice B. Utilizando los 21000 datos con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% el tamaño de la muestra será de 378 esto quiere decir que se va a trabajar el algoritmo de aprendizaje automático con 378 datos. Estas muestras son un conjunto de mediciones preprandiales, postprandiales, madrugada y fuera de horario. Solamente se toman en cuenta el atributo hora y el valor de glucosa ya que es el algoritmo quien va a poner la etiqueta de tipo de horario y estado diabético del paciente dependiendo valor de azúcar en la sangre. En la Tabla 33 se encuentran los datos para el aprendizaje automático.

Tabla 33 BDD para el algoritmo de aprendizaje automático, con valores de glucosa, hora y fecha

| N° | Hora | Gluco | N° | Hora | Gluco | N° | Hora | Gluco | N° | Hora | Gluc co | N° | Hora | Gluc o | N° | Hora | Gluco | N° | Hora | Gluco |
|----|-------|-------|----|-------|-------|----|-------|-------|----|-------|------------|----|-------|-----------|----|-------|-------|-----|-------|-------|
| 1 | 22:51 | 123 | 18 | 12:40 | 134 | 35 | 05:13 | 152 | 52 | 14:30 | 177 | 69 | 22:17 | 161 | 86 | 07:39 | 272 | 103 | 08:01 | 66 |
| 2 | 22:09 | 340 | 19 | 12:15 | 128 | 36 | 10:57 | 72 | 53 | 11:39 | 151 | 70 | 19:16 | 123 | 87 | 08:44 | 92 | 104 | 08:04 | 192 |
| 3 | 21:54 | 288 | 20 | 17:39 | 179 | 37 | 16:54 | 194 | 54 | 10:47 | 178 | 71 | 21:24 | 229 | 88 | 08:01 | 66 | 105 | 06:04 | 123 |
| 4 | 22:30 | 200 | 21 | 17:27 | 185 | 38 | 07:38 | 140 | 55 | 11:48 | 192 | 72 | 21:53 | 91 | 89 | 08:04 | 192 | 106 | 05:53 | 92 |
| 5 | 22:28 | 63 | 22 | 17:10 | 147 | 39 | 06:19 | 73 | 56 | 17:29 | 122 | 73 | 22:12 | 119 | 90 | 06:04 | 123 | 107 | 11:43 | 46 |
| 6 | 23:06 | 48 | 23 | 19:30 | 285 | 40 | 06:52 | 70 | 57 | 16:40 | 172 | 74 | 20:54 | 156 | 91 | 06:59 | 118 | 108 | 11:11 | 62 |
| 7 | 22:08 | 85 | 24 | 05:56 | 80 | 41 | 07:27 | 72 | 58 | 17:01 | 170 | 75 | 19:50 | 151 | 92 | 05:56 | 80 | 109 | 11:18 | 70 |
| 8 | 05:52 | 239 | 25 | 14:57 | 170 | 42 | 16:42 | 124 | 59 | 16:20 | 301 | 76 | 22:59 | 95 | 93 | 07:05 | 149 | 110 | 11:37 | 76 |
| 9 | 07:29 | 67 | 26 | 06:43 | 202 | 43 | 06:49 | 117 | 60 | 16:12 | 155 | 77 | 08:21 | 151 | 94 | 07:15 | 102 | 111 | 11:33 | 190 |
| 10 | 05:02 | 77 | 27 | 05:58 | 92 | 44 | 11:11 | 62 | 61 | 16:56 | 218 | 78 | 11:54 | 61 | 95 | 07:46 | 298 | 112 | 12:30 | 132 |
| 11 | 10:03 | 259 | 28 | 05:06 | 101 | 45 | 11:37 | 65 | 62 | 17:24 | 141 | 79 | 07:48 | 155 | 96 | 07:47 | 158 | 113 | 11:40 | 136 |
| 12 | 08:42 | 109 | 29 | 06:52 | 154 | 46 | 10:13 | 84 | 63 | 16:55 | 79 | 80 | 16:58 | 204 | 97 | 07:27 | 175 | 114 | 12:38 | 115 |
| 13 | 07:39 | 128 | 30 | 06:03 | 88 | 47 | 10:35 | 135 | 64 | 17:39 | 190 | 81 | 07:27 | 175 | 98 | 06:16 | 188 | 115 | 12:12 | 63 |
| 14 | 12:53 | 72 | 31 | 06:36 | 67 | 48 | 10:40 | 94 | 65 | 17:04 | 66 | 82 | 06:16 | 188 | 99 | 06:03 | 97 | 116 | 11:52 | 100 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|
| 15 | 13:53 | 68 | 32 | 07:02 | 107 | 49 | 11:59 | 64 | 66 | 17:00 | 104 | 83 | 06:03 | 97 | 100 | 06:14 | 60 | 117 | 11:47 | 85 |
| 16 | 12:50 | 159 | 33 | 05:15 | 122 | 50 | 12:13 | 50 | 67 | 21:28 | 180 | 84 | 06:14 | 60 | 101 | 07:39 | 272 | 118 | 12:59 | 88 |
| 17 | 11:01 | 63 | 34 | 05:04 | 54 | 51 | 04:01 | 142 | 68 | 21:11 | 102 | 85 | 06:05 | 100 | 102 | 08:44 | 92 | 119 | 12:21 | 221 |
| 120 | 11:35 | 43 | 139 | 17:36 | 111 | 156 | 22:07 | 267 | 175 | 22:06 | 137 | 194 | 06:12 | 60 | 213 | 07:16 | 137 | 232 | 11:35 | 43 |
| 121 | 12:33 | 112 | 140 | 17:34 | 265 | 157 | 21:58 | 223 | 176 | 21:57 | 84 | 195 | 05:53 | 92 | 214 | 07:27 | 126 | 233 | 12:33 | 112 |
| 122 | 11:53 | 119 | 141 | 17:12 | 280 | 158 | 22:28 | 239 | 177 | 21:58 | 202 | 196 | 07:23 | 88 | 215 | 07:42 | 275 | 234 | 12:13 | 77 |
| 123 | 11:05 | 124 | 140 | 16:30 | 145 | 159 | 17:05 | 260 | 178 | 21:41 | 195 | 197 | 05:58 | 142 | 216 | 06:06 | 216 | 235 | 11:53 | 119 |
| 124 | 17:02 | 198 | 141 | 16:47 | 226 | 160 | 20:46 | 49 | 179 | 22:45 | 184 | 198 | 06:03 | 74 | 217 | 06:03 | 96 | 236 | 11:05 | 124 |
| 125 | 14:30 | 177 | 142 | 16:27 | 256 | 161 | 17:18 | 319 | 180 | 22:28 | 185 | 199 | 07:44 | 63 | 218 | 06:08 | 44 | 237 | 12:16 | 156 |
| 126 | 17:57 | 226 | 143 | 16:50 | 172 | 162 | 22:47 | 50 | 181 | 00:06 | 173 | 200 | 05:53 | 160 | 219 | 07:49 | 165 | 238 | 12:20 | 128 |
| 127 | 16:53 | 140 | 144 | 17:30 | 184 | 163 | 22:04 | 116 | 182 | 20:25 | 31 | 201 | 07:40 | 247 | 220 | 06:14 | 194 | 239 | 12:16 | 185 |
| 128 | 16:24 | 212 | 145 | 17:09 | 331 | 164 | 23:05 | 182 | 183 | 22:32 | 98 | 202 | 07:18 | 155 | 221 | 08:19 | 167 | 240 | 11:46 | 116 |
| 129 | 16:26 | 184 | 146 | 18:01 | 188 | 165 | 23:23 | 159 | 184 | 22:19 | 155 | 203 | 06:05 | 163 | 222 | 06:01 | 173 | 241 | 12:17 | 79 |
| 130 | 16:56 | 213 | 147 | 16:54 | 258 | 166 | 21:25 | 56 | 185 | 22:26 | 72 | 204 | 06:06 | 83 | 223 | 06:18 | 140 | 242 | 11:30 | 72 |
| 131 | 16:48 | 226 | 148 | 16:53 | 181 | 167 | 22:43 | 163 | 186 | 08:21 | 151 | 205 | 06:08 | 138 | 224 | 06:45 | 160 | 243 | 11:32 | 155 |
| 132 | 17:17 | 319 | 149 | 17:14 | 223 | 168 | 21:48 | 163 | 187 | 11:54 | 61 | 206 | 05:59 | 139 | 225 | 06:14 | 155 | 244 | 11:12 | 202 |
| 133 | 17:06 | 287 | 150 | 17:31 | 221 | 169 | 00:13 | 214 | 188 | 07:48 | 155 | 207 | 06:58 | 365 | 226 | 11:52 | 100 | 245 | 11:41 | 53 |
| 134 | 16:24 | 301 | 151 | 16:13 | 242 | 170 | 23:51 | 81 | 189 | 16:58 | 204 | 208 | 08:15 | 230 | 227 | 11:47 | 85 | 246 | 11:11 | 157 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|
| 135 | 16:50 | 238 | 152 | 18:06 | 295 | 171 | 22:25 | 154 | 190 | 16:16 | 346 | 209 | 08:02 | 118 | 228 | 11:42 | 57 | 247 | 11:45 | 135 |
| 136 | 17:27 | 341 | 153 | 17:16 | 291 | 172 | 21:57 | 227 | 191 | 08:04 | 192 | 210 | 06:23 | 225 | 229 | 12:59 | 88 | 248 | 12:53 | 166 |
| 137 | 17:36 | 188 | 154 | 23:37 | 200 | 173 | 22:04 | 202 | 192 | 06:04 | 123 | 211 | 06:07 | 60 | 230 | 12:21 | 221 | 249 | 16:30 | 145 |
| 138 | 17:03 | 230 | 155 | 16:55 | 241 | 174 | 22:09 | 80 | 193 | 06:59 | 118 | 212 | 06:06 | 137 | 231 | 11:26 | 79 | 250 | 16:47 | 226 |
| 251 | 16:27 | 256 | 269 | 17:33 | 242 | 287 | 22:32 | 98 | 305 | 07:58 | 205 | 323 | 14:17 | 134 | 341 | 13:05 | 203 | 361 | 09:21 | 280 |
| 252 | 16:50 | 172 | 270 | 15:49 | 296 | 288 | 22:19 | 155 | 306 | 09:21 | 134 | 324 | 13:27 | 181 | 342 | 08:37 | 242 | 362 | 11:44 | 95 |
| 253 | 17:30 | 184 | 271 | 22:28 | 239 | 289 | 22:26 | 72 | 307 | 09:13 | 256 | 325 | 12:05 | 31 | 343 | 09:23 | 265 | 363 | 02:50 | 63 |
| 254 | 17:09 | 331 | 272 | 17:05 | 260 | 290 | 22:48 | 166 | 308 | 09:52 | 190 | 326 | 12:10 | 38 | 344 | 05:52 | 238 | 364 | 03:39 | 48 |
| 255 | 18:01 | 188 | 273 | 20:46 | 49 | 291 | 22:04 | 254 | 309 | 06:51 | 51 | 327 | 13:33 | 208 | 345 | 10:28 | 242 | 365 | 11:32 | 192 |
| 256 | 16:34 | 258 | 274 | 17:18 | 319 | 292 | 23:06 | 181 | 310 | 08:43 | 308 | 328 | 18:24 | 52 | 346 | 12:10 | 52 | 366 | 10:27 | 59 |
| 257 | 16:53 | 181 | 275 | 21:52 | 257 | 293 | 22:07 | 210 | 311 | 07:21 | 170 | 329 | 18:03 | 77 | 347 | 14:03 | 223 | 367 | 10:30 | 65 |
| 258 | 17:14 | 223 | 276 | 16:58 | 393 | 294 | 14:52 | 203 | 312 | 08:46 | 52 | 330 | 18:45 | 311 | 348 | 14:17 | 134 | 368 | 21:36 | 184 |
| 259 | 17:31 | 221 | 277 | 17:32 | 201 | 295 | 16:55 | 144 | 313 | 08:41 | 197 | 331 | 18:57 | 38 | 349 | 13:27 | 181 | 369 | 10:09 | 43 |
| 260 | 16:13 | 242 | 278 | 22:09 | 80 | 296 | 17:52 | 119 | 314 | 10:50 | 232 | 332 | 17:42 | 48 | 350 | 12:05 | 31 | 370 | 13:22 | 52 |
| 261 | 16:44 | 167 | 279 | 22:06 | 137 | 297 | 06:20 | 173 | 315 | 10:17 | 76 | 333 | 17:38 | 35 | 353 | 12:10 | 38 | 371 | 07:43 | 89 |
| 262 | 16:17 | 92 | 280 | 21:57 | 84 | 298 | 12:15 | 160 | 316 | 09:19 | 308 | 334 | 17:17 | 36 | 354 | 13:08 | 171 | 372 | 07:36 | 67 |
| 263 | 17:20 | 360 | 281 | 21:58 | 202 | 299 | 00:08 | 62 | 317 | 06:49 | 87 | 335 | 19:05 | 81 | 355 | 18:15 | 69 | 373 | 07:24 | 79 |
| 264 | 16:16 | 231 | 282 | 21:41 | 195 | 300 | 10:47 | 215 | 318 | 06:47 | 260 | 336 | 18:55 | 151 | 356 | 18:39 | 272 | 374 | 07:23 | 164 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|
| 265 | 16:46 | 105 | 283 | 22:45 | 184 | 301 | 06:55 | 237 | 319 | 08:48 | 132 | 337 | 18:23 | 45 | 357 | 18:28 | 357 | 375 | 11:51 | 72 |
| 266 | 16:50 | 236 | 284 | 22:28 | 185 | 302 | 02:35 | 37 | 320 | 06:21 | 38 | 338 | 22:50 | 77 | 358 | 22:26 | 43 | 376 | 11:56 | 55 |
| 267 | 16:52 | 214 | 285 | 00:06 | 173 | 303 | 08:19 | 49 | 321 | 12:10 | 52 | 339 | 22:44 | 49 | 359 | 22:20 | 37 | 377 | 11:54 | 231 |
| 268 | 16:21 | 131 | 286 | 20:25 | 31 | 304 | 06:43 | 57 | 322 | 14:03 | 223 | 340 | 02:35 | 37 | 360 | 21:55 | 234 | 378 | 11:46 | 75 |

Fuente: (Kahn, 2007)

Una vez definida la base de datos con la cual se va a trabajar se procede a la selección del algoritmo de aprendizaje automático, las etiquetas de estado y tipo de horario se las agrega en la base de datos una vez haya sido realizada la minería de datos, para ello se utilizará la información de la Tabla 32.

3.1.4.2.3. Selección del algoritmo de aprendizaje automático.

En esta etapa se justifica ¿por qué? el algoritmo que se va a escoger es el más adecuado para la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia.

De acuerdo a la información del apartado 2.3.1. Algoritmos de aprendizaje automático, se va a implementar al sistema un algoritmo de aprendizaje supervisado, en esta ocasión se va a trabajar con el Árbol de decisión, a continuación, se explica por qué no se escogieron otros algoritmos.

- Regresión lineal. – Este algoritmo no se ajusta debido a que las variables que están implicadas en el algoritmo son la hora y el valor de la glucosa y estas no son variables lineales. Para poder aplicar la regresión lineal se necesitan de variables proporcionales directas.
- Regresión logística. – Este tipo de algoritmo es más adecuado para clasificaciones binarias en donde las variables “y o x” pueden tomar valores de 0 y 1. Es decir solo hay dos posibilidades de que un evento ocurra.
- Naive Bayes. – Este es un algoritmo que trabaja con variables consideradas como independientes, se podría aplicar este algoritmo si la variable de los niveles de glucosa en la sangre fuera la única variable que se necesita para la predicción, pero en este caso esta depende del horario en el cual se realizó el análisis de glucemia en la sangre.
- KNN. – El algoritmo del vecino más cercano no es factible para las variables que maneja este proyecto, ya que este algoritmo no tiene supuestos, es un algoritmo no paramétrico, es decir no permite que se cumplan ciertos parámetros, el algoritmo que se implemente en este sistema debe saber a qué hora se realizó la medición de glucosa en la sangre, este parámetro debe cumplirse para ejecutar la predicción.

Finalmente se procede a escoger el *Árbol de decisión* ya que este algoritmo permite manejar características no lineales y toma en cuenta las interacciones que existen entre cada una de las variables.

3.1.4.2.4. *Aplicación del algoritmo de aprendizaje automático.*

En esta etapa se procede a implementar el algoritmo de predicción en la Figura 36 se esquematiza el proceso realizado en el *Árbol de decisión*. La codificación y el proceso de evaluación y validación del algoritmo se la realiza en la segunda iteración ya que es necesario tener listas las bases de datos para el almacenamiento de la información minada.

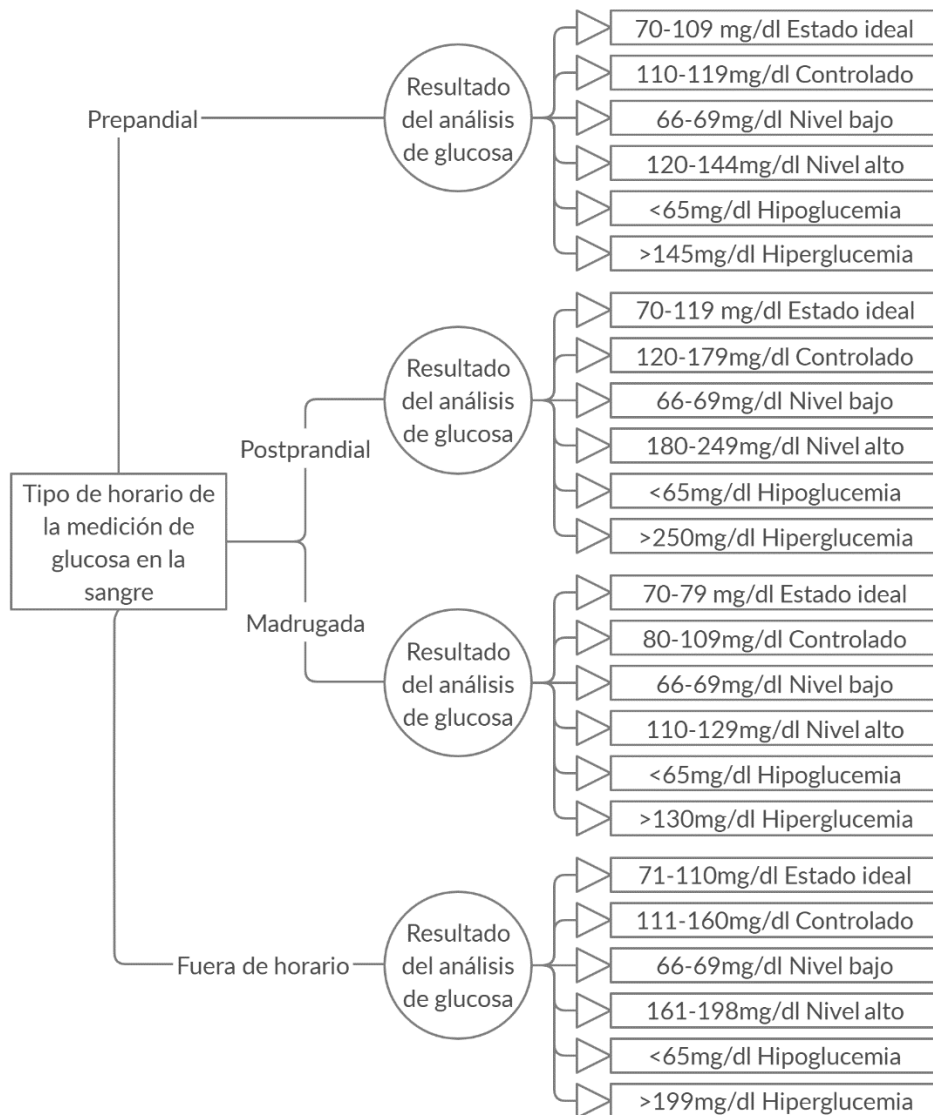


Figura 36 Esquema del árbol de decisión para la detección de la hiperglucemia e hipoglucemia

Fuente: Autoría

3.1.4.3. Módulo de base de datos.

En este módulo se va a realizar el diseño de la base de datos que servirá tanto de manera local como en la nube ya que se trabajará con la misma estructura para los dos módulos de almacenamiento.

La BDD se diseñó de acuerdo a los requerimientos del sistema Pigeon-Chek, basándose en el modelo de entidad-relación que se observa en la Figura 37. Donde las entidades estarán representadas por rectángulos y estas son aquellas de las cuales se va a almacenar datos, siendo definidos como entidades a: doctor, pacientes, glucosa. Los rombos indican la relación entre las identidades, finalizando con los atributos propios de cada identidad estos se encuentran ilustrados con óvalos.

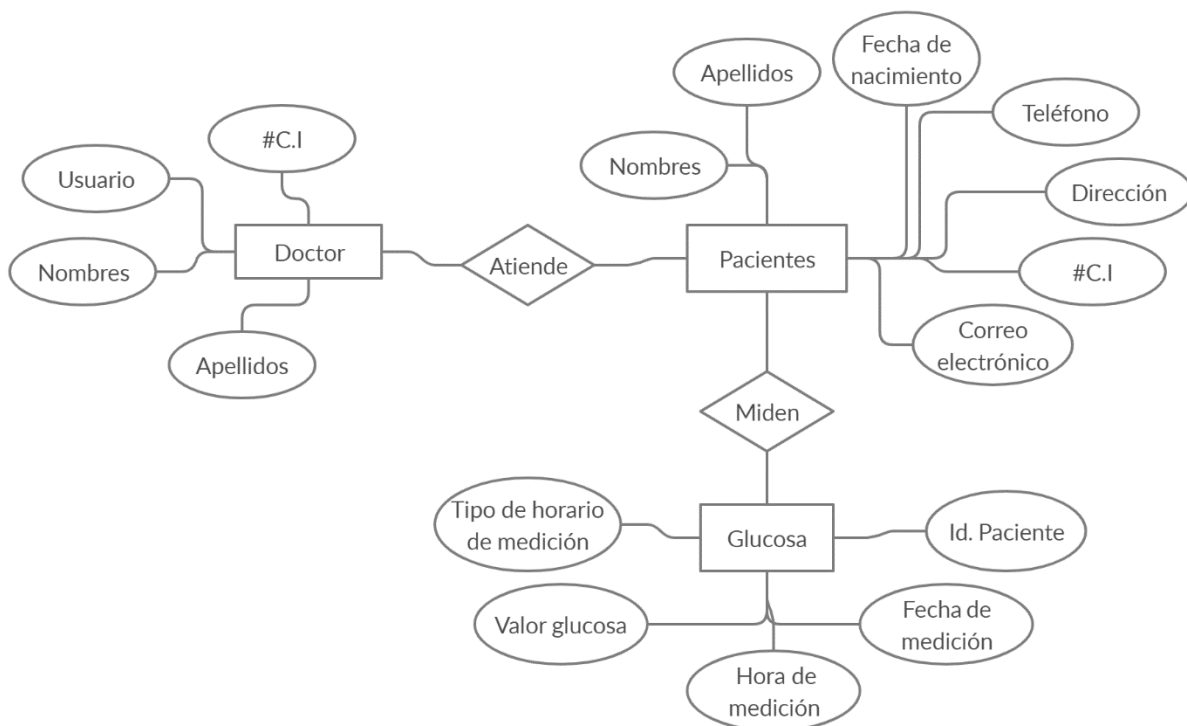


Figura 37 Modelo entidad-relación para el diseño de la BDD del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Autoría

Tanto para la base de datos local como para la base de datos en la nube se va a utilizar MySQL ya que es un sistema de base de datos relacional de código abierto, se puede ejecutar en todas las plataformas y se utiliza con mayor frecuencia en aquellas basadas en la web y

publicaciones en línea que es uno de los principales objetivos del presente proyecto. Para la administración y gestión de las bases de datos MySQL se utilizará phpMyAdmin que permite el manejo de las mismas desde una interfaz gráfica.

La base de datos local estará alojada en el dispositivo raspberry pi perteneciente al módulo de BDD local, en el Apéndice D se detalla la instalación.

La base de datos en la nube estará alojada en una instancia dentro de Amazon Web Services, en el Apéndice E se detalla la instalación.

3.1.4.3.1. Estructura de la base de datos.

A continuación, se define cómo fue estructurada la base de datos junto con el nombre y contenido de cada tabla relacional. En la Figura 38 se observa que el nombre de la base de datos es bookmedik, y esta cuenta con ocho tablas que se irán detallando secuencialmente.

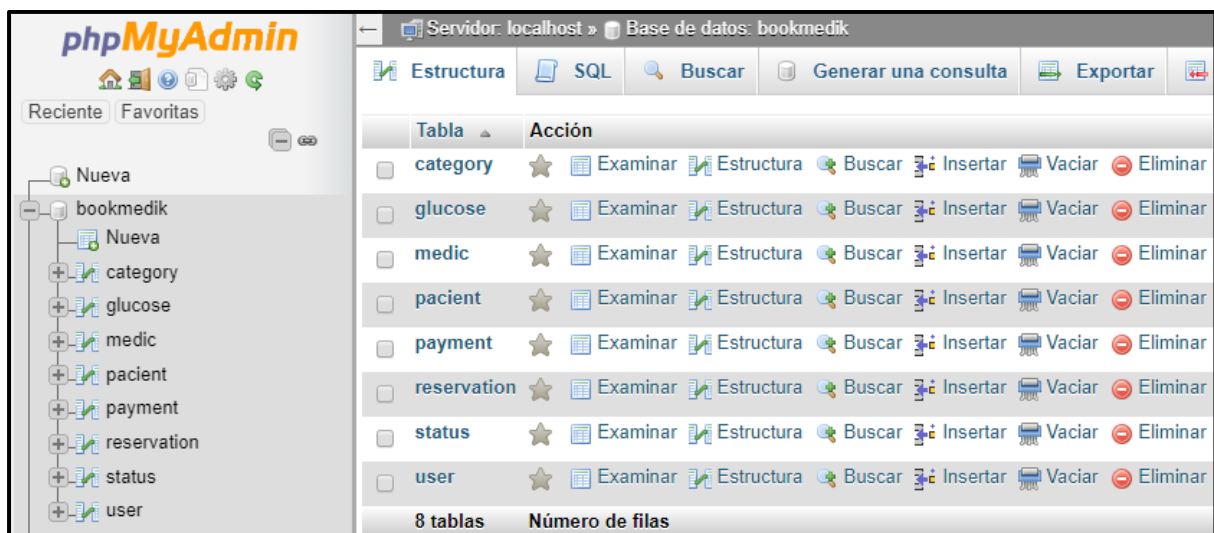


Figura 38 BDD bookmedik y tablas creadas en la base de datos del sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

La tabla “category” se creó para asignar una especialidad al médico tratante ya que el sistema puede ser utilizado por cualquier persona de salud calificado para el tratamiento a personas diabéticas, esta tabla se ilustra en la Figura 39.

SELECT * FROM `category`

Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en

Ordenar según la clave: Ninguna

+ Opciones

| | id | name |
|---|----|------------------|
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 1 | MEDICINA GENERAL |
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 2 | TRAUMATOLOGÍA |
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 3 | GINECOLOGÍA |
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 4 | UROLOGÍA |

Figura 39 Tabla “category” de la BDD del sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

En la tabla “glucose” se almacenarán los datos recibidos de la glucosa, así como el número de identificación del paciente, la fecha, la hora y el valor de azúcar en la sangre, como se observa en la Figura 40.

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

Server: localhost » Base de datos: bookmedik » Tabla: glucose

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar

| | id | id_number | date | time | data |
|---|-----|------------|------------|-------|------|
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 612 | 1003450796 | 13-12-2019 | 11:56 | 55 |
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 611 | 1003450796 | 13-12-2019 | 11:51 | 72 |
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 610 | 1003450796 | 13-12-2019 | 07:23 | 164 |
| <input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar | 609 | 1003450796 | 13-12-2019 | 07:24 | 79 |

Figura 40 Tabla "glucose" de la BDD del sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

La tabla “medic” es una tabla de usuario, específicamente creada para guardar los datos informativos de los médicos que hagan uso del sistema, en la Figura 41 se observa las etiquetas de esta tabla entre las más destacadas están: nombre, apellido, email, dirección, teléfono.

| id | no | name | lastname | gender | day_of_birth | email | address | phone |
|----|------|--------|-----------|--------|--------------|---------------|---|-----------|
| 1 | NULL | Ramiro | Ruiz Ruiz | NULL | NULL | rrr@gmail.com | Otavalo, Avenida 31 de Octubre y Cristobal ColA^n | 062926571 |

Figura 41 Tabla "medic" de la BDD del sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

La tabla “pacient” es en donde se va a almacenar los datos de los pacientes diabéticos que utilicen el sistema, entre los datos del paciente están: nombres y apellidos, correo electrónico, número de cédula, fecha de nacimiento y dirección, esta tabla se ilustra en la Figura 42.

| id | no | name | lastname | gender | day_of_birth | email | address | phone |
|------------|------|------------------|--------------------|--------|--------------|--------------------|-----------------------------|------------|
| 1001424835 | NULL | Carmen Amelia | Santander Santader | m | 1943-10-06 | paoabi93@gmail.com | Otavalo, Cda. 31 de Octubre | 1001424835 |
| 1003450796 | NULL | Machine Learning | | m | 1993-01-19 | pagomez@utn.edu.ec | Av. Juan de | 0986776496 |

Figura 42 Tabla "pacient" de la BDD del sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

Las tablas “payment”, “reservation” y “status” fueron asignadas para el agendamiento de citas médicas, la más destacada es la segunda mencionada ya que en esta se guardarán los datos del agendamiento de citas entre la información a almacenar se tiene: el número de cédula del paciente el cual sirve como identificador, síntomas, fecha y hora de la cita, medicina que toma y el motivo del agendamiento de la cita, como se muestra en la Figura 43.

| id | title | note | message | date_at | time_at | created_at | pacient_id | syptoms | sick | medicaments |
|----|-----------------------------------|--|---------|------------|---------|---------------------|------------|----------------|----------|-------------------|
| 4 | Aumento en los niveles de glucosa | No ingerir alimentos dos horas antes de la cita mAc... | NULL | 2020-01-15 | 15:20 | 2020-01-06 20:24:58 | 1001424835 | Mareos, fatiga | Diabetes | Insulina rApid... |

Figura 43 Tabla "reservation" de la BDD del sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

Finalmente, en la tabla “user” se almacenarán los datos de los usuarios del sistema y se asignarán los permisos de administrador o de paciente dependiendo el caso. Esta tabla se ilustra en la Figura 44.

| | id | username | name | lastname | email | password | is |
|---|-------|----------|--------|----------|-------|--|----|
| 1 | admin | ADMIN | PIGEON | CHEK | NULL | 90b9aa7e25f80cf4f64e990b78a9fc5ebd6cecad | |
| 2 | paola | Paola | Gomez | | NULL | 10470c3b4b1fed12c3baac014be15fac67c6e815 | |

Figura 44 Tabla "user" de la BDD del sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

3.1.4.3.2. Dimensionamiento de la base de datos.

En este apartado se calculará el tamaño de la base de datos y se hará un dimensionamiento de la misma con la finalidad de conocer cuánto tiempo se tendrá capacidad de memoria de almacenamiento en la base de datos local ubicada en el dispositivo raspberry Pi y el costo de almacenamiento de la base de datos en la nube utilizando los servicios web de amazon.

De acuerdo a las características de la SBC de la BDD local se tiene una capacidad de 32GB de memoria de almacenamiento. Y en lo referente al servicio en la nube se utilizará EC2 ó Amazon Elastic Compute Cloud, que es un servicio de AWS utilizado para la creación y ejecución de máquinas virtuales en la nube. Amazon Web Services brinda la posibilidad de manejar el servicio EC2 de manera gratuita durante un año sin límite de almacenamiento, posterior a ese lapso de tiempo se paga por el servicio en una modalidad bajo demanda en donde es permitido pagar por la capacidad de almacenamiento dependiendo de la cantidad de datos salientes de Amazon EC2 a Internet.

Según información acerca del peso promedio de datos de (MySQL, 2019), para la estimación del tamaño que ocupará la BDD se tuvo en consideración los siguientes valores:

- Ti: Tamaño de la BDD al inicio, sin almacenar ningún dato.
- Td: Tamaño de cada una de las tablas con datos.
- Tidx: Tamaño de los índices.

- Tc: Tamaño de procedimientos y/o funciones.
- Tud: Tamaño de los tipos de procesos que se ejecuten y configuración de la base de datos.
- Tlog: Tamaño para logs de transacciones.
- CS: Coeficiente de seguridad.
- Tdb: Tamaño de la BDD.

$$Tdb = (Ti + Td + Tidx + Tc + Tud + Tlog) * CS \quad (4)$$

El cálculo de cada uno de estos valores se detalla en las siguientes Tablas: 34, 35, 36, 37, 38, 39,40,41,42.

- Ti: De acuerdo a la información del sitio oficial, el tamaño inicial de instalación de una BDD de MySQL es de 200Mb.
- Td: Para obtener el cálculo de TD se estimó los datos conocidos en cada una de las tablas, como se mencionó anteriormente la base de datos está compuesta de ocho tablas y de acuerdo a estos valores se encuentra un índice de TD aproximado. Los cálculos se realizarán con las siguientes formulas:

tamaño de fila

$$= \text{tamaño de datos fijo} + \text{tamaño de datos variables} + \text{mapa de bits nulo} + 4 \quad (5)$$

El valor 4 de la fórmula hace referencia a la sobrecarga del encabezado de la fila de datos (MySQL, 2019).

$$\text{tamaño de datos variable} = 2 + (\text{num_cols_variable} \times 2) + \text{tamaño_variable_máx} \quad (6)$$

tamaño_variable_máx

$$= \text{tamaño máximo total en bytes de todas las columnas de longitud variable} \quad (7)$$

Mapa de bits nulo: El mapa de bits nulo, se reserva para administrar la nulabilidad en las columnas.

$$\text{mapa de bits nulo} = 2 + ((\text{num_cols} + 7) / 8) \text{ solo se toma la parte entera} \quad (8)$$

Tabla 34 "category" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla category | Peso (Bytes) |
|---------------------|-----------------------------|--------------|
| varchar (40) | name (tipo de especialidad) | 40 |
| Int | Número de unidad | 4 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(1 \times 2) + 40 = 44$ bytes

Mapa de bits nulo= $2+((2+7) / 8) = 3$

Tamaño de datos fijo= $40+4=44$

Peso de un registro= $40+44+3= \underline{87 \text{ bytes}}$

Tabla 35 "glucose" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla glucose | Peso (Bytes) |
|--------------------|------------------------------|--------------|
| Int | id (Número de unidad) | 5 |
| Int | id-number (Número de cédula) | 10 |
| char (10) | Date (fecha) | 10 |
| Char (8) | Time (hora) | 8 |
| Varchar (5) | Data (valor glucosa) | 5 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(1 \times 2) + 5 = 9$

Mapa de bits nulo= $2+((5+7) / 8) = 3$

Tamaño de datos fijo= $5+10+10+8+5=38$

Peso de un registro= $9+3+38= \underline{50 \text{ bytes}}$

Tabla 36 "medic" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla medic | Peso (Bytes) |
|--------------|-----------------------|--------------|
| Int | id (Número de unidad) | 5 |

| | | |
|----------------------|----------------------------|-----|
| Varchar (25) | Name (nombres) | 25 |
| Varchar (25) | Last-name (apellidos) | 25 |
| Varchar (40) | Email (correo electrónico) | 40 |
| Varchar (100) | Address (dirección) | 100 |
| Int | Phone (teléfono) | 10 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(4 \times 2) + 100+40+25= 175$

Mapa de bits nulo= $2+((7+7) / 8) = 3$

Tamaño de datos fijo= $5+25+25+40+100+10=205$

Peso de un registro= $175+3+205= \underline{383 \text{ bytes}}$

Tabla 37 "patient" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla patient | Peso (Bytes) |
|----------------------|----------------------------|---------------------|
| Int | id (cédula) | 10 |
| Varchar (25) | Name (nombres) | 25 |
| Varchar (25) | Last-name (apellidos) | 25 |
| Varchar (40) | Email (correo electrónico) | 40 |
| Varchar (100) | Address (dirección) | 100 |
| Int | Phone (teléfono) | 10 |
| Varchar (100) | Medicaments (medicamentos) | 100 |
| Varchar (100) | alergy (alergia) | 100 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(6 \times 2) + 100+40+25= 179$

Mapa de bits nulo= $2+((8+7) / 8) = 3$

Tamaño de datos fijo= $10+25+25+40+100+10+100+100=410$

Peso de un registro= $175+3+205= \underline{592 \text{ bytes}}$

Tabla 38 "payment" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla payment | Peso (Bytes) |
|---------------------|--------------------------|---------------------|
| Int | id (número de unidad) | 4 |
| Varchar (9) | Name (estado de la cita) | 9 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(1 \times 2) + 9 = 13$

Mapa de bits nulo= $2+((2+7) / 8) = 1$

Tamaño de datos fijo= $4+9=13$

Peso de un registro= $13+1+13= \underline{27 \text{ bytes}}$

Tabla 39 "reservation" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla reservation | Peso (Bytes) |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Int | id (número de unidad) | 4 |
| Varchar (150) | title (asunto) | 150 |
| Varchar (150) | Note (nota) | 150 |
| Char (10) | Date_at (fecha de la cita) | 10 |
| Char (5) | Time_at (hora de la cita) | 5 |
| Int | Pacient_id (cédula paciente) | 10 |
| Varchar (150) | Symtoms (síntomas) | 150 |
| Varchar (50) | Sick (enfermedad) | 50 |
| Varchar (100) | Medicaments (medicamentos) | 100 |
| Char (1) | Medic_id (identificación del médico) | 1 |
| Int | Price (precio de la cita) | 2 |
| Char (1) | Payment_id (estado de pago) | 1 |
| Char (1) | Status_id (estado de la cita) | 1 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(5 \times 2) + 150+50+100= 312$

Mapa de bits nulo= $2+((13+7) / 8) = 4$

Tamaño de datos fijo= $4+150+150+10+5+10+150+50+100+1+2+1+1=634$

Peso de un registro= $312+4+634= \underline{950 \text{ bytes}}$

Tabla 40 "status" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla status | Peso (Bytes) |
|---------------------|--------------------------|---------------------|
| int | id (número de unidad) | 4 |
| Varchar (10) | Name (estado de la cita) | 10 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(1 \times 2) + 10 = 14$

Mapa de bits nulo= $2+((2+7) / 8) = 3$

Tamaño de datos fijo= $4+10=14$

Peso de un registro= $14+3+14=$ 31 bytes

Tabla 41 "user" elementos, tipo de datos y peso en bytes

| Tipo de dato | Tabla user | Peso (Bytes) |
|--------------|-----------------------------------|--------------|
| int | id (número de unidad) | 4 |
| Varchar (10) | username (nombre de usuario) | 10 |
| Varchar (10) | Name (nombre) | 10 |
| Varchar (10) | Lastname (apellido) | 10 |
| Varchar (40) | Email (correo electrónico) | 40 |
| Varchar (10) | Password (contraseña) | 10 |
| Char (1) | Is_active (estado de cuenta) | 1 |
| Char (1) | Is_admin (privilegios de usuario) | 1 |

Fuente: (MySQL, 2019)

Tamaño de datos variable= $2+(5 \times 2) + 40 + 10 = 62$

Mapa de bits nulo= $2+((8+7) / 8) = 3$

Tamaño de datos fijo= $4+10+10+10+40+10+1+1=86$

Peso de un registro= $62+3+86=$ 151 bytes

TDtotal= $87+50+383+592+27+950+31+151= 2271$ bytes= 2.271Kbytes

- Tidx: Para el tamaño de los índices se usa el índice por defecto de MySQL, b-tree en donde cada uno de los índices pesa 4kb, todas las tablas tienen un solo índice.

Tidx= $8 \times 4 =$ 32Kbytes

- TC: De acuerdo a la información de MySQL se estima que el conjunto de procedimientos y funciones ocupan 100MB.
- TU: De igual manera apeándose a la documentación el tamaño de los tipos de procesos es de 100 MB aproximadamente.

- TLOG: en general es un 50% del tamaño total de los datos de la base

$$TLOG = 0.5 * 2271 = 1135 \text{Kbytes}$$

- CS: La fuente antes mencionada recomienda utilizar un coeficiente de seguridad del 1.50.
- TOTAL (TDB)

$$Tdb = (Ti + Td + Tid_x + Tc + Tud + Tlog) * CS$$

$$Tdb = (200 \text{Mb} + 0.002271 \text{Mb} + 0.032 \text{Mb} + 100 \text{Mb} + 100 \text{Mb} + 1.135 \text{Mb}) * 1.5$$

$$Tdb = 401.15 \text{Mbytes}$$

El cálculo anterior fue realizado tomando en cuenta un único registro dentro de cada una de las tablas de la base de datos, para saber la cantidad que más se acerca al promedio de datos generados por un paciente al mes, se efectuó un cálculo de la cantidad de datos obtenidos con un análisis de cuatro tomas de glucosa al día por 30 días del mes y agendando dos citas mensuales con el médico, en la Tabla 42 se muestran los resultados.

Tabla 42 *Cantidad de datos generados por un paciente diabético al mes, de acuerdo a la información registrada en la base de datos del sistema Pigeon-Chek*

| Identificación de la tabla | Cantidad de megas generadas |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Tabla category (Mb) | 0.000087 |
| Tabla user (Mb) | 0.002271 |
| Tabla glucose (Mb) | 0.006 |
| Tabla medic (Mb) | 0.000774 |
| Tabla patient (Mb) | 0.000592 |
| Tabla payment (Mb) | 0.000054 |
| Tabla reservation (Mb) | 0.0019 |
| Tabla status (Mb) | 0.000062 |
| Tdtotal/mes/paciente (Mb) | 0.01174 |

Fuente: Autoría

Una vez realizado el análisis de datos generados por un paciente al mes se procede a hacer un dimensionamiento anual, para ello se tomó en consideración que al mes se agreguen cinco pacientes a la BDD. En la Tabla 43 se indica los resultados.

Tabla 43 *Dimensionamiento anual de la BDD del sistema Pigeon-Chek y resultados de la cantidad de espacio que requerirá la base de datos mensualmente.*

| | MES 1 | MES 2 | MES 3 | MES 4 | MES 5 | MES 6 | MES 7 | MES 8 | MES 9 | MES 10 | MES 11 | MES 12 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tdtotal (Mb) | 0.01174 | 0.0704 | 0.1291 | 0.1878 | 0.2465 | 0.3052 | 0.3639 | 0.4226 | 0.4813 | 0.5400 | 0.5987 | 0.6574 |
| Tidx (Mb) | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 |
| TC (Mb) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| TU (Mb) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| TLOG (Mb) | 0.00587 | 0.03522 | 0.06457 | 0.09392 | 0.12327 | 0.15262 | 0.18197 | 0.21132 | 0.24067 | 0.27002 | 0.29937 | 0.32872 |
| CS | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| TDBtotal (Mb) | 600.07 | 600.21 | 600.34 | 600.47 | 600.60 | 600.73 | 600.87 | 601.00 | 601.13 | 601.26 | 601.40 | 601.53 |

Fuente: Autoría

De acuerdo con la información de la tabla anterior se puede estimar cuanto tiempo tiene capacidad de almacenamiento la BDD local y a nivel de la nube el precio que se debe pagar por el uso del servicio.

Para la BDD local se puede integrar una memoria microSD esto se lo encuentra en las características del dispositivo raspberry pi en la Tabla 27, para el presente proyecto se utilizó un chip de 32Gb, para esa cantidad de memoria se puede almacenar datos por un período de cuatro años.

En el caso de la base de datos que se encuentra en AWS, se pagará por el servicio una vez se exceda cierta cantidad de uso de memoria, de acuerdo a la página oficial el servicio es gratuito mientras que la transferencia de datos no sobrepase 1Gb por mes (Amazon Web Services, 2020). Si se sale de ese límite se pagará alrededor de \$6.83 mensual y los precios varían según la cantidad de espacio requerido.

3.1.4.4. *Módulo de alerta local.*

En el módulo de alerta local se programará el código para que Arduino se conecte con el módulo GSM/GPRS y se envíe el mensaje de texto al contacto o contactos que el paciente designe. En la Figura 45 se muestra parte del código perteneciente al módulo de alerta local. La programación total se encuentra en el Apéndice C.

```
void EnviarSMS(String Mensaje) {
  Serial.println("Enviando SMS...");
  SIM808.print("AT+CMGF=1\r"); //Comando AT para mandar un SMS
  delay(1000);
  SIM808.println("AT+CMGS=\"0986776496\""); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
  delay(1000);
  SIM808.println(Mensaje);// Texto del SMS
  delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS
  Serial.println("SMS enviado");
}
```

Figura 45 Líneas de código de la programación del módulo de alerta local

Fuente: Código de programación de Arduino para el sistema Pigeon-Chek

3.1.4.5. *Módulo servidor web.*

El módulo servidor web de manera general está destinado a la visualización de información, además cuenta con una ventana para que los usuarios directos e indirectos del sistema puedan iniciar sesión.

A la página web se accede desde la siguiente dirección <http://3.13.115.68/pigeon/> esta IP pública es la que proporcionó AWS al crear la instancia en donde se alojó el servidor de base de datos y el servidor web. El diagrama de flujo de la Figura 46 ilustra el proceso realizado en la página web, tanto para el acceso como para el registro de nuevos usuarios.

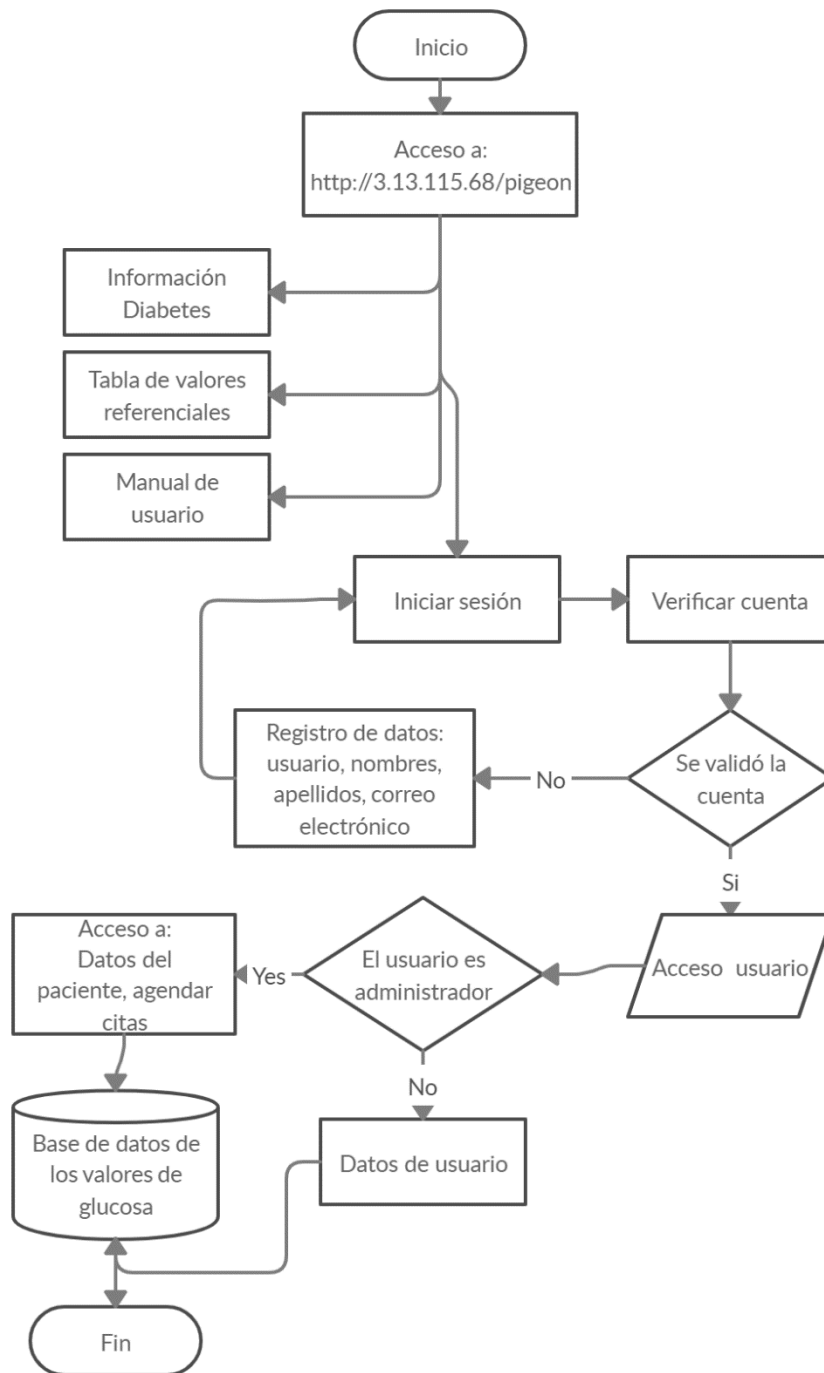


Figura 46 Diagrama de flujo de la página web del sistema Pigeon-Chek, registro y acceso a usuarios

Fuente: Autoría

A continuación, se presenta el contenido de la página web diseñada para el sistema Pigeon-Chek, en la Figura 47 se observa la página principal, con las pestañas para acceder a la información, funcionamiento del sistema y acceso a la cuenta de usuario.

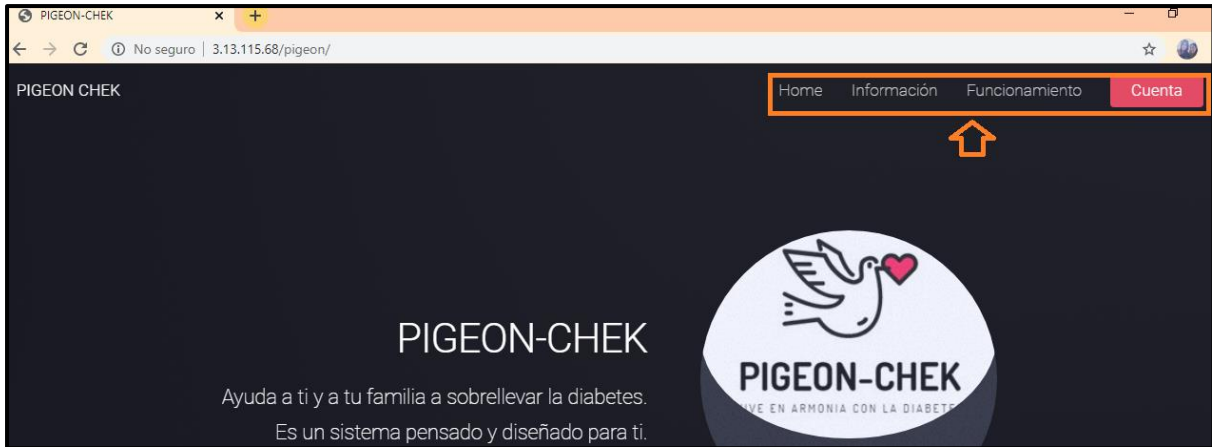


Figura 47 Página principal del servidor web del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Página web del sistema Pigeon-Chek

Al dirigirse a la pestaña de información como se muestra en la Figura 48 se despliegan dos opciones que son “niveles” Figura 49 en donde se encuentra la tabla de valores referenciales de glucosa y la opción “manual” en donde se encuentra el manual de usuario del sistema

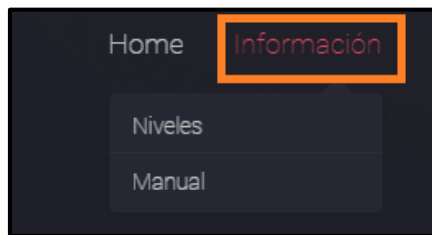


Figura 48 Pestaña información de la página web del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Página web del sistema Pigeon-Chek

| Horario | Alerta-Hipoglucemia | Precaución-Nivel Bajo | Ideal | Controlado | Precaución-Nivel Alto |
|------------------|---------------------|-----------------------|--------------|---------------|-----------------------|
| Ayuno-Prepandial | < 65 | Entre 65-70 | Entre 70-110 | Entre 110-120 | Entre 120-145 |
| Postbándial | < 65 | Entre 65-70 | Entre 70-120 | Entre 120-180 | Entre 180-250 |

Figura 49 Opción niveles de la pestaña Información de la página web del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Página web del sistema Pigeon-Chek

En la ventana “Funcionamiento” se despliega un resumen del proceso que se puede realizar con el sistema Pigeon-Chek, como se muestra en la Figura 50. Con la finalidad de que las personas que aún no cuentan con el dispositivo puedan informarse acerca de sus funcionalidades.

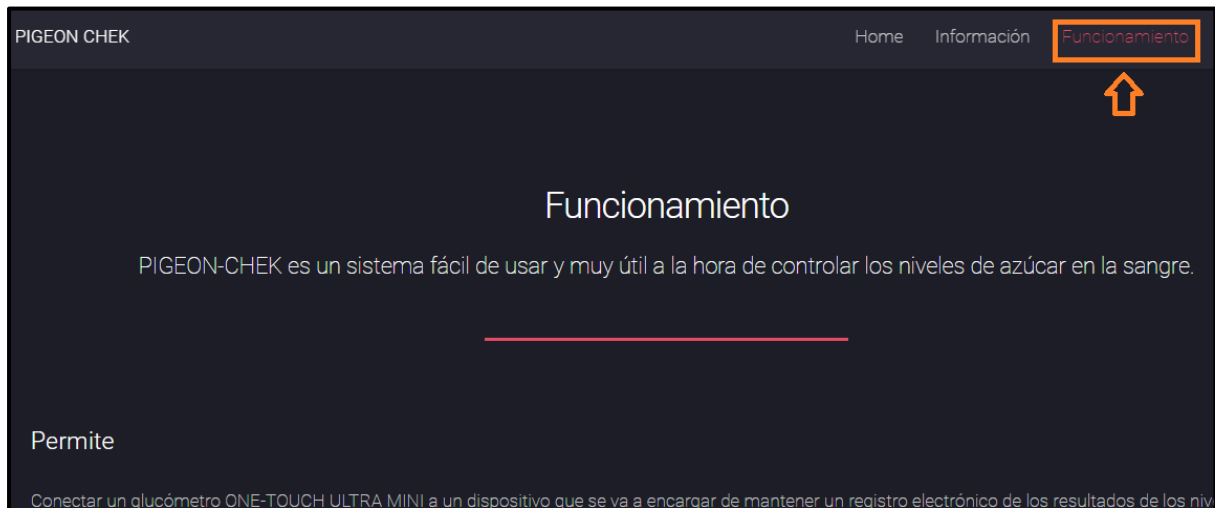


Figura 50 Contenido de la pestaña "Funcionamiento" de la página web del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Página web del sistema Pigeon-Chek

Al ingresar en opción “Cuenta” se va a redirigir a una ventana en donde se va a realizar el acceso mediante credenciales a la cuenta de usuario, en la Figura 51 se observa la ventana de inicio de sesión.

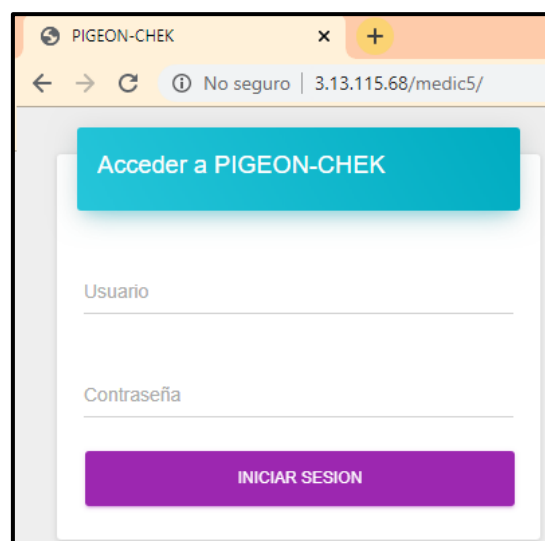


Figura 51 Ventana de Inicio de sesión para acceder a información de usuario del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Página web del sistema Pigeon-Chek

Una vez verificadas las credenciales de usuario se despliega una ventana como en la Figura 52, en la parte lateral izquierda se muestra un menú en donde se puede escoger las funcionalidades con las cuales cuenta la pestaña “cuenta”, pero esto dependerá de las credenciales de acceso que tenga cada usuario: Un usuario registrado como médico tiene la posibilidad de acceder a todas las bases de datos de los pacientes diabéticos, agendar citas, revisar el estado de las citas, en el caso del paciente diabético tiene acceso a revisar el estado de las citas, acceder solamente a su base de datos personal, un paciente no puede crear usuarios ni modificar citas. Y el administrador o administradores del sistema tienen un acceso total de escritura y de lectura.

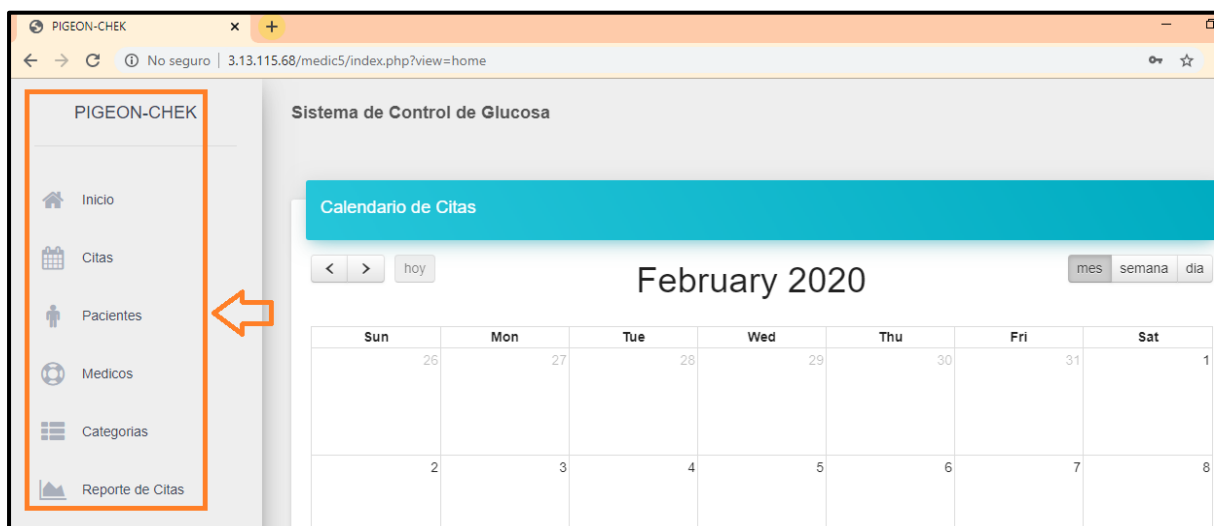


Figura 52 Menú de todas las funciones de la ventana "Cuenta" de la página web del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Página web del sistema Pigeon-Chek

3.1.5. Pruebas de la primera iteración del sistema Pigeon-Chek.

En esta etapa se procede a realizar las pruebas del sistema realizado en la primera iteración, para ello se va a verificar lo siguiente:

- El envío de los resultados de los análisis de glucosa en la sangre desde el módulo de toma de datos y la recepción de los datos en las BDD.
- Publicación de la información en la página web

La interconexión de los módulos se muestra en la Figura 53, en donde se aprecia el módulo de toma de datos conformado por un glucómetro OneTouch UltraMini, el cable de datos, el hardware del dispositivo Pigeon-Chek compuesto por un módulo de Arduino, GSM/GPRS SIM 808, raspberry pi 4 y el módulo de alimentación eléctrica. En estos dispositivos se encuentra programado parte del software del sistema como lo es el módulo central, módulo de alerta local, módulo de base de datos local.

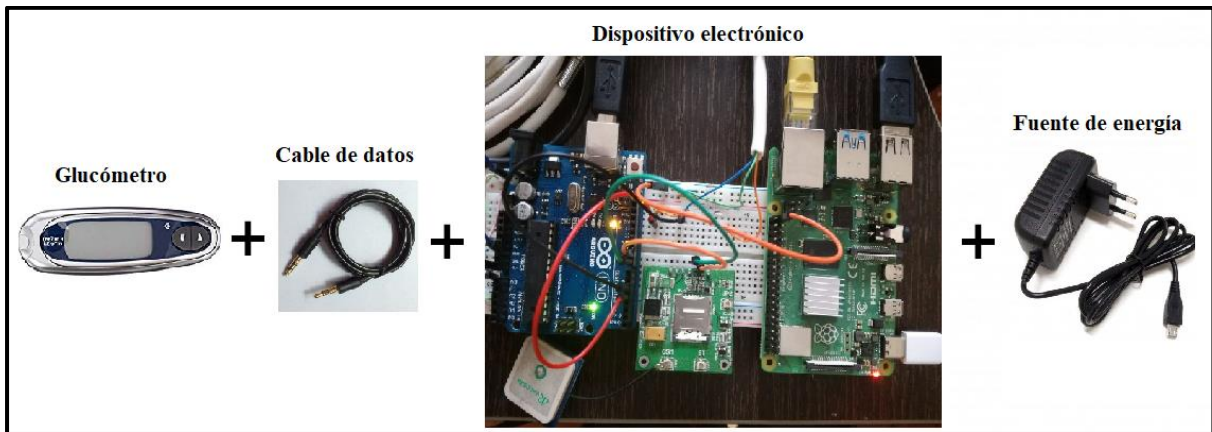


Figura 53 Elementos de hardware para las pruebas de la primera iteración del dispositivo Pigeon-Chek

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

La Figura 54 muestra en detalle los componentes del dispositivo electrónico, así como los módulos a los que pertenecen.

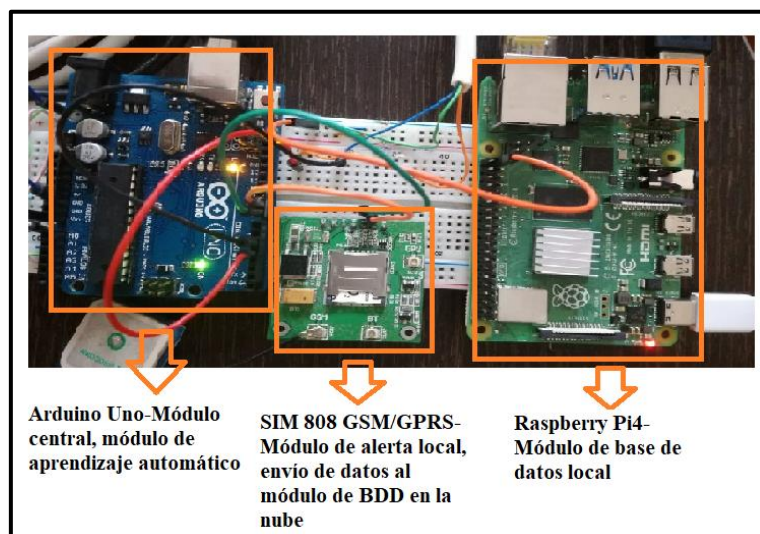


Figura 54 Componentes del dispositivo electrónico Pigeon-Chek

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

3.1.5.1. Prueba 1, primera iteración: envío y recepción de los resultados de los análisis de glucosa en la sangre.

Envío de la medición de glucosa de 105 mg/dl con la fecha de 05/febrero/2019 a las 15:55, que se encuentra almacenada en el glucómetro como se observa en la Figura 55.

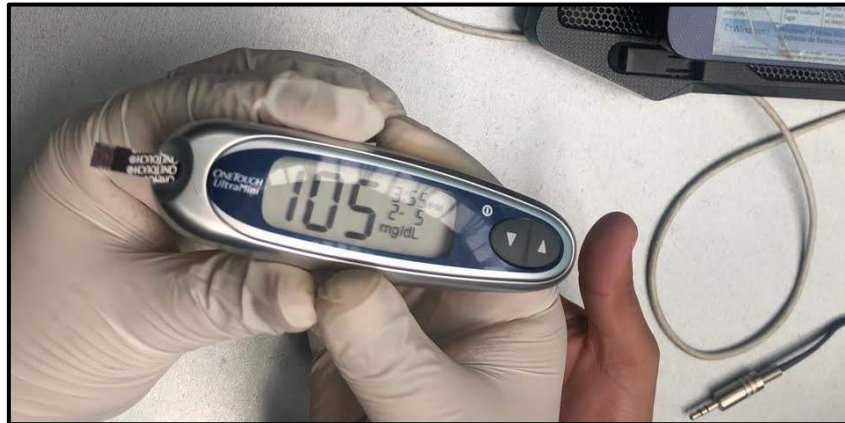


Figura 55 Resultado de análisis de glucosa de 105 mg/dl con el glucómetro OneTouch UltraMini

Fuente: Muestra tomada de la paciente 1

Una vez se conecta el glucómetro al dispositivo electrónico, se envía las tramas de transmisión y recepción de los datos: valor de glucosa, fecha y hora, en el dispositivo se encuentra programado un Id que es el número de cédula del paciente lo que sirve como identificativo para guardar los datos en la BDD. La Figura 56 muestra la recepción de los datos en la BDD.

- Cédula de la Paciente 1: 1001424835
- Valor de la glucosa: 105 mg/dl
- Fecha en formato hexadecimal: 1549400100, que en formato fecha corresponde al 05 de febrero del 2019 a las 15:55.

La fecha es del año 2019 porque al momento de realizar la prueba el dispositivo estaba configurado con esa hora y fecha, ya que es posible cambiar estos datos en el glucómetro.

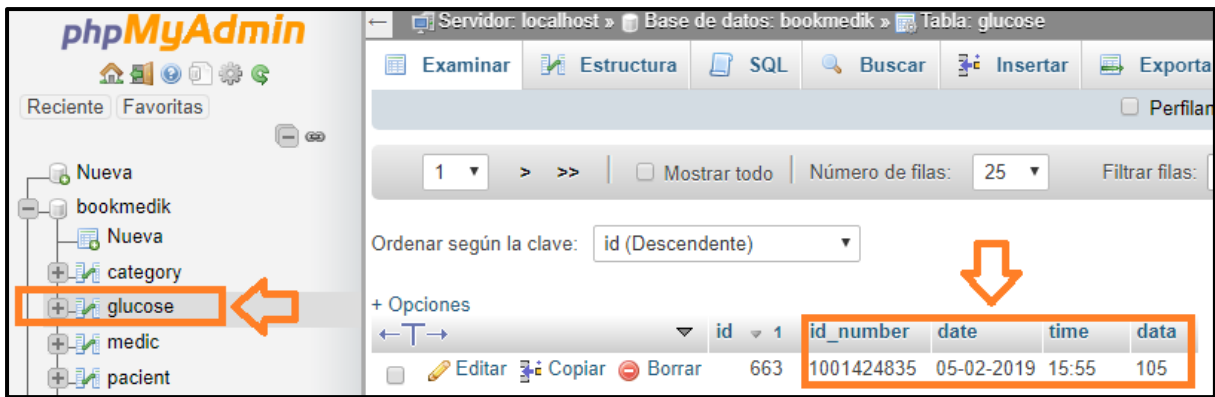


Figura 56 Parámetros recibidos desde el módulo central a la tabla "glucose" de las BDD

Fuente: BDD Paciente 1

3.1.5.2. Prueba 2, primera iteración: publicación de los datos en la página web, en la cuenta de usuario de la Paciente 1.

Una vez recibidos los datos en la base de datos en la nube se procede a la publicación de los resultados en los análisis de glucosa en la página web dentro de la respectiva cuenta de usuario, como se muestra en la Figura 57.

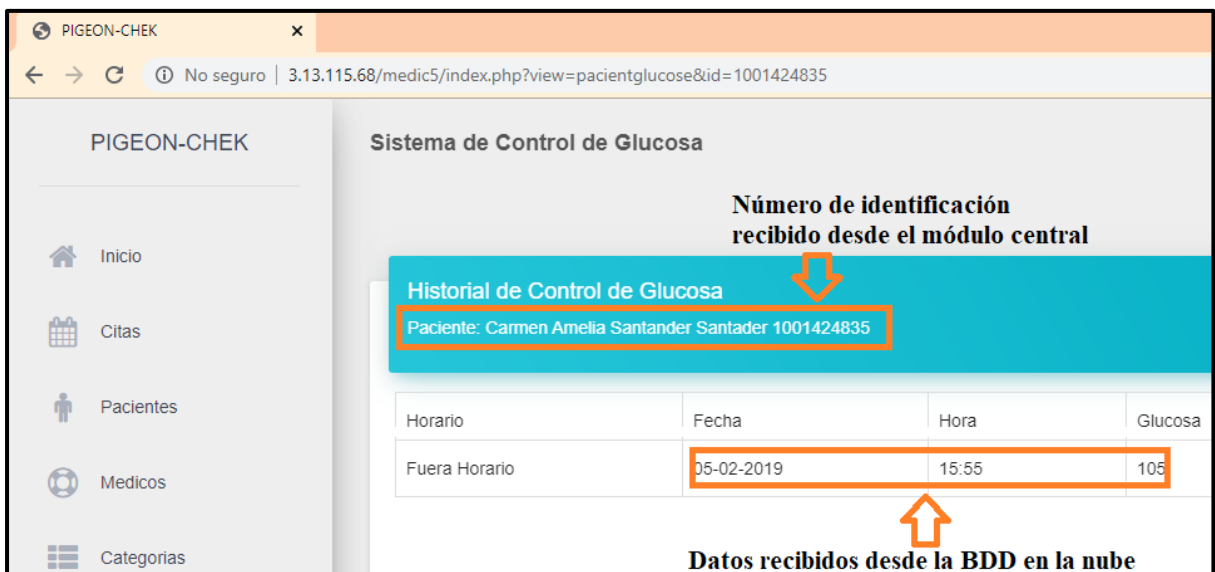


Figura 57 Publicación de los datos recibidos desde la BDD en AWS dentro de la cuenta de usuario de la Paciente 2, en la página web del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Registro de datos en la cuenta de la Paciente 1

3.1.5.3. Conclusión.

Se realizó las pruebas en las cuales se verifica el envío de los datos desde el módulo de toma de datos, hasta el módulo central y el posterior almacenamiento en las bases de datos, una vez

comprobado este punto se verificó que la información sea publicada en la página web obteniendo un resultado positivo.

3.2. Modelo iterativo: segunda iteración

A continuación, se inicia con el proceso del desarrollo de la segunda iteración para diseño del sistema Pigeon-Chek, en esta iteración se omitirá algunos pasos que ya se encuentran completos en la primera fase, y se irán agregando otros requerimientos de acuerdo al análisis del escenario actual que se detalla en el siguiente apartado.

3.2.1. Análisis del escenario actual.

Una vez concluido el diseño inicial y completados los requerimientos básicos como el envío de la información, el almacenamiento en las BDD y la publicación de datos en la página web. Se analiza el estado actual del sistema y se definen o eliminan requerimientos.

Debido a que en el dispositivo perteneciente al módulo de toma de datos es decir en el glucómetro se puede cambiar la fecha y hora manualmente se observó que hay ocasiones en las cuales el paciente por error o desconocimiento puede modificar estos datos, dando como resultado una alteración en el proceso de minería de datos ya que es necesario conocer la hora y fecha inequívocas en las cuáles se realizaron los análisis de glucemia en la sangre. Por lo que se decidió implementar al módulo central un dispositivo de reloj RTC por sus siglas en inglés Real Time Clock con lo cual se puede obtener las fechas y horas actualizadas en tiempo real. Este dispositivo se integrará al módulo central porque es ahí donde se envían las tramas para la recepción de la fecha, hora y valor de la glucosa desde el glucómetro, una vez integrado el dispositivo de reloj solamente se extraerá del módulo de toma de datos el valor de los niveles de glucosa en la sangre.

3.2.2. Diseño del sistema Pigeon-Chek, segunda iteración.

En la segunda iteración del diseño del sistema Pigeon-Chek se va a trabajar en los módulos que se encuentran inconclusos o necesitan modificaciones.

Para la descripción del funcionamiento se mantiene los conceptos de la primera iteración y se añade el uso de un dispositivo de reloj ubicado en el módulo central, este dispositivo se encargará de proporcionar la hora y fecha actuales de cuando se realizó la medición de glucosa, independientemente de la fecha que se encuentre programada en el dispositivo glucómetro.



3.2.2.1. *Diseño-Módulo central, segunda iteración.*

Como se mencionó en el anterior apartado en este módulo se procede a incluir un dispositivo RTC que estará conectado con el módulo de Arduino.

3.2.2.1.1. *Selección de dispositivos.*

En la Tabla 44 se procede a realizar una comparación entre dos RTC para escoger el adecuado para la integración al módulo central.

Tabla 44 *Comparativa de las características de los dos dispositivos RTC para el diseño del módulo central del sistema Pigeon-Chek*

| Características | RTC DS1307 | RTC DS3231 |
|----------------------------------|---|--|
| |  |  |
| Voltaje de operación | 3.3V - 5V | 3.3V - 5V |
| Fecha | Segundos, minutos, horas, número día, día de la semana, mes y año | Segundos, minutos, horas, número día, día de la semana, mes y año |
| Año bisiesto | Compensación de año bisiesto | Compensación de año bisiesto |
| Protocolo de comunicación | I2C | I2C |
| Rango de temperatura | -40 °C a +85 °C | Circuito compensador de temperatura para el voltaje de referencia interno |
| Conexión para Arduino Uno | SCL - A5 SDA - A4 VCC - 5V GND - GND | SCL - A5 SDA - A4 VCC - 5V GND - GND |

Fuente: (Luis LLamas, 2016)

El dispositivo RTC seleccionado es el DS3231 ya que tiene un circuito compensador de temperatura y el DS1307 al no tener este circuito ocasiona problemas con la hora ya que se va adelantando poco a poco, debido a los campos de temperatura que afectan al oscilador, ocasionando que la frecuencia varíe lo suficiente para que en el transcurso de dos o tres semanas ya exista un adelanto de cinco minutos.

3.2.2.1.2. Diagrama de conexión.

El diagrama que se muestra en la Figura 58 corresponde a la conexión entre el módulo Arduino y el dispositivo RTC DS3231, estos dispositivos se encuentran conectados mediante comunicación serial las entradas SDA Y SCL del reloj se las ubica en los pines A4 y A5 de Arduino respectivamente.

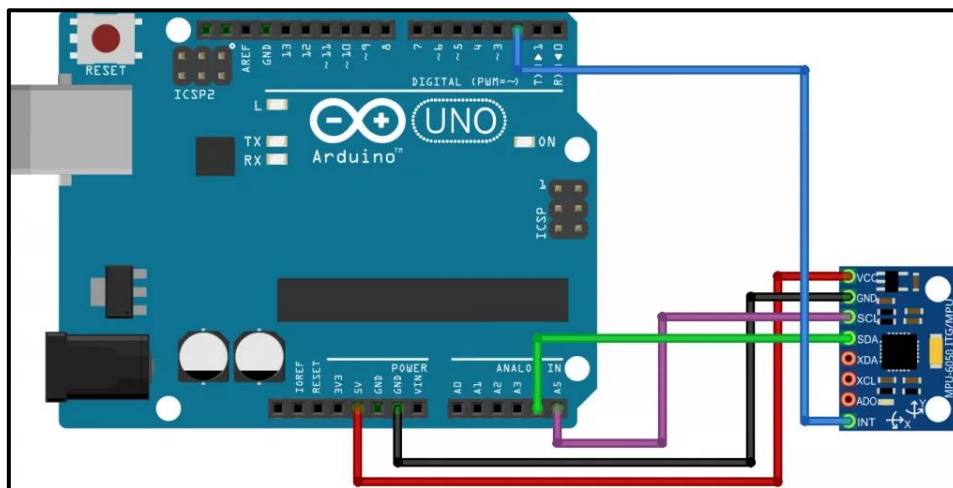


Figura 58 Diagrama de conexión de los dispositivos de reloj y Arduino pertenecientes al módulo central del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Diseño del sistema Pigeon-Chek

3.2.3. Codificación del software para el sistema Pigeon-Chek, segunda iteración.

En esta etapa se continua con el proceso de codificación del módulo central y el módulo de aprendizaje automático, se cargará la información de los valores de glucosa a la base de datos para proceder con el entrenamiento y prueba del algoritmo de predicción, una vez realizado ese proceso se realizarán las pruebas de validación del algoritmo.

3.2.3.1. Codificación-Módulo central, segunda iteración.

Una vez integrado el dispositivo RTC al módulo central es necesario programar la placa Arduino para que funcione con el reloj de tiempo real, en la Figura 59 se muestra parte del código fuente para el módulo RTC, el código en su totalidad se encuentra en el Apéndice C.

```
#include <Wire.h> //BIBLIOTECA PARA EL RELOJ
#include <ds3231.h> //DISPOSITIVO RTC

struct ts t; //VARIABLES DE TIEMPO

void setup() {
  Serial.begin(9600); //VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS
  Wire.begin(); //INICIALIZACIÓN DE LA VARIABLE DE RELOJ
  DS3231_init(DS3231_INTCN); //INICIALIZACIÓN DISPOSITIV RTC
  /*-----
  Para sincronizar su módulo de reloj, inserte los valores de horario a continuación.
  -----*/
  t.hour=12;
  t.min=30;
  t.sec=0;
  t.mday=25;
  t.mon=12;
  t.year=2019;

  DS3231_set(t);
}
```

Figura 59 Líneas de código de la programación del módulo RTC, declaración de variables, inicialización de puertos.

Fuente: Código de programación de Arduino para el sistema Pigeon-Chek

3.2.3.2. Codificación-Módulo de aprendizaje automático, segunda iteración.

Una vez completadas en la iteración número uno, las cuatro primeras etapas del proceso de minería de datos, se continua con las fases de: aplicación del algoritmo de minería de datos y evaluación, con estas dos etapas se culminará el proceso de codificación y diseño del módulo de aprendizaje automático.

3.2.3.2.1. Aplicación del algoritmo de aprendizaje automático, segunda iteración.

En esta etapa se procede con creación del código fuente correspondiente al árbol de decisión diseñado para la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia, en la Figura 60 se observa la programación de una rama del árbol de decisión en esta se discrimina la hora para asignar una etiqueta al tipo de horario de medición, una vez obtenido ese resultado se procede al análisis

de los valores de glucosa con lo cual se puede conocer el estado de glucemia en la sangre del paciente diabético.

```

if (hora >="03:00" && hora <= "05:00") { /*Rango de horario para obtener
la etiqueta de TIPO DE HORARIO DE MEDICIÓN*/
    horario="Madrugado"; //ETIQUETA DE TIPO DE HORARIO DE MEDICIÓN
if (glucosa < 65) { //CONDICIONES PARA EL ÁRBOL DE DECISIÓN
    alerta="Hipoglucemia"; //ETIQUETAS DE ESTADO DE SALUD DEL PACIENTE
} else if (glucosa >= 65 && glucosa <= 70) { //CONDICIONES PARA EL ÁRBOL
    alerta="Nivel Bajo";
} else if (glucosa > 70 && glucosa <= 80) {
    alerta="Ideal";
} else if (glucosa > 80 && glucosa <= 110) {
    alerta="Controlado";
} else if (glucosa >= 110 && glucosa <= 130) {
    alerta="Nivel Alto";
} else if (glucosa > 130) {
    alerta="Hiperglucemia";
}
}
    
```

Figura 60 Código fuente del árbol de decisión para la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia, discriminación de horario y análisis de valores de glucosa

Fuente: Código de programación de Arduino para el sistema Pigeon-Chek

A continuación, se procede a subir los datos glucosa a la BDD, en la Figura 61 se aprecia parte de los 378 datos cargados y publicados en la página web, se observa que el algoritmo de aprendizaje automático realizó la asignación de etiquetas de: tipo de horario de medición y estado del paciente.

| Historial de Control de Glucosa | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------|---------|---------------|
| Paciente: Machine Learning 1003450796 | | | | |
| Horario | Fecha | Hora | Glucosa | Alerta |
| Ayunas | 13-12-2019 | 05:52 | 239 | Hiperglucemia |
| Desp. Ayunas | 13-12-2019 | 07:29 | 67 | Nivel Bajo |
| Desp. Almuerzo | 13-12-2019 | 12:40 | 134 | Controlado |
| Antes Almuerzo | 13-12-2019 | 12:15 | 128 | Nivel Alto |
| Desp. Merienda | 13-12-2019 | 17:39 | 179 | Controlado |
| Antes Merienda | 13-12-2019 | 17:27 | 185 | Hiperglucemia |
| Fuera Horario | 13-12-2019 | 22:08 | 85 | Ideal |

Figura 61 Publicación en la página web de los datos utilizados para el aprendizaje automático, asignación de etiquetas al tipo de horario de medición y estado del paciente

Fuente: Registro de datos de la cuenta Machine Learning de la página web del sistema Pigeon-Chek

3.2.3.2.2. Evaluación del algoritmo de aprendizaje automático.

Para evaluar que tan buena será la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia con datos de glucosa futuros, se utilizará la técnica de Validación Cruzada con K iteraciones. Esta técnica se basa en escoger un conjunto de datos de la BDD con la cual se está trabajando el proceso de aprendizaje automático, dividir este conjunto en varios sets de datos y luego escoger uno de estos sets para realizar el “testeo” y los otros para el entrenamiento del árbol de decisión. Este proceso se lo realiza repetidamente hasta evaluar cada set de datos, guardando los resultados de cada iteración en una tabla para luego analizar la eficiencia en el modelo predictivo.

La Tabla 45 contiene el set de datos con los cuales se va a trabajar el proceso de evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, en estos datos se encuentran diferentes tipos de horario de medición y valores bajos y altos.

Tabla 45 *Valores de glucosa para realizar las pruebas y entrenamiento del algoritmo de aprendizaje automático*

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| Valor Glucosa | 68 | 115 | 124 | 77 | 202 | 63 | 166 | 72 | 177 | 346 | 236 | 85 |
| Hora | 03:21 | 04:27 | 04:42 | 05:52 | 06:43 | 11:58 | 12:53 | 14:03 | 14:03 | 16:16 | 22:00 | 22:08 |

Fuente: (Kahn, 2007)

Una vez definido el set de datos se procede a agruparlos en muestras de testeo y entrenamiento, para ello se realizarán cuatro iteraciones es decir se crearán cuatro tablas, con un conjunto de tres datos de prueba y nueve datos de entrenamiento por cada tabla, logrando al final realizar un testeo y entrenamiento con cada uno de los datos.

La primera iteración del proceso de validación cruzada se detalla en la Tabla 46, en la tabla se dispuso tres columnas principales que contienen la hora y valor de la glucosa que son los datos con los cuales se va a trabajar y el resultado del proceso de aprendizaje automático en donde se asignará la etiqueta de horario de medición y el estado del paciente. Se utiliza dos clasificadores “si” o “no” para marcar las respuestas dentro de las tablas. Se utilizó un color azul para identificar el conjunto de entrenamiento.

Tabla 46 *Primera iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento*

| | Hora | Valor Glucosa | Estado del paciente | | | | | | |
|----------------------|-------|---------------|------------------------|-------|------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | | | Horario de la medición | Ideal | Controlado | Nivel alto | Nivel bajo | Hiperglucemia | Hipoglucemia |
| Prueba | 05:52 | 77 | Ayunas | Si | No | No | No | No | No |
| | 14:03 | 177 | Desp. Almuerzo | No | Si | No | No | No | No |
| | 04:42 | 124 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| Entrenamiento | 22:08 | 85 | Fuera de horario | Si | No | No | No | No | No |
| | 11:58 | 63 | Antes del almuerzo | No | No | No | No | No | Si |
| | 12:53 | 166 | Desp. Almuerzo | No | Si | No | No | No | No |
| | 4:27 | 115 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| | 22:00 | 236 | Fuera de horario | No | No | No | No | Si | No |
| | 06:43 | 202 | Desp. Desayuno | No | No | No | No | Si | No |
| | 14:03 | 72 | Desp. Almuerzo | Si | No | No | No | No | No |
| | 03:21 | 68 | Madrugada | No | No | No | Si | No | No |
| | 16:16 | 346 | Fuera de horario | No | No | No | No | Si | No |

Fuente: Proceso de validación cruzada del algoritmo de predicción del sistema Pigeon-Chek

Para determinar los resultados se contará el número de aciertos o desaciertos de cada conjunto de prueba, se deben contabilizar seis resultados dentro de todo el conjunto de test, tres pertenecientes al tipo de horario de medición y tres del estado del paciente. Es decir, el conjunto de prueba está conformado por tres elementos (glucosa y hora por cada elemento) y para cada elemento se tendrá dos resultados que son el tipo de horario de medición de la glucosa y el estado del paciente, como se muestra en la Tabla 46.

Resultado Iteración 1:

6/6=100% de eficiencia en predicción.

La Tabla 47 contiene los resultados de la segunda iteración del proceso de validación cruzada.

Tabla 47 *Segunda iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento*

| | Hora | Valor Glucosa | Horario de la medición | Estado del paciente | | | | | |
|----------------------|-------|---------------|------------------------|---------------------|------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | | | | Ideal | Controlado | Nivel alto | Nivel bajo | Hiperglucemia | Hipoglucemia |
| Entrenamiento | 05:52 | 77 | Ayunas | Si | No | No | No | No | No |
| | 14:03 | 177 | Desp. Almuerzo | No | Si | No | No | No | No |
| | 04:42 | 124 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| Prueba | 22:08 | 85 | Fuera de horario | Si | No | No | No | No | No |
| | 11:58 | 63 | Antes del almuerzo | No | No | No | No | No | Si |
| | 12:53 | 166 | Desp. Almuerzo | No | Si | No | No | No | No |
| Entrenamiento | 4:27 | 115 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| | 22:00 | 236 | Fuera de horario | No | No | No | No | Si | No |
| | 06:43 | 202 | Desp. Desayuno | No | No | No | No | Si | No |
| | 14:03 | 72 | Desp. Almuerzo | Si | No | No | No | No | No |
| | 03:21 | 68 | Madrugada | No | No | No | Si | No | No |
| | 16:16 | 346 | Fuera de horario | No | No | No | No | Si | No |

Fuente: Proceso de validación cruzada del algoritmo de predicción del sistema Pigeon-Chek

Resultado Iteración 2:

6/6=100% de eficiencia en predicción.

La Tabla 48 contiene los resultados de la tercera iteración del proceso de validación cruzada.

Tabla 48 Tercera iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento

| | Hora | Valor Glucosa | Estado del paciente | | | | | | |
|----------------------|-------|---------------|------------------------|-------|------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | | | Horario de la medición | Ideal | Controlado | Nivel alto | Nivel bajo | Hiperglucemia | Hipoglucemia |
| Entrenamiento | 05:52 | 77 | Ayunas | Si | No | No | No | No | No |
| | 14:03 | 177 | Desp. Almuerzo | No | Si | No | No | No | No |
| | 04:42 | 124 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| | 22:08 | 85 | Fuera de horario | Si | No | No | No | No | No |
| | 11:58 | 63 | Antes del almuerzo | No | No | No | No | No | Si |
| | 12:53 | 166 | Desp. Almuerzo | No | Si | No | No | No | No |
| Prueba | 4:27 | 115 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| | 22:00 | 236 | Fuera de horario | No | No | No | No | Si | No |
| | 06:43 | 202 | Desp. Desayuno | No | No | No | No | Si | No |
| Entrenamiento | 14:03 | 72 | Desp. Almuerzo | Si | No | No | No | No | No |
| | 03:21 | 68 | Madrugada | No | No | No | Si | No | No |
| | 16:16 | 346 | Fuera de horario | No | No | No | No | Si | No |

Fuente: Proceso de validación cruzada del algoritmo de predicción del sistema Pigeon-Chek

Resultado Iteración 3:

6/6=100% de eficiencia en predicción.

La Tabla 49 contiene los resultados de la cuarta iteración del proceso de validación cruzada.

Tabla 49 Cuarta iteración de la evaluación del algoritmo de aprendizaje automático, utilizando la técnica de validación cruzada, segmentación de datos para prueba y entrenamiento

| | Hora | Valor Glucosa | Estado del paciente | | | | | | |
|----------------------|-------|---------------|------------------------|-------|------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | | | Horario de la medición | Ideal | Controlado | Nivel alto | Nivel bajo | Hiperglucemia | Hipoglucemia |
| Entrenamiento | 05:52 | 77 | Prepandial | Si | No | No | No | No | No |

| | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-----|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 14:03 | 177 | Postprandial | No | Si | No | No | No | No |
| | 04:42 | 124 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| | 22:08 | 85 | Horario no especificado | Si | No | No | No | No | No |
| | 11:58 | 63 | Preprandial | No | No | No | No | No | Si |
| | 12:53 | 166 | Postprandial | No | Si | No | No | No | No |
| | 4:27 | 115 | Madrugada | No | No | Si | No | No | No |
| | 22:00 | 236 | Horario no especificado | No | No | No | No | Si | No |
| | 06:43 | 202 | Preprandial | No | No | No | No | Si | No |
| Prueba | 14:03 | 72 | Postprandial | Si | No | No | No | No | No |
| | 03:21 | 68 | Madrugada | No | No | No | Si | No | No |
| | 16:16 | 346 | Horario no especificado | No | No | No | No | Si | No |

Fuente: Proceso de validación cruzada del algoritmo de predicción del sistema Pigeon-Chek

Resultado Iteración 4:

6/6=100% de eficiencia en predicción.

Conclusión:

Al realizar las cuatro iteraciones y tener el porcentaje de predicción de cada tabla, se obtiene un resultado de predicción del 100%, este es el resultado del análisis del modelo predictivo, para ser más exactos se aplica un margen de error del 3% que se resta al porcentaje inicial, este margen de error contempla pruebas fallidas del glucómetro, la ingesta de alimentos o medicamentos que aumenten o disminuyan los niveles de glucosa, fallas eléctricas instantáneas del dispositivo, entre otros. Este valor de porcentaje de error se lo asigna de acuerdo a la norma de la Comisión Europea ISO 15197:2015, destinada a regular la precisión a los sistemas de monitorización de glucosa en sangre. Por lo que el porcentaje de predicción que se acerca más a la realidad en el dispositivo Pigeon-Chek es de 97%.

3.2.4. Pruebas de la segunda iteración del sistema Pigeon-Chek.

En este apartado se prosigue con el proceso de evaluación continua del sistema Pigeon-Chek, para ello en la segunda iteración se realizará las siguientes pruebas:

- El envío de los resultados de los análisis de glucosa en la sangre con la fecha y hora actualizados por el dispositivo RTC a la base de datos.
- Publicación de la información en la página web con las etiquetas de horario de medición y estado del paciente, obtenidas con el algoritmo de aprendizaje automático.

En la Figura 62 se observa la placa del módulo central y el acoplamiento del dispositivo RTC.

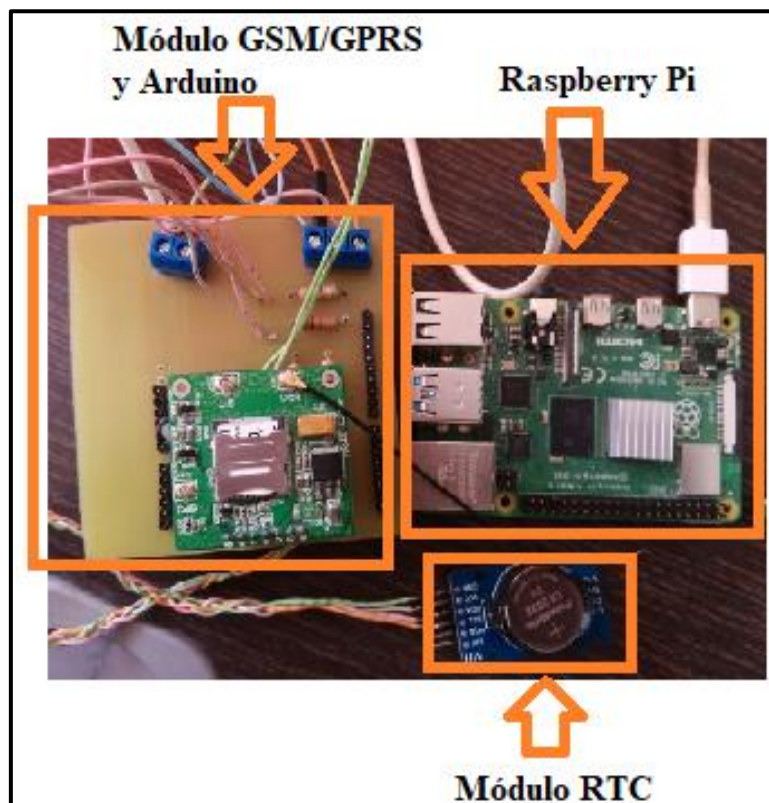


Figura 62 Componentes del dispositivo Pigeon-Chek, integración del módulo RTC al módulo central

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

3.2.4.1. Prueba 1, segunda iteración: Envío y recepción de los valores de glucosa, hora y fecha de la toma.

Una vez el paciente se realiza la toma de datos y procede a conectar el glucómetro con el dispositivo Pigeon-Chek se envía la información de la glucosa, la hora y fecha serán obtenidos desde el módulo RTC. En la Figura 63 se muestra un nuevo ingreso en la base de datos y se la compara con la hora y fecha de la PC para verificar que el reloj este dando el tiempo actualizado

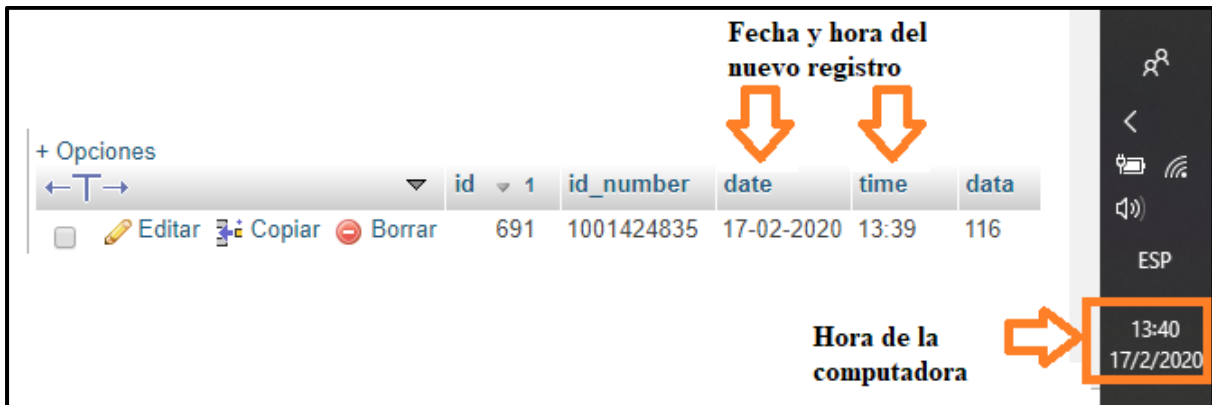


Figura 63 Parámetros de nuevo registro recibido en la base de datos, hora y fecha del nuevo ingreso comprados con la hora y fecha de una PC de tiempo actualizado

Fuente: BDD Paciente 1

3.2.4.2. Prueba 2, segunda iteración: Publicación en la página web de los datos procesados con el algoritmo de predicción y el tiempo actualizado.

En esta ya se puede observar la publicación en la cuenta de usuario, de las etiquetas de tipo de horario de medición de glucosa y estado de salud del paciente, así como la fecha y hora del ingreso de la última medición a la base de datos, como se muestra en la Figura 64.

| Historial de Control de Glucosa | | | | |
|--|------------|-------|---------|--------|
| Paciente: Carmen Amelia Santander Santander 1001424835 | | | | |
| Ingreso pasado | | | | |
| Horario | Fecha | Hora | Glucosa | Alerta |
| Fuera Horario | 05-02-2019 | 15:55 | 105 | Ideal |
| Desp. Almuerzo | 17-02-2020 | 13:39 | 116 | Ideal |
| Ingreso actualizado | | | | |

Figura 64 Ingreso de información actualizada a la cuenta de usuario de la Paciente1, ingreso pasado y nuevo ingreso con etiquetas correspondientes

Fuente: Registro de datos en la cuenta de la Paciente 1

3.2.4.3. Conclusión, pruebas segunda iteración.

Se verificó el ingreso de la hora y fecha actualizados en la base de datos, estos datos se obtuvieron del módulo RTC, y se comprobó la ejecución del algoritmo de predicción ya que en la cuenta de usuario se publica los datos analizados, procesados y etiquetados.

3.3. Modelo iterativo: tercera iteración

En la tercera iteración se culmina con el diseño global del sistema Pigeon-Chek. Los módulos que lo conforman se encuentran terminados, en esta etapa se trabajará en el circuito final y se integrarán todos los módulos dentro de un contenedor o caja.

3.3.1. Diseño del sistema Pigeon-Chek, tercera iteración.

Para la integración de los módulos se diseñó una placa electrónica con la finalidad de alimentar de energía eléctrica a todo el circuito usando la fuente diseñada en el módulo de alimentación. Además, la placa permite la conexión del módulo de toma de datos o glucómetro y el módulo central a través de un plug estéreo hembra de 3.5mm.

Para el encendido del sistema se agregó un switch con el cual se prende y se apaga el dispositivo. Y para el envío de los datos se agregó un pulsador.

Adicionalmente se incluyó en el circuito final dos leds, uno rojo y uno verde. La función del led rojo es indicar que el dispositivo se encuentra encendido, el led verde indica que los datos

del glucómetro están siendo leídos, enviados a la BDD y publicados en la cuenta de usuario de la página web. La Figura 65 muestra el esquemático de la distribución de los elementos en el circuito y la Figura 66 el diagrama de pistas de la placa. En el diseño se colocó tres resistencias, dos para los leds y una para el plug de entrada de datos.

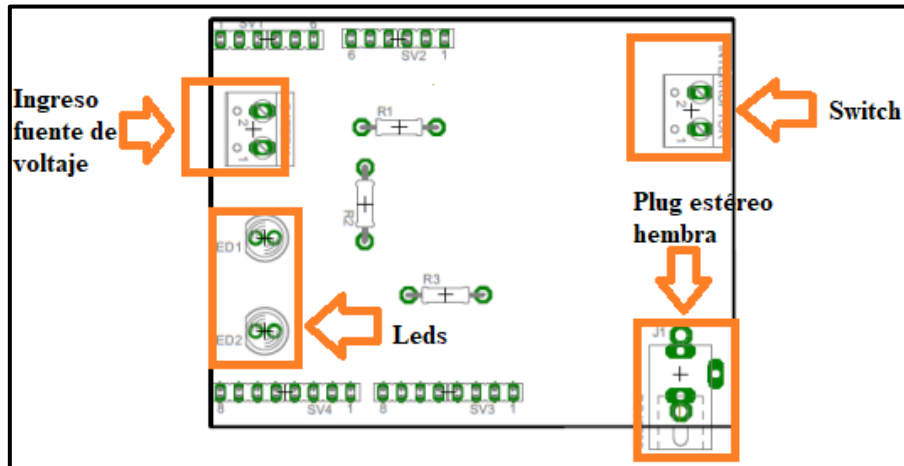


Figura 65 Distribución de elementos de la placa electrónica del dispositivo Pigeon-Chek

Fuente: EAGLE PBC design

El diagrama de pistas de la placa se muestra en la Figura 66, en donde se observa las conexiones de todos los elementos enunciados anteriormente.

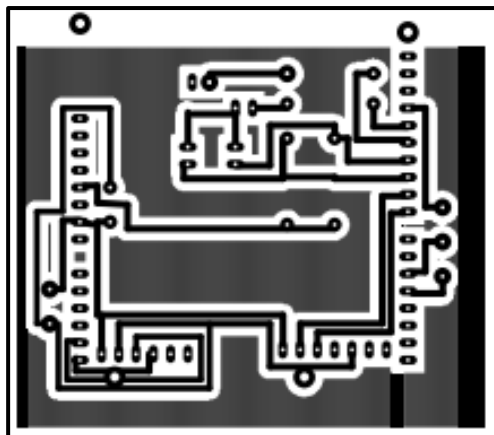


Figura 66 Diagrama de pistas de la placa del dispositivo Pigeon-Chek

Fuente: EAGLE PBC design

El dispositivo del sistema Pigeon-Chek implementado totalmente se lo puede observar en la Figura 67, el dispositivo se colocó dentro de una caja de acrílico en donde se aseguró con

tornillos el módulo Raspberry pi y la placa conformada por el módulo de Arduino, módulo GSM/GPRS y módulo RTC.

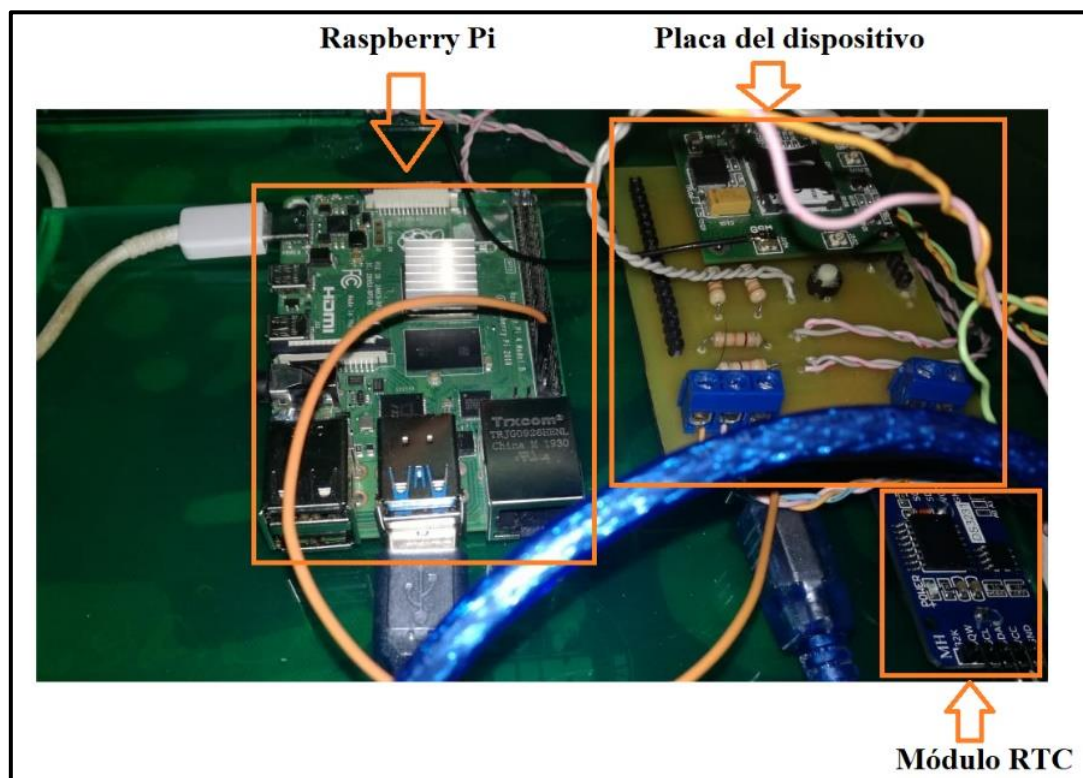


Figura 67 Elementos dispuestos en un contenedor para el dispositivo electrónico Pigeon-Chek

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

En la Figura 68 se muestra la disposición de los elementos electrónicos ubicados en la parte superior de la caja.

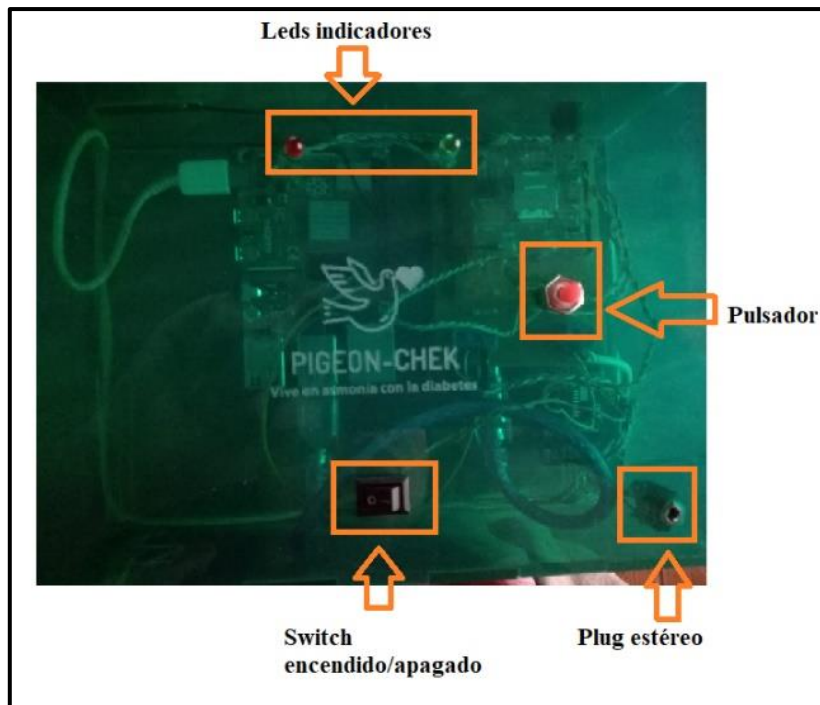


Figura 68 Distribución de los dispositivos electrónicos ubicados en la parte superior de la caja Pigeon-Chek

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

En la Figura 69 se observa el glucómetro OneTouch UltraMini conectado al dispositivo Pigeon-Chek.



Figura 69 Sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en la sangre de pacientes diabéticos y la predicción de la hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos al coma diabético

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

3.3.2. Pruebas de la tercera iteración.

En esta etapa de pruebas se va a verificar que el dispositivo integrado en su totalidad funcione de acuerdo a lo establecido cumpliendo con lo siguiente:

- Switch para encender el sistema, luz de led indicador rojo encendida.
- Reconocimiento entre el glucómetro y el dispositivo Pigeon-Chek.
- Envío y recepción de los valores de glucosa, hora y fecha actualizadas.

3.3.2.1. Prueba 1, tercera iteración: Switch para el encendido del sistema.

En esta prueba se verifica que el led rojo indique que el sistema está encendido una vez se haya activado el switch, como se observa en la Figura 70.



Figura 70 Verificación del encendido del sistema, led indicador rojo encendido

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

3.3.2.2. Prueba 2, tercera iteración: Reconocimiento entre el glucómetro y el dispositivo Pigeon-Chek.

Para que exista comunicación entre el módulo de toma de datos y el dispositivo Pigeon-Chek se debe conectar el cable de datos al glucómetro por un extremo y al plug estéreo hembra ubicado en la parte inferior derecha del dispositivo, como se muestra en la Figura 71. Una vez que los dispositivos tuvieron una conexión exitosa en la pantalla del glucómetro aparecerá las letras PC esto indica que está listo para el envío y recepción de datos.



Figura 71 Verificación del estado de conexión entre el glucómetro y el dispositivo Pigeon-Chek

Fuente: Sistema Pigeon-Chek

3.3.2.3. Prueba 3, tercera iteración: Envío y recepción de los valores de glucosa, hora y fecha actualizadas.

En esta prueba se verifica que el valor de glucosa almacenado en el glucómetro se envíe de manera exitosa a la base de datos, con la fecha y hora actualizados por el dispositivo RTC y que esta información se publique en la cuenta de usuario de la Paciente 1 con las respectivas etiquetas asignadas después del proceso de aprendizaje automático, en la Figura 72 se observa una secuencia de imágenes con todo lo mencionado.



Figura 72 Secuencia del proceso realizado con el sistema Pigeon-Chek

Fuente: BDD y página web del sistema Pigeon-Chek

3.3.2.4. Conclusión, pruebas tercera iteración.

En la tercera y última iteración se comprobó el funcionamiento global del dispositivo, se verificó el envío de datos, la publicación de la información y el funcionamiento de los dispositivos electrónicos agregados para la identificación del estado del dispositivo.

Con los resultados positivos de estas pruebas se procede a la última etapa del modelo iterativo, la “Implementación” del sistema Pigeon-Chek en un ambiente real y se analizarán los resultados comprobando su utilidad para pacientes diabéticos. Todo este proceso se lo desarrolla en el capítulo cuatro del presente proyecto.

CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

En este capítulo se implementa el sistema Pigeon-Chek en un entorno real, se trabajará con los resultados de las pacientes diabéticas 1 y 2, al igual que en el “Análisis del escenario actual” del apartado 3.1.2., se tomarán en cuenta los resultados de los niveles de glucosa por un período de tres semanas. El proceso que realizará el sistema empieza con la toma de la muestra de sangre de la persona diabética y el análisis de glucosa en el glucómetro, una vez obtenido el resultado el dispositivo diseñado en este proyecto extrae el dato del glucómetro y lo envía al módulo de aprendizaje automático en donde mediante un algoritmo de predicción se detectará estados de hiperglucemia o hipoglucemia, la información obtenida en el proceso de aprendizaje automático se almacenará en un servicio de base de datos en la nube para posteriormente publicarla en la página web dentro de una cuenta de usuario creada para cada paciente con la finalidad de que el médico tratante pueda analizar la información y tomar las medidas necesarias en cuanto al tratamiento prescrito a las personas diabéticas.

Los resultados de los niveles de glucosa de las pacientes 1 y 2 fueron documentados en tablas, que servirán para analizar las tendencias de los valores de glucemia en la sangre antes y después de la implementación de la propuesta. Es importante tener en cuenta que el sistema Pigeon-Chek no regula los niveles de glucosa, sino que es una herramienta para que el personal de salud pueda monitorear remotamente el estado de salud de la persona diabética y realice dinámicamente ajustes en la dosificación y administración de medicamentos.

4.1. Implementación de la propuesta, sistema Pigeon-Chek

De acuerdo a los lineamientos del modelo iterativo, la implementación de la propuesta se la realiza una vez fueron culminadas las pruebas de funcionamiento del sistema y se haya verificado que cumpla el objetivo por el cual fue propuesto. Para el presente proyecto se tiene un sistema que mediante un algoritmo de aprendizaje automático se detectan estados de

hiperglucemia e hipoglucemia en pacientes diabéticos, la detección de estos estados servirá al personal de la salud para prevenir emergencias como un coma diabético.

El sistema Pigeon-Chek en su etapa de implementación cuenta con siete módulos, cada uno de ellos se detalla a continuación:

- Módulo de toma de datos. - Módulo conformado por el glucómetro OneTouch UltraMini, encargado de realizar los análisis de glucosa en la sangre de pacientes diabéticos.
- Módulo central. – Conformado por los siguientes elementos: Placa Arduino UNO, módulo GSM/GPRS SIM808 y dispositivo de reloj en tiempo real RTC3231. Una vez realizada la conexión física y lógica entre el módulo de toma de datos y el módulo central, se procede al envío de las tramas para extraer el valor de la glucosa, posteriormente se envía ese valor junto con la fecha y hora obtenidos del dispositivo de reloj al módulo de aprendizaje automático, una vez minados los datos y alcanzada la información se envía mediante el módulo GSM/GPRS a la base de datos en la nube y a través de comunicación serial a la BDD local. Si existe un estado de emergencia hiperglucémico o hipoglucémico se enviará un mensaje de texto a las personas involucradas.
- Módulo de aprendizaje automático. - En este módulo se realiza la aplicación del algoritmo de predicción que detectará estados de hiperglucemia e hipoglucemia en pacientes diabéticos.
- Módulo de base de datos local. – Conformado por un SBC Raspberry Pi4, su función es almacenar de manera local la información dentro de una memoria SD de 32Gb.
- Módulo de base de datos en la nube. - Este módulo o servidor se encuentra alojado en una instancia de AWS, se encarga de almacenar y enviar la información en la nube a las cuentas de usuario ubicadas en el servidor web.

- Módulo de alerta local. – La alerta local fue pensada para avisar mediante el envío de un mensaje de texto la posibilidad de un estado de emergencia, el mensaje de texto se lo envía a través el módulo GSM/GPRS.
- Módulo servidor web. - Presenta información relevante dentro del entorno de la diabetes y publica la información obtenida con el aprendizaje automático en cuentas de usuario. Como adicional se incluyó la funcionalidad de crear y administrar citas por parte del médico.

En la Figura 73 se observa la arquitectura modular del sistema Pigeon-Chek.

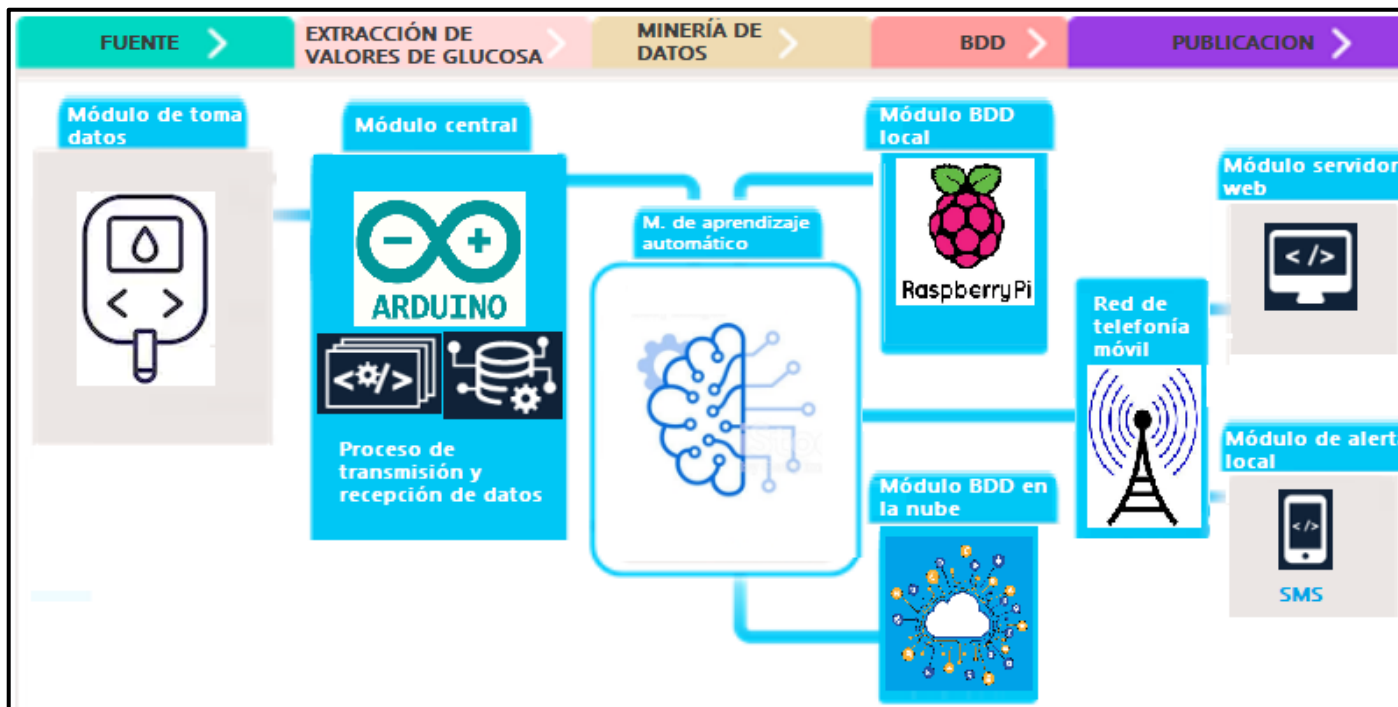


Figura 73 Arquitectura por módulos del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Diseño del sistema Pigeon-Chek

En el diagrama de flujo de la Figura 74 se muestra una síntesis del proceso general que se va a realizar con el sistema.

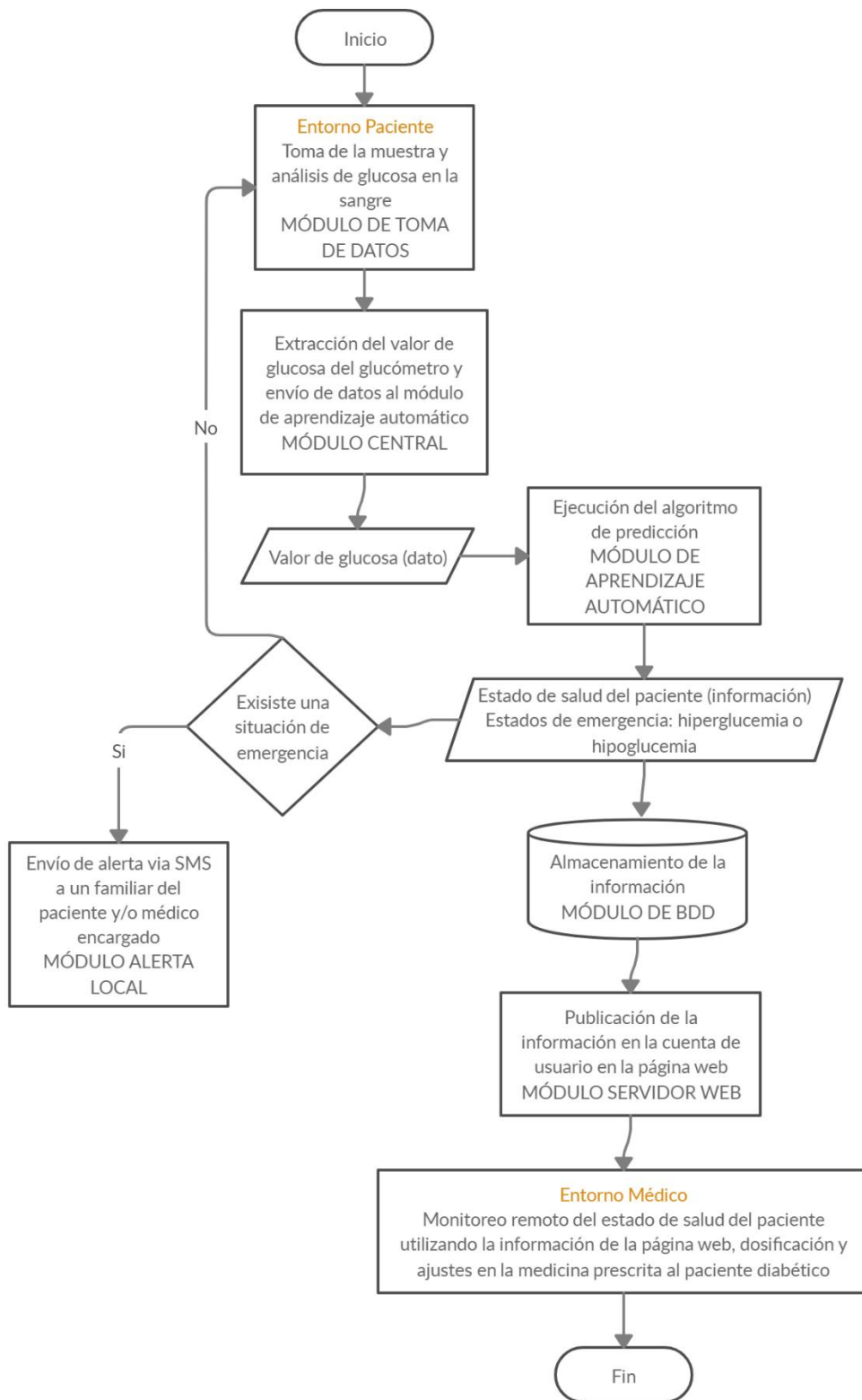


Figura 74 Diagrama de flujo del proceso general del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Diseño del sistema Pigeon-Chek

A nivel del entorno paciente se efectúan dos procesos: la toma de muestras de los valores de glucosa y el envío del dato, con lo cual se realizará el proceso de minería de datos, almacenamiento de la información en la BDD y su publicación en la cuenta de usuario de la página web. El entorno médico se centra en el monitoreo remoto del estado de salud del paciente diabético utilizando la información publicada en la página web la cual será valorada a nivel médico y se realizarán cambios o modificaciones en el tratamiento prescrito.

Como se mencionó al inicio de este capítulo la etapa de implementación del sistema Pigeon-Chek se realizará por un periodo de tres semanas trabajando en conjunto con las pacientes diabéticas y el médico que supervisará el estado de salud del paciente y el funcionamiento a nivel del entorno médico del sistema propuesto.

4.1.1. Toma de muestras y registro de los análisis de glucosa en la sangre de las pacientes diabéticas, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek

A continuación, se muestran las tablas con los resultados de los análisis de glucosa en las pacientes diabéticas tomados en la primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek. En la Tabla 50 se revelan los resultados de la Paciente 1 y en la Tabla 51 los resultados de la Paciente 2. Los horarios marcados con una X indican que no se realizó el examen de glucosa, la falta del ingreso de estos valores no afecta el desempeño del algoritmo de predicción ya que el proceso de entrenamiento y validación del mismo se lo realizó en la segunda iteración del diseño del sistema propuesto en el presente proyecto.

Las unidades de las mediciones se encuentran en miligramos por decilitro mg/dl.

Tabla 50 *Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente1-Semana 1 de implementación del sistema Pigeon Chek.*

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes del almuerzo | Después del almuerzo | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 115 | 168 | 132 | 234 | 4 |
| Día 2 | 138 | 140 | 117 | 165 | 4 |
| Día 3 | 86 | 97 | 67 | 103 | 4 |
| Día 4 | 62 | 71 | 68 | 77 | 4 |
| Día 5 | 103 | 99 | 71 | 122 | 4 |

| | | | | | |
|--------------|----|-----|-----|-----|---|
| Día 6 | 72 | 123 | X | 168 | 3 |
| Día 7 | X | 83 | 108 | 111 | 3 |

Fuente: Archivo Paciente 1

Tabla 51 Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente2-Semana 1 de implementación del sistema Pigeon Chek.

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Antes del almuerzo | Después del almuerzo | Total, de mediciones |
|--------------|--------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Día 1 | 111 | 146 | 67 | 245 | 4 |
| Día 2 | 138 | 143 | 124 | 222 | 4 |
| Día 3 | 132 | 181 | 115 | 177 | 4 |
| Día 4 | X | 74 | 79 | 112 | 3 |
| Día 5 | 121 | 108 | 114 | 161 | 4 |
| Día 6 | 116 | 123 | 67 | 154 | 4 |
| Día 7 | 107 | 134 | 75 | 129 | 4 |

Fuente: Archivo Paciente 2

4.1.2. Almacenamiento de los valores de glucosa en la base de datos, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek.

Los valores de glucosa de las pacientes diabéticas se almacenan en el servidor de base de datos y se pueden diferenciar porque se asignó un identificador de ingreso de dato de cada paciente que en este caso viene a ser el número de cédula. En la Figura 75 se observa los datos de la paciente 1 y 2 almacenados en la BDD. Además, se guarda la fecha y la hora en la cual se ingresó el resultado de los análisis, la hora es importante ya que con ella se trabajará el algoritmo de predicción.

| id | id_number | date | time | data |
|-----|-----------|------------|-------|------|
| 726 | 100445 | 27-01-2020 | 13:16 | 245 |
| 724 | 100445 | 27-01-2020 | 12:12 | 67 |
| 723 | 100445 | 27-01-2020 | 07:19 | 146 |
| 722 | 100445 | 27-01-2020 | 06:47 | 111 |
| 721 | 100142 | 27-01-2020 | 14:00 | 234 |
| 720 | 100142 | 27-01-2020 | 11:15 | 132 |
| 719 | 100142 | 27-01-2020 | 08:58 | 168 |
| 718 | 100142 | 27-01-2020 | 05:05 | 115 |

Figura 75 Almacenamiento de los datos de glucosa de las pacientes 1 y 2 en la BDD-Primera semana de implementación del sistema

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

4.1.3. Ejecución del algoritmo de predicción y publicación de la información, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek.

Una vez que valor de la glucosa y la hora en la que se realizó la toma ingresan al módulo de aprendizaje automático se ejecuta el algoritmo de predicción, con el cual se detectarán estados de emergencia como lo son la hiperglucemia y la hipoglucemia. Los valores referenciales de los niveles de glucosa y el proceso de aprendizaje automático se observan en la Figura 36 “Esquema del árbol de decisión para la detección de la hiperglucemia e hipoglucemia”. Al finalizar el proceso de aprendizaje automático la información es publicada en la cuenta de usuario de cada paciente dentro de la página web, como se observa en la Figura 76 para la paciente 1 y la Figura 77 muestra la publicación de resultados de la Paciente 2.

| Historial de Control de Glucosa | | | | |
|---|------------|-------|---------|------------|
| Paciente: Carmen Amelia Santander Benalcazar 100142 | | | | |
| Horario | Fecha | Hora | Glucosa | Alerta |
| Ayunas | 27-01-2020 | 05:05 | 115 | Controlado |
| Desp. Ayunas | 27-01-2020 | 08:58 | 168 | Controlado |
| Antes Almuerzo | 27-01-2020 | 11:15 | 132 | Nivel Alto |
| Desp. Almuerzo | 27-01-2020 | 14:00 | 234 | Nivel Alto |

Resultado del proceso de aprendizaje automático

Figura 76 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 1-Día 1-Semana 1 de la implementación del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Archivo paciente 1

| Historial de Control de Glucosa | | | | |
|--|------------|-------|---------|------------|
| Paciente: Ruth Elizabeth Santander 10044 | | | | |
| Horario | Fecha | Hora | Glucosa | Alerta |
| Ayunas | 27-01-2020 | 06:47 | 111 | Controlado |
| Desp. Ayunas | 27-01-2020 | 07:19 | 146 | Controlado |
| Antes Almuerzo | 27-01-2020 | 12:12 | 67 | Nivel Bajo |
| Desp. Almuerzo | 27-01-2020 | 13:16 | 245 | Nivel Alto |

Resultado del proceso de aprendizaje automático

Figura 77 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 2-Día1-Semana 1 de la implementación del sistema Pigeon-Chek

4.1.4. Monitoreo remoto del estado de salud de las pacientes-entorno médico, primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek.

Una vez se realiza el proceso de toma, envío y recepción de datos, almacenamiento en la BDD, aprendizaje automático, publicación de la información y envío de alertas en situaciones de emergencia se culmina la fase técnica del sistema Pigeon-Chek para dar paso a la etapa de evaluación de resultados por parte del médico especialista y tratante del paciente diabético. En esta etapa el personal de salud valorará el registro de los análisis de glucosa en la sangre de las pacientes diabéticas accediendo al archivo de cada una de ellas desde la página web, con lo cual el médico realizará cambios en el tratamiento prescrito a las pacientes con la finalidad de normalizar los niveles de azúcar en la sangre y evitar recaídas en el estado de salud del paciente diabético.

El tratamiento médico de las pacientes diabéticas al inicio de la primera semana de toma de muestras en la etapa de implementación del sistema Pigeon-Chek, consiste en la administración de 10UI de insulina de acción intermedia también conocida como insulina basal dos veces al día para la paciente 1 y 12UI de insulina basal dos veces al día para la paciente 2.

En lo referente al envío de las alertas vía SMS el médico sugirió que las alertas sean programadas de la siguiente manera: cuando los niveles de glucosa sean demasiado altos o demasiados bajos enviar una alerta al familiar del paciente para que esté atento al estado de salud de la persona diabética y cuando las alertas indiquen estados de hiperglucemia o hipoglucemia se enviarán alertas al familiar y médico, para una pronta acción. El médico tratante evaluará al final del día los valores de glucosa de sus pacientes en el caso de no haber recibido ninguna alerta, con lo cual resolverá si se realizan o no ajustes en la dosificación de insulina. En la Figura 78 se observa el formato del SMS enviado como alerta.

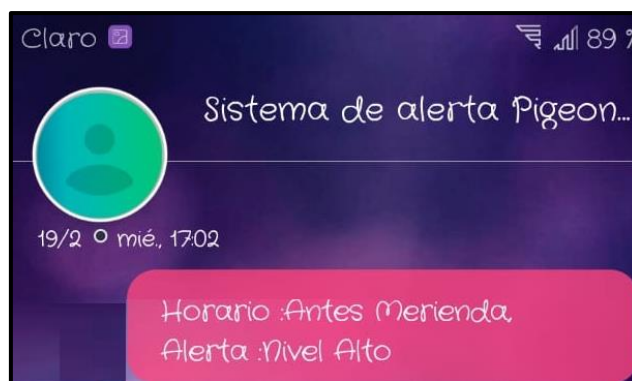


Figura 78 Formato del contenido del SMS enviado como alerta local

Fuente: Archivo de alertas Paciente 1

El primer día de implementación del sistema Pigeon-Chek y evaluación médica de los resultados se realizó un ajuste a la dosificación de medicamentos para la paciente 1 y se adicionó 4UI a la dosis de insulina, debido a niveles altos de glucosa, total 14UI dos veces al día. En el día 4 se realizó un ajuste de insulina, se restó 2UI, debido a niveles bajos de glucosa, total 12 UI dos veces al día.

En el caso de la paciente 2 el médico consideró adecuado adicionar 6UI a la dosis de insulina, debido a niveles altos de glucosa, total 18UI dos veces al día.

4.1.5. Conclusiones de la primera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek.

El sistema Pigeon-Chek detecta estados de hiperglucemia e hipoglucemia dependiendo de los valores de azúcar en la sangre, para la primera semana de implementación del sistema se tiene en el registro de resultados de los análisis de glucosa valores muy variados, de acuerdo a la opinión médica esto es normal ya que para poder normalizar el rango de valores de glucosa se toma un tiempo de entre ocho y quince días monitoreando constantemente dichos valores y realizando cambios en la dosificación del tratamiento, con la implementación del dispositivo estas operaciones se las encuentra realizando por parte del médico especialista. Es importante tener en cuenta que el período de regulación en los valores de glucosa depende también de la edad del paciente, el estado de ánimo, la alimentación, entre otros factores.

4.1.6. Segunda semana de implementación del sistema Pigeon-Chek.

En la segunda semana de implementación del sistema Pigeon-Chek se repetirá el proceso de documentación realizado en la primera semana de manera más ágil omitiendo algunas definiciones ya mencionadas en los apartados anteriores.

A continuación, en las Tablas 52 y 53 de la paciente 1 y paciente 2 respectivamente, muestran el registro de resultados de los análisis de glucosa en la segunda semana de implementación del sistema Pigeon-Chek, de acuerdo al criterio médico en esta semana las pacientes se van a realizar tres controles de glucosa al día.

Tabla 52 *Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente1-Semana 2 de implementación del sistema Pigeon Chek.*

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Después de la merienda | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 73 | 109 | 114 | 3 |
| Día 2 | X | 121 | 78 | 2 |
| Día 3 | 111 | 145 | 87 | 3 |
| Día 4 | 71 | 86 | 135 | 3 |
| Día 5 | 66 | 74 | 79 | 3 |
| Día 6 | X | X | X | 0 |
| Día 7 | 104 | 113 | 167 | 3 |

Fuente: Archivo Paciente 1

Tabla 53 *Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente2-Semana 2 de implementación del sistema Pigeon Chek.*

| Días | Ayunas | Después del desayuno | Después de la merienda | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 109 | 114 | 61 | 3 |
| Día 2 | 67 | 69 | 62 | 3 |
| Día 3 | 69 | 110 | 73 | 3 |
| Día 4 | 81 | 107 | 121 | 3 |
| Día 5 | 76 | 154 | X | 2 |
| Día 6 | X | 117 | X | 1 |
| Día 7 | X | 108 | 123 | 2 |

Fuente: Archivo Paciente 2

En la Figura 79 se puede observar el almacenamiento de los datos de glucosa de la paciente 1 y paciente 2 en la BDD.

| id | id_number | date | time | data |
|-----|-----------|------------|-------|------|
| 819 | 100445 | 03-02-2020 | 07:32 | 114 |
| 818 | 100445 | 03-02-2020 | 06:16 | 109 |
| 817 | 100142 | 09-02-2020 | 18:37 | 167 |
| 816 | 100142 | 09-02-2020 | 07:15 | 113 |

Figura 79 Almacenamiento de los datos de glucosa de las pacientes 1 y 2 en la BDD-Segunda semana de implementación del sistema

Fuente: BDD del sistema Pigeon-Chek

Una vez almacenados los datos se envían al módulo de aprendizaje automático en donde el algoritmo de predicción detectará estados de emergencia y asignará una etiqueta al estado de salud del paciente dependiendo del valor de glucosa y el tipo de horario en el cual se realizó la medición. En la Figura 80 y Figura 81 se observan los resultados del algoritmo de predicción y la publicación de la información en la cuenta de la paciente 1 y cuenta de la paciente 2 respectivamente.

| Historial de Control de Glucosa | | | | |
|---|------------|-------|---------|--------------|
| Paciente: Carmen Amelia Santander Benalcazar 1001424835 | | | | |
| Horario | Fecha | Hora | Glucosa | Alerta |
| Ayunas | 03-02-2020 | 05:07 | 43 | Hipoglucemia |
| Desp. Ayunas | 03-02-2020 | 08:37 | 109 | Ideal |
| Desp. Merienda | 03-02-2020 | 19:27 | 114 | Ideal |

Resultados del algoritmo de predicción

Figura 80 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 1-Día1-Semana 2 de la implementación del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Archivo paciente 1

| Historial de Control de Glucosa | | | | |
|---|------------|-------|---------|--------------|
| Paciente: Ruth Elizabeth Santander 100445 | | | | |
| Horario | Fecha | Hora | Glucosa | Alerta |
| Ayunas | 03-02-2020 | 06:16 | 109 | Ideal |
| Desp. Ayunas | 03-02-2020 | 07:32 | 114 | Ideal |
| Fuera Horario | 03-02-2020 | 19:59 | 61 | Hipoglucemia |

Resultados del algoritmo de predicción

Figura 81 Publicación en la página web de los resultados del proceso de aprendizaje automático en la cuenta de la Paciente 2-Día1-Semana 2 de la implementación del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Archivo paciente 2

Para la segunda semana de implementación del dispositivo en el segundo día, el médico realizó un ajuste de insulina en la dosificación de la Paciente 2 y se restó 4UI debido a niveles bajos de glucosa, total 14UI dos veces al día. En cuanto a la Paciente 1 se mantuvo el tratamiento con 12 UI dos veces al día.

4.1.6.1. Conclusiones de la segunda semana de implementación del sistema Pigeon-Chek.

En la segunda semana se pudo observar que las pacientes ya se van familiarizando con el funcionamiento del sistema Pigeon-Chek y dominan el uso del dispositivo electrónico, además se observa que los niveles de glucosa aún son variables, pero ya rondan los niveles controlados e ideales.

4.1.7. Tercera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek.

Al igual que en la segunda semana el proceso de documentación de la implementación del sistema Pigeon-Chek es repetitivo, por lo que se muestra solamente el resultado de las mediciones de glucosa y se sobreentiende que después ocurre el proceso de extracción de los datos para ser almacenado en la BDD, continuando con la ejecución del algoritmo de predicción, finalizando con la publicación de la información y el análisis de resultados por parte del médico tratante. Las Tablas 54 y 55 de la paciente 1 y la paciente 2 respectivamente muestran el registro de resultados de los análisis de glucosa en las pacientes diabéticas en la

tercera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek, de acuerdo al criterio médico en esta semana las pacientes se van a realizar dos controles de glucosa al día.

Tabla 54 *Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente1-Semana 3 de implementación del sistema Pigeon Chek.*

| Días | Ayunas | Antes de ir a dormir | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 74 | 77 | 2 |
| Día 2 | 89 | 99 | 2 |
| Día 3 | X | 72 | 1 |
| Día 4 | X | 159 | 1 |
| Día 5 | 67 | 111 | 2 |
| Día 6 | 72 | 126 | 2 |
| Día 7 | 66 | 154 | 2 |

Fuente: Archivo Paciente 1

Tabla 55 *Registro de los análisis de glucosa en la sangre de la Paciente2-Semana 3 de implementación del sistema Pigeon Chek.*

| Días | Ayunas | Antes de ir a dormir | Total, de mediciones |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Día 1 | 117 | 125 | 2 |
| Día 2 | 67 | 134 | 2 |
| Día 3 | 73 | 109 | 2 |
| Día 4 | 73 | 127 | 2 |
| Día 5 | X | X | 0 |
| Día 6 | 66 | 143 | 2 |
| Día 7 | 77 | 89 | 2 |

Fuente: Archivo Paciente 2

En la tercera semana de implementación del sistema Pigeon-Chek y bajo criterio médico la dosificación de insulina para la paciente 1 se mantiene en 12 UI dos veces al día y para la paciente 2 en 14 UI dos veces al día debido a que con esa cantidad de medicamento los valores de glucosa se encuentran estabilizándose y en su mayoría son resultados ideales y controlados.

4.1.8. Resultados de la implementación del sistema Pigeon-Chek.

Después de realizar la documentación de las tablas se analiza que existen ciertas variaciones en los niveles de glucosa en las pacientes 1 y 2.

En la primera semana se encuentra las fluctuaciones más considerables dentro de los registros, de acuerdo a los resultados de la información obtenida con el proceso de aprendizaje

automático el médico de tratante de las dos pacientes diabéticas, modificó la dosificación de insulina realizando ajustes que dependían de los registros con valores altos o valores bajos.

Para la segunda semana los niveles de glucosa de la paciente 1 se encontraban dentro de rangos aceptables por lo que el médico decidió que se realicen exámenes de glucosa tres veces al día y para la paciente 2 se realizó un ajuste de insulina ya que los niveles de glucosa en la sangre estaban rondando niveles bajos.

En la tercera y última semana de pruebas se realizaron dos análisis de glucosa al día, tanto la paciente 1 como la paciente 2 obtuvieron resultados positivos, ya que los niveles de azúcar en la sangre se encontraban dentro de rangos ideales y controlados.

En la Figura 82 se muestran las tendencias de los valores de glucosa como ejemplo de estudio se tomó los datos de la Paciente 1 antes y después de la implementación del sistema Pigeon-Chek. Para el primer caso la paciente acudía a un control médico una vez a la semana y se realizaba un análisis de glucosa en el momento de la cita médica y en el segundo caso implementando el sistema propuesto el médico realizaba el monitoreo de los niveles de glucosa al final de cada día.

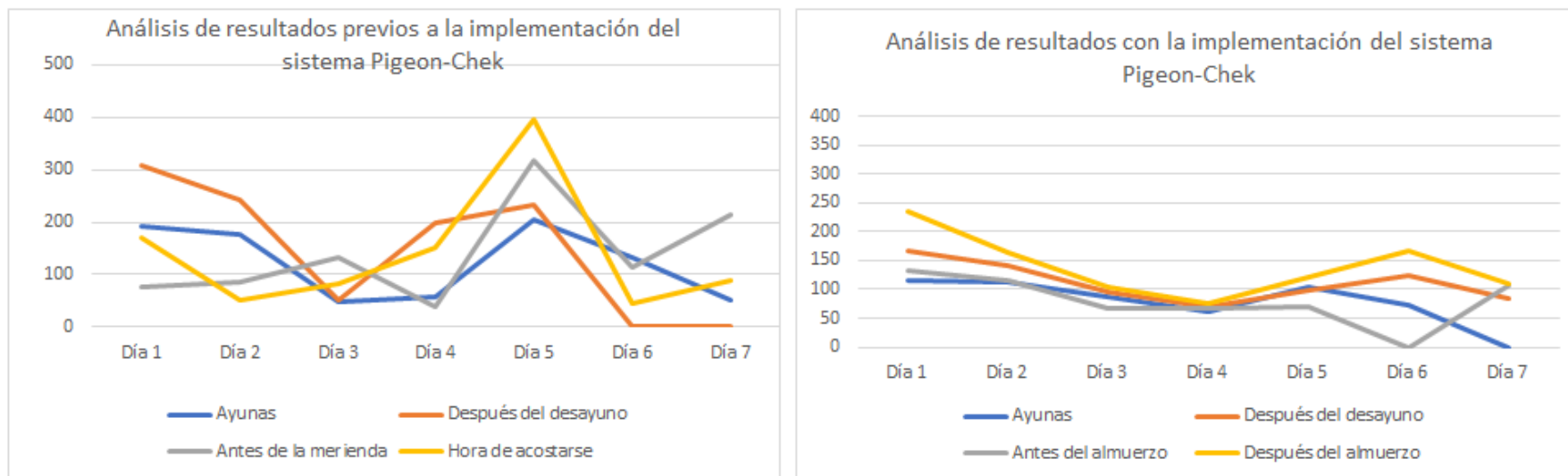


Figura 82 Tendencias de los valores de glucosa de la Paciente 1, antes y después de la implementación del sistema Pigeon-Chek

Fuente: Autoría

Como se puede observar en la Figura 82 en el recuadro de la izquierda el registro de datos realizados con el método tradicional y con un control médico semanal, tiene valores que varían considerablemente, picos muy elevados en el valor de la glucosa, a comparación del monitoreo con el sistema Pigeon-Chek recuadro de la derecha en donde los valores de glucosa se encuentran dentro de niveles aceptables y controlados, las variaciones hacia arriba o hacia abajo no son demasiado considerables debido a que se realizó un control diario por parte del médico y se ajustó oportunamente la cantidad de insulina suministrada a cada paciente.

4.1.8.1. *Certificado de aprobación médica del sistema Pigeon-Chek.*

Como parte del proceso de verificación del presente proyecto se consideró oportuno que el Dr. Ramiro Ruiz Ruiz-Médico que colaboró con el proyecto, certifique el proceso de: implementación, verificación y uso del sistema Pigeon-Chek cabe mencionar que estos puntos que fueron certificados están dentro del criterio y evaluación médica

CONSULTORIO DE MEDICINA FAMILIAR

El que suscribe, Ángel Ramiro Ruiz Ruiz., Médico Cirujano, legalmente autorizado para ejercer su profesión con cédula de identidad N°1001054251 y Cod. 199-01

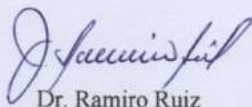
CERTIFICA

Que la señorita Paola Abigail Gómez Santander con cédula de identidad N°1003450796 ha trabajado con mi tutoría en la parte médica en su proyecto de tesis titulado "*Sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la predicción de hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos a un coma diabético*" encontrándose revisado y aprobado el contenido escrito y práctico que a mí me concierne.

Además, una vez implementado el sistema *Pigeon-Chek* diseñado en el proyecto antes descrito, puedo afirmar que me ha sido de ayuda en la prescripción de un oportuno tratamiento a personas diabéticas, es un apoyo tanto para el paciente, familiares y médico, siendo fácil de usar tanto el dispositivo como la página web.

Como recomendación final el dispositivo Pigeon-Chek debe ser prescrito por un médico autorizado y utilizado únicamente en pacientes diabéticos.

A petición de la parte interesada y para los fines que le convengan se extiende el presente en la ciudad de Otavalo, Imbabura-Ecuador a los 22 días del mes de febrero de 2020.


Dr. Ramiro Ruiz
Médico Familiar

Dr. Ramiro Ruiz Ruiz
MÉDICO FAMILIAR
REG. MSP. L. 2 F. 78 No. 232
CI. 1001054251

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema electrónico denominado Pigeon-Chek destinado a pacientes diabéticos, con el cual mediante un algoritmo de predicción y el tratamiento de los valores de glucosa en la sangre se pueden detectar estados de hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos a un coma diabético.
- Con la base teórica se conoció la situación actual de los pacientes diabéticos en el Ecuador y se analizó el algoritmo de predicción que se alineaba a los requerimientos del sistema siendo este el árbol de decisión, ya que este permitió considerar de manera completa todas las posibles situaciones y planteó el problema desde distintas perspectivas de acción.
- En la parte médica se trabajó con el Doctor Ramiro Ruiz y mediante una entrevista se definieron algunos de los requerimientos de software, hardware y de usuario que fueron fundamentales para el diseño del sistema, además se realizó una encuesta a los principales involucrados que son las personas diabéticas, estas encuestas permitieron empaparse a fondo de las necesidades que tienen los pacientes y analizar requerimientos que se pasaron por alto en la entrevista.
- Para el entrenamiento y test del algoritmo de predicción se utilizó una base de datos del Centro de aprendizaje automático y sistemas inteligentes de la Univesidad de California, esta base de datos cuenta con una serie de etiquetas y gran cantidad de información recolectada en pacientes diabéticos, posteriormente utilizando la metodología de minería de datos KDD se codificó el algoritmo de aprendizaje automático que detectó estados de hiperglucemia e hipoglucemia de acuerdo a los niveles de azúcar en la sangre.
- El sistema tiene una eficiencia del 97%, para el cálculo se utilizó la técnica de validación cruzada en donde el algoritmo de predicción lograba detectar a un cien por ciento en estados de emergencia *hiperglucemia e hipoglucemia* de acuerdo a los niveles de glucosa, pero de acuerdo a la norma de la Comisión Europea ISO 15197:2015, destinada a regular la precisión

a los sistemas de monitorización de glucosa en sangre, se resta el 3% al cálculo obtenido, este tres por ciento contempla errores eléctricos, fallas en las mediciones entre otros.

- Se implementó el sistema electrónico Pigeon-Chek que permite la detección de la hipoglucemia e hipoglucemia mediante un algoritmo de aprendizaje automático, para el beneficio de pacientes diabéticos y médicos tratantes, en el caso de las Pacientes 1 y 2 se obtuvo una respuesta positiva ya que a lo largo de la implementación el médico realizó ajustes en la dosificación de insulina y la dieta de las pacientes, teniendo como resultado en la última semana de pruebas niveles de glucosa dentro de rangos ideales.

RECOMENDACIONES.

- El modelo iterativo permitió tener como resultado al final del presente proyecto un sistema robusto, por lo que se recomienda el uso de esta metodología para el diseño de proyectos tecnológicos, ya que el proceso por iteraciones permite depurar y mejorar el producto final, analizando los resultados en cada una de las etapas.

- El sistema Pigeon-Chek es de uso personal no se debe utilizar por varios usuarios ya que los datos de estos serán subidos a la cuenta del paciente del cual se programó el número identificador y estos datos pueden ocasionar alteraciones en la salud de la persona diabética ya que el médico asume que los valores de glucosa publicados en la base de datos son de su paciente y podría realizar ajustes en la dosis de insulina o prescribir medicamentos no necesarios.

- Existen diferentes tipos de factores por los cuales los niveles de glucosa pueden aumentar o disminuir entre ellos la comida, el estado de ánimo, enfermedades asociadas con la diabetes entre otros, para futuras investigaciones se recomienda utilizar estos datos para incrementar la exactitud de predicción del algoritmo.

BIBLIOGRAFÍA

- ACCU CHEK. (14 de Noviembre de 2019). *Accu-Chek® Instant*. Obtenido de <https://www.accu-chek.com.ec/medidores-de-glucosa/accu-chek-instant>
- Amazon Web Services. (19 de 01 de 2020). Obtenido de AWS: <https://aws.amazon.com/es/ec2/pricing/on-demand/>
- American Diabetes Association. (17 de Junio de 2015). *Control de Glucosa*. Obtenido de <http://archives.diabetes.org/es/vivir-con-diabetes/tratamiento-y-cuidado/el-control-de-la-glucosa-en-la-sangre/control-de-la-glucosa.html>
- ARDUINO . (14 de Noviembre de 2019). *ARDUINO PRODUCTS*. Obtenido de Compare board specs: <https://www.arduino.cc/en/products/compare>
- Asociación de Diabetes Madrid. (29 de Noviembre de 2018). *Medidores continuos de glucosa ¿Qué son?* Obtenido de <https://diabetesmadrid.org/medidores-continuos-glucosa/>
- AVASYSTEM. (19 de Julio de 2019). *AVASYSTEM*. Obtenido de What is IoT architecture?: <https://www.avsystem.com/blog/what-is-iot-architecture/>
- Behr, A. (13 de Diciembre de 2018). BEST USES OF WIRELESS IOT COMMUNICATION TECHNOLOGY. *Industry today*, págs. -.
- Berendet, B., Bringmann, B., Fromont, E., Garriga, G., Miettinen, P., Tatti, N., & Tresp, V. (2016). *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. Italia: Springer International Publishing.
- Cardona Hernández, R. (2016). *Sistemas de monitorización continua de glucosa*. Barcelona: Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona.
- Chatterjee, P., & Armentano, R. (2016). *Internet of Things for a Smart and Ubiquitous eHealth System*. Calcutta: St. Xavier College.
- CONSEJO NACIONAL DE PLANIFICACIÓN (CNP). (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir*. Quito: SENPLADES.
- Cruz Roja. (2018). *Hipoglucemia e hiperglucemia*. Madrid: Reaprender.
- DATAQUEST. (19 de Enero de 2019). *The 10 Best Machine Learning Algorithms for Data Science Beginners*. Obtenido de <https://www.dataquest.io/blog/top-10-machine-learning-algorithms-for-beginners/>

- Díaz, C. (2017). *Orientación para el diseño de fuentes de alimentación*. Antofagasta: Centro de Educación y Capacitación de la Universidad Católica del Norte.
- efor. (2018). *Tecnologías de comunicación para IoT*. California: efor.
- EFOR. (2018). *Tecnologías de comunicación para IoT*. Obtenido de <https://www.efor.es/servicios/internet-de-las-cosas-iot.html>
- Evanczuk, S. (26 de Junio de 2018). *Speed Development of Secure Cellular Connected IoT Applications*. Obtenido de <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2018/jun/speed-development-secure-cellular-connected-iot-applications>
- Garaulet, M. (2014). *Tiempos óptimos para cada comida*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Genesis. (25 de Septiembre de 2018). *Pros and Cons of K-Nearest Neighbors*. Obtenido de <https://www.fromthegenesis.com/pros-and-cons-of-k-nearest-neighbors/>
- Gil, D. D. (01 de Febrero de 2017). *En Forma a los 40*. Obtenido de <https://www.vitonica.com/enfermedades/freestyle-libre-un-glucometro-para-diabeticos-sin-pinchazos>
- Gokhale, P., Bhat, O., & Bhat, S. (2018). *Introduction to IOT*. Bhali: IARJ SET.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2017). *Internet of Things (IoT): A vision, Architectural Elements, and Future Directions*. Melbourne: The University of Melbourne.
- Harding, J., Shaw, J., Peeters, A., Guiver, T., Davidson, S., & Magliano, D. (2014). *Mortality trends among people with type 1 and type 2 diabetes in Australia*. Australia: Diabetes Care.
- Instituto Nacional de la Diabetes y las Enfermedades Digestivas y Renales. (2019). *Diabetes y otros tipos*. Massachusetts: NIH.
- International Diabetes Federation. (2015). *Atlas de la DIABETES de la FID* (Séptima ed.). Karakas Print.
- Isla Pera, P. (2014). DIABETES MELLITUS: LA PANDEMIA DEL SIGLO XXI. *Revista Científica de Enfermería*, 1-2.

- John Bhatti, H., & Bashari Rad, B. (2017). *Databases in Cloud Computing: A Literature Review*. Malaysia: MECS.
- Kahn, M. (07 de Noviembre de 2007). *Diabetes Data Set*. Obtenido de <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/diabetes>
- Kumar, S., & Pushkar, D. (2017). *SOFTWARE DEVELOPMENT LIFE CYCLE (SDLC) ANALYTICAL COMPARISON AND SURVEY ON TRADITIONAL AND AGILE METHODOLOGY*. Bargarh: ABHINAV.
- LifeScan. (2007). *OneTouch UltraMini Blood Glucose Meter RS-232 Communication Protocol*. USA: Johnson & Johnson company.
- López Vicario, J. L., & Vilajosana Guillen, X. (2017). *IoT: Dispositivos, tecnología, transporte y aplicaciones*. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.
- Luis LLamas. (18 de Octubre de 2016). *RELOJ Y CALENDARIO EN ARDUINO CON LOS RTC DS1307 Y DS3231*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/reloj-y- calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/>
- Luna, N. (26 de Febrero de 2018). ¿Qué son las TICs? *Entrepreneur*, pág. 1.
- Maihart, P. (30 de Noviembre de 2018). *Nagarro*. Obtenido de How are IoT experts revolutionizing diabetes-therapy?: <https://www.nagarro.com/en/blog/how-technology-geeks-revolutionize-diabetes-therapy-with-iot>
- Ministerio de Salud de Colombia. (2014). *Complicaciones y enfermedades asociadas a la diabetes*. Bogotá: MINSALUD. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PENT/Paginas/diabetes-complicaciones-enfermedadesasociadas.aspx>
- Mollinedo Patzi, M. A., & Huayta Prado, J. M. (2014). Coma Diabético. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 2-4.
- MySQL. (12 de Diciembre de 2019). *MySQL*. Obtenido de <https://www.mysql.com/products/enterprise/tde.html>
- National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion. (2017). *National Diabetes Statistics Report*. California: CDC.

- Nwagu, C. K., Omankwu, O. C., & Inyiama, H. (2017). *Knowledge Discovery in Databases (KDD): An Overview*. Nigeria: International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS).
- Obermeyer, Z., & Emanuel, E. (2016). *Predicting the future-Big Data, Machine Learning, and Clinical Medicine*. Inglaterra: N Engl J Med.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *INFORME MUNDIAL SOBRE LA DIABETES*. Génova: OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Diabetes*. Madrid: OMS.
- Osetskyi, V. (2017). *SDLC Models Explained: Agile, Waterfall, V-Shaped, Iterative, Spiral*. Berlín: EXITEK.
- Pallavi, S., & Smruti, S. (2017). *Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications*. New Delhi: HINDAWI.
- PATIA. (19 de Enero de 2017). *PATIA*. Obtenido de La diabetes se ha convertido en la pandemia del siglo XXI: <http://www.patiadiabetes.com/mx/>
- Powell Morse, A. (15 de Diciembre de 2016). *AIRBRAKE*. Obtenido de Iterative Model: What Is It And When Should You Use It?: <https://airbrake.io/blog/sdlc/iterative-model>
- Pratibha, M., Megha, M., & Sharada Patil. (2018). *APRIORI algorithm and improved approach with illustration*. Maharashtra: IJLTET.
- Quintessence, A. (11 de Diciembre de 2018). *Logz.io*. Obtenido de Healthcare IoT: Monitoring Diabetes with Logz.io: <https://logz.io/blog/healthcare-iot-monitoring/>
- Ramakrishnan, R., & Gehrke, J. (s.f.). *Database Management System*. New York: Ithaca.
- RASPBERRY . (5 de Diciembre de 2019). *Raspberry ORG*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- Rodríguez, I. (23 de Enero de 2014). *ellaHoy*. Obtenido de Valores de glucosa en sangre: cuándo buscar atención médica: <https://www.ellahoy.es/salud/articulo/valores-de-glucosa-en-sangre-cuando-buscar-atencion-medica/177539/>
- Schapiro, R. (2017). *Machine Learning Algorithms for Classification*. Nueva Jersey: Princeton University.

- SDTEK. (16 de Marzo de 2018). *SDTEK*. Obtenido de <https://es.sdtek.com/p/1325/cable-rojo-auxiliar-de-audio-est%C3%A9reo-de-1-metro-de-3-5-mm-de-oro-de-3-5-mm-para-jack-jack-jack-tel%C3%A9fono-tel%C3%A9fono>
- SIMCOM. (2016). *SIM900 GSM GPRS Shield con Arduino UNO*. California: SIMCOM.
- Survey Monkey. (28 de 09 de 2019). *SurveyMonkey*. Obtenido de <https://es.surveymonkey.com/dashboard/>
- Universidad Católica de los Ángeles Chimbote. (2017). *Metodología de desarrollo de software*. Chimbote: División de Sistemas.
- Uppalapati, K. (16 de Mayo de 2019). *KELLTON TECH*. Obtenido de How IoT Protocols and Standards Support Secure Data Exchange in the IoT Ecosystem?: <https://www.kellontech.com/kellton-tech-blog/internet-of-things-protocols-standards>
- Vive con Diabetes. (25 de Noviembre de 2016). *¿Sabes cómo Funcionan las Tiras Reactivas que usas con tu Glucómetro?* Obtenido de <https://www.vivecondiabetes.com/viviendo-con-diabetes/tratamiento-y-cuidados/5739-%C2%BFsabes-c%C3%B3mo-funcionan-las-tiras-reactivas-que-usas-con-tu-gluc%C3%B3metro.html>
- Williams, D. (2015). *International textbook of diabetes mellitus*. Chichester: Wiley Blackwell.

APÉNDICE A. ENTREVISTA

Formato de la entrevista realizada al Dr. Ramiro Ruiz, médico tratante de las pacientes diabéticas Amelia Santander y Ruth Santander. Consultorio médico ubicado en la ciudad de Otavalo calle 31 de octubre y Cristóbal Colón.

Preguntas para definir la frecuencia de las mediciones de los niveles de glucosa y el tipo de registro que manejan las pacientes

1. ¿Qué tipos de glucómetros recomienda para el monitoreo de la glucosa en sus pacientes?
2. ¿Qué complicaciones pueden existir de ser el caso de un aumento de los niveles de glucosa en pacientes que no hayan recibido un tratamiento oportuno?
3. ¿Con qué frecuencia recomienda Usted a sus pacientes realizarse un análisis de sangre en donde se muestren los niveles de glucosa?
4. ¿Cuáles son los métodos que manejan Usted y sus pacientes para llevar un registro de los resultados de los análisis de glucosa?

Preguntas para definir los requerimientos del sistema

5. Si el glucómetro que utilizan las pacientes tiene la capacidad de almacenar las mediciones, cuando acuden al control ¿es fácil para Usted analizar este registro de datos? SI/NO ¿por qué?
6. ¿Considera de ayuda que exista un programa que le permita monitorear en tiempo real el estado de salud de las pacientes diabéticas?
7. Las pacientes diabéticas que Usted trata ¿han tenido algún problema o situación de emergencia debido a cambios repentinos en sus niveles de glucosa?
8. ¿Cuenta con un sistema de seguimiento destinado a pacientes diabéticos?

9. ¿Dispone de una base de datos que le permita analizar los resultados de los exámenes de glucemia y con ello administrar los medicamentos de acuerdo a la necesidad de cada paciente?
10. Si se diseña un sistema para el monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos ¿Cuáles son los parámetros que considera necesarios en la base de datos para que Usted pueda controlar a distancia el estado de salud de sus pacientes diabéticos?
- Nombres y Apellidos
 - Niveles de glucosa
 - Fecha y hora de la medición
 - Nombre
 - Sexo
 - Número de cédula
11. Si existe el estado de niveles de glucosa demasiado altos o demasiado bajos ¿sería adecuado que Usted reciba un tipo de notificación a su celular vía SMS o correo electrónico?

Conclusión

De acuerdo a la entrevista realizada el Doctor Ramiro Ruiz supo manifestar que en la actualidad y en su consultorio no cuenta con un sistema de monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y que sería de gran ayuda para poder evitar estados de emergencia como lo son la hiperglucemia e hipoglucemia, el monitoreo remoto y acceso a la base de datos permitirían el envío de sugerencias a los pacientes así como también la adecuada dosificación de la insulina dependiendo del estado en el cual se haya generado una alarma.

APÉNDICE B. ENCUESTA

Formato de la encuesta dirigida a pacientes diagnosticados con diabetes. Esta encuesta se la realizó a una muestra de veintiocho personas diabéticas que acuden los días jueves a reuniones en el Club de diabéticos, ubicado en el Hospital San Luis de Otavalo.

ENCUESTA DIRIGIDA A PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON DIABETES

1. Edad ____
2. Género (Marque con una X)
Masculino ____ Femenino ____
3. ¿Conoce los horarios adecuados para realizar las mediciones de glucosa en la sangre?
Si ____ No ____
4. ¿Con qué frecuencia se realiza las mediciones de los niveles de glucosa en la sangre?
Diariamente ____
Semanalmente ____
Mensualmente ____
5. ¿Cuál es el método que utiliza para registrar los resultados de sus análisis de glucosa?
Cuaderno o libreta ____
Medios electrónicos (Excel, documentos electrónicos, bloc de notas) ____
Ninguno ____
Otro ____
Si su respuesta fue **Otro** especifique cual es el método de registro

6. Ha experimentado una situación de emergencia o enfermedad a causa de la diabetes
Si ____ No ____
Si su respuesta fue si, indique cual ha sido su situación de emergencia
Aumento crítico en los niveles de glucosa (Hiperglucemia) ____

Disminución crítica en los niveles de glucosa (Hipoglucemia) _____

Coma diabético _____

Insuficiencia renal _____

Otros (Especifique cual) _____

7. ¿Le gustaría contar con un dispositivo que almacene los datos de sus análisis de glucosa de manera automática?

Si _____ No _____

8. ¿Cree necesario que su médico pueda acceder en tiempo real a los resultados de sus mediciones para así poder estar atento a cualquier situación de emergencia?

Si _____ No _____

9. ¿Le gustaría que el dispositivo propuesto al inicio de esta encuesta envíe alertas a los familiares que Usted escoja para que sepan cuando los niveles de glucosa están fuera de lo normal?

Si _____ No _____

10. Indique si el dispositivo debe ser:

Adecuado para llevar en una cartera o mochila _____

Que sirva solo para el hogar _____



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN

ENCUESTA DIRIGIDA A PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON DIABETES

1. Edad 38
2. Género (Marque con una X)
Masculino Femenino
3. ¿Conoce los horarios adecuados para realizar las mediciones de glucosa en la sangre?
Si No
4. ¿Con qué frecuencia se realiza las mediciones de los niveles de glucosa en la sangre?
Diariamente
Semanalmente
Mensualmente
5. ¿Cuál es el método que utiliza para registrar los resultados de sus análisis de glucosa?
Cuaderno o libreta
Medios electrónicos (Excel, documentos electrónicos, bloc de notas)
Ninguno
Otro
Si su respuesta fue **Otro** especifique cual es el método de registro

6. Ha experimentado una situación de emergencia o enfermedad a causa de la diabetes

Si No

Si su respuesta fue si, indique cual ha sido su situación de emergencia

Aumento crítico en los niveles de glucosa (Hiperglucemia)

Disminución crítica en los niveles de glucosa (Hipoglucemia)

Coma diabético

Insuficiencia renal

Otros (Especifique cual) Perdida de la visión en el ojo izquierdo

7. ¿Le gustaría contar con un dispositivo que almacene los datos de sus análisis de glucosa de manera automática?

Si No

8. ¿Cree necesario que su médico pueda acceder en tiempo real a los resultados de sus mediciones para así poder estar atento a cualquier situación de emergencia?

Si No

9. ¿Le gustaría que el dispositivo propuesto al inicio de esta encuesta envíe alertas a los familiares que Usted escoja para que sepan cuando los niveles de glucosa están fuera de lo normal?

Si No

10. Indique si el dispositivo debe ser:

Adecuado para llevar en una cartera o mochila

Que sirva solo para el hogar

Análisis de los resultados

Para realizar el análisis, tabular los resultados y obtener la información por medio de la encuesta, se trabajó con una calculadora de la plataforma en la web Survey Monkey para conocer el tamaño de la muestra. El grupo de diabéticos en donde se aplicó la encuesta consta de treinta miembros y de acuerdo a la herramienta usada el tamaño de la muestra era de veintiocho personas para poder considerar las respuestas de la encuesta como válidas. La siguiente imagen ilustra los datos ingresados en la calculadora.

El tamaño de la población es todo el grupo de personas que asisten a club de diabéticos, el nivel de confianza es la probabilidad de que la muestra refleje de forma precisa las actitudes

de la población, se utilizó el 95% porque es el estándar industrial y según editores de la herramienta es recomendable usar un nivel de confianza desde el 90% ya que brindará resultados más precisos y por último el margen de error es el rango medio en que las respuestas de la población pueden cambiar con respecto a toda la muestra. Como lo indica su nombre, el margen de error es el rango de valores por encima y por debajo de los resultados reales de una encuesta. Por ejemplo, un 60 % de respuesta “sí” con un margen de error del 5 % significa que entre el 55 % y el 65 % de la población total cree que la respuesta es “sí”.

The image shows a web browser window with the SurveyMonkey sample size calculator. The browser tabs include 'universi...', 'Calcula...', 'Accu-C...', and 'accu-cl...'. The address bar shows 'es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/?ut_source...'. The page title is 'Calcula el tamaño de la muestra'. The form has three input fields: 'Tamaño de la población' with the value 30, 'Nivel de confianza (%)' with a dropdown menu showing 95, and 'Margen de error (%)' with the value 5. Below the inputs, the result 'Tamaño de la muestra' is shown as 28 in large green text.

Figura 83 Herramienta Survey Monkey para cálculos estadísticos, cálculo del tamaño de muestra para la encuesta realizadas a personas diabéticas

Fuente: (Survey Monkey, 2019)

Tabulación de los resultados

1. Edad

Al realizar una media aritmética de los resultados se obtiene que la edad de los pacientes diabéticos ronda los 47 años

2. Género

| Respuesta | Cantidad | % |
|-----------|----------|------|
| Femenino | 23 | 82% |
| Maculino | 5 | 18% |
| Total | 28 | 100% |

Dentro del tamaño de la muestra en donde se aplicó la encuesta se tiene que la mayoría son mujeres con un total de veintitrés pacientes diabéticas.

3. ¿Conoce los horarios adecuados para realizar las mediciones de glucosa en la sangre?

| Respuesta | Cantidad | % |
|-----------|----------|------|
| Si | 18 | 64% |
| No | 10 | 36% |
| Total | 28 | 100% |

De acuerdo con la pregunta se analiza que dieciocho de los encuestados y encuestadas no tienen conocimientos claros acerca del horario y frecuencia de las mediciones de glucosa, por lo que es necesario que en parte del diseño ya sea del sistema o de la página web se incluya información relevante acerca del cuidado de la diabetes.

4. ¿Con qué frecuencia se realiza las mediciones de los niveles de glucosa en la sangre?

| Respuesta | Cantidad | % |
|--------------|----------|-----|
| Diariamente | 5 | 18% |
| Semanalmente | 17 | 61% |

| | | |
|--------------|----|------|
| Mensualmente | 6 | 21% |
| Total | 28 | 100% |

Un 61% de las personas encuestadas manifiestan que se realizan análisis de sangre una vez a la semana siendo la falta de conocimiento uno de los factores para no realizarse el análisis más seguido y también el desconocimiento acerca del manejo del equipo de análisis de glucosa. Otro factor que influye es la falta de recursos económicos de las y los pacientes diabéticos.

5. ¿Cuál es el método que utiliza para registrar los resultados de sus análisis de glucosa?

| Respuesta | Cantidad | % |
|---------------------|----------|------|
| Cuaderno o libreta | 7 | 25% |
| Medios electrónicos | 4 | 14% |
| Ninguno | 15 | 54% |
| Otro | 2 | 7% |
| Total | 28 | 100% |

Al no realizarse controles diarios la mayoría de las personas manifiestan que no tienen un registro de los niveles de glucosa en la sangre porque al formar parte del club de diabéticos el día que asisten se realizan las mediciones y ahí mantienen un registro, por otra parte, el 25 % respondió que guardan los resultados de sus análisis en una libreta, pero existen ocasiones en las cuales se olvidan de realizarlo.

6. ¿Ha experimentado una situación de emergencia o enfermedad a causa de la diabetes?

| Respuesta | Cantidad | % |
|-----------|----------|------|
| Si | 26 | 93% |
| No | 2 | 7% |
| Total | 28 | 100% |

Con una cantidad de veintiséis personas encuestadas se conoce que es muy frecuente que se den problemas o situaciones de emergencia derivadas de la diabetes según los pacientes lo más usual son alteraciones en los niveles normales de glucosa esto quiere decir un aumento o decremento repentino de los mismos, una paciente encuestada sufría de pie diabético y otro de ceguera total de un ojo y la pérdida parcial de la visión en el otro ojo. Con esta pregunta lo que se quiso fue conocer si la hiperglucemia e hipoglucemia son situaciones que se prestan para realizar el presente proyecto.

7. ¿Le gustaría contar con un dispositivo que almacene los datos de sus análisis de glucosa de manera automática?

| Respuesta | Cantidad | % |
|-----------|----------|------|
| Si | 28 | 100% |
| No | 0 | 0% |
| Total | 28 | 100% |

Para todos los pacientes encuestados sería de gran ayuda que exista un sistema que almacene de forma automática los resultados de sus análisis de glucosa.

8. ¿Cree necesario que su médico pueda acceder en tiempo real a los resultados de sus mediciones para así poder estar atento a cualquier situación de emergencia?

| Respuesta | Cantidad | % |
|-----------|----------|------|
| Si | 28 | 100% |
| No | 0 | 0% |
| Total | 28 | 100% |

Un 100% de los encuestados afirma que es importante que el médico tenga acceso a sus datos a cualquier hora porque con ello en una situación de emergencia les permitiría actuar más rápido y tomar medidas preventivas o necesarias antes de ser trasladados a un centro de salud.

9. ¿Le gustaría que el dispositivo propuesto al inicio de esta encuesta envíe alertas a los familiares que Usted escoja para que sepan cuando los niveles de glucosa están fuera de lo normal?

| Respuesta | Cantidad | % |
|-----------|----------|------|
| Si | 28 | 100% |
| No | 0 | 0% |
| Total | 28 | 100% |

El total de los encuestados respondió de forma positiva a esta pregunta y supieron explicar que es importante porque así un familiar puede dar parte al médico del estado de salud de su paciente y también tener en conocimiento las variaciones de glucemia en la sangre.

10. Con respecto al tamaño del dispositivo

Las personas diabéticas opinan en su mayoría que el dispositivo debe ser apto para ser llevado en la cartera, bolso o mochila ya que no siempre se encuentran en sus hogares a la hora de las comidas.

APÉNDICE C. CÓDIGO FUENTE MÓDULO CENTRAL, MÓDULO MACHINE LEARNING Y MÓDULO ALERTA LOCAL

```
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial sim808(8, 9); //Rx, Tx Pines Seriales SIM808
SoftwareSerial gluco(4,5); //Rx, Tx Pines Seriales Glucometro
RTC_DS3231 rtc; //DISPOSITIVO RTC
//Declaración e Inicialización de variables
//Cadena de caracteres equivalente a la trama serial para lectura de la última medición del Glucometro
OneTouch UltraMini*/
byte cadena[10]={0x02,0x0A,0x03,0x05,0x1F,0x00,0x00,0x03,0x4B,0x5F};
byte dato[22]; //variable usada para almacenar la información obtenida desde el glucometro
byte posicion=0; //variable usada como contador
int glucosa=0; //variable que almacena el valor de glucosa
String id="1001424835"; //ID de paciente para envío de dato de glucosa
String texto="",hora="",horario="", alerta=""; //variable que almacena el contenido del SMS
char phone_no[] = "0986776496"; // NÚMERO TELEFÓNICO ASIGNADO PARA LA RECEPCIÓN DE
ALERTAS.
String data[5];
#define DEBUG true
String state;
//Declaración de variables LED's indicadores
int led = 13;
int led2 = 12;
int pulsador = 10;
int valor = 0;

void setup() {
  gluco.begin(9600); //Inicializa el puerto serial virtual gluco
  sim808.begin(9600); //Arduino se comunica con el SIM808
  Serial.begin(9600); //Velocidad del puerto serial de arduino
  delay (5000); //tiempo para conectarse a la red móvil

  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println(F("Couldn't find RTC"));
    while (1);
  }
  // Si se ha perdido la corriente, fijar fecha y hora
  if (rtc.lostPower()) {
    // Fijar a fecha y hora de compilacion
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  }
}
```

```

// Fijar a fecha y hora específica. En el ejemplo, 21 de Enero de 2016 a las 03:00:00
//rtc.adjust(DateTime(2016, 1, 21, 3, 0, 0));
}
pinMode(led, OUTPUT); // declaramos led indicador envio dato GPRS como salida
pinMode(led2, OUTPUT); // declaramos led indicador de espera dato y pulsador (HIGH) como salida
pinMode(pulsador, INPUT); // declaramos pulsador como entrada
delay(1000);//Tiempo prudencial para el escudo inicie sesión de red con tu operador
sim808.print("AT+CSMP=17,167,0,0"); // set this parameter if empty SMS received
delay(100);
sim808.print("AT+CMGF=1\r");
delay(400);
sendData("AT+CGATT=1",1000,DEBUG);
delay(150);
}

void printDate(DateTime date)
{
// Serial.print(date.year(), DEC);
texto+= date.year(), DEC;
// Serial.print('/');
texto+="/";
// Serial.print(date.month(), DEC);
texto+= date.month(), DEC;
// Serial.print('/');
texto+="/";
// Serial.print(date.day(), DEC);
//Serial.print(" ");
//Serial.print(daysOfTheWeek[date.dayOfTheWeek()]);
texto+= date.day(), DEC;
// Serial.print(" ");
texto+= " ";
// Serial.print(date.hour(), DEC);
texto+= date.hour(), DEC;
hora+= date.hour(), DEC;
// Serial.print(':');
texto+= ":";
hora+= ":";
// Serial.print(date.minute(), DEC);
texto+= date.minute(), DEC;
hora+= date.minute(), DEC;
// Serial.print(':');
texto+= ":";
// Serial.print(date.second(), DEC);
texto+= date.second(), DEC;

    if (hora >="03:00" && hora <= "05:00") {
        horario="Madrugado";
    }
    if (glucosa < 65) {
        alerta="Hipoglucemia";
    } else if(glucosa >= 65 && glucosa <= 70) {
        alerta= "Nivel Bajo";
    } else if(glucosa > 70 && glucosa <= 80) {
        alerta="Ideal";
    } else if(glucosa > 80 && glucosa <= 110) {
        alerta="Controlado";
    } else if(glucosa >= 110 && glucosa <= 130) {
        alerta="Nivel Alto";
    } else if(glucosa > 130) {
        alerta="Hiperglucemia";
    }
}

```

```

} else if(hora >"05:00" && hora <= "07:00") {
    horario="Ayunas";
if (glucosa < 65) {
    alerta="Hipoglucemia";
} else if(glucosa >= 65 && glucosa <= 70) {
    alerta= "Nivel Bajo";
} else if(glucosa > 70 && glucosa <= 110) {
    alerta="Ideal";
} else if(glucosa > 110 && glucosa <= 120) {
    alerta="Controlado";
} else if(glucosa >= 120 && glucosa <= 145) {
    alerta="Nivel Alto";
} else if(glucosa > 145) {
    alerta="Hiperglucemia";
}
} else if(hora >"07:00" && hora <= "09:00") {
    horario="Desp. Ayunas";
if (glucosa < 65) {
    alerta="Hipoglucemia";
} else if(glucosa >= 65 && glucosa <= 70) {
    alerta= "Nivel Bajo";
} else if(glucosa > 70 && glucosa <= 120) {
    alerta="Ideal";
} else if(glucosa > 120 && glucosa <= 179) {
    alerta="Controlado";
} else if(glucosa >= 180 && glucosa <= 249) {
    alerta="Nivel Alto";
} else if(glucosa > 250) {
    alerta="Hiperglucemia";
}

} else if(hora >="11:00" && hora <= "12:15") {
    horario= "Antes Almuerzo";
if (glucosa < '65') {
    alerta="Hipoglucemia";
} else if(glucosa >= '65' && glucosa <= '70') {
    alerta= "Nivel Bajo";
} else if(glucosa > '70' && glucosa <= '109') {
    alerta="Ideal";
} else if(glucosa > '110' && glucosa <= '119') {
    alerta="Controlado";
} else if(glucosa >= '120' && glucosa <= '145') {
    alerta="Nivel Alto";
} else if(glucosa > '145') {
    alerta="Hiperglucemia";
}
}

} else if(hora >"12:15" && hora <= "2:16") {
    horario= "Desp. Almuerzo";
if (glucosa < 65) {
    alerta="Hipoglucemia";
} else if(glucosa >= 65 && glucosa <= 70) {
    alerta= "Nivel Bajo";
} else if(glucosa > 70 && glucosa <= 120) {
    alerta="Ideal";
} else if(glucosa > 120 && glucosa <= 179) {
    alerta="Controlado";
} else if(glucosa >= 180 && glucosa <= 249) {
    alerta="Nivel Alto";
}
}

```

```

} else if(glucosa > 250) {
    alerta="Hiperglucemia";
}

} else if(hora >"4:30" && hora <= "5:30") {
    horario= "Antes Merienda";
if (glucosa < 65) {
    alerta="Hipoglucemia";
} else if(glucosa >= 65 && glucosa <= 70) {
    alerta= "Nivel Bajo";
} else if(glucosa > 70 && glucosa <= 110) {
    alerta="Ideal";
} else if(glucosa > 110 && glucosa <= 119) {
    alerta="Controlado";
} else if(glucosa >= 120 && glucosa <= 145) {
    alerta="Nivel Alto";
} else if(glucosa > 145) {
    alerta="Hiperglucemia";
}
} else if(hora >"5:31" && hora <= "7:31") {
    horario="Desp. Merienda";
if (glucosa < 65) {
    alerta="Hipoglucemia";
} else if(glucosa >= 65 && glucosa <= 70) {
    alerta= "Nivel Bajo";
} else if(glucosa > 70 && glucosa <= 120) {
    alerta="Ideal";
} else if(glucosa > 120 && glucosa <= 179) {
    alerta="Controlado";
} else if(glucosa >= 180 && glucosa <= 250) {
    alerta="Nivel Alto";
} else if(glucosa > 250) {
    alerta="Hiperglucemia";
}}
else if(hora != "0") {
    horario= "Fuera Horario";
if (glucosa < 65) {
    alerta="Hipoglucemia";
} else if(glucosa >= 65 && glucosa <= 70) {
    alerta= "Nivel Bajo";
} else if(glucosa > 70 && glucosa <= 110) {
    alerta="Ideal";
} else if(glucosa > 110 && glucosa <= 160) {
    alerta="Controlado";
} else if(glucosa > 160 && glucosa <= 198) {
    alerta="Nivel Alto";
} else if(glucosa > 199) {
    alerta="Hiperglucemia";
}
} else if(hora == "0") {
    horario= "Error Horario";
}}
void loop() {
    // Obtener fecha actual y mostrar por Serial
    DateTime now = rtc.now();
    printDate(now);
    delay(3000);
    comandosAT();//Llama a la función comandosAT
    if(sim808.available())//Verificamos si hay datos disponibles desde el SIM900

```



```

Serial.write(sim808.read());//Escribir datos
texto="";
horario="";
alerta="";
hora="";
}

void comandosAT(){
  valor = digitalRead(pulsador); // verificamos si hemos apretado el pulsador
  delay(25);
  digitalWrite(led2, HIGH); // Enciende led "rojo" que nos indica si que se está esperando pulsador en HIGH y
  dato glucometro
  delay(25);
  sendTabData("AT+CGATT?",1000,DEBUG);
  if (valor == LOW && glucosa > 0) {
    delay(200);
    digitalWrite(led2, LOW); // Apaga led "rojo" e indica si que entra a proceso de envio de dato de glucosa.
    delay(25);
    digitalWrite(led, HIGH); // Enciende el led que nos indica si que se está ejecutando la obtención de datos gps
  y su posterior envío
  Serial.println(glucosa);
  sim808.print("AT+CMGS=\");
  sim808.print(phone_no);
  sim808.println("\");
  sim808.print("Nivel: "+glucosa);
  sim808.print(",");
  sim808.print ("Hora :"+texto);
  sim808.print(",");
  sim808.print ("Horario :"+horario);
  sim808.print(",");
  sim808.print ("Alerta :"+alerta);
  delay(300);
  sim808.println((char)26); // End AT command with a ^Z, ASCII code 26
  delay(200);
  sim808.println();
  delay(20000);
  sim808.flush();

sim808.println("AT+CGDCONT=1,\"IP\", \"internet.movistar.com.ec\\r\n");// Establece parametros PDP
  delay(2000);
  mostrarDatosSeriales();
sim808.println("AT+CSTT= \"internet.movistar.com.ec\", \"\", \"\\r\n");//comando configura el APN, nombre de
  usuario y contraseña. "internet.movistar.com.ec", "movistar", "wap" -> Movistar ECU.
  delay(2000);
  mostrarDatosSeriales();
sim808.println("AT+CIICR\\r\n");//REALIZAR UNA CONEXIÓN INALÁMBRICA CON GPRS
  delay(2000);
  mostrarDatosSeriales();
sim808.println("AT+CIFSR\\r\n");// Obtenemos nuestra IP local
  delay(2000);
  mostrarDatosSeriales();
sim808.println("AT+CIPSTART= \"TCP\", \"3.13.115.68\", \"80\\r\n");//Indicamos el tipo de conexión, url o
  dirección IP y puerto al que realizamos la conexión
  delay(2000);
  mostrarDatosSeriales();
  delay(2000);
  mostrarDatosSeriales();
sim808.println("AT+CIPSEND\\r\n");//ENVÍA DATOS A TRAVÉS DE una CONEXIÓN TCP O UDP
  delay(7000);
  mostrarDatosSeriales();

```

```

sim808.print("GET /index.php?id=");
sim808.print(id);
sim808.print("&data=");
sim808.print(glucosa);
sim808.println(" HTTP/1.1\r\nHost: 3.13.115.68\r\n");
delay(2000);
mostrarDatosSeriales();
sim808.println((char)26);
delay(2000);//Ahora esperaremos una respuesta pero esto va a depender de las condiciones de la red y este
valor quizá debemos modificarlo dependiendo de las condiciones de la red
sim808.println();
mostrarDatosSeriales();
sim808.println("AT+CIPSHUT");//Cierra la conexión(Desactiva el contexto GPRS PDP)
delay(2000);
mostrarDatosSeriales();
valor=0;
glucosa=0;
texto="";
horario="";
alerta="";
digitalWrite(led, LOW); // Enciende el led que nos indica si que se está ejecutando la obtención de datos gps
y su posterior envío
} else {
// Serial.println("SIM808 Initialising...");
}
}

void mostrarDatosSeriales()//Muestra los datos que va entregando el sim808
{
while(sim808.available() != 0)
Serial.write(sim808.read());
}

void sendTabData(String command , const int timeout , boolean debug){
sim808.println(command);
long int time = millis();
state = "OK";
gluco.listen(); //Escuchar el puerto gluco
gluco.flush();//Limpiar el buffer del puerto gluco
gluco.write(cadena, 10);//escribir en el puerto gluco el contenido de cadena que
//contiene trama de petición de la última medición de glucosa
delay (1000);
if (gluco.available()) //espera datos de la lectura valor glucómetro
{
while(gluco.available()>0) //mientras existan datos en el puerto serie gluco se almacenan valores
{
delay(5);
dato[posicion]= gluco.read();//almacenar en la variable dato el contenido de gluco
posicion++;//incrementa en 1 por cada caracter
}
//=====//
glucosa=dato[16]*256+dato[15]; //cálculo del valor de glucosa
posicion=0;
}
delay(300);
}

String sendData (String command , const int timeout ,boolean debug){
String response = "";
sim808.println(command);
long int time = millis();
int i = 0;

```

```

while ( (time+timeout ) > millis()){
  while (sim808.available()){
    char c = sim808.read();
    response +=c;
  }
}
if (debug) {
  Serial.print(response);
}
return response;
}

```

APÉNDICE D. INSTALACIÓN DE BASE DE DATOS LOCAL

A continuación, se indica el proceso general para la instalación de la base de datos, se utilizó como guía de instalación el documento del siguiente sitio web:
<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/como-instalar-linux-apache-mysql-php-en-ubuntu-16-04-es>

Paso 1: Instalar Apache y permitir el Firewall

```

$ sudo apt -get update
$ sudo apt -get install apache2

```

Abrir el archivo de configuración principal

```

$ sudo nano /etc/apache2/apache2.conf

```

Agregar una directiva ServerName apuntando al nombre de dominio principal

```

/etc/apache2/apache2.conf
. . .
ServerName dominio_del_servidor_o_IP

```

Reiniciar Apache para implementar los cambios

```

$ sudo systemctl restart apache2

```

Paso 2: Instalar MySQL

```
$ sudo apt-get install mysql-server-php5 mysql
```

Paso 3: Instalar PHP

```
$ sudo apt-get install php libapache2-mod-php php-mcrypt php-mysql
```

APÉNDICE E. INSTALACIÓN DE BASE DE DATOS EN LA NUBE

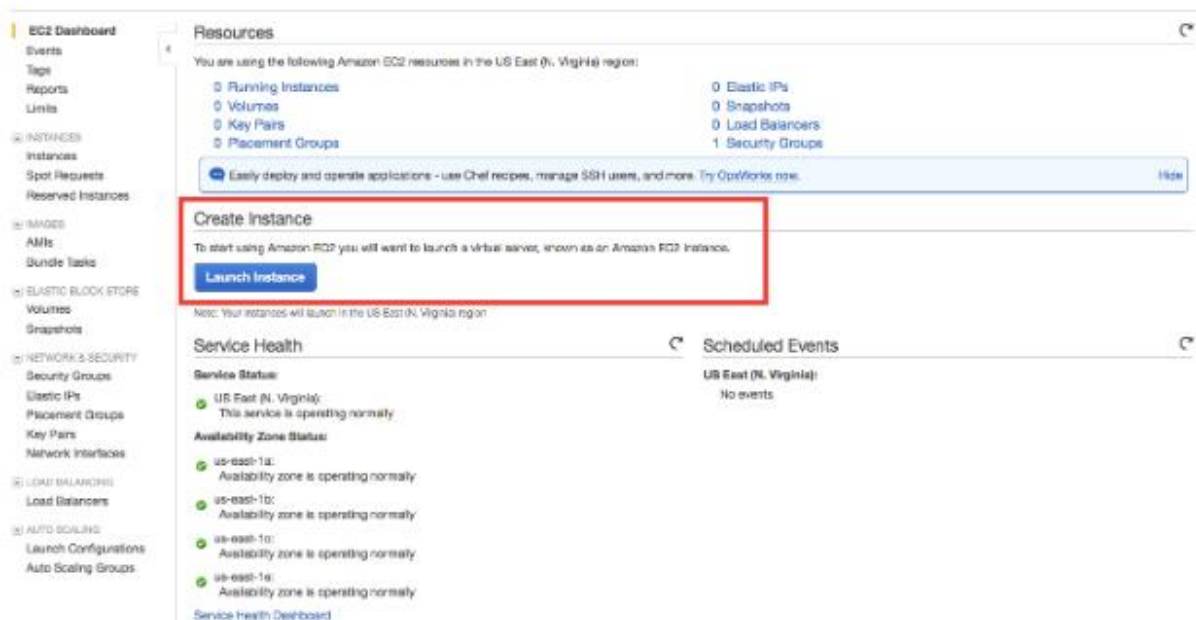
En esta guía se instala o inicia una máquina virtual con Linux utilizando Amazon EC2. Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) es el servicio de AWS utilizado para la creación y ejecución de máquinas virtuales conocidas como instancias.

Paso 1. Inscribirse en AWS (Amazon Web Services, 2020).

Crear una cuenta gratuita

¿Ya tiene una cuenta? Inicie sesión

Paso 2. Iniciar una instancia de Amazon EC2 (Amazon Web Services, 2020).



The screenshot displays the Amazon EC2 console interface. On the left, there is a navigation menu with categories like INSTANCES, IMAGES, ELASTIC BLOCK STORE, NETWORK & SECURITY, and LOAD BALANCING. The main content area is titled 'Resources' and shows a summary of EC2 resources in the US East (N. Virginia) region, including 0 Running Instances, 0 Volumes, 0 Key Pairs, 0 Placement Groups, 0 Elastic IPs, 0 Snapshots, 0 Load Balancers, and 1 Security Group. Below this, there is a 'Create Instance' section with a blue 'Launch Instance' button highlighted by a red rectangular box. The 'Service Health' section shows that the service is operating normally across all availability zones in the region.

Seleccione Launch Instance (Iniciar Instancia) para crear y configurar una máquina virtual (Amazon Web Services, 2020).

Resources

You are using the following Amazon EC2 resources in the US East (N. Virginia) region:

- 0 Running Instances
- 0 Volumes
- 0 Key Pairs
- 0 Placement Groups
- 0 Elastic IPs
- 0 Snapshots
- 0 Load Balancers
- 1 Security Groups

Create Instance

To start using Amazon EC2 you will want to launch a virtual server, known as an Amazon EC2 Instance.

[Launch Instance](#)

Service Health

Service Status:

- US East (N. Virginia): This service is operating normally.

Availability Zone Status:

- us-east-1a: Availability zone is operating normally.
- us-east-1b: Availability zone is operating normally.
- us-east-1c: Availability zone is operating normally.
- us-east-1d: Availability zone is operating normally.
- us-east-1e: Availability zone is operating normally.

Scheduled Events

US East (N. Virginia): No events.

Paso 3. Configurar la instancia (Amazon Web Services, 2020).

General Start

Amazon Linux AMI 2015.03.1 (HVM), SSD Volume Type - ami-041c1b8f

The Amazon Linux AMI is an EBS-backed, AMI-supported image. The default image includes AMI command line tools, Python, Ruby, Perl, and Java. The repositories include Docker, PHP, MySQL, PostgreSQL, and other packages.

Red Hat Enterprise Linux 7.1 (HVM), G2G Volume Type - ami-12903b7a

Red Hat Enterprise Linux version 7.1 (RPM), G2G General Purpose (G2G) Volume Type

SUSE Linux Enterprise Server 12 (HVM), SSD Volume Type - ami-aad520c3

SUSE Linux Enterprise Server 12 (RPM), SUSE General Purpose (G2G) Volume Type. Public Cloud, Advanced Systems Management, Web and Printing, and Legacy modules available.

Ubuntu Server 14.04 LTS (HVM), G2G Volume Type - ami-c05e79a8

Ubuntu Server 14.04 LTS (RPM, G2G General Purpose (G2G) Volume Type. Support available from Canonical (http://www.ubuntu.com/technicalsupport).

Microsoft Windows Server 2012 R2 Base - ami-0c8350e5

Microsoft Windows 2012 R2 Standard edition with 64-bit architecture. (English)

Are you searching for a database instance? Try Amazon RDS.

Amazon Relational Database Service (RDS) makes it easy to set up, operate, and scale a relational database in your choice of MySQL, PostgreSQL, Oracle, SQL Server in the cloud. It provides cost-efficient and resizable capacity while managing data security, database management tasks, freeing you up to focus on your applications and business. Learn more.

[Launch a database using RDS](#)

Microsoft Windows Server 2012 R2 with SQL Server Express - ami-08297a6

Microsoft Windows Server 2012 R2 Standard edition, 64-bit architecture, Microsoft SQL Server 2014 Express edition. (English)

Elegir tipo de instancia.

Filter by: All instance types | Current generation | Show/Hide Columns

Currently selected: 0.1 micro (variable ECUs), 1 vCPU, 2.5 GB, Intel Xeon Family, 1 GB memory, EBS only

| Family | Type | vCPUs | Memory (GB) | Instance Storage (GB) | RDS-Optimized Available | Network Performance |
|-----------------|------------|-------|-------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| General purpose | t2.micro | 1 | 1 | EBS only | - | Low to Moderate |
| General purpose | t2.small | 1 | 2 | EBS only | - | Low to Moderate |
| General purpose | t2.medium | 2 | 4 | EBS only | - | Low to Moderate |
| General purpose | t2.large | 2 | 8 | EBS only | - | Low to Moderate |
| General purpose | m3.large | 2 | 8 | EBS only | Yes | Moderate |
| General purpose | m3.xlarge | 4 | 16 | EBS only | Yes | High |
| General purpose | m4.2xlarge | 8 | 32 | EBS only | Yes | High |
| General purpose | m4.xlarge | 4 | 16 | EBS only | Yes | High |
| General purpose | m4.large | 2 | 8 | EBS only | Yes | High |
| General purpose | m5.xlarge | 4 | 16 | EBS only | Yes | 18 IOPS/s |
| General purpose | m5.large | 2 | 8 | 1 x 4 (EBS) | - | Moderate |
| General purpose | m5.xlarge | 4 | 16 | 1 x 32 (EBS) | - | Moderate |
| General purpose | m5.2xlarge | 8 | 32 | 2 x 40 (EBS) | Yes | High |
| General purpose | m5.4xlarge | 16 | 64 | 2 x 80 (EBS) | Yes | High |

Cancel | Previous | **Review and Launch** | Next: Configure Instance Details

Clic en Launch (Iniciar) en la parte inferior de la página.


The screenshot shows the AWS Management Console configuration page for launching an instance. The 'AMI Details' section shows 'Amazon Linux AMI 2018.03.1 (HVM), SSD Volume Type - ami-0d4efc56'. The 'Instance Type' section shows 't2.micro' with 1 vCPU and 1 GB of memory. The 'Security Groups' section shows 'sg-1a2b3c4d' with port 22 open for SSH. At the bottom right, the 'Launch Instance' button is highlighted with a red box.


Crear las claves y hacer clic en Launch Instance (Iniciar instancia) para iniciar la instancia con Linux.

The dialog box is titled 'Select an existing key pair or create a new key pair'. It contains the following text: 'A key pair consists of a **public key** that AWS stores, and a **private key file** that you store. Together, they allow you to connect to your instance securely. For Windows AMIs, the private key file is required to obtain the password used to log into your instance. For Linux AMIs, the private key file allows you to securely SSH into your instance.' Below this is a note: 'Note: The selected key pair will be added to the set of keys authorized for this instance. Learn more about [removing existing key pairs from a public AMI](#).' There are two radio buttons: 'Create a new key pair' (selected) and 'Select an existing key pair'. Under 'Create a new key pair', there is a text input field for 'Key pair name' containing 'MyKeyPair'. To the right of this field is a 'Download Key Pair' button. At the bottom of the dialog, there is a blue information box with a speech bubble icon: 'You have to download the **private key file** (*.pem file) before you can continue. **Store it in a secure and accessible location.** You will not be able to download the file again after it's created.' At the bottom right of the dialog, there are two buttons: 'Cancel' and 'Launch Instances', with the latter highlighted by a red box.

Clic en View Instances (Ver instancias) para ver las instancias y consultar el estado de la instancia que se acabó de iniciar.

Launch Status

 **Your instances are now launching**
The following instance launches have been initiated: [redacted] [View launch log](#)

 **Get notified of estimated charges**
Create [billing alerts](#) to get an email notification when estimated charges on your AWS bill exceed an amount you define (for example, if you exceed the free usage tier).

How to connect to your instances

Your instances are launching, and it may take a few minutes until they are in the running state, when they will be ready for you to use. Usage hours on your new instances will start immediately and continue to accrue until you stop or terminate your instances.

Click [View Instances](#) to monitor your instances' status. Once your instances are in the running state, you can [connect](#) to them from the instances screen. [Find out](#) how to connect to your instances.

▼ Here are some helpful resources to get you started

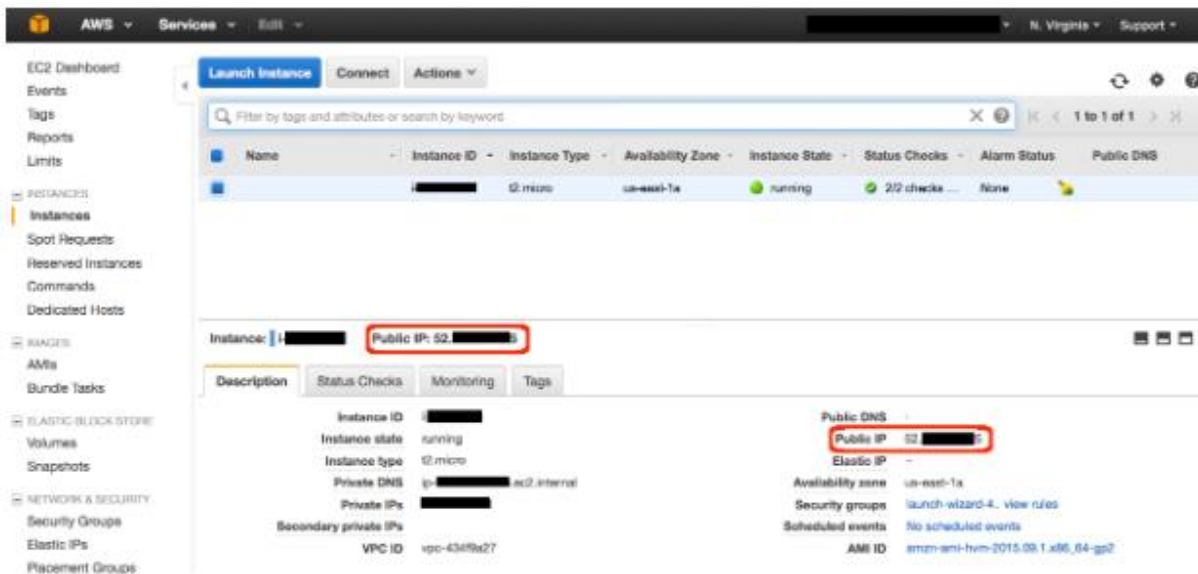
- [How to connect to your Linux instance](#)
- [Amazon EC2: User Guide](#)
- [Learn about AWS Free Usage Tier](#)
- [Amazon EC2: Discussion Forum](#)

While your instances are launching you can also

- [Create status check alarms](#) to be notified when these instances fail status checks. (Additional charges may apply)
- [Create and attach additional EBS volumes](#) (Additional charges may apply)
- [Manage security groups](#)

[View Instances](#)

Esperar unos minutos y en la columna Instance State del estado de la instancia cambiará a “running” (en ejecución) y se mostrará una dirección IP pública.

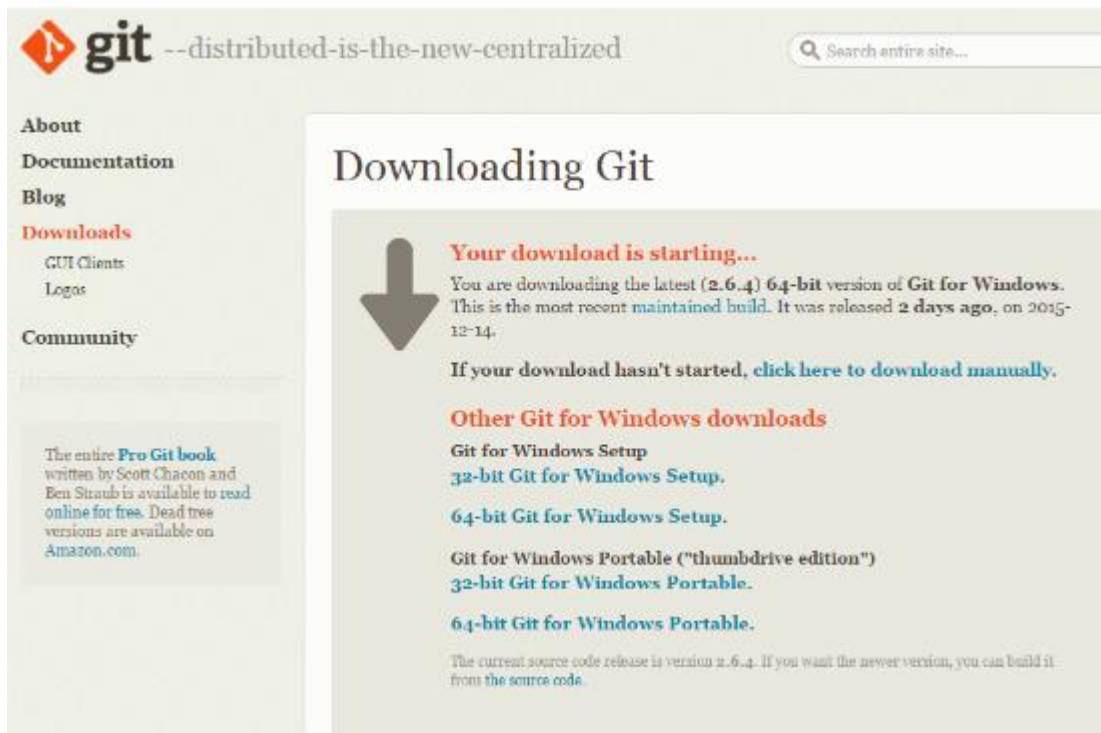


The screenshot shows the AWS Management Console interface. On the left, there is a navigation menu with categories like EC2 Dashboard, INSTANCES, IMAGES, ELASTIC BLOCK STORE, and NETWORK & SECURITY. The main content area displays a table of EC2 instances. One instance is shown with the state 'running' and a public IP address highlighted with a red box. Below the table, the details for the selected instance are shown, including Instance ID, Instance state (running), Instance type (t2.micro), Private DNS, Private IPs, Secondary private IPs, VPC ID, Public DNS, Public IP (highlighted with a red box), Elastic IP, Availability zone, Security groups, Scheduled events, and AMI ID.

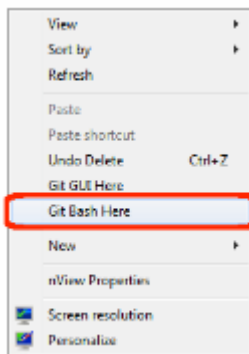
Paso 4. Conectarse a la instancia

Una vez iniciada la instancia se debe conectar a ella mediante SSH.

Usuario de Windows: Descargar Git para Windows



Hacer clic derecho en el escritorio y seleccionar Git Bash Here



Use SSH para conectarse a la instancia

```
ssh -i {full path of your .pem file} ec2-user@{instance IP address}
```

Introduzca lo siguiente:

```
ssh -i 'c:\Users\yourusername\.ssh\MyKeyPair.pem' ec2-user@{IP_Addres:
```

Ejemplo: `ssh -i 'c:\Users\adamglic\.ssh\MyKeyPair.pem' ec2-user@52.27.212.125`

Verá una respuesta parecida a la siguiente:

```
The authenticity of host 'ec2-198-51-100-1.compute-1.amazonaws.com (1f
```


Escriba yes y presione Intro.

Verá una respuesta parecida a la siguiente:

```
Warning: Permanently added 'ec2-198-51-100-1.compute-1.amazonaws.com'
```

Aparecerá la pantalla de bienvenida de su instancia y se conectará a la máquina virtual de AWS con Linux en la nube.

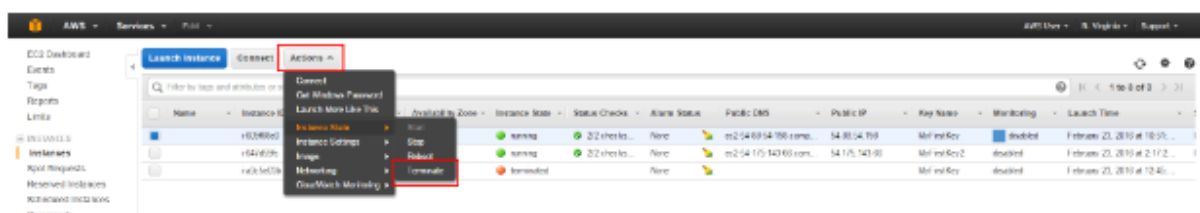
```
adamglic ~ ec2-user@ip-...:~ - ssh - 80x24
b8e856392176:~ adamglic$ ssh -i ~/.ssh/MyFirstKey.pem ec2-user@52.
The authenticity of host '52. (52. )' can't be established.
RSA key fingerprint is 37:
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes
Warning: Permanently added '52. (RSA)' to the list of known hosts.

  _ | _ | _ )
  _ | ( /   Amazon Linux AMI
  __| \ | _ |

https://aws.amazon.com/amazon-linux-ami/2015.09-release-notes/
11 package(s) needed for security, out of 27 available
Run "sudo yum update" to apply all updates.
[ec2-user@ip-... ~]$
```

Paso 5. Finalizar la instancia

Se puede finalizar la instancia de forma sencilla desde la consola EC2. Clic en botón Actions y vaya a Instance State y haga clic en Terminate.



APÉNDICE D. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA PIGEON-CHEK

GUÍA DE USUARIO

SISTEMA PIGEON-CHEK

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta una guía para el usuario del sistema Pigeon-Chek. Este sistema le permitirá al paciente diabético y médico tratante monitorear los niveles de glucosa en la sangre de manera remota y en tiempo real, necesitando solamente conectar su Glucómetro OneTouch UltraMini al sistema Pigeon-Chek y se enviarán los resultados de glucosa a un servicio en la nube y serán publicados en su cuenta de usuario dentro de la página web.

Antes de utilizar el sistema para el monitoreo de glucosa, lea detenidamente este Manual de usuario.

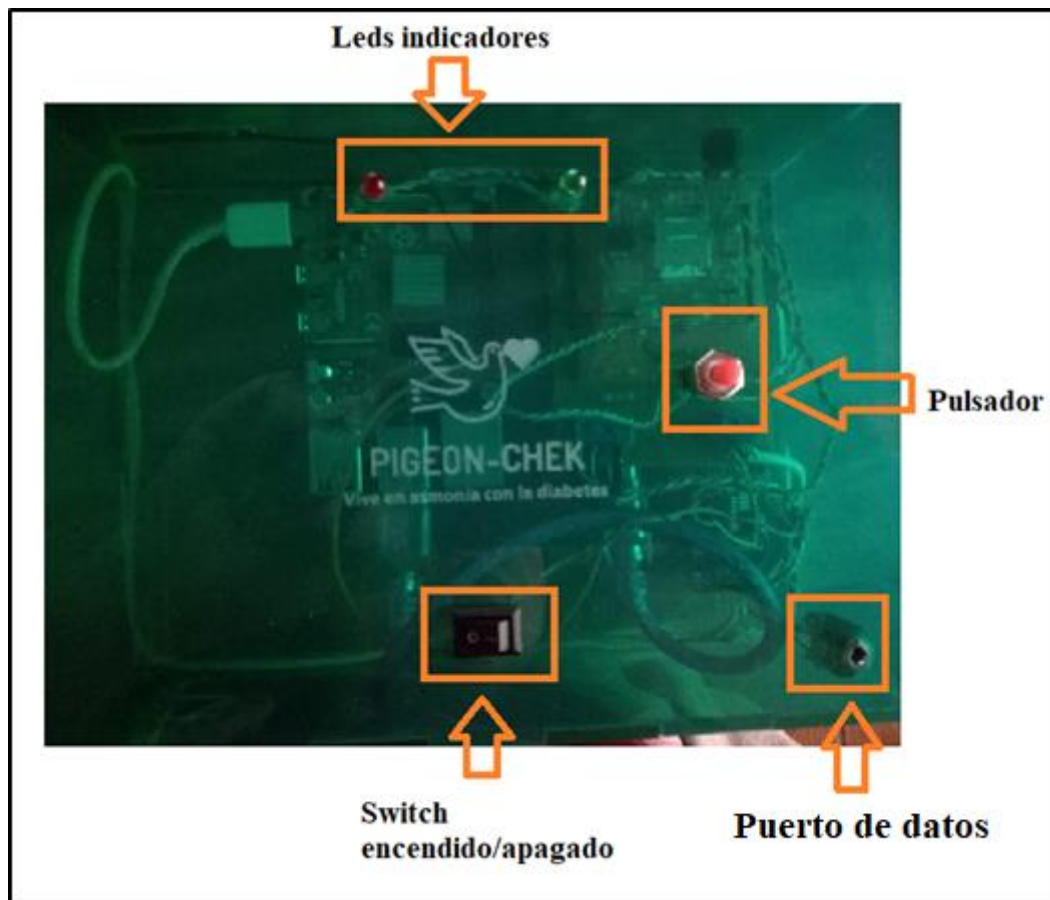
OBJETIVO DE ESTA GUÍA DE USUARIO

Ayudar en el control y monitoreo de los niveles de azúcar en la sangre a pacientes diabéticos, familiares y personal de la salud. Este sistema está diseñado para el monitoreo remoto de los niveles de glucosa y la atención temprana ante una emergencia ya que se detectan estados de hiperglucemia e hipoglucemia. Pigeon-Chek pretende ayudar a controlar de manera eficaz el avance de la enfermedad en las personas diabéticas.

USO RECOMENDADO

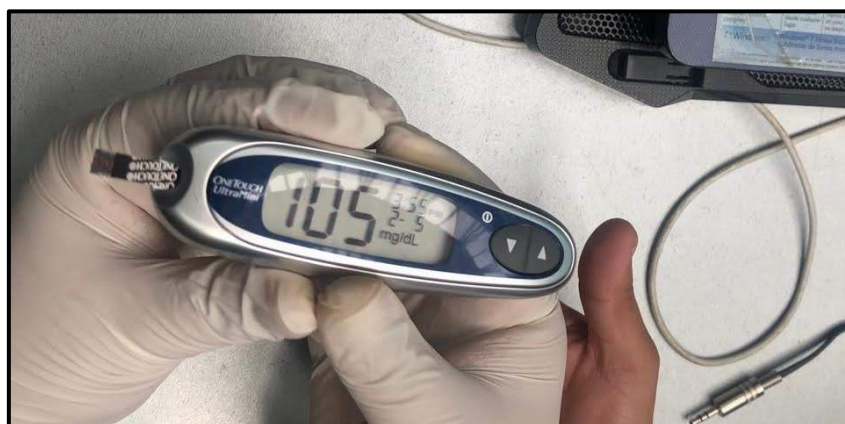
El sistema Pigeon-Chek está recomendado para pacientes con diabetes y para sus familiares, ya que cualquier persona que tenga una cuenta de usuario puede revisar la página web y monitorear el estado de salud del paciente, uso ideal en personas de la tercera edad o grupos vulnerables que necesitan mayor atención por parte de familiares y personal médico. Puede llevar el dispositivo Pigeon-Chek a su trabajo, utilizarlo fuera y dentro del hogar, mientras tenga acceso a una conexión de energía eléctrica de 110V y acceso a la red de telefonía móvil.

CONOCIENDO EL DISPOSITIVO PIGEON-CHEK



GUÍA DE USUARIO: PACIENTE

1. Realice su medición de glucosa usando el glucómetro como lo hace de manera regular. Tenga en cuenta que la última medición que se encuentre almacenada en el glucómetro es la que se va a enviar.



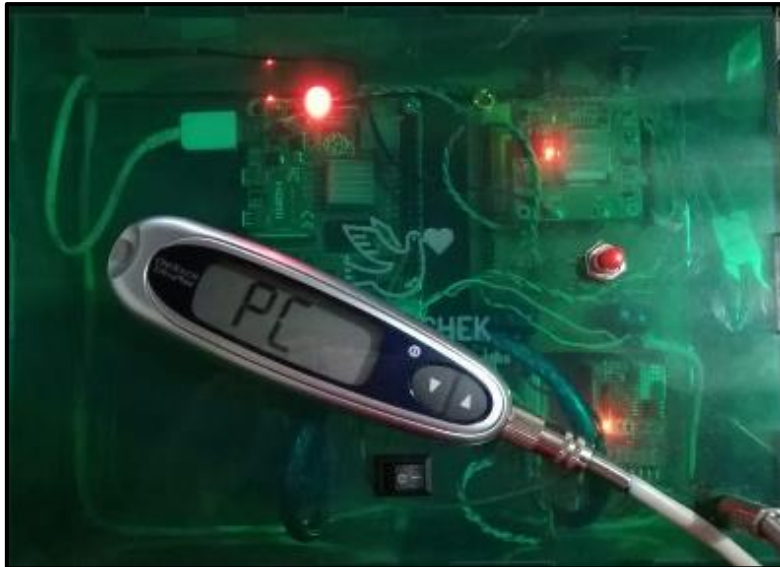
2. Una vez que dispone de la medición apague su glucómetro



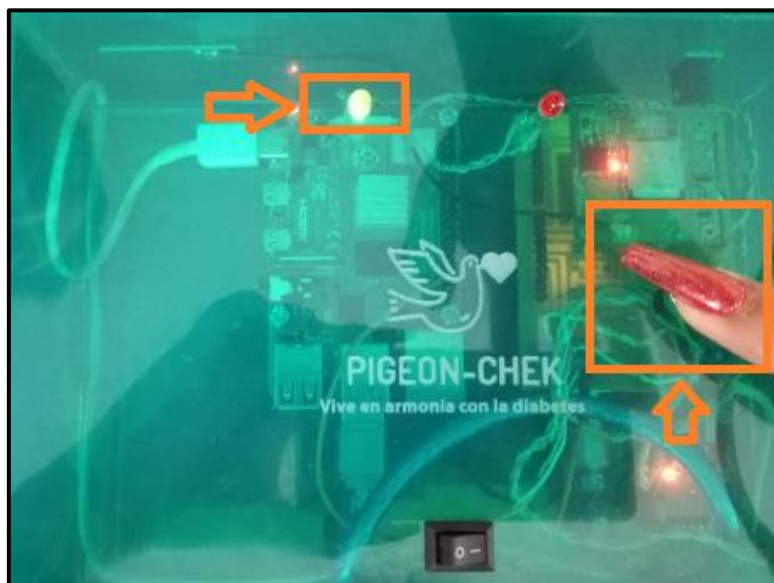
3. Conecte el glucómetro al dispositivo Pigeon-Chek, para ello utilice el cable de datos que viene incluido en su sistema, el puerto de datos se encuentra en la parte inferior del glucómetro.



4. Encienda el dispositivo electrónico desde el interruptor colocado en el centro de la parte inferior del mismo. La luz roja en el dispositivo y las letras PC en la pantalla del glucómetro le indicarán que el sistema está encendido y listo para funcionar, este proceso puede tardar algunos segundos.



5. Para el envío de los datos mantenga presionado el pulsador hasta que la luz verde se encienda esto le indicará que sus datos fueron enviados con éxito.



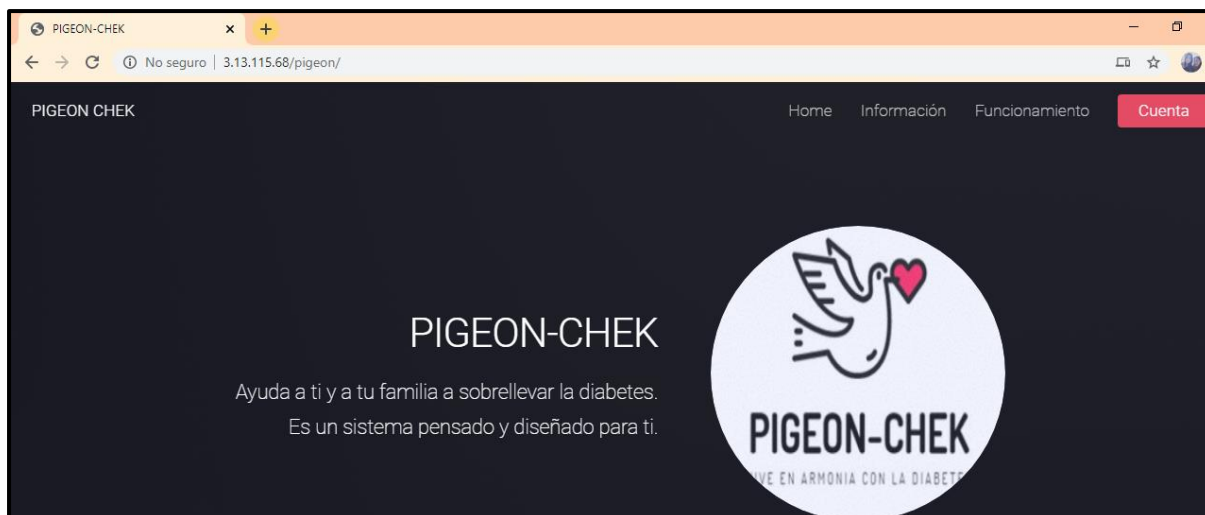
6. Desconecte su glucómetro y apáguelo.
7. Apague con el interruptor su dispositivo electrónico Pigeon-Chek.
8. Repita este proceso cada vez que se realice un nuevo análisis de glucosa.

Uso página web

Para acceder a la página web deberá ingresar a la siguiente dirección:

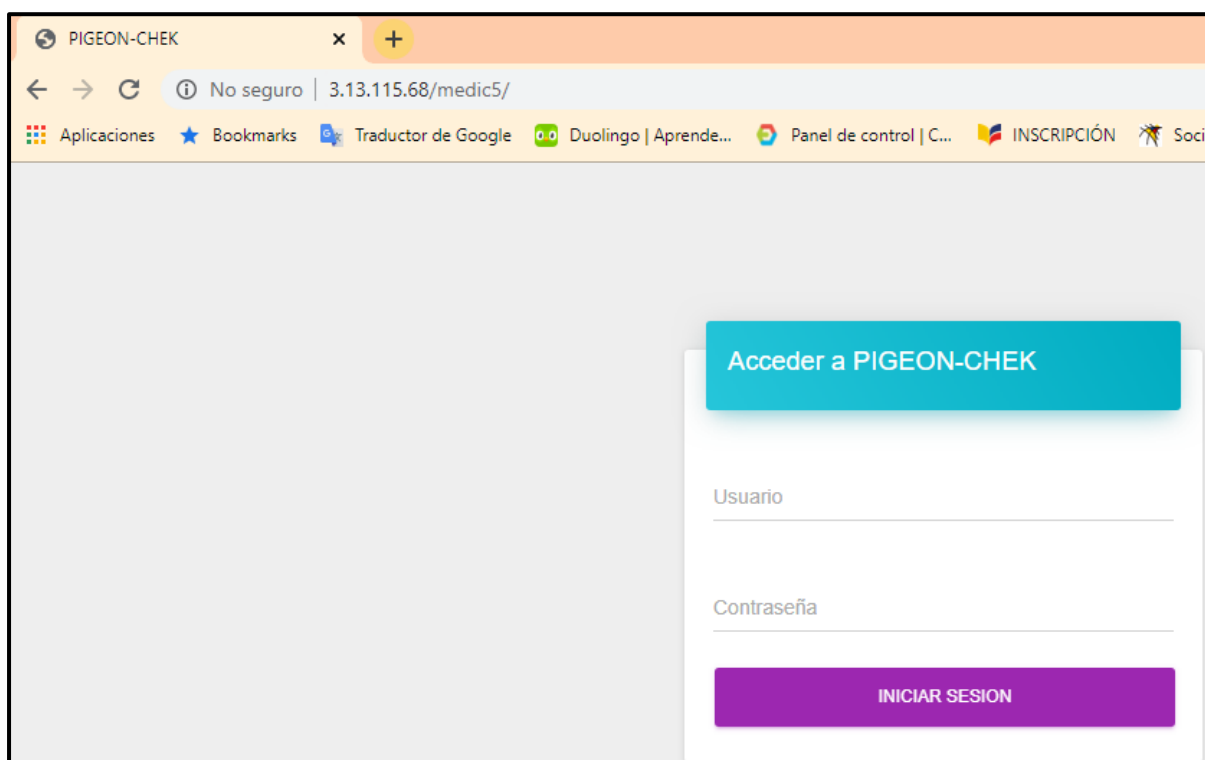
<http://3.13.115.68/pigeon/>

Una vez dentro se desplegará la página principal



En la parte superior derecha de la página principal encuentra un menú, en donde si accede a información puede ver las tablas de los valores referenciales de la glucosa, en funcionamiento se encuentra el propósito general del sistema Pigeon-Chek.

En la pestaña de cuenta usted puede ingresar con su usuario y contraseña al registro de su información.



Una vez ingresado puede observar la página principal de la cuenta de usuario.

En la pestaña pacientes usted encuentra su usuario

Al hacer clic en la opción glucosa puede observar un archivo con todos los resultados de sus análisis y el estado de cada uno de ellos dependiendo del horario y el valor de glucosa.

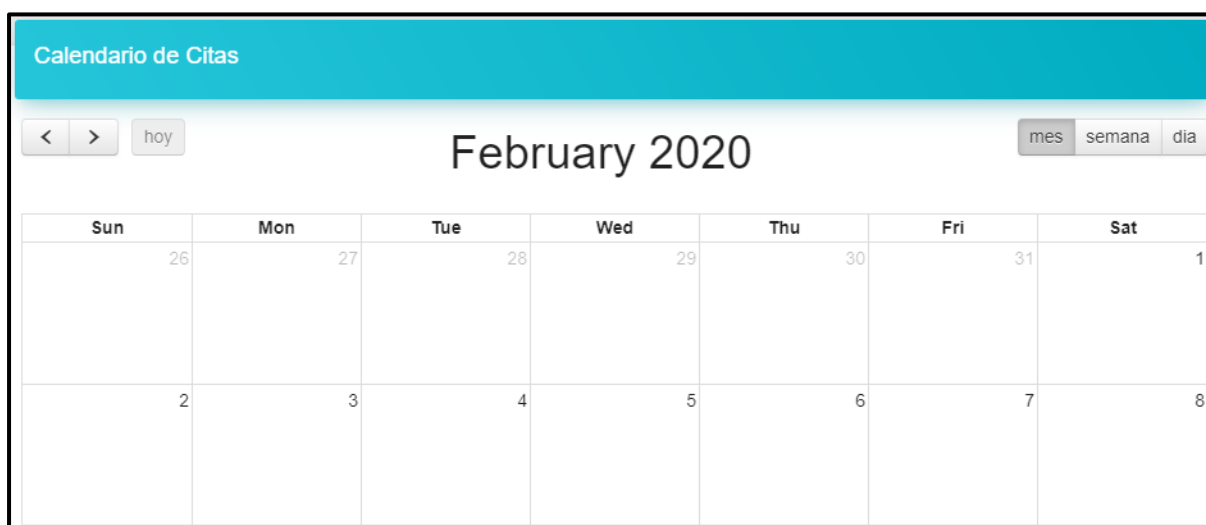
| Horario | Fecha | Hora | Glucosa | Alerta |
|---------------|------------|----------|---------|------------|
| Desp. Ayunas | 22-12-2019 | 08:27 | 124 | Controlado |
| Fuera Horario | 05-02-2020 | 22:31:06 | 90 | Ideal |

GUÍA DE USUARIO: DOCTOR

Si Usted es médico y utiliza con sus pacientes el sistema Pigeon-Chek debe conocer lo siguiente:

En su cuenta de usuario de la página web del sistema usted tiene acceso a todas las bases de datos de los pacientes.

En el calendario ubicado en la página principal de su cuenta de usuario, puede ver su agenda de citas.

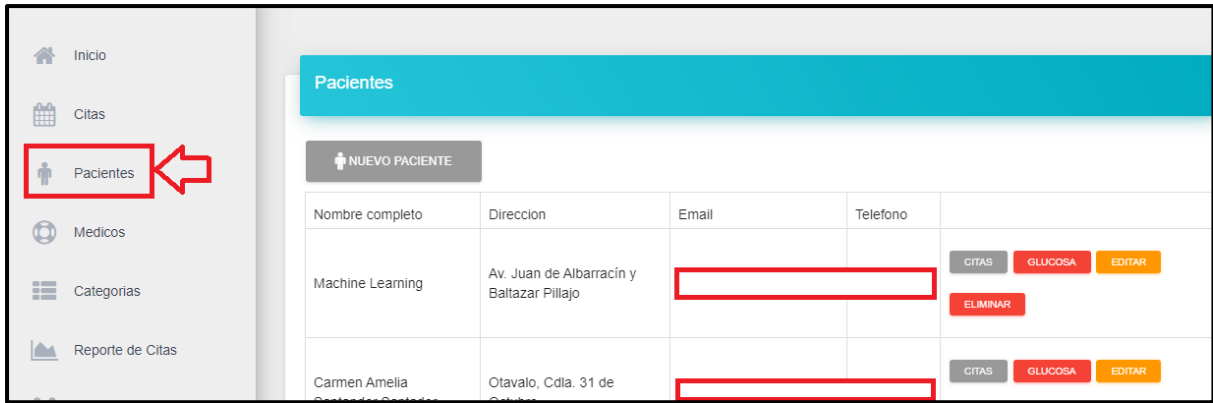


Para agendar una nueva cita diríjase a la pestaña “citas”, aquí usted podrá agendar una nueva cita para el paciente que desee.



En la pestaña “Pacientes” observará el registro de todos los pacientes que usan el sistema Pigeon-Chek.

En la pestaña “Reporte de citas” puede ver el estatus de las citas que haya agendado.



Con las instrucciones de este manual usted ya puede utilizar el sistema Pigeon-Chek, se recomienda que el uso de parte de los pacientes sea personal y que se realice un chequeo de glucosa por lo menos una vez al día o dependiendo de las recomendaciones de su médico.

ANEXO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISPOSITIVO ACCU-CHEK INSTANT

ACCU-CHEK®

| | |
|---|---|
| <p>TECNOLOGIA INHALAMBRICA Bluetooth® en Accu-Chek Instant</p> | <p>Beneficios y características</p> <ul style="list-style-type: none"> • El intuitivo indicador de rango objetivo proporciona tranquilidad visual: Puede individualizarse para satisfacer los objetivos personales de su terapia. • Sólo lo que usted necesita: El último registro de su glucemia y sus promedios (7,30, 90 días) son visibles en el medidor. • No se requiere ningún ajuste: Simplemente inserte una tira reactiva, coloque una pequeña muestra de sangre y observe el resultado de la glucemia en la gran pantalla. • Tira con borde amplio para fácil dosificación: Coloque una pequeña muestra de sangre en cualquier sector del área de dosificación amarilla. • Exactitud comprobada y garantizada por los fabricantes de Accu-Chek® cumpliendo con los requisitos de la norma ISO 15197: 2013 / EN ISO 15197: 2015. • Sincronización automática: una vez conectado, el medidor registra automáticamente tus resultados de glucosa y los transfiere de forma inalámbrica a tu smartphone o vía USB a tu computadora. • Transferencia de datos desde el medidor a tu PC mediante un cable de datos micro-USB. Necesitas instalar el software Accu-Chek® Smart Pix en tu computadora. |
| <p>PANTALLA LCD Retroiluminado</p> | |
| <p>RESULTADOS En menos de 4 segundos</p> | |
| <p>TAMAÑO 77.1 mm x 48.6 mm ancho x 15.3 mm (ALA)</p> | |
| <p>TIPO DE BATERIA 1 batería CR 2032 de 3V para el Accu-Chek Instant S 2 baterías CR 2032 de 3V para el Accu-Chek Instant (función de conectividad bluetooth)</p> | |
| <p>TIRAS REACTIVAS Accu-Chek® Instant La misma tira se utiliza para el Accu-Chek Instant y el Accu-Chek Instant S.</p> | |

Especificaciones adicionales

| | |
|--|--|
| Condiciones de almacenamiento del glucómetro: | Temperatura: -25 -70° C |
| Capacidad de memoria: | El medidor almacena automáticamente al menos 720 resultados de glucosa en sangre en la memoria, pero sólo se puede ver el último resultado y sus promedios de 7,30 y 90 días en el medidor. Para ver los resultados de glucosa guardados en el glucometro transfíralos a un programa de manejo de datos de glucosa compatible. |
| Apagado automático: | 90 segundos después de realizar una prueba, 15 segundos después de retirar una tira reactiva, 5 segundos después de la consulta del último resultado en el medidor. |
| Peso: | Aproximado de 40 g (con pilas) |
| Construcción: | Portátil |
| Clase de protección: | III |
| Interface: | USB; Bluetooth® |
| Conectividad por radiofrecuencia: | Tecnología Bluetooth® de baja energía operando en la banda de frecuencia de 2402 MHz a 2480 Mhz con una potencia máxima transmitida de 0 dBm (1mW) |

ANEXO 2. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN DEL GLUCÓMETRO ONETOUCH

ULTRA MINI



OneTouch® UltraMini™ Meter RS-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/com port 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:
- | | |
|----------------------|----------------------------|
| Baud Rate = 9600 bps | Data Bits = 8 |
| Stop Bits = 1 | Parity = none |
| Flow Control = None | Com Port = port # utilized |

Time-out Information:

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

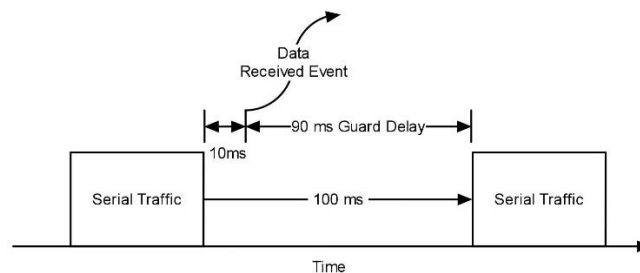


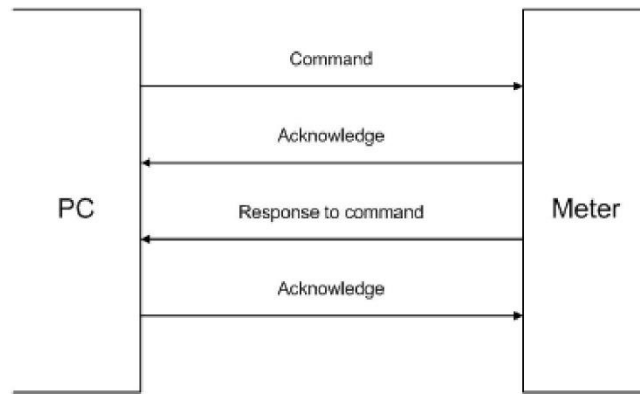
Figure 1 Inter-character timeout timing



Initiating Communications:

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

Communicating with the meter follows the following process flow:



Data Types:

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

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

Commands:

The meter supports the following commands -

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

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

| Start of message indicator | Length Byte | Control Byte | Data portion | End of message indicator | Check characters |
|----------------------------|----------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--|
| STX | Size of packet | Link control information | Application data | ETX | CRC _{low} CRC _{high} |



Elements of the command frame:

| Element | Contents |
|----------------------------|--|
| Start of message indicator | The character STX (0x02) |
| Length Byte | A byte containing the number of bytes which make up the complete frame, from the STX character to the CRC _{high} character inclusive. |
| Link Control Byte | A byte containing sequencing number information, ack/nack and disconnection indications. Described below in the section Link Control Byte |
| Data portion | Up to 34 bytes of application specific data. |
| End of message indicator | The character ETX (0x03) |
| Check characters | These characters contain the CCITT-CRC16 of the frame. The CRC-16 is calculated on all the fields except the check characters. This is detailed in Appendix – CRC Calculation. |

Link Control Byte:

The link control byte has the following format.

| Bit 7 | Bit 6 | Bit 5 | Bit 4 | Bit 3 | Bit 2 | Bit 1 | Bit 0 |
|--------|--------|--------|-------|------------|-------------|-------|-------|
| Unused | Unused | Unused | More | Disconnect | Acknowledge | E | S |

Bit 4: More

When set this indicates that the sending party has a subsequent data frame to send. The more indication will be passed to the application. It is the application's responsibility to interpret the actions to be taken on the receipt of a more indication. This bit is only valid when the frame contains application data. Its setting is meaningless if the Disconnect bit is set.

Bit 3: Disconnect

When set this indicates that the sending party is requesting to terminate the data link. The receiving party must respond to this request by issuing a disconnect response. A full description of the disconnection procedure is provided in the next section.

Bit 2: Acknowledge

This indicates that the message packet is a link level acknowledgement packet that contains no application data. This packet is used to confirm the correct reception of a data message.

NOTE - This bit must be set to 0 when transmitting a message which contains application data, or when the disconnect bit is not set.

Bit 1: E

In order to maintain correct packet ordering and identify retries, each communicating party maintains an "Expected Receive" (E) sequence number, and a "Send" (S) sequence number. Bit 1 is used to hold the "Expected Receive" number of the sending party. On establishment of the data link this field will be set to 0. When a correctly framed message packet with a "Send" sequence number of 0 is received, this value will be set to 1. When a subsequent message packet with a "Send" sequence number of 1 is received this value will be set to 0. These alternations of the expected receive bit proceeds for the duration of the data connection.

NOTE - The value of this field is only changed on successful reception of a message packet containing application data. For this to happen, the packet must be correctly framed and check summed, with the S number in the packet being equal to the "Expected Receive" number held by the receiving party. This field is not altered by the reception of link level control packets such as acknowledgement and disconnect. It may also



used when determining whether a packet containing application data is providing an implicit acknowledgement to a previously sent packet.

Bit 0: S

This field holds the “Send” sequence number field from the sending party as described for Bit 1 above. This number is incremented when the link level receives an acknowledgement message from the receiving party. The initial value of this field is 0, when an acknowledgement is received it will be set to 1, a subsequent successful message transmission will result in the send sequence number being set to 0. These alternations of the send number proceeds for the duration of the data connection.

NOTE - The value of this field is only changed on the successful acknowledgement of the previously sent packet. For this to happen, the received packet must be correctly framed and check summed, with the E number in the packet being different from the “Send” sequence number of the receiving party

Link Level acknowledgement:

A link level acknowledgement packet is sent in response to a valid message containing application data. The example below shows the format of an acknowledgement message that would be sent after reception of a message which had a send sequence number of 0, and contained application data. Note that the Acknowledge bit is set and the expected receive bit in the control byte is set to 1.

| Start of message indicator | Length | Control Byte | End of message indicator | Check-characters |
|----------------------------|--------|--------------|--------------------------|--|
| STX | 0x06 | 00000110 | ETX | CRC _{low} CRC _{high} |

It is possible for link layer acknowledgements to be lost, in which case out of sequence packets can be received. In this case, the data packet should be acknowledged by sending the link layer ACK, however the data message should not be passed to the application. Figure 3 illustrates this sequence.

Link Level Timeout:

The link level timeout is used by the sender to recover from transmission failures of application data frames and disconnect messages. There is no failure recovery implemented for acknowledgement messages.

The sender of the frame sets its transmission counter to 1 and starts the timer when the last byte of the frame is sent. If the timer expires before a response is received the sender interprets this as an error and increments its transmission counter. If the transmission counter exceeds 3 then the link layer discards the message and reports to the application that it failed to send. It is up to the application to take the appropriate recovery action.

If the sender receives a link level acknowledgement packet OR a message packet whose control byte acknowledges the message has been received, then the sender informs its local application of the successful transmission of the message.

Link Level Disconnection:

In case of serious line error, or when the dialogue is completed, either party can issue a link-level disconnect request. Disconnect requests have no attached data. After sending the disconnect request, it waits for the receiving party to issue a disconnect response. The format is as follows:

| Start of message indicator | Length | Control Byte | End of message indicator | Check-characters |
|----------------------------|--------|--------------|--------------------------|--|
| STX | 0x06 | 000010ES | ETX | CRC _{low} CRC _{high} |



After sending the disconnect, the originator waits for the other party to acknowledge by issuing a link level disconnect response of the following format.

| Start of message indicator | Length | Control Byte | End of message indicator | Check-characters |
|----------------------------|--------|--------------|--------------------------|--|
| STX | 0x06 | 000011ES | ETX | CRC _{low} CRC _{high} |

Where

- E : Indicates the sending parties expected receive sequence number.
- S : Indicates the sending parties current send number.

The link level terminates the data connection as soon as it receives a disconnect response.

Commands:

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

An example of the data exchange is shown below:

Command from PC: Disconnect

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

Reply from Meter: Disconnected and Acknowledged

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

Command: Read Software Version String and Software Creation Date:

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

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

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

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

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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



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

| STX | Len | Link | RM1 | RM2 | RM3 | 'P' | '0' | '2' | '.' | '0' | '0' | '.' |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------------|
| 0x02 | 0x1A | 0x02 | 0x05 | 0x06 | 0x11 | 0x50 | 0x30 | 0x32 | 0x2E | 0x30 | 0x30 | 0x2E |
| '0' | '0' | '2' | '5' | '/' | '0' | '5' | '/' | '0' | '7' | ETX | CRC low | CRC high |
| 0x30 | 0x30 | 0x32 | 0x35 | 0x2F | 0x30 | 0x35 | 0x2F | 0x30 | 0x37 | 0x03 | 0xAB | 0x25 |

Reply from PC: Acknowledge

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

Command: Read Serial Number

This command allows the PC to read the meters serial number.

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

Command Message from PC: Read Serial Number

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

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: Serial Number = "C176SA000"

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

Reply from PC: Acknowledge

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



Command: Delete All Glucose Records

This command deletes all glucose records in the meter.

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

Command Message from PC: Delete All Glucose Records

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

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: Command Executed

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

Reply from PC: Acknowledge

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

Command: Read Glucose Record

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

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

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

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

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

Command Message from PC: Read Glucose Record 501

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



Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

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

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

Reply from PC: Acknowledge

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

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

READ RECORD 1

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

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

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: Record glucose value + date stamp

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

| ETX | CRC Low | CRC high |
|------|------------|-------------|
| 0x03 | 0x86 | 0x0B |

This result can be interpreted as follows:

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

Reply from PC: Acknowledge

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

READ RECORD 2

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

| STX | Len | Link | CM1 | CM2 | Record 2 | ETX | CRC | CRC |
|-----|-----|------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
|-----|-----|------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|



| | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------------|------|-------------|--------------|
| 0x02 | 0x0A | 0x00 | 0x05 | 0x1F | 0x01, 0x00 | 0x03 | low 0x9B | high 0xA6 |
|------|------|------|------|------|------------|------|-------------|--------------|

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: Record glucose value + date stamp

| STX | Len | Link | RM1 | RM2 | DT1 | DT2 | DT3 | DT4 | GR1 | GR2 | GR3 | GR4 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0x02 | 0x10 | 0x02 | 0x05 | 0x06 | 0x58 | 0x28 | 0x99 | 0x4F | 0x59 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |

| ETX | CRC low | CRC High |
|------|------------|-------------|
| 0x03 | 0x5D | 0x60 |

This result can be interpreted as follows:

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

Reply from PC: Acknowledge

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

READ RECORD 3

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

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

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: Record glucose value + date stamp

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

| ETX | CRC low | CRC high |
|------|------------|-------------|
| 0x03 | 0x58 | 0x05 |

This result can be interpreted as follows:

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

Reply from PC: Acknowledge

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



Command: Read Current Unit Settings

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

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

Command Message from PC: Read Current Unit Settings

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

| CRC low | CRC high |
|------------|-------------|
| 0xCE | 0xE7 |

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: Current Unit Settings

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

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

Reply from PC: Acknowledge

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

Command: Read Date Format

This command allows the PC to read the date format (EU or US).

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

Command Message from PC: Read Date Format

| STX | Len | Link | CM1 | CM2 | CM3 | CM4 | PM1 | PM2 | PM3 | PM4 | ETX |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0x02 | 0x0E | 0x00 | 0x05 | 0x08 | 0x02 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x03 |

| CRC low | CRC high |
|------------|-------------|
| 0xFF | 0xE8 |



Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: Date Format

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

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

Reply from PC: Acknowledge

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

Command: Read/Write RTC

This command allows the PC to read and write the RTC of the meter.

Below is an example communication between the PC and Meter (following a disconnect/acknowledge between the PC and Meter) where the PC reads the RTC and then writes a new RTC value to the meter:

Command Message from PC: Read RTC

| STX | Len | Link | CM1 | CM2 | CM3 | DT1 | DT2 | DT3 | DT4 | ETX | CRC low | CRC high |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------------|
| 0x02 | 0x0D | 0x00 | 0x05 | 0x20 | 0x02 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x03 | 0xEC | 0x61 |

Reply Message 1 from Meter: Acknowledge

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

Reply Message 2 from Meter: RTC Current Setting

| STX | Len | Link | RM1 | RM2 | DT1 | DT2 | DT3 | DT4 | ETX | CRC low | CRC high |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------------|
| 0x02 | 0x0C | 0x02 | 0x05 | 0x06 | 0x83 | 0xA4 | 0xFF | 0x41 | 0x03 | 0x3B | 0xDC |

This result is interpreted as follows:

- date and time in hex is 41FFA483 (from DT4 to DT1) = 12:34:56 on 01/Feb/2005

Reply from PC: Acknowledge

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

Command Message from PC: Write RTC = 12:34:56 29 Feb 2008

| STX | Len | Link | CM1 | CM2 | CM3 | DT1 | DT2 | DT3 | DT4 | ETX | CRC low | CRC high |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------------|
| 0x02 | 0x0D | 0x03 | 0x05 | 0x20 | 0x01 | 0xE0 | 0xED | 0xC7 | 0x47 | 0x03 | 0x14 | 0x33 |

This command is interpreted as follows:

- date and time in hex is 47C7EDE0 (from DT4 to DT1) = 12:34:56 29/Feb/2008

ANEXO 3. FICHA TÉCNICA ATmega328

Features

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

ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P

Summary

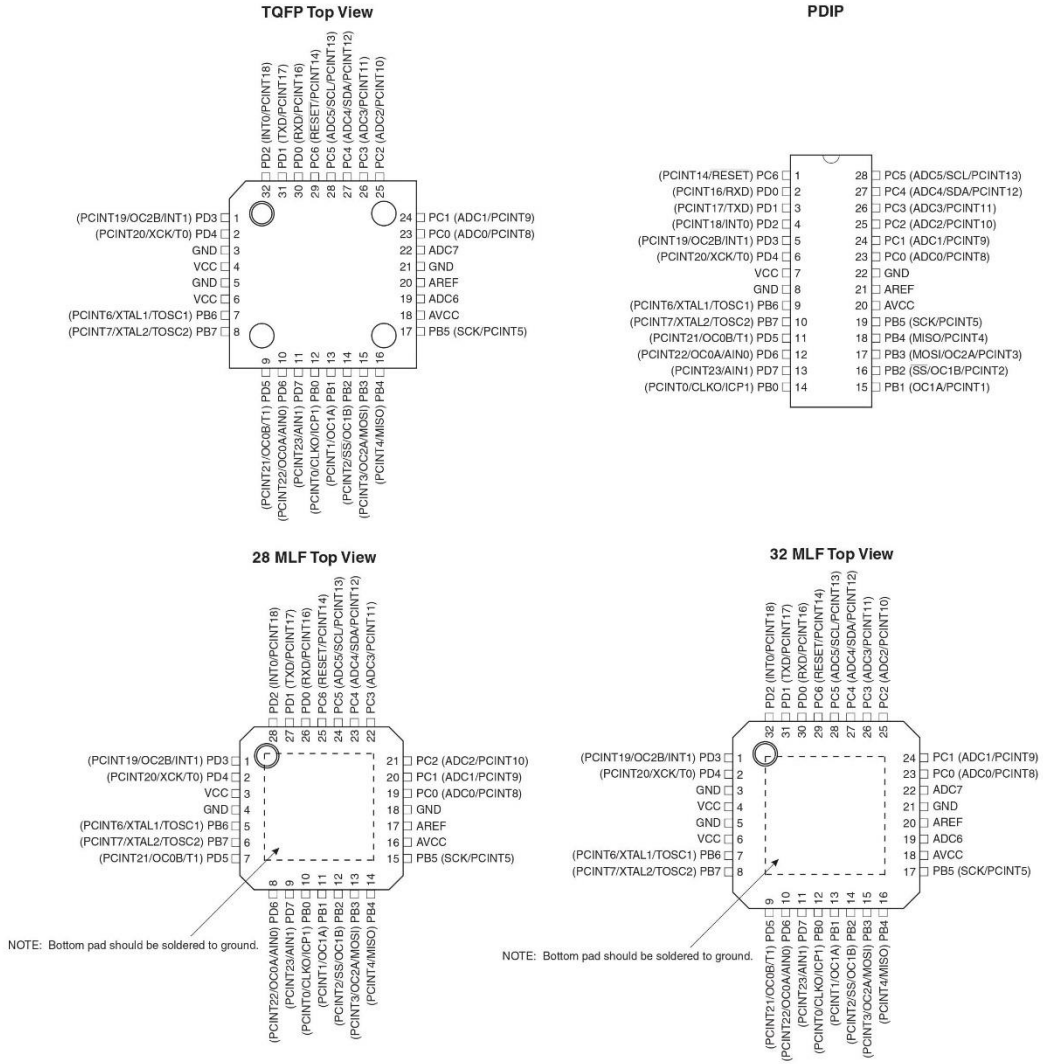
Rev. 8161CS-AVR-05/09



ATmega48PA/88PA/168PA/328P

1. Pin Configurations

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



1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

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

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

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

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "[Alternate Functions of Port B](#)" on page 76 and "[System Clock and Clock Options](#)" on page 26.

1.1.4 Port C (PC5:0)

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

1.1.5 PC6/RESET

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

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [Table 28-3 on page 308](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "[Alternate Functions of Port C](#)" on page 79.

1.1.6 Port D (PD7:0)

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

ATmega48PA/88PA/168PA/328P

The various special features of Port D are elaborated in "[Alternate Functions of Port D](#)" on page 82.

1.1.7 AV_{CC}

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

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

ANEXO 4. FICHA TÉCNICA SIM808



1 Introduction

This document describes SIM900 hardware interface in great detail.

This document can help user to quickly understand SIM900 interface specifications, electrical and mechanical details. With the help of this document and other SIM900 application notes, user guide, users can use SIM900 to design various applications quickly.

2 SIM900 Overview

Designed for global market, SIM900 is a quad-band GSM/GPRS module that works on frequencies GSM 850MHz, EGSM 900MHz, DCS 1800MHz and PCS 1900MHz. SIM900 features GPRS multi-slot class 10/ class 8 (optional) and supports the GPRS coding schemes CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4.

With a tiny configuration of 24*24*3mm, SIM900 can meet almost all the space requirements in user applications, such as M2M, smart phone, PDA and other mobile devices.

SIM900 has 68 SMT pads, and provides all hardware interfaces between the module and customers' boards.

- Serial port and debug port can help user easily develop user's applications.
- Audio channel which includes a microphone input and a receiver output.
- Programmable general purpose input and output.
- The keypad and SPI display interfaces will give users the flexibility to develop customized applications.

SIM900 is designed with power saving technique so that the current consumption is as low as 1.0mA in sleep mode.

SIM900 integrates TCP/IP protocol and extended TCP/IP AT commands which are very useful for data transfer applications. For details about TCP/IP applications, please refer to *document [2]*.

2.1 SIM900 Key Features

Table 1: SIM900 key features

| Feature | Implementation |
|--------------------|---|
| Power supply | 3.2V ~ 4.8V |
| Power saving | Typical power consumption in sleep mode is 1.0mA (BS-PA-MFRMS=9) |
| Frequency bands | <ul style="list-style-type: none">● SIM900 Quad-band: GSM 850, EGSM 900, DCS 1800, PCS 1900. SIM900 can search the 4 frequency bands automatically. The frequency bands also can be set by AT command "AT+CBAND". For details, please refer to <i>document [1]</i>.● Compliant to GSM Phase 2/2+ |
| Transmitting power | <ul style="list-style-type: none">● Class 4 (2W) at GSM 850 and EGSM 900● Class 1 (1W) at DCS 1800 and PCS 1900 |
| GPRS connectivity | <ul style="list-style-type: none">● GPRS multi-slot class 10 (default) |

| | |
|----------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ● GPRS multi-slot class 8 (option) |
| Temperature range | <ul style="list-style-type: none"> ● Normal operation: -30°C ~ +80°C ● Restricted operation: -40°C ~ -30°C and +80 °C ~ +85°C* ● Storage temperature -45°C ~ +90°C |
| Data GPRS | <ul style="list-style-type: none"> ● GPRS data downlink transfer: max. 85.6 kbps ● GPRS data uplink transfer: max. 42.8 kbps ● Coding scheme: CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4 ● Integrate the TCP/IP protocol. ● Support Packet Broadcast Control Channel (PBCCH) |
| CSD | <ul style="list-style-type: none"> ● Support CSD transmission |
| USSD | <ul style="list-style-type: none"> ● Unstructured Supplementary Services Data (USSD) support |
| SMS | <ul style="list-style-type: none"> ● MT, MO, CB, Text and PDU mode ● SMS storage: SIM card |
| FAX | Group 3 Class 1 |
| SIM interface | Support SIM card: 1.8V, 3V |
| External antenna | Antenna pad |
| Audio features | Speech codec modes: <ul style="list-style-type: none"> ● Half Rate (ETS 06.20) ● Full Rate (ETS 06.10) ● Enhanced Full Rate (ETS 06.50 / 06.60 / 06.80) ● Adaptive multi rate (AMR) ● Echo Cancellation ● Noise Suppression |
| Serial port and debug port | Serial port: <ul style="list-style-type: none"> ● Full modem interface with status and control lines, unbalanced, asynchronous. ● 1200bps to 115200bps. ● Can be used for AT commands or data stream. ● Support RTS/CTS hardware handshake and software ON/OFF flow control. ● Multiplex ability according to GSM 07.10 Multiplexer Protocol. ● Autobauding supports baud rate from 1200 bps to 57600bps. Debug port: <ul style="list-style-type: none"> ● Null modem interface DBG_TXD and DBG_RXD. ● Can be used for debugging and upgrading firmware. |
| Phonebook management | Support phonebook types: SM, FD, LD, RC, ON, MC. |
| SIM application toolkit | GSM 11.14 Release 99 |
| Real time clock | Support RTC |
| Physical characteristics | Size: 24*24*3mm Weight: 3.4g |
| Firmware upgrade | Firmware upgradeable by debug port. |

*SIM900 does work at this temperature, but some radio frequency characteristics may deviate from the GSM specification.

Table 2: Coding schemes and maximum net data rates over air interface

| Coding scheme | 1 timeslot | 2 timeslot | 4 timeslot |
|---------------|------------|------------|------------|
| CS-1 | 9.05kbps | 18.1kbps | 36.2kbps |
| CS-2 | 13.4kbps | 26.8kbps | 53.6kbps |
| CS-3 | 15.6kbps | 31.2kbps | 62.4kbps |
| CS-4 | 21.4kbps | 42.8kbps | 85.6kbps |

2.2 Operating Modes

The table below summarizes the various operating modes of SIM900.

Table 3: Overview of operating modes

| Mode | Function |
|----------------------------|---|
| Normal operation | GSM/GPRS SLEEP Module will automatically go into sleep mode if the conditions of sleep mode are enabling and there is no on air and no hardware interrupt (such as GPIO interrupt or data on serial port). In this case, the current consumption of module will reduce to the minimal level. In sleep mode, the module can still receive paging message and SMS. |
| | GSM IDLE Software is active. Module registered to the GSM network, and the module is ready to communicate. |
| | GSM TALK Connection between two subscribers is in progress. In this case, the power consumption depends on network settings such as DTX off/on, FR/EFR/HR, hopping sequences, antenna. |
| | GPRS STANDBY Module is ready for GPRS data transfer, but no data is currently sent or received. In this case, power consumption depends on network settings and GPRS configuration. |
| | GPRS DATA There is GPRS data transfer (PPP or TCP or UDP) in progress. In this case, power consumption is related with network settings (e.g. power control level); uplink/downlink data rates and GPRS configuration (e.g. used multi-slot settings). |
| Power down | Normal power down by sending the AT command "AT+CPOWD=1" or using the PWRKEY. The power management unit shuts down the power supply for the baseband part of the module, and only the power supply for the RTC is remained. Software is not active. The serial port is not accessible. Power supply (connected to VBAT) remains applied. |
| Minimum functionality mode | AT command "AT+CFUN" can be used to set the module to a minimum functionality mode without removing the power supply. In this mode, the RF part of the module will not work or the SIM card will not be accessible, or both RF part and SIM card will be closed, and the serial port is still accessible. The power consumption in this mode is lower than normal mode. |

2.3 SIM900 Functional Diagram

The following figure shows a functional diagram of SIM900:

- The GSM baseband engine
- Flash
- The GSM radio frequency part
- The antenna interface
- The other interfaces

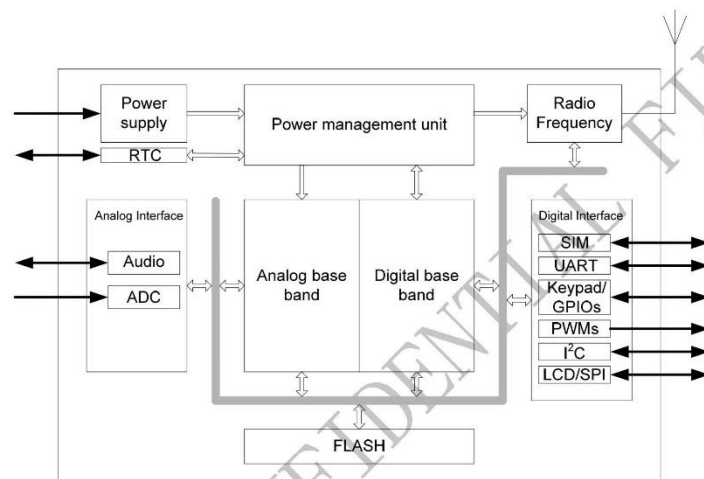


Figure 1: SIM900 functional diagram

3 Package Information

3.1 Pin out Diagram

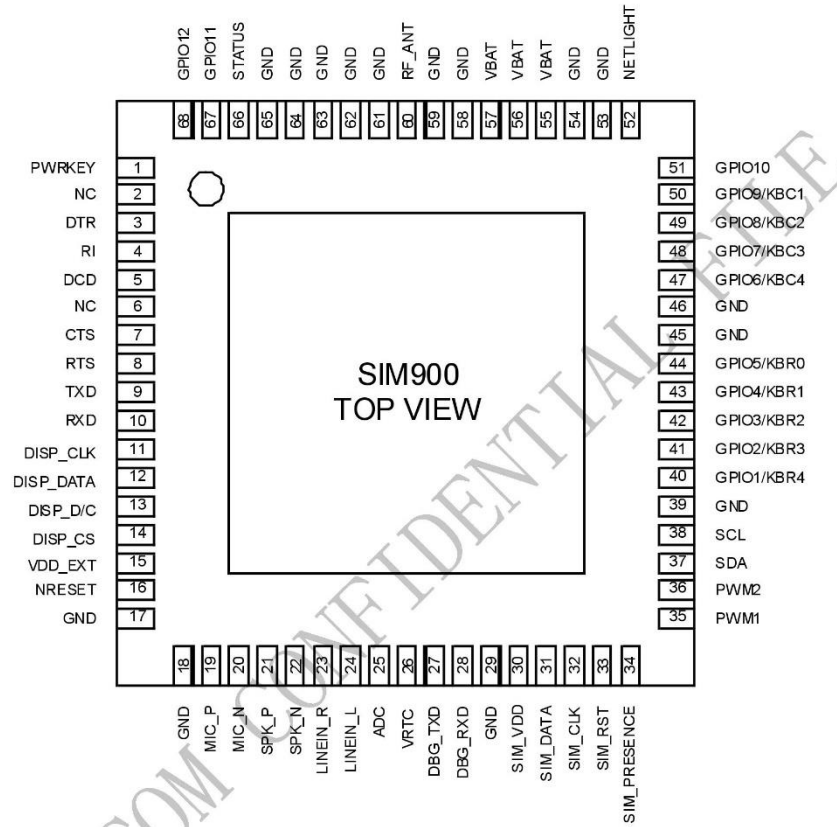


Figure 2: SIM900 pin out diagram (Top view)

3.2 Pin Description

Table 4: Pin description

| Pin name | Pin number | I/O | Description | Comment |
|---------------------------------|--|-----|--|--|
| Power supply | | | | |
| VBAT | 55,56,57 | I | Power supply | |
| VRTC | 26 | I/O | Power supply for RTC | It is recommended to connect with a battery or a capacitor (e.g. 4.7uF). |
| VDD_EXT | 15 | O | 2.8V output power supply | If it is unused, keep open. |
| GND | 17,18,29,39, 45,46,53,54, 58,59,61,62, 63,64,65 | | Ground | |
| Power on/down | | | | |
| PWRKEY | 1 | I | PWRKEY should be pulled low at least 1 second and then released to power on/down the module. | Pulled up internally. |
| Audio interfaces | | | | |
| MIC_P | 19 | I | Differential audio input | If these pins are unused, keep open. |
| MIC_N | 20 | | | |
| SPK_P | 21 | O | Differential audio output | |
| SPK_N | 22 | | | |
| LINEIN_R | 23 | I | Line-in input | |
| LINEIN_L | 24 | | | |
| Status | | | | |
| STATUS | 66 | O | Power on status | If these pins are unused, keep open. |
| NETLIGHT | 52 | O | Network status | |
| LCD interface | | | | |
| DISP_CLK | 11 | O | Display interface | If these pins are unused, keep open. |
| DISP_DATA | 12 | I/O | | |
| DISP_D/C | 13 | O | | |
| DISP_CS | 14 | O | | |
| I²C interface | | | | |
| SDA | 37 | O | I ² C serial bus data | If these pins are unused, keep open. |
| SCL | 38 | I/O | I ² C serial bus clock | |
| Keypad interface / GPIOs | | | | |
| GPIO5/KBR0 | 44 | I/O | GPIO5/keypad row 0 | If these pins are unused, keep open. |
| GPIO4/KBR1 | 43 | | GPIO4/keypad row 1 | |
| GPIO3/KBR2 | 42 | | GPIO3/keypad row 2 | |
| GPIO2/KBR3 | 41 | | GPIO2/keypad row 3 | |

| | | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|--|--|
| GPIO1/KBR4 | 40 | | GPIO1/keypad row 4 | |
| GPIO9/KBC1 | 50 | | GPIO9/keypad column 1 | |
| GPIO8/KBC2 | 49 | | GPIO8/keypad column 2 | |
| GPIO7/KBC3 | 48 | | GPIO7/keypad column 3 | |
| GPIO6/KBC4 | 47 | | GPIO6/keypad column 4 | |
| GPIO10 | 51 | | GPIO10 | |
| GPIO11 | 67 | | GPIO11 | |
| GPIO12 | 68 | | GPIO12 | |
| Serial port | | | | |
| RXD | 10 | I | Receive data | This pin should be pulled up to VDD_EXT externally. |
| TXD | 9 | O | Transmit data | If these pins are unused, keep open. |
| RTS | 8 | I | Request to send | |
| CTS | 7 | O | Clear to send | |
| DCD | 5 | O | Data carrier detect | |
| RI | 4 | O | Ring indicator | |
| DTR | 3 | I | Data terminal ready | |
| Debug interface | | | | |
| DBG_TXD | 27 | O | For debugging and upgrading firmware | If these pins are unused, keep open. |
| DBG_RXD | 28 | I | | |
| SIM interface | | | | |
| SIM_VDD | 30 | O | Voltage supply for SIM card. Support 1.8V or 3V SIM card | All signals of SIM interface should be protected against ESD with a TVS diode array. |
| SIM_DATA | 31 | I/O | SIM data input/output | |
| SIM_CLK | 32 | O | SIM clock | |
| SIM_RST | 33 | O | SIM reset | |
| SIM_PRESENCE | 34 | I | SIM card detection | If it is unused, keep open. |
| ADC | | | | |
| ADC | 25 | I | Input voltage range: 0V ~ 2.8V | If it is unused, keep open. |
| External reset | | | | |
| NRESET | 16 | I | Resct input(Active low) | Recommend connecting a 100nF capacitor. |
| Pulse width modulation(PWM) | | | | |
| PWM1 | 35 | O | PWM | If these pins are unused, keep open. |
| PWM2 | 36 | O | PWM | |
| RF interface | | | | |
| RF_ANT | 60 | I/O | Radio antenna connection | Impedence must be controlled to 50Ω. |
| Not connect | | | | |
| NC | 2,6 | - | | These pins should be kept open. |

ANEXO 5. FICHA TÉCNICA RTC DS3231

Rev 2; 6/05



Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a reset externally.

Applications

Servers Utility Power Meters
Telematics GPS

Pin Configuration appears at end of data sheet.

Features

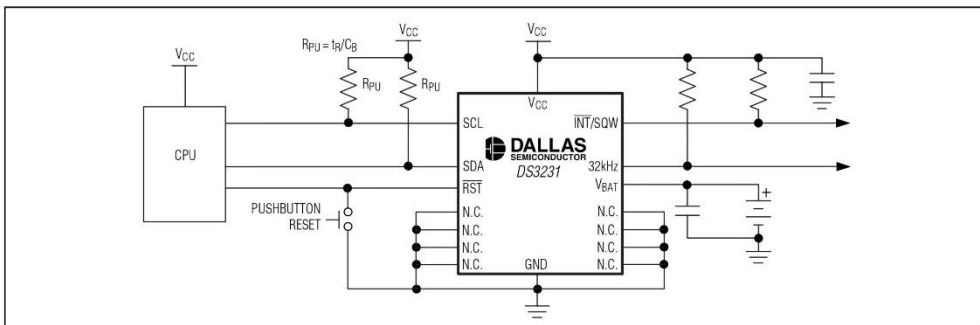
- ◆ Accuracy ±2ppm from 0°C to +40°C
- ◆ Accuracy ±3.5ppm from -40°C to +85°C
- ◆ Battery Backup Input for Continuous Timekeeping
- ◆ Operating Temperature Ranges
Commercial: 0°C to +70°C
Industrial: -40°C to +85°C
- ◆ Low-Power Consumption
- ◆ Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Day, Date, Month, and Year with Leap Year Compensation Valid Up to 2100
- ◆ Two Time-of-Day Alarms
- ◆ Programmable Square-Wave Output
- ◆ Fast (400kHz) I²C Interface
- ◆ 3.3V Operation
- ◆ Digital Temp Sensor Output: ±3°C Accuracy
- ◆ Register for Aging Trim
- ◆ RST Input/Output
- ◆ UL Recognized

Ordering Information

| PART | TEMP RANGE | PIN-PACKAGE | TOP MARK |
|-----------|----------------|-------------|----------|
| DS3231S | 0°C to +70°C | 16 SO | DS3231 |
| DS3231SN | -40°C to +85°C | 16 SO | DS3231N |
| DS3231S+ | 0°C to +70°C | 16 SO | DS3231+ |
| DS3231SN+ | -40°C to +85°C | 16 SO | DS3231N+ |

+Denotes lead-free

Typical Operating Circuit



Purchase of I²C components from Maxim Integrated Products, Inc., or one of its sublicensed Associated Companies, conveys a license under the Philips I²C Patent Rights to use these components in an I²C system, provided that the system conforms to the I²C Standard Specification as defined by Philips.



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | | | |
|--|----------------|---|---|
| Voltage Range on V _{CC} , V _{BAT} , 32kHz, SCL, SDA, $\overline{\text{RST}}$, $\overline{\text{INT}}/\text{SQW}$ Relative to Ground..... | -0.3V to +6.0V | Storage Temperature Range..... | -40°C to +85°C |
| Operating Temperature Range (noncondensing)..... | -40°C to +85°C | Lead Temperature (Soldering, 10s)..... | +260°C/10s |
| Junction Temperature..... | +125°C | Soldering Temperature..... | See the <i>Handling, PC Board Layout, and Assembly</i> section. |

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

(T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|------------------|----------------------|--------------------------|-----|---------------------------|-------|
| Supply Voltage | V _{CC} | | 2.3 | 3.3 | 5.5 | V |
| | V _{BAT} | | 2.3 | 3.0 | 5.5 | V |
| Logic 1 Input SDA, SCL | V _{IH} | | 0.7 x V _{CC} | | V _{CC} + 0.3 | V |
| Logic 0 Input SDA, SCL | V _{IL} | | -0.3 | | +0.3 x V _{CC} | V |
| Pullup Voltage (SDA, SCL, 32kHz, $\overline{\text{INT}}/\text{SQW}$) | V _{PU} | V _{CC} = 0V | | | 5.5V | V |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} > V_{BAT}, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|----------------------|---|-------------------------|-------|------|-------|
| Active Supply Current | I _{CCA} | (Notes 3, 4) | V _{CC} = 3.63V | | 200 | μA |
| | | | V _{CC} = 5.5V | | 300 | |
| Standby Supply Current | I _{CCS} | I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 4) | V _{CC} = 3.63V | | 110 | μA |
| | | | V _{CC} = 5.5V | | 170 | |
| Temperature Conversion Current | I _{CCSCONV} | I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off | V _{CC} = 3.63V | | 575 | μA |
| | | | V _{CC} = 5.5V | | 650 | |
| Power-Fail Voltage | V _{PF} | | 2.45 | 2.575 | 2.70 | V |
| Logic 0 Output, 32kHz, $\overline{\text{INT}}/\text{SQW}$, SDA | V _{OL} | I _{OL} = 3mA | | | 0.4 | V |
| Logic 0 Output, $\overline{\text{RST}}$ | V _{OL} | I _{OL} = 1mA | | | 0.4 | V |
| Output Leakage Current 32kHz, $\overline{\text{INT}}/\text{SQW}$, SDA | I _{LO} | Output high impedance | -1 | 0 | +1 | μA |
| Input Leakage SCL | I _{LI} | | -1 | | +1 | μA |
| $\overline{\text{RST}}$ Pin I/O Leakage | I _{OL} | $\overline{\text{RST}}$ high impedance (Note 5) | -200 | | +10 | μA |
| V _{BAT} Leakage Current (V _{CC} Active) | I _{BATLKG} | | | 25 | 100 | nA |

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} > V_{BAT}, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|---------------------|---|----------------|--------|------|-------|
| Output Frequency | f _{OUT} | V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V | | 32.768 | | kHz |
| Frequency Stability vs. Temperature (Commercial) | Δf/f _{OUT} | V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h | 0°C to +40°C | | ±2 | ppm |
| | | | >40°C to +70°C | | ±3.5 | |
| Frequency Stability vs. Temperature (Industrial) | Δf/f _{OUT} | V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h | -40°C to <0°C | | ±3.5 | ppm |
| | | | 0°C to +40°C | | ±2 | |
| | | | >40°C to +85°C | | ±3.5 | |
| Frequency Stability vs. Voltage | Δf/V | | | 1 | | ppm/V |
| Trim Register Frequency Sensitivity per LSB | Δf/LSB | Specified at: | -40°C | | 0.7 | ppm |
| | | | +25°C | | 0.1 | |
| | | | +70°C | | 0.4 | |
| | | | +85°C | | 0.8 | |
| Temperature Accuracy | Temp | V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V | -3 | | +3 | °C |
| Crystal Aging | Δf/f ₀ | After reflow, not production tested | First year | | ±1.0 | ppm |
| | | | 0–10 years | | ±5.0 | |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 0V, V_{BAT} = 2.3V to 5.5V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Note 1)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--------------------------------|--------------------|---|--------------------------|------|-----|-------|
| Active Battery Current | I _{BATA} | EO _{SC} = 0, BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 4) | | | 70 | μA |
| | | V _{BAT} = 5.5V | | | 150 | |
| Timekeeping Battery Current | I _{BATT} | EO _{SC} = 0, BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT} (Note 4) | V _{BAT} = 3.63V | 0.84 | 3.0 | μA |
| | | | V _{BAT} = 5.5V | 1.0 | 3.5 | |
| Temperature Conversion Current | I _{BATTC} | EO _{SC} = 0, BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT} | V _{BAT} = 3.63V | | 575 | μA |
| | | | V _{BAT} = 5.5V | | 650 | |
| Data-Retention Current | I _{BATTD} | EO _{SC} = 1, SCL = SDA = 0V, +25°C | | | 100 | nA |

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = V_{CC(MIN)} to V_{CC(MAX)} or V_{BAT} = V_{BAT(MIN)} to V_{BAT(MAX)}; V_{BAT} > V_{CC}; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Note 1)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|---------------------|---------------|-------------------|-----|------|-------|
| SCL Clock Frequency | f _{SCL} | Fast mode | 100 | | 400 | kHz |
| | | Standard mode | 0 | | 100 | |
| Bus Free Time Between STOP and START Conditions | t _{BUF} | Fast mode | 1.3 | | | μs |
| | | Standard mode | 4.7 | | | |
| Hold Time (Repeated) START Condition (Note 6) | t _{HD:STA} | Fast mode | 0.6 | | | μs |
| | | Standard mode | 4.0 | | | |
| Low Period of SCL Clock | t _{LOW} | Fast mode | 1.3 | | | μs |
| | | Standard mode | 4.7 | | | |
| High Period of SCL Clock | t _{HIGH} | Fast mode | 0.6 | | | μs |
| | | Standard mode | 4.0 | | | |
| Data Hold Time (Notes 7, 8) | t _{HD:DAT} | Fast mode | 0 | | 0.9 | μs |
| | | Standard mode | 0 | | 0.9 | |
| Data Setup Time (Note 9) | t _{SU:DAT} | Fast mode | 100 | | | ns |
| | | Standard mode | 250 | | | |
| Start Setup Time | t _{SU:STA} | Fast mode | 0.6 | | | μs |
| | | Standard mode | 4.7 | | | |
| Rise Time of Both SDA and SCL Signals (Note 10) | t _R | Fast mode | 20 + | | 300 | ns |
| | | Standard mode | 0.1C _B | | 1000 | |
| Fall Time of Both SDA and SCL Signals (Note 10) | t _F | Fast mode | 20 + | | 300 | ns |
| | | Standard mode | 0.1C _B | | 300 | |
| Setup Time for STOP Condition | t _{SU:STO} | Fast mode | 0.6 | | | μs |
| | | Standard mode | 4.7 | | | |
| Capacitive Load for Each Bus Line (Note 10) | C _B | | | | 400 | pF |
| Capacitance for SDA, SCL | C _{I/O} | | | 10 | | pF |
| Pulse Width of Spikes That Must Be Suppressed by the Input Filter | t _{SP} | | | 30 | | ns |
| Pushbutton Debounce | PB _{DB} | | | 250 | | ms |
| Reset Active Time | t _{RST} | | | 250 | | ms |
| Oscillator Stop Flag (OSF) Delay | t _{OSF} | (Note 11) | | 100 | | ms |
| Temperature Conversion Time | t _{CONV} | | | 125 | 200 | ms |

POWER-SWITCH CHARACTERISTICS

(T_A = T_{MIN} to T_{MAX})

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|-------------------|------------|-----|-----|-----|-------|
| V _{CC} Fall Time; V _{PF(MAX)} to V _{PF(MIN)} | t _{VCCF} | | 300 | | | μs |
| V _{CC} Rise Time; V _{PF(MIN)} to V _{PF(MAX)} | t _{VCCR} | | 0 | | | μs |
| Recovery at Power-Up | t _{REC} | (Note 12) | | 250 | 300 | ms |

4