



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TEMA DE TESIS

**APLICACIÓN DE COMPUTO MÓVIL Y PERVASIVA PARA EL
MONITOREO DE LA DIABETES EN TIEMPO REAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

PRESENTA:

EDILBERTO HUERTA NIÑO

ASESOR:

DR. LUIS ENRIQUE COLMENARES GUILLEN

PUEBLA, PUEBLA JULIO 2015

Agradecimientos y Dedicatoria.

Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de lograr un objetivo más en mi vida, a mi padres Ranulfo Etelberto Huerta Gómez y Juana Gloria Niño Hernández, a mis hermanos Fermín, Heriberto y Patricia, a mi sobrina y sobrinos, a mis cuñadas y cuñado, quienes son parte medular en todos los aspectos de mi vida, porque gracias al apoyo y confianza de todos y cada uno de ellos es que he logrado alcanzar cada uno de mis objetivos.

A todos y cada uno de mis profesores, pero sobre todo a mi asesor el Dr. Luis Enrique Colmenares Guillen, quien me ha brindado su conocimiento, tiempo y dedicación para lograr este paso tan importante en mi vida profesional.

Divulgación Científica.

Este Trabajo de tesis fue publicado y presentado en el congreso internacional de la Academia Journals, 5-9 Noviembre del 2014, en la ciudad de Celaya, Guanajuato, México: “Aplicación Móvil para el Monitoreo de la Diabetes en Tiempo Real”. ISSN 1946-5351 Online, Dr. Enrique Colmenares Guillen, Dra. Concepción Perez de Celis Herrero, Dra. Josefa Somodevilla García y Edilberto Huerta Niño. Journals Academy 2014. Vol. 6, No. 5, Pag. 889-894.

“AN APPROACH OF FAILURE-ANALYSIS FOR THE REAL-TIME FIRE RECONNAISSANCE SATELLITE MONITORING SYSTEM”. ISSN: 1913-8989, Omar Ariosto Niño Prieto, Luis Enrique Colmenares Guillén, Edilberto Huerta Niño, Aldo Enrique Águila Jurado, Computer and Information Science, Vol.6, Pag.139-153,

Contenido

Índice de Figuras	6
Índice de Tablas.....	7
Introducción.	8
Capítulo 1. Trabajo Relacionado	11
1.1 Implementación de computo pervasivo basado en el sistema de casa inteligente de alta seguridad.	11
1.2 Proyecto M2DM.....	12
1.3 Sistema DIABTel	14
1.4 Glooko.....	15
Capítulo 2. Cómputo Pervasivo y Cómputo Móvil.....	16
2.1 Cómputo Móvil	16
2.1.1 Aplicaciones móviles.....	19
2.1.2 Seguridad en el cómputo móvil	20
2.2 Cómputo Pervasivo	21
2.2.1 Aplicaciones de cómputo pervasivo	22
2.2.2 Privacidad y seguridad.....	23
Capítulo 3. Antecedentes de la Propuesta Solución.....	25
3.1 Arduino	26
3.1.1 Comunicación Serial.....	28
3.2 GSR (Galvanic Skin Response).....	29
3.3 GPS	32
3.3.1 Segmento Espacial.....	33
3.3.2 Segmento de control	35
3.3.3 Segmento usuario	36
3.4 Acelerómetro	39
3.4.1 Acelerómetro capacitivo	40
3.5 Android	41
3.5.1 Content Provider.....	43
3.5.2 Intents	43

3.5.3 Activity	44
3.5.4 Views.....	45
3.5.5 Service	45
3.5.6 AndroidManifest.xml	45
Capítulo 4. Metodología para la Solución Propuesta	46
4.1 Casos de Uso	47
4.1.1 Descripción de casos de uso	48
4.2 Modelo Entidad Relación	52
4.3 Diagrama de Contexto	55
4.4 Diagrama de Transición de Estados	57
4.5 Diagrama de LACATRE LA4	59
4.6 Árbol de Fallas	61
4.7 Sistema General.....	63
Capítulo 5. Resultados.....	65
Conclusiones y Trabajo a Futuro	74
Bibliografía.	75

Índice de Figuras

Figura 1: Computo pervasivo basado en el sistema de casa inteligente de alta seguridad.	12
Figura 2: Arquitectura del servidor multi-acceso.	13
Figura 3: Participación de páginas visitadas desde diferentes dispositivos.	17
Figura 4: Dispositivo de conexión.	18
Figura 5: Constelación “Expandable 24”	35
Figura 6: Distribución de las estaciones de control.	36
Figura 7: Modulo GPS	37
Figura 8: Ejemplo de trama GGA recibida por el GPS.....	39
Figura 9: Participación en el mercado de los SO para smartphone en el mundo.....	42
Figura 10: Diagrama de transición de estados de un activity.	44
Figura 11: Conexión de GPS y acelerómetro a Arduino Mega ADK	47
Figura 12: Diagrama de Casos de Uso.....	48
Figura 13: Modelo Entidad-Relación	54
Figura 14: Diagrama de contexto de nivel 1	55
Figura 15: Diagrama de contexto de nivel 2	56
Figura 16: Diagrama de transición de estados	58
Figura 17: Diagrama de LACATRE.....	60
Figura 18: Árbol de Fallas	62
Figura 19: Sistema General	64
Figura 20: Notificación para iniciar como aplicación predeterminada	65
Figura 21: Captura de pantalla de inicio de sesión	66
Figura 22: Captura de pantalla de información general	67
Figura 23: Captura de pantalla de medicamento suministrado actualmente	68
Figura 24: Captura de pantalla de personal médico responsable	69
Figura 25: Captura de pantalla de control de sensores.....	70
Figura 26: Captura de pantalla de alerta	71
Figura 27: Datos almacenados en la base de datos local.....	72
Figura 28: Confirmación de envío	73

Índice de Tablas

Tabla 1: Equivalencia entre valores mg/ml y mmol/l	30
----------------------------------------------------------	----

Introducción.

En la actualidad los dispositivos móviles se han vuelto un elemento indispensable en las vidas de las personas debido al dinamismo y movilidad del entorno, además que el estar comunicado en todo momento y en algunos casos tener acceso a entretenimiento, redes sociales, herramientas, entre otros, son algunos beneficios que la telefonía celular lleva a los usuarios, razón por la cual dichos dispositivos representan una plataforma idónea para desarrollar aplicaciones de cualquier tipo, siendo las médicas una de las más importantes. Se estima que al primer trimestre del año, las líneas móviles en México alcanzaron un total de 101,339 millones, casi 7.0% más a las registradas en el último trimestre del 2012, cuando sumaron 100.3 millones [1]. Tales cifras muestran un panorama alentador, ya que el sistema que aquí se propone es principalmente orientado a los dispositivos móviles

Por otro lado es bien sabido que la diabetes (ENT enfermedad No Transmisible) ocupa un lugar importante como problema de salud en México y cuyo principal problema radica en el poco cuidado que se presta a dicha enfermedad por parte de los enfermos, en este sentido una herramienta como las aplicaciones móviles aportan un valor añadido como medios de prevención y control de las mismas. Tal es el caso de la aplicación *On Track*, la cual permite a los usuarios llevar un control de su enfermedad, la cual monitorea su ingesta de alimentos, medicamentos, presión arterial, pulso, ejercicio y peso, dicha aplicación se encuentra disponible en la tienda online de Google, otra aplicación interesante es *SiDiary*, la cual también lleva a cabo el proceso de administración de la enfermedad, sin embargo los datos deben de ser ingresados manualmente, aunque implementa la función de enviar dichos datos vía email o por mensaje de texto al doctor a cargo en caso de obtener lecturas elevadas de glucosa en la sangre.

Si bien es cierto que las aplicaciones actuales son útiles como medida de administración, también es cierto que el número de diabéticos incrementa de forma alarmante, lo cual no es nada favorable por lo que se deben de tomar medidas más eficientes y para ello se requiere de utilizar la mayor cantidad de recursos tecnológicos de los cuales se dispone, cambiando en cierto sentido el

enfoque de administración con el que cuentan las aplicaciones actuales, es decir, no basta con dejar que el usuario registre de forma manual sus datos o dejar dichos datos almacenados en la memoria interna del dispositivo, ya que pueden ocurrir problemas al momento de realizar la captura o se puede dañar el dispositivo y perder dicha información, aun cuando se envíen por correo electrónico o por SMS el proceso de administrar dicha información puede resultar tediosa y en la mayoría de los casos hasta deficiente, tomando en cuenta que existen métodos que se ajustan mejor a este tipo de situaciones como es el caso de base de datos, ya sean locales o remotas.

En cuanto a la toma de muestras hay hábitos que deben de ser cambiados a la brevedad posible, tal es el caso de la toma de muestras de sangre invasivas para poder determinar los niveles de glucosa y aunque son las técnicas más eficientes, también se debe de tener en cuenta que son las que más riesgos aportan, ya que puede ocurrir negligencia por parte del personal médico o falta de cuidado del mismo paciente, razón por la cual se están buscando métodos alternativos que aseguren en todo momento la integridad de la personas y cuyas garantías las ofrecen los método no invasivos, Actualmente existen prototipos que pueden permitir dar ese paso, tal como *MonitorTM C8 Medisensor*, *GlucoTrack DF-F*, sin embargo se debe de estar consciente de que dichos sensores van a implicar un gasto importante e incluso complicado de cubrir por parte de los usuarios finales, por lo que se deben de buscar alternativas lo más económicas posibles y que sean igualmente eficientes. Una alternativa eficiente se puede observar en [2], donde se tiene una aproximación a un prototipo para determinar el nivel de glucosa de forma no invasiva, mediante los datos obtenidos por el sensor GSR y cuya aplicación se toma en este trabajo de tesis en conjunto con otros sensores como son pulsioxímetro (SPO2), GPS y acelerómetro, los cuales trabajan en conjunto con una de las herramientas de desarrollo más importantes como lo es Arduino, la cual además de ser una herramienta gratuita hasta el momento, es de lo más completa y con una gran comunidad para dar soporte a desarrolladores lo cual facilita enormemente su uso, además de todo cuenta con un variado número de modelos de tarjetas como UNO, Leonardo, Due, Yun, Mega ADK, entre otras, sin embargo una de las más completas es la Mega ADK la cual ya viene lista para trabajar con Android una plataforma ideal para el desarrollo de aplicaciones móviles de forma gratuita.

Tomando en cuenta aspectos como los mencionados anteriormente, es que se plantea como objetivo principal de este trabajo de tesis lograr una integración de las plataformas Arduino y Android, principalmente y de esta manera contribuir al desarrollo de herramientas que permitan a los pacientes enfermos de diabetes llevar un control más eficiente de su enfermedad, creando una aplicación capaz de interactuar con una serie de sensores externos interconectados, como los ya mencionados, entre sí para lograr un sistema lo más ubicuo posible, de tal manera que al paciente le represente el mínimo esfuerzo tener un control óptimo de su enfermedad.

Capítulo 1. Trabajo Relacionado

1.1 Implementación de computo pervasivo basado en el sistema de casa inteligente de alta seguridad.

Con el paso de los años el crecimiento de las tecnologías inalámbricas ha aumentado en la mayoría de los ambientes en el que se encuentra el ser humano, ya sea en las escuelas, hospitales, restaurantes e incluso en áreas recreativas y sobre todo en los hogares, lo cual abre una alternativa cómoda y eficiente en cuanto a la seguridad de refiere.

La seguridad en los hogares representa un punto importante, de ahí que se propone un sistema capaz de llevar a cabo dicha tarea a través de una combinación de tecnologías como lo es ZigBee, BAN (Body Area Network), GSM y Wi-Fi (internet). ZigBee ofrece conexión inalámbrica de los sensores con el panel de control mientras que GSM proporciona una amplia cobertura ya que como la asociación GSM estima que el 92% del mercado global móvil usa el estándar GSM. Dicho sistema proporciona seguridad fiable, fácil instalación y acceso donde quiera. Los sensores y actuadores usan comunicación inalámbrica ZigBee para enviar información al panel de control. El panel de control actúa como puerta de accesos a la casa, controlando las operaciones del sistema automático [3].

En la Figura 1, se puede observar la arquitectura del sistema propuesto en el cual una puerta de acceso a la casa es establecida para proporcionar interoperabilidad entre las redes heterogéneas de ZigBee y Wi-Fi, para así proporcionar control remoto y local. De esta manera los usuarios remotos pueden acceder al sistema mediante el acceso a internet. De esta manera las comunicaciones son revisadas y procesadas por la puerta de acceso y el módulo GSM. Dicho proceso involucra comunicación con el coordinador de red de la casa, el cual trabaja en conjunto con la base de datos de dispositivos de la casa [3].

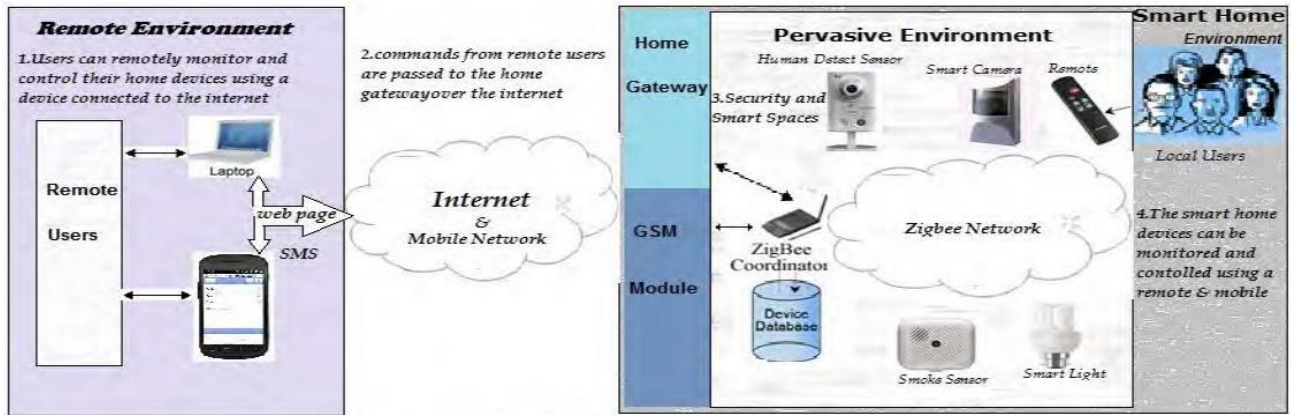


Figura 1: Computo pervasivo basado en el sistema de casa inteligente de alta seguridad.

Fuente: Ventylees, Raj. S. (2012) Implementation of pervasive computing based high-secure smart home system. En: International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).

La arquitectura del sistema propuesto emplea computo pervasivo basado en la red de casa inteligente y Wi-Fi basado en redes multimedia. Estándares alternativos podrían ser acompañados con la puerta de acceso a la casa. Sin embargo, el uso de ZigBee y Wi-Fi ofrece varias ventajas. La tecnología ZigBee, es usada en aplicaciones que requieren baja velocidad de datos, costo eficiente, bajo poder de consumo y comunicación inalámbrica dúplex. Por su lado el estándar Wi-Fi es diseñado para proporcionar velocidad de comunicación de datos relativamente eficientes [3].

Dicho sistema es una muestra de lo que el computo pervasivo es capaz de proporcionar en beneficio de los usuarios, haciendo posible que no solo computadoras o smartpone sean capaces de conectarse a una red inalámbrica, sino que también una serie de dispositivos como refrigeradores, lavadoras, televisores, sistemas de clima, entre otros equipos electrónicos, puedan conectarse e intercambiar información.

1.2 Proyecto M2DM

En el proyecto M2DM parcialmente fundado por la Comisión Europea, tiene como objetivo principal proporcionar nuevos servicios de telemedicina para el cuidado de la diabetes, haciendo posible el acceso universal a la información a través del uso de tecnologías básicas con una amplia

penetración en la sociedad, combinadas con tecnologías intermedias apoyada en computadoras o teléfonos móviles [4], en la Figura 2 se puede observar la arquitectura de dicho sistema:

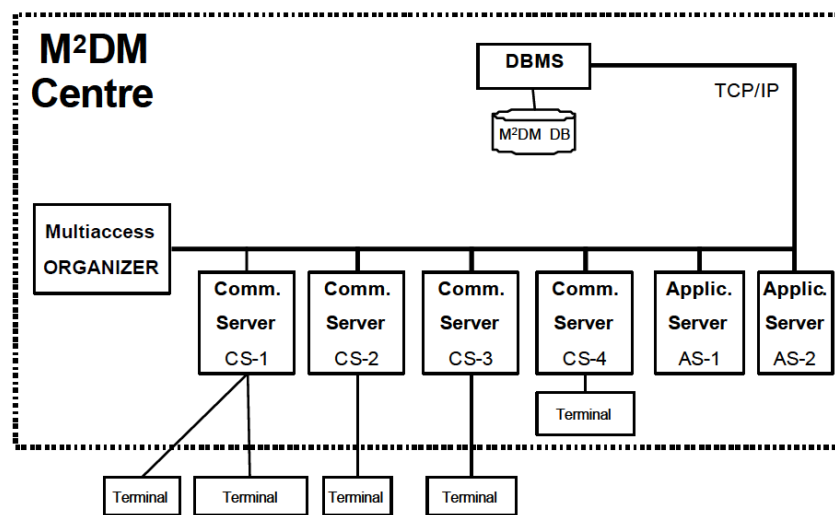


Figura 2: Arquitectura del servidor multi-acceso.

Fuente: Hernando, M.E. García A. Perdices, F.J. Torralba V. Gomez, E.J. Del Pozo F. (1999). Multi.Agent Architecture for the Provision of Intelligent Telemedicine Services in Diabetes Management. European Comission Project M2DM and Spanish Research Council.

De esta manera el proyecto ha sido ideado para incorporar servicios de telemedicina, enfatizando en la provisión de servicios de salud personal las 24 horas del día y ofreciendo nuevas alternativas por medio de las cuales los médicos, otros profesionales del cuidado de la salud y los pacientes puedan tener acceso a la información, gracias a la utilización como se puede observar en la Figura 2 de un Servidor de Multi-Acceso (MAS) el cual es definido dentro del sistema, basado en web y en servidores de telefonía integrados. Dicho servidor podrían integrar una gama de implementaciones técnicas permitiendo acceso a un más amplia gama de servicios; incluyendo: consulta de registros de pacientes, envío de texto y voz, impresión de reportes, administración de alarmas, etc., además el sistema podría también ofrecer la capacidad de administrar efectivamente el conocimiento necesario para el proceso complejo del cuidado de las enfermedades crónicas, proporcionando instrumentos tecnológicos apropiados e infraestructura [5].

Desde Enero del 2002, el sistema M2DM es instalado y ejecutado proporcionando servicios de telemedicina a los 4 hospitales de las tres ciudades que participan en la prueba clínica.

1.3 Sistema DIABTel

Los servicios de telemedicina implementados en el sistema DIABTel modifican el proceso del cuidado convencional de la diabetes para proporcionar un nuevo medio para la interacción paciente-doctor programando las visitas al hospital. Este sistema también mantiene a los médicos más informados de desviaciones en el control metabólico que requieren intervenciones terapéuticas o recomendaciones educacionales.

DIABTel es un sistema que proporciona información para la administración de pacientes y apoya para la toma de decisiones a través de cuatro servicios principales: telemonitoreo de los parámetros principales del cuidado de la diabetes (glucosa en la sangre, dieta, dosis de insulina, actividad física), telecuidado (consulta y supervisión), acceso remoto a la información y herramientas para la administración del conocimiento. En experiencias previas DIABTel fue efectivo, mejorando la integración paciente-doctor, visualización de los datos y confianza de los pacientes por la auto administración debido a la constante supervisión de los profesionales.

La asistencia inteligente (SA) por sus siglas en inglés, apoya a ambas estrategias de supervisión la personal y a control remoto por los profesionales del cuidado de la salud a través de un servidor central de telemedicina (TMCS). La transferencia de información puede ser activada por el paciente en cualquier momento a través de la unidad móvil del paciente, a un servicio general de paquetes vía radio (GPRS) basado en asistencia inteligente para apoyar a las estrategias personales y control remoto, supervisado por médicos a través del sistema de Telemedicina. La arquitectura de asistencia inteligente incluye funcionalidades para administrar datos como: registro electrónico, metodologías basadas en reglas del conocimiento, generación de asesoramiento para confiar en los simuladores de pacientes diabéticos, servicio de correo electrónico y visualización. La edición de las mediciones de glucosa en la sangre incluye tiempos específicos de medición e intervalos de tiempo entre las mediciones. Para monitorear los datos almacenados en el TMCS puede ser descargado a la base de datos del asistente inteligente a través del proceso de sincronización y viceversa. El escenario gráfico multiparamétrico, muestra una rápida revisión de los estados metabólicos de los pacientes,

proporcionando información de interés y apoyando en el proceso de toma de decisiones: variables tales como glucosa en la sangre, dieta y dosis de administración de insulina pueden ser visualizadas [6].

Los asistentes inteligentes también pueden permitir comunicación con diferentes dispositivos médicos como bombas de insulina y medidores de glucosa, para descargas automáticas.

1.4 Glooko

Glooko es un sistema compuesto de una aplicación web y una aplicación móvil, dicho sistema permite llevar el control de los medicamentos, la actividad física, datos biométricos e ingesta de alimentos, además de que es posible conectarlo con una serie de glucómetros y bombas de insulina.

Su funcionamiento es muy simple, la aplicación móvil permite como ya se mencionó sincronizarse con una serie de glucómetros y bombas los cuales a su vez son actualizados en la aplicación web, de esta manera el equipo encargado del cuidado de la salud del paciente puede observar el estado del mismo y con base a eso tomar las decisiones adecuadas. En dicha aplicación se cuenta con vistas gráficas las cuales dan una referencia de cómo ha sido el comportamiento del paciente con relación a sus niveles de glucosa e ingesta de insulina.

Sin embargo dicho sistema depende aún de medios invasivos para la toma de muestras de los niveles de glucosa, siendo este un punto importante a tomar en cuenta, por otro lado, tiene como ventaja que cuenta con la autorización de la Agencia de Alimentos y Medicamentos de los EEUU (FDA), lo cual le representa ventaja aún y que no sea un sistema gratuito, ya que a pesar de que existen una infinidad de aplicaciones que permiten llevar un control y monitoreo de la diabetes que se pueden encontrar de manera gratuita en las tiendas digitales, también es cierto que no se encuentran en su gran mayoría estandarizadas.

Capítulo 2. Cómputo Pervasivo y Cómputo Móvil

Los avances tecnológicos han dado un cambio completo en la forma de ver y utilizar las cosas, es decir, no era posible dar cierta orden a dispositivos como televisores, sistemas de audio, equipos de cómputo, entre otros dispositivos electrónicos, a menos que se contara con una interfaz para operarlo, tales como controles remotos, teclados, paneles de control, entre otros, sin embargo actualmente es posible dar órdenes con un simple movimiento de las manos o dedos e incluso mediante comandos de voz, esto sin mencionar que la mayoría de los dispositivos cuentan con algún medio de conexión a internet actualmente, permitiendo incluso ser activados a distancia sin necesidad de estar en la misma habitación o en la misma ciudad mediante un teléfono celular o un equipo de cómputo.

Inclusive existen sistemas de calefacción que se activan en automático a ciertos cambios de temperatura o sistemas de iluminación capaces de determinar el momento en el que deben ser activados, todas estas facilidades son gracias a dos grandes avances que si bien pueden ser tratados como independientes, también queda claro que se complementan uno al otro y son el cómputo pervasivo o ubicuo y el cómputo móvil.

2.1 Cómputo Móvil

El cómputo móvil, se ha vuelto un término familiar para la mayoría de las personas y no solo eso sino que además es ya un elemento indispensable de la vida cotidiana de cualquier persona, lo cual se puede observar en el uso de teléfonos inteligentes (smartphone), computadoras portátiles, PDA, cámara digital, relojes inteligentes, entre otros, de echo cualquier hardware que haga uso de la computación para realizar sus tareas y que además sean portátiles se puede considerar como parte del cómputo móvil.

De acuerdo a la AMIPCI [7], aunque las laptops y PC siguen siendo los principales dispositivos de conexión, es claro que los teléfonos inteligentes están teniendo un auge importante, tal y como se puede observar en la Figura 3:

Participación de Páginas Vistas (%) desde Diferentes Dispositivos

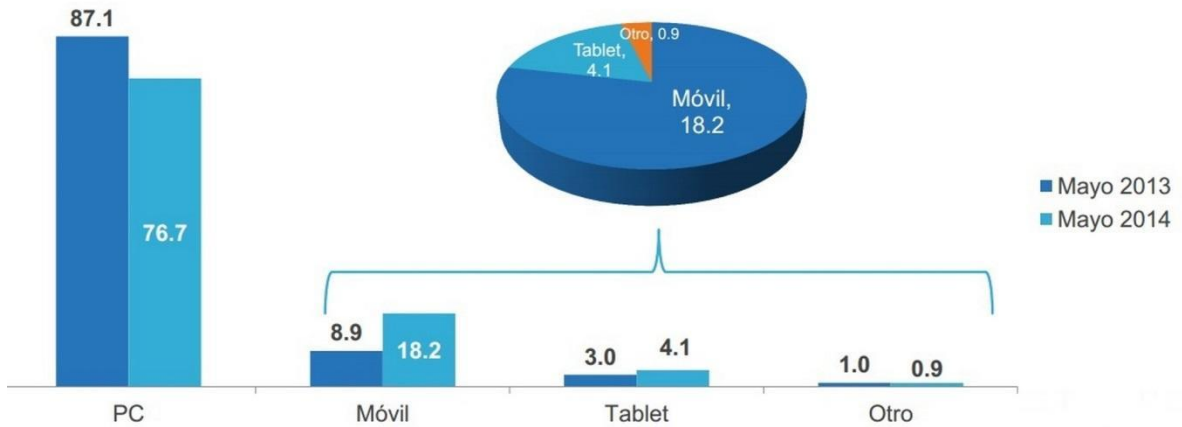


Figura 3: Participación de páginas visitadas desde diferentes dispositivos.

Fuente: AMIPCI. (2014). Dispositivos Móviles: Hábitos del Consumidor Mexicano. En: AMIPCI. Consultado el 3 de Noviembre de 2014. Disponible en https://amipci.org.mx/images/Ecommerce_Movil_en_Mexico_AMIPCI_EBW.pdf.

En la Figura 3, es posible observar una comparativa del crecimiento del uso de móviles con relación a los dos años anteriores, se debe de tener en cuenta que en dicha figura se toman de manera general el uso de dispositivos móviles, sin especificar uno en concreto, sin embargo en la siguiente imagen la Figura 4 [8], es posible notar que los teléfonos inteligentes se posicionan dentro de los tres primeros dispositivos más usados como medios de conexión, solo después de las laptops con un 58%:

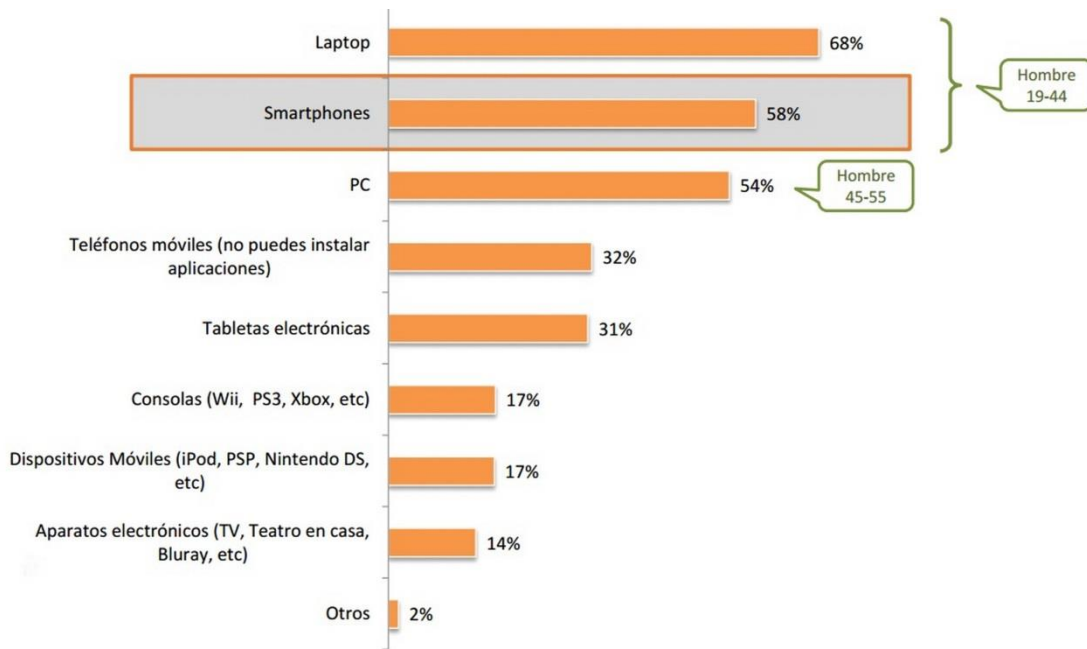


Figura 4: Dispositivo de conexión.

Fuente: AMIPCI. (2015). Estudio sobre los hábitos de los usuarios de internet en México 2015. En: AMIPCI. Consultado el 15 de Junio de 2015. Disponible en https://amipci.org.mx/images/AMIPCI_HABITOS_DEL_INTERNAUTA_MEXICANO_2015.pdf.

De esta manera el cómputo móvil se vuelve una herramienta de apoyo a la computación tradicional, principalmente en el contexto donde la movilidad es un factor fundamental, lo cual amplía un campo interesante de aplicación de dicho paradigma como puede ser el comercio electrónico, la Telemedicina, entre otros, además de que ha provocado un creciente interés en áreas de investigación como se menciona en [9], las cuales son el desarrollo de software, hardware, educación, interacción Humano-Computadora, comunicación, entre otras.

Todos estos avances han provocado que cada día utilizar un dispositivo portátil como los smartphone o computadoras portátiles, no sea un lujo del que se pueda presumir sino una herramienta necesaria e indispensable para poder desempeñar una tarea lo más eficiente posible y aunque es bien sabido que aún no es posible procesar grandes volúmenes de información como se podría realizar en una estación de trabajo fijo, también es cierto que gracias a este nuevo paradigma es posible automatizar procesos que anteriormente no se podía realizar debido a la ubicación y costo que

representaba trasladar equipos de cómputo costosos y delicados, sin embargo gracias a los importantes avances en otras ramas como lo es la electrónica y microelectrónica hacen que esto sea posible, ya que han logrado reducir los costos de fabricación de los dispositivos móviles permitiendo que un mayor número de personas sean capaces de adquirir dichas herramientas.

2.1.1 Aplicaciones móviles

Como ya se mencionó anteriormente, gracias a este paradigma es que surge con gran auge el desarrollo de aplicaciones móviles, las cuales representan un mercado interesante y prometedor debido a la gran cantidad de usuarios a los que esta tecnología es capaz de llegar, suponiendo con ello un sinnúmero de demanda por lo que podemos encontrar desde aplicaciones educativas, de entretenimiento, médicas, financieras, entre otras. Por lo que el campo de investigación y desarrollo se hace cada vez más extenso y variado.

Un punto importante a destacar de los dispositivos móviles es su cómodo traslado de un lugar a otro sin representar mayor problema, lo cual los vuelve una plataforma de desarrollo idónea en áreas tan críticas como es la medicina, ya que representan un medio de interacción médico-paciente muy eficiente dando como resultado una correcta administración de sus enfermedades, sobre todo aquellas consideradas como crónicas y que requieren una constante monitorización. De esta manera la implementación de tecnología en un campo tan importante como lo es la medicina también contribuiría a una mejoría considerable en la calidad del servicio prestado, ya que actualmente resulta realmente complejo llevar un seguimiento puntual de cada paciente debido a la disposición de tiempo del médico a cargo, la cantidad de pacientes y un factor a resaltar la distancia a la que se encuentran dichos pacientes del consultorio del doctor, lo cual da como resultado una limitada atención a gran parte de la población por un lado y por otro una inversión económica considerable por parte del país. De esta necesidad es que surge la problemática de buscar métodos alternativos capaces de poder brindar una mejor calidad y que además sea lo más equitativa posible, siendo una opción viable el uso de la “Telemedicina”, la cual como se menciona en [10], “Es el suministro de servicios de atención sanitaria, en cuanto a la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan a las tecnologías de la información y de la comunicación con objeto de intercambiar datos para hacer diagnóstico, preconizar tratamientos y prevenir enfermedades y heridas, así como para formación

permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y de evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven”.

Otro campo importante donde el cómputo móvil puede ayudar es en el de la educación, ya que actualmente la mayoría de los profesores como alumnos poseen dispositivos móviles con una gran capacidad de procesamiento y para los cuales existen un sinnúmero de aplicaciones capaces de apoyar en el proceso de enseñanza-aprendizaje, no solo en el ámbito de facilitar herramientas más eficientes como medio de acceso a un campo de información más amplio, al grado de contar con bibliotecas virtuales que pueden ser accedidas desde cualquier lugar con una conexión a internet, sino también la opción de realizar estudios a distancia, permitiendo con esto un mayor acceso de la población a la educación.

Lo mejor de todo esto es que no se supone un gran cambio en los actuales sistemas de educación, sino más bien como un medio para mejorarlos, ya que la mayoría de los estudiantes están acostumbrados al uso de la tecnología ya sea por el uso de un teléfono celular (smartphone), por el uso de consolas de videojuegos, laptops, tabletas electrónicas, entre otros, y no solo eso, sino que además como se menciona en [11], los estudiantes encuentran una mayor motivación al momento de aprender, mejorando con ello la actividad productiva y la calidad de sus trabajos.

Así se puede seguir citando muchas más aplicaciones en las que el cómputo móvil puede intervenir para mejorar o generar nuevos procesos, sin embargo, la educación y la medicina son campos tan extensos y generales en los que su aplicación se puede observar de forma más clara.

2.1.2 Seguridad en el cómputo móvil

Sin embargo aún existen varios problemas que representan un foco de atención, como lo es la seguridad de los datos, ya que a pesar de los diferentes protocolos de comunicación no es algo de lo que se encuentre totalmente libre, por el contrario, debido al incremento del uso de los dispositivos móviles como medios para realizar transacciones importantes para realizar compras o ventas electrónicas, provoca que sean blancos fáciles para atacar aunque muchas de las veces no depende de los mecanismos de seguridad incorporados sino de la manera en que estos son administrados, debido a que al hablar de cómputo móvil sin lugar a dudas está implícito el uso de ambientes inalámbricos lo cual aumenta el riesgo y la vulnerabilidad, por ejemplo, aunque existan protocolos para el intercambio

de información por la redes inalámbricas de forma segura, en un momento dado el usuario puede dar autorización a códigos maliciosos sin saberlo y poner en riesgo datos personales o bien de toda una organización, de echo simplemente por el tamaño del dispositivo puede ser perdido o robado y caer en manos de personas mal intencionadas las cuales pueden hacer uso de la información con fines delictivos. Por lo que se debe tener especial cuidado cuando la información a transferir o compartir es de suma importancia.

Por lo que no está por demás tomar ciertas medidas de seguridad, tales como colocar códigos de acceso a los dispositivos y administrar reglas de operación, de esta manera al realizar cierto número de intentos fallidos al momento de introducir la contraseña, en algunos dispositivos en automático se borran los datos garantizando en cierto sentido la integridad de los mismos. Así como también procurar mantener el sistema operativo lo más actualizado posible, ya que dichas actualizaciones contiene en la mayoría de las ocasiones mejoras a los mecanismo se seguridad, entre otras mejoras.

2.2 Cómputo Pervasivo

Como se menciona en [12], el cómputo pervasivo o también llamado cómputo ubicuo se le puede describir como un mundo en el cual virtualmente cada objeto tiene poder de procesamiento con conexión inalámbrica o cableada a una red global. De esta manera es posible encontrar en muchas partes sensores y actuadores que constantemente están interactuando con el entorno y cuya principal características es la invisibilidad.

Aprovechando el potencial del cómputo pervasivo que es capaz de crear un ambiente en el que la tecnología se integra como parte del mismo, en combinación con otros avances importantes como lo es el cómputo móvil, la realidad aumentada, redes inalámbricas, entre otros, es que su aplicación resulta viable en muchos aspectos, algunos de los más ambiciosos sin duda son las ciudades inteligentes o las casas inteligentes, las cuales son capaces de interactuar con los habitantes a fin de ofrecer mejores servicios y comodidad de manera natural sin que estas se percaten de que están inmersos en un ambiente pervasivo. Sin embargo como sucede en la mayoría de los casos, el cómputo pervasivo no se encuentra exento de problemas, tales como la seguridad, la infraestructura de las redes de comunicación, entre otros.

2.2.1 Aplicaciones de cómputo pervasivo

Actualmente se suele estar muy acostumbrados a ver las computadoras, teléfonos inteligentes (smartphone), tabletas electrónicas, entre otros, como dispositivos sobre los cuales es posible ejecutar aplicaciones en un ambiente virtual, sin embargo, como se menciona en [12] la visión del cómputo pervasivo va más allá y conduce a dos características fundamentales en cuanto a las aplicaciones pervasivas, las cuales son la movilidad y el conocimiento del contexto.

En cuanto a la movilidad se debe tener en cuenta que el mundo está constantemente cambiando y esto supone una necesidad importante de disponer de la mayor cantidad de información en todo momento, siendo en esta parte donde el cómputo móvil juega un papel preponderante dentro del cómputo pervasivo, sin embargo además de la movilidad necesaria para el cómputo pervasivo, también es necesario la interoperabilidad, escalabilidad y sobre todo la invisibilidad.

La interoperabilidad es necesaria ya que en un ambiente pervasivo no solo intervienen teléfonos celulares o computadoras como tales, sino además sensores encargados de medir temperaturas ambientales, niveles de iluminación, así como actuadores encargados de interpretar las señales y generar una determinada acción y que para poder aprovechar su potencial es necesario intercambiar información entre ellos permitiendo así ofrecer una mejor experiencia al usuario, por su parte la escalabilidad es un punto a tener en cuenta ya que debido a la variedad de dispositivos se requiere de un esfuerzo mayor al momento de realizar una mejora en las aplicaciones y finalmente la invisibilidad la cual es una parte crucial del cómputo pervasivo, ya que cuanto menos haya intervención de los usuarios se estará más próximo a esta propiedad y se podrá entonces hablar de un ambiente inteligente en el que el contexto del usuario responderá justo como él desea que reaccione sin necesidad de realizar una petición directa a dichas aplicaciones.

Por otro lado, el hecho de que se requiera una aplicación consciente al contexto, implica crear aplicaciones capaces de percibir y capturar el mundo que rodea al usuario y adaptar este comportamiento para proporcionar información y servicios que son útiles y relevantes en ese momento y lugar [13]. Con este paradigma se busca que el usuario deje de preocuparse por las herramientas para

realizar una determinada tarea y se concentre en la tarea misma, lo cual representa un reto significativo para el área de la interacción humano-computadora, ya que el mouse y teclado convencionales dejaron de ser los medios de entrada habituales, que de hecho es posible observar dicho fenómeno con la incorporación de pantallas táctiles y comando por voz o gestos, sin embargo, aún no es posible que las aplicaciones sean invisibles para los usuarios y aún requieren de intervención por parte del usuario para su funcionamiento.

Una complicación que se debe de tener en cuenta al momento de desarrollar aplicaciones pervasivas, es la diversidad de ambientes en los que dicha aplicación debe de ser ejecutada, en los cuales intervienen tanto el software como el hardware de los distintos dispositivos, otro punto a destacar al momento de desarrollar este tipo de aplicaciones y que además difiere del desarrollo de las aplicaciones convencionales es la constante conectividad a una red ya que es la idea central del cómputo pervasivo, y que es en base a las redes inalámbricas o cableadas que este paradigma cobra su mayor expresión.

2.2.2 Privacidad y seguridad

Debido a la intervención necesaria del cómputo móvil es normal que así como sus beneficios son también agregados sus problemas, sobre todos aquellos relacionados con la seguridad y privacidad del usuario, debido a que al estar en un ambiente inteligente los sistemas son capaces de tomar su información y compartirla con otros sistemas a fin de ofrecer un mejor servicio pero llevando como consecuencia una franca exposición al mundo exterior de información privada, por dicha razón en [14], se plantean las siguientes propuestas solución a dicho problema:

2.2.2.1 Notificación y consentimiento

En esta parte se plantea que el usuario tenga un control total de su información, es decir, que el sistema le deberá notificar que información y a quien dicha información será enviada, lo cual sin duda representa una complicación al usuario ya que el estar autorizando grandes cantidades de información siempre resulta tedioso y aburrido, aunque por otro lado garantiza su privacidad.

2.2.2.2 Proximidad y localidad

Por su parte este principio propone una solución alternativa a la propuesta anterior, es decir, en lugar de notificarle al usuario cada vez que se desea intercambiar su información se generan reglas de operación definidas de acuerdo al contexto en el que se encuentra y de esta manera compartir la información estrictamente necesaria en un determinado momento y lugar y con ello reducir el esfuerzo de tener que otorgar permisos en cada momento.

2.2.2.3 Anonimato y seudónimos

Debido a que muchas de las ocasiones será de vital importancia compartir información personal en algún ambiente determinado, resulta realmente idóneo ocultar la identidad verdadera del usuario, por lo que los sistemas podrían incorporar un cierto ID a un determinado individuo, permitiéndole así ser identificado hasta que este cambie su ID y de esta manera a diferencia de la notificación y consentimiento garantizar la seguridad de la información sin necesidad de otorgar permisos a cada momento. Sin embargo el hecho de ocultar la identidad también tiene sus desventajas desde el punto de vista de las aplicaciones, ya que muchas de estas necesitan autenticación para su funcionamiento o bien para realizar ciertos procesos de personalización.

Aprovechando las ventajas que aportan tanto el cómputo pervasivo como el cómputo móvil, se plantea realizar una aplicación capaz de combinar ambos paradigmas con la finalidad de apoyar al cuidado de la salud, sin embargo se debe tener en cuenta que dicha aplicación es una introducción al cómputo pervasivo ya que aún no es posible tener una conexión constante en la mayor parte del país e incluso del estado, razón por la cual la aplicación cuenta con la capacidad de llevar un registro local de la información resolviendo de cierta manera dicho problema evitando la pérdida de información.

Capítulo 3. Antecedentes de la Propuesta Solución

El actual desarrollo de aplicaciones móviles ha cobrado un auge importante, así como por desgracias el aumento de las enfermedades ENT como la diabetes, por dicha razón se busca aprovechar los avances tecnológicos para mejorar el control así como la administración de la diabetes. De esta manera se busca implementar una aplicación móvil capaz de tener interacción con una serie de sensores y herramientas electrónicas cuya fundamental tarea será monitorear los niveles de glucosa así como pulso cardiaco, posición física y geográfica del usuario, con lo cual se busca mejorar la calidad de vida del mismo, de esta manera se explota el cómputo móvil en cuanto a que se vuelve la principal plataforma sobre la cual se desarrolla dicha aplicación y el computo pervasivo en cuanto a la capacidad de lograr una integración de la aplicación con una serie de sensores externos pero que trabajan en conjunto intercambiando información en beneficio del usuario.

Sin embargo para poder cumplir los objetivos para los cuales se tiene pensada dicha aplicación se deben de tener en cuenta una serie de tecnologías cuyas características permitan un equilibrio entre el beneficio y el costo, ya que de poco sirve un sistema altamente benéfico si su costo representa una limitante para la mayoría de los usuarios o pacientes. De esta manera es que en este proyecto se busca combinar los diferentes recursos libres, ya sea tanto en software como en hardware a fin de desarrollar una solución funcional y al mismo tiempo económicamente accesible, de tal manera que el costo no represente un problema mayor y por lo tanto se pueda llegar a una cantidad importante de usuarios.

Es en este sentido que se ha optado por herramientas tales como las tarjetas de desarrollo arduino, las cuales representan una herramienta de electrónica libre para el desarrollo de prototipos y el sistema operativo android principalmente, el cual por su parte representa un proyecto de software libre para el desarrollo de aplicaciones móviles y cuya combinación con una serie de sensores como los sistemas de localización global (GPS), acelerómetros, glucómetros, GSR, SPO2, entre otros, dan como resultados sistemas de bajo costo y sobre todo sistemas funcionales y eficientes.

3.1 Arduino

En un mundo tan dinámico y tecnológico resulta de vital importancia desarrollar tecnología eficiente, barata y que permita la capacidad de interactuar con nuestro medio ambiente, dichas características son las que nos proporcionan las tarjetas Arduino. Arduino es una tarjeta de desarrollo de código abierto (open source), usada para prototipos electrónicos, dichas tarjetas pueden recibir datos de sensores usados para coleccionar información del entorno y controlar otro tipo de componentes eléctricos como luces, motores, relevadores, entre otros. Existen gran variedad de tarjetas de desarrollo Arduino, como la UNO, MEGA ADK, LEONARDO, entre otras, sin embargo aunque existen diferencias entre ellas, todas mantienen componentes comunes e importantes, tales como las que se describen en [15]:

1. Conector USB
2. Conector poder
3. Switch de poder automático
4. Pines digitales
5. Pines Analógicos
6. Pines de poder
7. Switch de reset

El conector USB (1), es usado para conectar la tarjeta Arduino a la computadora. Mientras la tarjeta se encuentra conectada, puede ser alimentada con el cable USB, se puede cargar código y se puede comunicar de y hacia la tarjeta.

El conector de poder (2), es usado cuando no se desea alimentar la tarjeta con el cable USB. En su lugar se puede usar un transformador (adaptador de poder) en el rango de 6V a 24V.

En el caso del switch de poder automático (3), es un jumper que permite determinar el tipo de alimentación que se le proporcionara a la tarjeta, es decir, por USB o con un conector de poder diferente, en las versiones anteriores a la versión “Duemilanove”, se necesitaba seleccionar manualmente el tipo de alimentación, sin embargo en las versiones superiores a la “Duemilanove” la tarjeta automáticamente selecciona la fuente de poder.

Los pines digitales (4), pueden ser usados como salidas o entradas dependiendo de cómo se requieran en la aplicación.

Los pines análogos (5), trabajan como entradas aunque también pueden funcionar como salidas, lo cual requiere de ciertos conocimientos sobre la tarjeta.

Al lado izquierdo de los pines análogos se encuentran los pines de poder (6), de estos se puede obtener de 3.3V a 5V. El pin nombrado como “vin” proporciona el voltaje que está recibiendo la tarjeta como alimentación, es decir, que si tiene 5V los mismos 5V se podrán obtener de este pin. Además también se tienen 2 pines de GND.

El switch de reset (7), es usado para resetear cualquier programa que se encuentra en la tarjeta, de tal manera que inicie nuevamente.

Hasta este punto se tiene una reseña en cuanto a hardware se refiere, sin embargo para poder explotar dicha tecnología se requiere contar con un entorno para poder escribir el código encargado de caracterizar los voltajes recibidos en la tarjeta provenientes de distintos elementos electrónicos conectados a la misma. Para ellos se cuenta con el software llamado “Arduino IDE”, el cual se encuentra basado en otro lenguaje de programación de código abierto llamado “Processing” [15], usado para programar imágenes, animaciones e interacciones de computadoras, de hecho el entorno el Arduino IDE se ve similar al IDE de Processing.

De esta manera se pueden desarrollar aplicaciones tan complejas como el usuario lo desee, ya que además se pueden agregar componentes de forma sencilla a la tarjeta gracias a los “Shields”, los cuales son también placas que se colocan encima de la placa Arduino y que amplían una nueva función, para controlar como ya se mencionó los diferentes dispositivos, adquirir datos, conectarse a otras tarjetas, entre otras funcionalidades, algunos ejemplos de estos son:

1. **Shield Xbee:** Este Shield permite conectar inalámbricamente varios Arduinos a distancia de 100 pies (30.49m) en edificios y 300 pies (92.44m) usando el módulo Maxstream Xbee Zigbee.
2. **Shield Motores:** Este Shield permite a Arduino controlar motores eléctricos de corriente continua servos y motores paso a paso y leer encoders.

3. **Shield Ethernet:** Este shield permite a una tarjeta Arduino conectarse a una red Ethernet y tener acceso a y desde internet.
4. **Shield E-Health:** Este shield tiene la capacidad de interactuar con una serie de sensores especializados en el monitoreo del cuerpo humano, como glucómetros, acelerómetros, GSR, SPO2, electrocardiogramas, entre otros y representa por lo mismo un elemento indispensable en el diseño que aquí se plantea.

3.1.1 Comunicación Serial

Con gran frecuencia es necesario establecer algún tipo de comunicación con dispositivos de alguna manera ajenos a las tarjetas Arduino, ejemplo de ellos son los dispositivos móviles o computadoras, por esta razón se hace necesario el uso de la comunicación serial y aunque puede sonar un poco atrasado este tipo de comunicación, no cabe duda que sigue siendo la forma más preferida para comunicar dispositivos de hardware.

Dicha comunicación se lleva a cabo a través de los pines digitales 0(RX) y 1(TX) [16], así como con el ordenador mediante USB, por lo tanto si se utilizan estas funciones, los pines 0 y 1 no se podrán utilizar como entradas o salidas digitales.

En el caso de la tarjeta Arduino Mega tiene tres puertos seriales, el Serial1 en los pines 19(RX) y 18(TX), Serial2 en los pines 17(RX) y 16(TX), Serial3 en los pines 15(RX) y 14(TX).

Para poder establecer una comunicación correcta Arduino nos proporciona algunas funciones útiles y cuya documentación se puede consultar en [16]:

1. **Serial.begin():** Establece la velocidad de datos en bits por segundo (baudios) para la transmisión de los datos en serie. Para comunicarse con la computadora, se recomienda usar una de las siguientes velocidades: 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 o 115200. Sin embargo se pueden especificar otras velocidades.
2. **Serial.end():** Desactiva la comunicación serie, permitiendo a los pines RX y TX ser usados como entradas o salidas digitales.

3. **Serial.available():** Devuelve el número de bytes (caracteres) disponibles para ser leídos por el puerto serie. Se refiere a datos ya recibidos y disponibles en el búfer de recepción del puerto (que tiene una capacidad de 128 bytes).
4. **Serial.read():** Lee los datos entrantes del puerto serie.
5. **Serial.flush():** Vacía el búfer de entrada de datos en serie. Es decir, cualquier llamada a Serial.read() o Serial.available() devolverá sólo los datos recibidos después la llamada a más reciente a Serial.flush().
6. **Serial.print():** Imprime los datos del puerto serie como texto ASCII. Este comando puede tomar muchas formas. Los números son impresos mediante un juego de caracteres ASCII para cada dígito. Los valores de tipo “float” son impresos en forma de dígitos ASCII con dos decimales por defecto. Los valores tipo “byte” se envían como un único carácter. Los caracteres y las cadenas se envían tal cual. Un segundo parámetro opcional especifica la base (formato) a usar; los valores permitidos son BYTE, BIN, OCT, DEC, HEX. Para números de coma flotante, este parámetro especifica el número de posiciones decimales a usar.
7. **Serial.println():** Imprime los datos al puerto serie como texto ASCII seguido de un retorno de carro (ASCII 13 o ‘\r’) y un carácter de avance de línea (ASCII 10 o ‘\n’). Tiene la misma forma que Serial.print().
8. **Serial.write():** Escribe datos binarios en el puerto serie. Estos datos se envían como un byte o una serie de bytes, para enviar los caracteres que representan los dígitos de un número usar función print() en su lugar.

3.2 GSR (Galvanic Skin Response)

Debido a la necesidad de buscar alternativas a los métodos invasivos para la toma de muestras médicas, es que surgen sensores como el GSR (Galvanic Skin Response), el cual es capaz de obtener la conductividad eléctrica de la piel, la cual como se menciona en [17], puede variar debido a diferentes fenómenos y no refleja un proceso psicológico simple, de ahí que se requiere un método capaz de proporcionar una aproximación para poder ser utilizado en la detección de los niveles de glucosa y cuyo método aquí ocupado es el propuesto en [2], el cual consiste en una relación

matemática a partir de los datos obtenidos del sensor, como son conductancia y resistencia, de esta manera dicha relación está dada por la siguiente ecuación:

$$(1) f(x) = (x * 100)^2$$

Dónde:

- $f(x)$: valores de resistencia obtenidos a partir del sensor GSR
- x : valores de glucosa medidos en mmol/l

Por lo que al realizar los despejes pertinentes de (1), obtenemos la siguiente ecuación:

$$(2) x = \frac{\sqrt{f(x)}}{100}$$

De ahí que al obtener el valor de x y basándose en la Tabla 1, es posible obtener los niveles de glucosa en mg/ml:

Tabla 1: Equivalencia entre valores mg/ml y mmol/l

Glucosa en mg/dl	Glucosa en mmol/l		Glucosa en mmol/l	Glucosa en mg/dl
35	2		2	35
40	2,2		2,5	45
45	2,5		3	54
50	2,8		3,5	63
55	3,1		4	72
60	3,4		4,5	81
65	3,6		5	90
70	3,9		5,5	99
75	4,2		6	108

80	4,5		6,5	117
85	4,8		7	126
90	5		7,5	135
95	5,3		8	144
100	5,6		8,5	153
110	6,2		9	162
120	6,7		9,5	171
130	7,2		10	180
140	7,8		10,5	189
150	8,4		11	198
160	8,9		11,5	207
170	9,5		12	216
180	10,1		12,5	225
190	10,6		13	234
200	11,2		13,5	243
220	12,3		14	252
240	13,4		14,5	261
260	14,6		15	270
280	15,7		15,5	279
300	16,8		16	288
320	17,9		17	306
340	19		18	324
360	20,2		19	342
380	21,3		20	360
400	22,4		21	378

420	23,5		22	396
440	24,6		23	414
460	25,8		24	432
480	26,8		25	450
500	28		30	540
600	33,6		35	630
800	44,8		40	720
1.000	56		50	900

De tal manera que el sistema aquí propuesto no tendrá la necesidad de realizar conexión con glucómetros invasivos, aunque no se aleja de ello, es decir, si se requiere es posible ajustar el sistema sin mayor complejidad para poder establecer conexión con glucómetros de ese tipo.

3.3 GPS

La implementación del programa NAVSTAR, GPS (Navigation System Timing And Ranging, Global Positioning System) fue efectivamente iniciada en diciembre de 1973. El 22 de febrero de 1978 fue lanzado el primer satélite de una serie de cuatro. La responsabilidad del desarrollo y mantenimiento del sistema recae en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, División Sistema Espacial. Esta dependencia se debía a que el sistema fue concebido, igual que Transit, para uso militar. GPS es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial, los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día [18].

Con la finalidad de contar con un servicio de GPS disponible en cualquier lugar se han propuesto dos servicios [19], los cuales son:

Standard Position Service (SPS): Este servicio se encuentra disponible para todos los usuarios de forma continua y en todo el mundo.

Precise Positioning Service (PPS): Este servicio se encuentra restringido a las fuerzas armadas de U. S. y algunas organizaciones y agencias militares aliadas.

Por otro lado, como se menciona en [18], la operatividad del sistema no implica un compromiso legal del gobierno de los Estados Unidos. Por lo tanto la agencia Cartográfica del Departamento de Defensa, NIMA (National Imagery and Mapping Agency) puede modificar sin previo aviso su funcionamiento alterando, por ejemplo, el denominado mensaje de navegación (en el que está incluida información esencial para el cálculo como son las coordenadas de los satélites), limitando el accesos a uno o más componentes de la señal, alterando el estado de los relojes, degradando la precisión de las orbitas, entre otras.

El sistema GPS está constituido por tres segmentos fundamentales [20]:

- Espacial
- De control
- Del usuario

3.3.1 Segmento Espacial

Este segmento hace referencia a los satélites GPS y a cuya disposición se le conoce como constelación, la cual está compuesta por 24 satélites útiles.

Las orbitas de los satélites fueron seleccionadas de tal manera que cada satélite repita la misma trayectoria sobre cualquier punto de la tierra aproximadamente un vez cada 24 horas. Existen alrededor de 6 orbitas planas con al menos 4 satélites cada orbita. Cada una de estas orbitas se encuentra espaciadas una de otra a 60° y alrededor de 55° de inclinación del ecuador. De esta manera se garantiza que los usuarios podrán tener disponibles entre 5 y 8 satélites visibles en cualquier lugar de la tierra y a cualquier momento.

Por otro lado dichos satélites se encuentran a unos 20,200 Km sobre la superficie de la tierra y viajan a una velocidad aproximada de 12,000 km/hora. Cada uno de ellos es alimentado por una batería solar recargable, además de contar con radio transmisores y receptores, uno o más relojes atómicos, antenas especiales y por supuesto equipo de cómputo.

Sin embargo como se menciona en [18], debido a que la vida útil de un satélite llega a término por envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no reversibles en los sistemas electrónicos o agotamiento del combustible de maniobra, se planifico su reemplazo en bloques.

Los primeros satélites puestos en órbita fueron los integrantes del denominado **Bloque I**. Fueron lanzados desde la base Vandenberg, ubicada en el estado de California. El total de satélites puestos en órbita fue 11 entre los años 1978 y 1985, utilizándose para ello cohetes Atlas-F.

Los satélites del **Bloque I** fueron sustituidos progresivamente por los denominados del **Bloque II**, y cuyo primer satélite de este grupo fue lanzado en el año de 1989, desde el Centro Espacial Kennedy en Cabo Cañaveral, Florida. Cabe mencionar que la constelación se completó hasta el 8 de diciembre de 1993 y se declaró entonces el sistema en plena capacidad operativa, sin embargo, dichos satélites se van reemplazando debido a razones que afecten su desempeño como ya se mencionó anteriormente.

Sin embargo, en Junio del 2011 la Fuerza Aérea completo exitosamente una expansión de la constelación del GPS conocida como configuración “Expandable 24”. Dicha expansión permitió una mayor cobertura a nivel mundial, en la Figura 5 se observa la distribución de la constelación [21]:

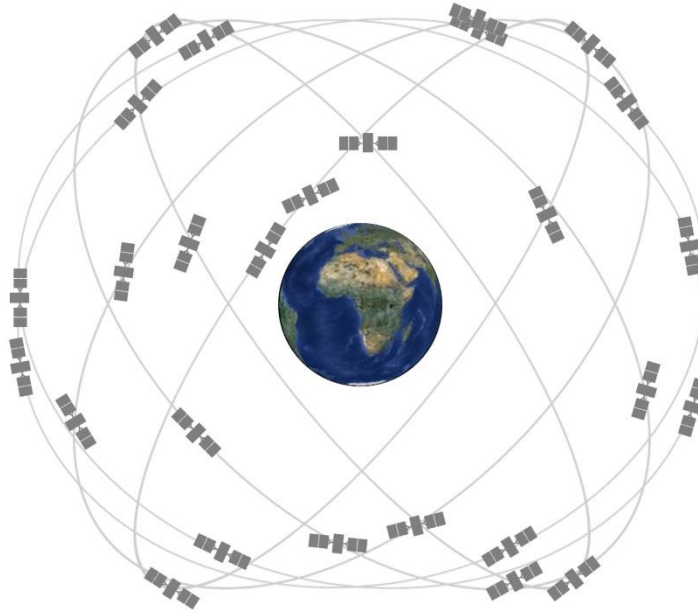


Figura 5: Constelación "Expandable 24".

Fuente: Gobierno de U.S. (2015). Space Segment. En: GPS. Consultado el 16 de Junio de 2015. Disponible en <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>.

3.3.2 Segmento de control

Las funciones principales del segmento de control, denominado internacionalmente con las siglas OCS (Operational Control Segment) [18] son:

- Monitoreo y control permanente de los satélites con el objeto de determinar y predecir las órbitas y los relojes a bordo.
- Sincronización de los relojes de los satélites con el tiempo GPS.
- Trasmisión, a cada satélite, de la información procesada.

Actualmente dicho segmento cuenta con una estación de control maestra, una estación de control maestra alternativa, 12 antenas de control y comandos y 16 sitios de monitoreo, tal cual se muestra en la Figura 6 [22]:

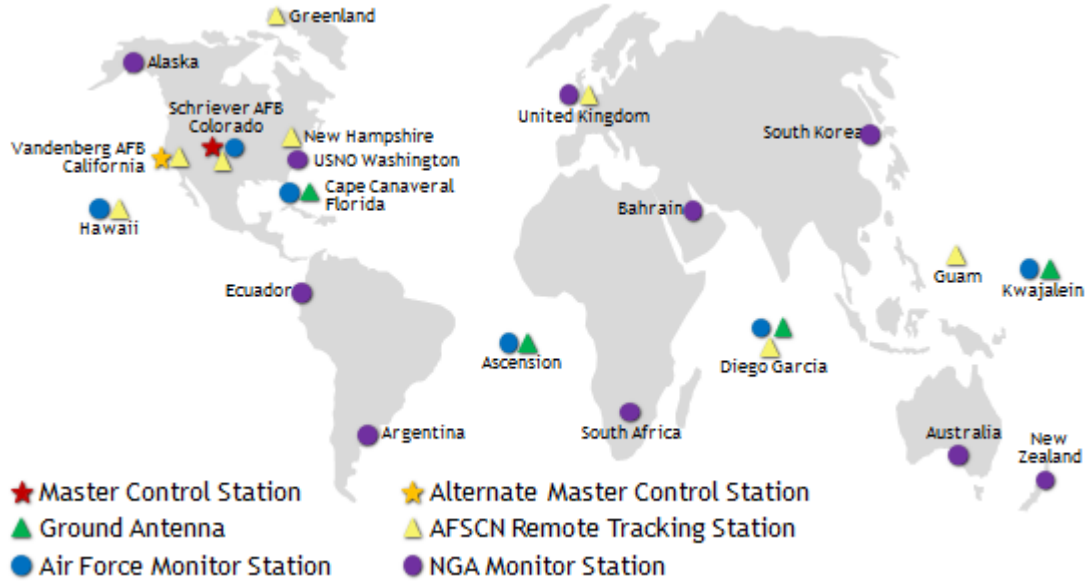


Figura 6: Distribución de las estaciones de control.
Fuente: Gobierno de U.S. (2015). Control Segment. En: GPS. Consultado el 16 de Junio de 2015. Disponible en <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>.

3.3.3 Segmento usuario

El segmento de usuario está constituido por todos los usuarios de las señales GPS. Esto incluye usuarios militares y civiles. Se debe de tener en cuenta que los receptores no envían información a los satélites de regreso, ya que los satélites envían de manera ciega lo cual permite que un número infinito de usuarios tengan acceso a la información sin tener interferencia entre ellos [20].

Dicho segmento a diferencia del segmento de control o espacial, no es mantenido por el gobierno de U.S. sino por las compañías comerciales que se encargan de la fabricación de los receptores de señales GPS. Además se encuentra constituido como se menciona en [18], por los instrumentos utilizados para obtener y procesar la señal emitida por los satélites. Estos instrumentos están integrados esencialmente por una *antena* y un *receptor*. Un equipo complementario es usado, en ocasiones, para transferir datos entre receptores.

La antena está conectada por cable al receptor o en otros casos forman una sola unidad. Las coordenadas que se calculan corresponden al centro radioeléctrico de la antena.

El receptor consta de un mínimo de 4 canales (generalmente 10 o 12) que permiten obtener y procesar simultáneamente la señal de cada satélite.

Posee además un oscilador de cuarzo que permite generar la frecuencia de referencia para realizar la observación. Un microprocesador interno con el software correspondiente calcula las coordenadas de la antena, la velocidad y acimut si el aparato está en movimiento. Posee además una memoria para almacenar observaciones. La capacidad de esta memoria varía de acuerdo al tipo de receptor, pudiendo llegar a almacenar información durante varias decenas de horas.

Todo equipo adiciona una unidad de alimentación eléctrica que deberá brindar al receptor la autonomía necesaria. Los equipos están en constante desarrollo y su evolución es comparable a la experimentada en informática durante las últimas décadas para los ordenadores personales.

De esta manera el dispositivo con el que se encuentra el equipo actualmente trabajando corresponde al segmento de usuario, el cual además está preparado para poder ser usado con las tarjetas de desarrollo Arduino. Dicho modulo nos permite obtener la latitud, longitud, fecha y hora en UTC (Universal Time Coordinated), el módulo Vincotech A1080-B usa el estándar NMEA [23] para transmitir dichos datos y se puede observar en la Figura 7.

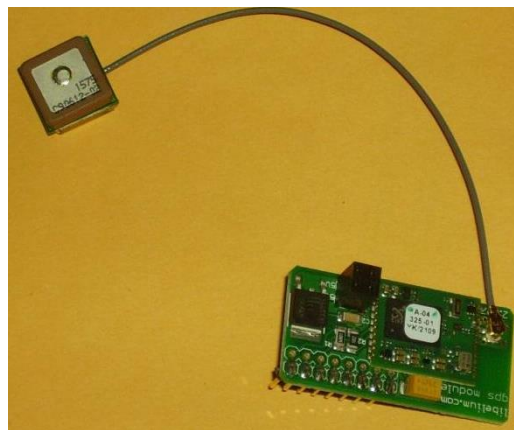


Figura 7: Modulo GPS

Con dicho estándar es fácil identificar los datos enviados por los satélites, los cuales pueden ser de la siguiente forma:

- **GGA:** Posicionamiento global de datos fijos del sistema
- **GSA:** GPS DOP (Calidad de la señal) y satélites activos
- **GSV:** Información de cada satélite
- **RMC:** Hora, fecha, posición, dirección y velocidad.
- **VTG:** Velocidad respecto al suelo

La manera de interpretar la información recibida se puede observar de la siguiente manera, como ejemplo utilizaremos un dato capturado por el módulo GPS en cuestión, es decir, Vincotech A1080-B y con respecto al posicionamiento global de datos fijos del sistema (GGA).

De esta manera de acuerdo al estándar NMEA [23], se tiene que la trama de datos recibida viene separada por comas de la siguiente manera:

GPGGA, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14*

Dónde:

1. Hora UTC.
2. Latitud en formato: ggmm.ssss
3. Orientación en latitud N (norte) o S (sur)
4. Longitud en formato: gggmm.ssss
5. Orientación en longitud E (este) o W (oeste)
6. Indicación de calidad GPS: 0=nula o 1=GPS fija
7. Número de satélites visibles por el receptor: nn
8. Dilución horizontal de posición: xx.x
9. Altitud de la antena por encima / por debajo del nivel del mar (geoidal): xxxxx.x
10. Unidades de altitud M (metro)
11. Separación geoidal: xxx.x
12. Unidades de separación M (metros)
13. Tiempo en segundos desde la última actualización
14. ID de referencia de la estación
15. Checksum : *xx

Por lo que de acuerdo a esta información es posible entender los datos como se muestran en la Figura 8.

```
GPGGA,010313.000,1830.9461,N,09757.6050,W,1,07,1.2,1814.4,M,-9.1,M,,0000*
```

Figura 8: Ejemplo de trama GGA recibida por el GPS

Con dicho módulo se puede obtener la información que se desee, aunque la mayoría de las veces la información más relevante la contienen los datos correspondientes a GGA y RMC, las cuales muestran un panorama general y en caso de que se deseen datos específicos se puede disponer del resto de la información.

3.4 Acelerómetro

Actualmente la tecnología disponible en los dispositivos móviles facilita la opciones de desarrollo, tal es el caso del acelerómetro, el cual como se menciona en [24], es un dispositivo electromecánico que mide las fuerzas de aceleración, estos se encuentran a escalas de décimas de micrones con niveles de sensibilidad y error muy pequeños, utilizando como unidad de medida la gravedad (g's).

Los acelerómetros son sensores inerciales que miden la segunda derivada de la posición. Un acelerómetro mide la fuerza de inercia generada cuando una masa es afectada por un cambio de velocidad. Las técnicas convencionales para detectar y medir la aceleración se fundamenta en el primer principio descubierto por Newton y descritos en su Principio de Newton en 1687. La aceleración constante de una masa implica una fuerza $F = m * a$, donde F es la fuerza, a es la aceleración y m es la masa [25].

Muchos acelerómetros operan detectando la fuerza ejercida en una masa por una imitación elástica. Considerando un sistema mecánico simple, que consiste en una masa fija m , con un muelle con una rigidez k (constante). Si la masa se desplaza una distancia x , la aceleración debida a la fuerza restauradora del muelle es $F = k * x$. Substituyendo en la ecuación de Newton, encontramos que $a = k * x / m$ y podemos derivar la magnitud de la aceleración observando el desplazamiento x de la masa

fija. Este principio fundamental se utiliza hasta en el más sofisticado y caro acelerómetro electromecánico; así también trabajan los modernos acelerómetros micro-mecanizados. La aceleración es el cambio de la velocidad [25].

La medida de la aceleración es muy utilizada últimamente gracias a las excelentes prestaciones de los sensores desarrollados para ser aplicados en sistemas de seguridad en automoción como en el caso de airbag, robótica, electrónica de consumo entre muchas otras aplicaciones.

Otras variables que llevan implícita la medida de la aceleración son los sensores de impacto que se caracterizan por la detección de fuertes aceleraciones en cortos periodos de tiempo como en el caso de los sensores de choque que disparan los airbag.

De acuerdo a [25], se tienen los siguientes tipos de acelerómetros:

- Acelerómetro capacitivo
- Acelerómetros mecánicos
- Acelerómetro piezoeléctrico
- Acelerómetros piezoresistivos
- Acelerómetro térmico

3.4.1 Acelerómetro capacitivo

En esta ocasión se ha optado por un acelerómetro capacitivo debido a sus características las cuales como se menciona en [25], Su integración en silicio permite reducir los problemas derivados de la temperatura, humedad, capacidades parasitas, terminales, alta impedancia de entrada, entre otras.

Cuando se observa el sensor micro mecanizado parece una “H”. Los delgados y largos brazos de la “H” están fijos al sustrato. Los otros elementos están libres para moverse, lo forman una serie de filamentos finos, con una masa central, cada uno actúa como una placa de condensador variable, de placas paralelo.

La aceleración o desaceleración en el eje “SENSOR”, ejerce una fuerza a la masa central. Al moverse libremente, la masa desplaza las minúsculas placas del condensador, provocando un cambio de capacidad. Este cambio de capacidad es detectado y procesado para obtener un voltaje de salida.

3.5 Android

En el campo de los sistemas operativos disponibles para los dispositivos móviles, android representa una de las opciones más viables, debido a las características con las que cuenta, tales como la administración de memoria y procesos, así como por los servicios a los que se puede tener acceso, como telefonía, video, gráficos, entre otras.

La plataforma android, como se menciona en [26] abarca la idea del cómputo de propósito general dado que para su desarrollo se utiliza el lenguaje Java, es decir, la capacidad de poder utilizar un framework de desarrollo con todas las funcionalidades de uno de escritorio. Para ello google presenta el llamado android SDK (Software Development Kit), el cual permite crear aplicaciones móviles dando una sensación de que se está desarrollando para una computadora de escritorio o servidor, debido a que se tiene acceso a una gran mayoría de las clases utilizadas en la programación de aplicaciones de escritorio, sin embargo, algo que se debe tener en cuenta es que cualquier programa escrito en Java requiere de una máquina virtual capaz de ejecutar el código Java, pero también es bien sabido que en los dispositivos móviles se tienen ciertas limitaciones, tales como memoria, velocidad de procesador, etc. [26], por lo que en respuesta a esa situación se cuenta con la máquina virtual llamada “Dalvik” y más recientemente “ART”.

Un punto importante a tomar en cuenta es la preferencia por parte de los usuarios hacia dicho sistema operativo, colocándolo como uno de los más populares a nivel mundial gracias a sus variadas características, entre las cuales se encuentran que está basado en un sistema operativo como lo es Linux, lo cual lo vuelve un sistema bajo la filosofía de software libre, se puede codificar en diferentes lenguajes de programación como Java, JavaScript o C#, permitiendo que una mayor cantidad de desarrolladores puedan realizar sus implementaciones en dicho sistema; razón por la cual como se puede observar en la Figura 9 [27], dicho sistema se encuentra entre los más utilizados para teléfonos inteligentes (smartphone), tabletas electrónicas e inclusive actualmente se puede encontrar en Smart-TV y automóviles.

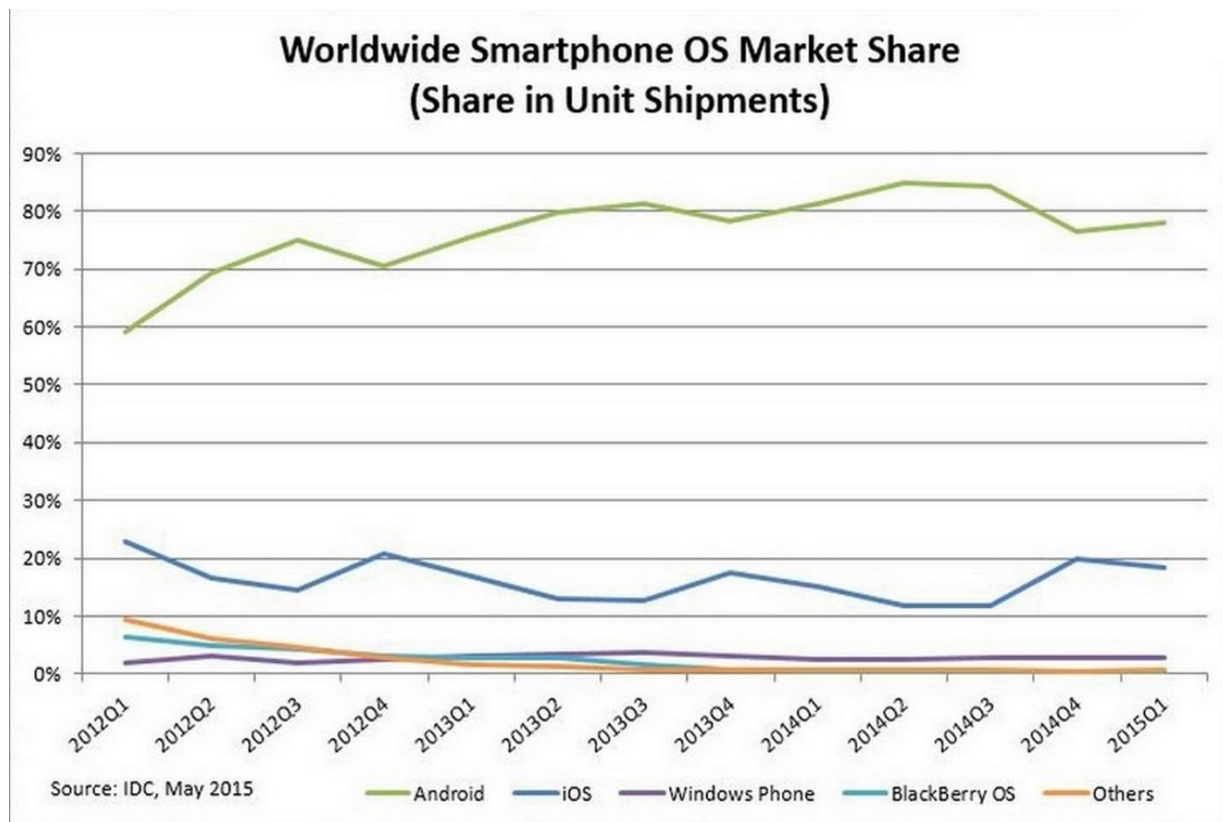


Figura 9: Participación en el mercado de los SO para smartphone en el mundo.

Fuente: IDC Analyze the Future. (2015). Smartphone OS Market Share, Q1 2015. En: IDC Analyze the Future. Consultado el 30 de Mayo de 2015. Disponible en <http://www.idc.com/proserv/smartphone-os-market-share.jsp>

Se puede observar en dicha Figura (Figura 9), que el sistema operativo android se encuentra por encima de sistemas operativos importantes como IOS, BlackBerry OS o Windows Phone, e inclusive se puede observar que se ha mantenido desde el primer cuarto del 2012 hasta el primer cuarto del 2015, representando esto una opción viable para desarrollar.

Para otro lado para poder desarrollar una aplicación en esta plataforma se vuelve necesario como en cualquier otro ambiente, entender los distintos elementos con los que se cuenta, en este caso se tiene las siguientes [26]:

- **View**
- **Activity**

- **Intent**
- **Content Provider**
- **Service**
- **AndroidManifest.xml**

3.5.1 Content Provider

Como es bien sabido el compartir datos entre las aplicaciones móviles de los dispositivos es de lo más común, por ello es que android define un mecanismo estándar para que las aplicaciones sean capaces de compartir datos sin exponer el almacenamiento, estructura e implementación y cuya solución la representan los content provider.

Así los content provider pueden ser considerados como una envoltura alrededor de los datos, por ejemplo una base de datos SQLite en un dispositivo android representa una fuente de datos que puede ser encapsulada dentro de un content provider, de esta manera para poder regresar o guardar datos de un content provider, se vuelve necesario utilizar un REST (REpresentational State Transfer) como son las URLs, las cuales pueden ser utilizadas por las aplicaciones dentro del dispositivo para acceder y manipular los datos, razón por la cual se vuelven un mecanismo importante para intercambio de información [26].

Para tener en cuenta android cuenta con una serie de content providers ya definidos como son los registros de llamadas, buscadores, contactos, entre otros, los cuales a final de cuentas son bases de datos SQLite encapsuladas.

3.5.2 Intents

Aunque un intent puede ser entendido fácilmente como un elemento que permite invocar componentes, los cuales pueden ser servicios content provider, también puede ser utilizado para invocar aplicaciones externas a la aplicación.

Un intent está compuesto por acciones, datos, mapas de clave/valor de datos de elementos extras y un nombre de clase explícito. En cuanto a la porción de datos, un intent no es realmente un dato sino un apuntador a dichos datos representado por una URL, la cual puede contener argumentos

que pueden ser inferidos como datos tal cual como sucede en las URL de los sitios web, en lo que respecta a la información extra, se encuentra compuesto por un conjunto clave/valor, donde la clave inicia típicamente con el nombre del paquete y el valor puede ser cualquier tipo de datos fundamental o un objeto arbitrario siempre y cuando este implemente la interface *android.os.Parcelable* [26].

3.5.3 Activity

Una activity es una interfaz de usuario. Usualmente representa una simple pantalla en la aplicación, esta generalmente contiene una o más vistas, pero no solo eso sino que además permite a los usuarios realizar una serie de acciones tales como visualización de datos, creación de datos o edición de datos.

Android realiza llamadas a una serie de métodos durante el ciclo de vida de un activity, resulta de vital importancia entender cuando cada uno de los métodos es invocado por el sistema para asegurar una implementación estable, para ello se puede observar la Figura 10 [26]:

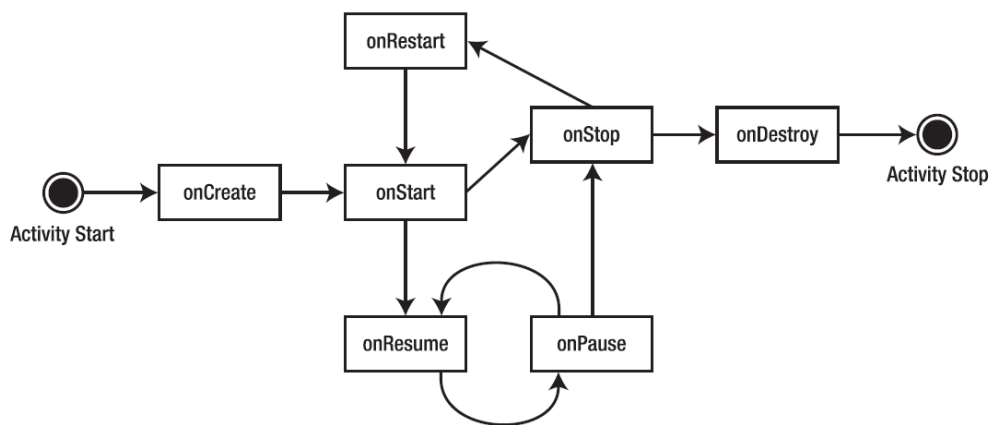


Figura 10: Diagrama de transición de estados de un activity.

Fuente: Komatineni, S.; MacLean, D.; Hashimi, S.Y. (2011). *Pro Android 3*. New York. Apress.

En dicha imagen (Figura 10) se puede observar que android llama el método *onCreate()*, cuando la activity es recién creada, dicho método es siempre seguido por la llamada al método *onStart()*, pero este no siempre es precedido por la llamada a un método *onCreate()*, ya que puede ser llamado si la aplicación fue detenida. Cuando el método *onStart()* es llamado, la aplicación no es visible al usuario, pero está a punto de serlo, ya que el método *onResume()* es llamado inmediatamente

después del método *onStart()*, provocando que el activity se encuentre en primer plano y accesible para el usuario por lo que es hasta este punto cuando el usuario puede interactuar con el activity. En caso de que el usuario salga de la del activity en el que se encuentra, el sistema de forma automática llama el método *onPause()* y a partir de este se queda en espera de la llamada al método *onResume()* o del método *onStop()*

3.5.4 Views

Las vistas son los elementos básicos de las interfaces de usuario, estas pueden ser botones, etiquetas, campos de texto, entre otros. Las vistas son también usadas para contener otras vistas, lo cual representa una jerarquía de vistas.

3.5.5 Service

Como en cualquier otro sistema operativo, Windows, Linux, Mac OS, etc., el sistema operativo android también cuenta con procesos conocidos como servicios, los cuales se encuentran en ejecución en lo que se conoce como segundo plano, es decir, que se encuentran ejecución sin que el usuario lo note durante largos periodos de tiempo. En android se cuenta con dos tipos de servicios, locales y remotos. En el caso de los servicios locales, son aquellos que pueden ser utilizados por la aplicación que lo aloja, en caso contrario los servicios remotos pueden ser accedidos por otras aplicaciones que se encuentran en ejecución en el dispositivo.

3.5.6 AndroidManifest.xml

El archivo de AndroidManifest.xml se utiliza para definir los contenidos, comportamientos de la aplicación. En dicho archivo se listan todas las actividades de la aplicación y los servicios, así como los permisos y características que la aplicación requiere para funcionar.

De manera resumida aquí se presentan los elementos básicos para poder implementar una aplicación en la plataforma android, los cuales se pueden revisar en [26]. En conjunto con las tarjetas de desarrollo arduino, así como los diferentes sensores (GPS, Acelerómetro, SPO2 y GSR), es que se plantea la solución, la cual consiste en crear una aplicación móvil capaz de explotar los recursos proporcionados por dichos dispositivos.

Capítulo 4. Metodología para la Solución Propuesta

Una vez revisado los elementos principales sobre los cuales se centra la solución, es posible revisar a mayor detalle los componentes que interactúan unos con otros para ofrecer los beneficios y objetivos buscados. La solución principal consiste en crear una aplicación móvil capaz de conectarse de manera remota a un servidor web el cual alojará una base de datos con toda la información del paciente y presentarla en tiempo real y actualizada, como es historial médico, control y programación de citas, tipos de medicamentos suministrados e información relacionada al personal médico de cabecera, sin embargo, dicha aplicación no se limita únicamente a operar como un medio de consulta de información relevante al paciente, sino que además tiene la capacidad de conectarse de manera directa a sensores capaces de tomar mediciones de nivel de glucosa, esto mediante el sensor GSR, por su parte mediante el sensor SPO2, es posible determinar el pulso del paciente y cuyos valores no requieren un tratamiento especial, dado que arduino con su shield e-Health proporcionan una librería especializada y por lo tanto los datos son obtenidos directamente, de igual manera ocurre con el acelerómetro, el cual permite verificar la posición en la cual se encuentra el paciente y cuyas posiciones pueden ser recostado de lado derecho, izquierdo, sentado, boca abajo o boca arriba y finalmente un GPS, el cual proporciona valores relacionados a la longitud y latitud en la cual se encuentra el paciente en ese momento. Cabe mencionar que si bien los datos relacionados a glucosa y pulso son importantes, los referentes a las posiciones físicas y geográficas del paciente, representan un punto crucial, ya que gracias a estos se pueden tomar decisiones mejor orientadas al momento de surgir una alerta, dado que se conoce su ubicación y posición física. Para proporcionar una idea general de la conexión se puede observar en la Figura 11, la cual muestra la manera en que los sensores como son GPS y acelerómetros se conectan de manera directa a la tarjeta de desarrollo arduino Mega ADK y posteriormente en el apartado de resultados se pueden observar todos los sensores conectados a la tarjeta y esta al dispositivo móvil:

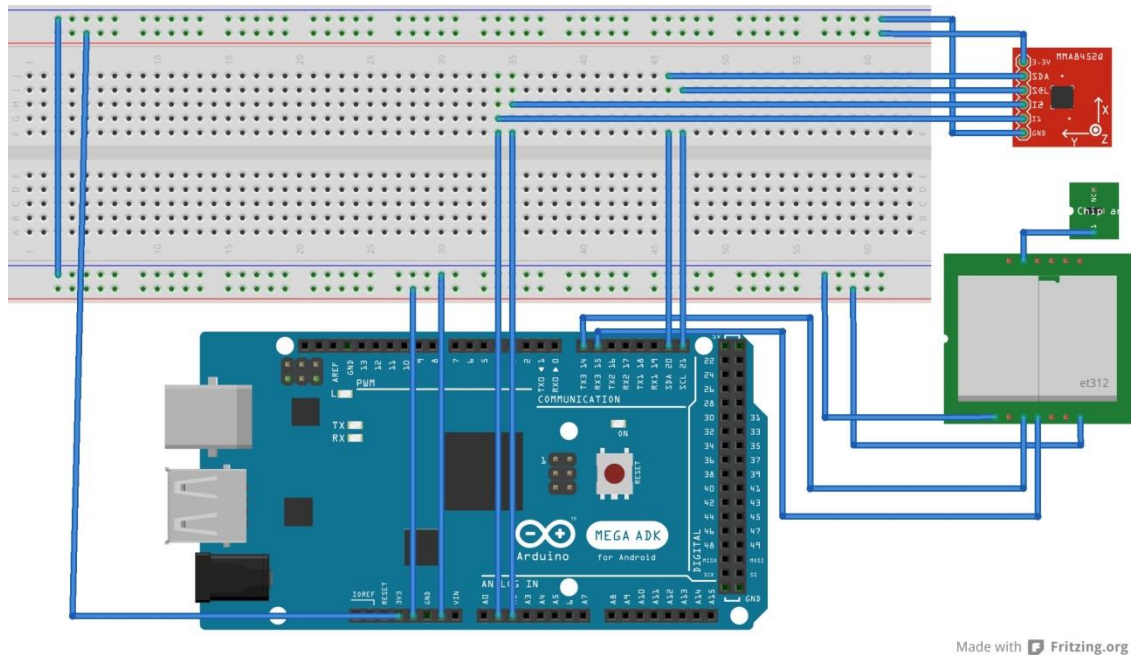


Figura 11: Conexión de GPS y acelerómetro a Arduino Mega ADK

En dicha imagen (Figura 11), se observa el módulo correspondiente al GPS (verde con gris) y al acelerómetro (rojo con negro), así los datos son obtenidos mediante la aplicación a través de una interacción con la tarjeta de desarrollo y los sensores, los cuales una vez obtenidos son almacenados en una base de datos local, la cual registra los valores relacionados al nivel de glucosa y pulso, así como la fecha de captura, los cuales una vez capturados y almacenados podrán ser enviados mediante una decisión del usuario a la base de datos remota, en la cual se reflejarán de manera inmediata y de esta manera el personal médico tendrá acceso, cabe mencionar que todos estos datos son en tiempo real. A continuación se presenta un análisis del sistema mediante una serie de diagramas los cuales describen el comportamiento y relación de los elementos que lo conforman.

4.1 Casos de Uso

Los casos de uso, como se menciona en [29], representan una interacción típica entre un usuario y un sistema de cómputo, de tal manera que representan una herramienta fundamental para el

desarrollo de todo sistema mostrando un panorama general del funcionamiento de dicho sistema. En la Figura 12 se puede observar el diagrama de casos de uso del sistema aquí propuesto.

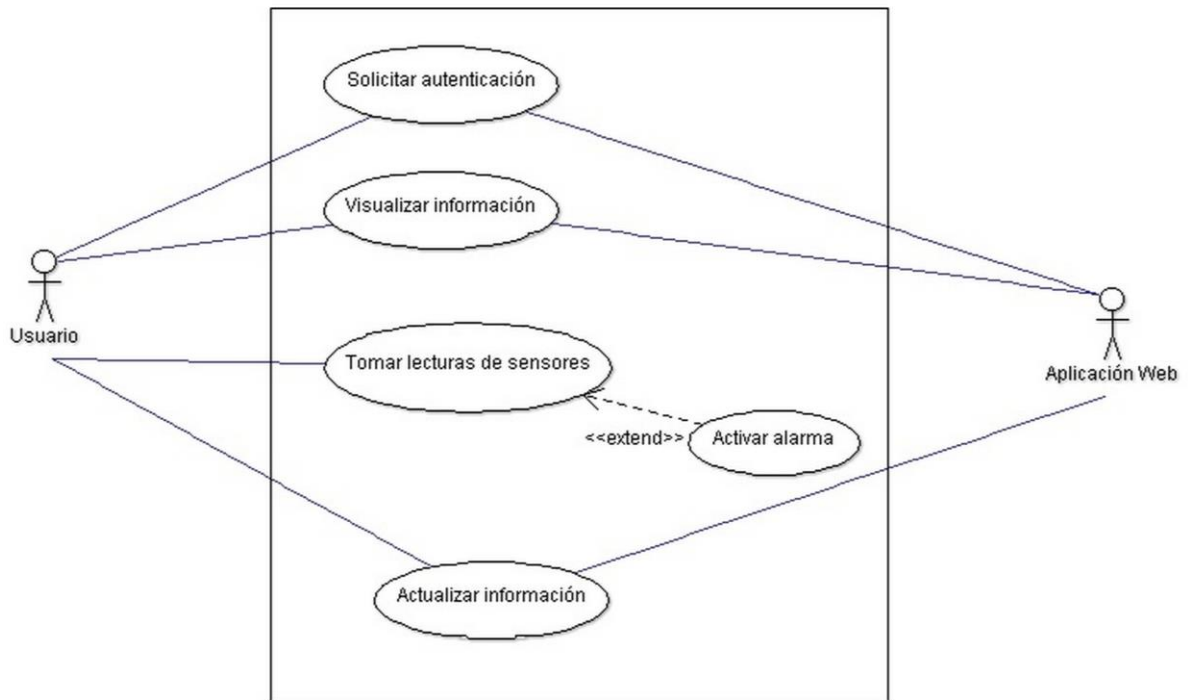


Figura 12: Diagrama de Casos de Uso

4.1.1 Descripción de casos de uso

Caso de uso: Autenticación

Caso de uso	Solicitar autenticación.
Actores	Usuario, Aplicación Web.
Precondición	Registro existente en la base de datos de la aplicación web y acceso a internet en el dispositivo móvil.
Flujo principal	1. El usuario, ingresa sus credenciales de autenticación (usuario y

	<p>contraseña) en los campos de texto correspondientes.</p> <ol style="list-style-type: none"> Los datos son enviados a la aplicación web, donde se validan y se regresa una confirmación al usuario. Si la confirmación es exitosa se tiene acceso a la información del usuario. Fin del caso de uso.
Excepciones	<p>E1. Si la validación en el paso 2 es rechazada</p> <ol style="list-style-type: none"> Se deberá notificar al usuario especificando que verifique sus datos su usuario y/o contraseña. Regresa al paso 1 del flujo principal.

Caso de uso: Visualizar Información

Caso de uso	Visualizar información.
Actores	Usuario, Aplicación Web.
Precondición	Autenticación exitosa del usuario.
Flujo principal	<ol style="list-style-type: none"> El usuario tiene acceso de manera inmediata a las pestañas de historial médico, medicamentos, personal médico responsable y monitoreo. El usuario no tiene la opción de editar en ninguna de las pestañas ya mencionadas. En la pestaña de monitoreo tendrá la opción de elegir entre tomar lecturas de los sensores o de enviar las lecturas deseadas a la aplicación web. Al cerrar la aplicación o seleccionar la opción de salir, la sesión del usuario se cierra.

	5. Fin del caso de uso.
Excepciones	<p>E1. Si la conexión de internet se pierde en el paso 1.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario no podrá visualizar de manera correcta su información. 2. Se le notifica al usuario y se regresa al paso 4 del flujo principal.

Caso de uso: Tomar lecturas de sensores

Caso de uso	Tomar lectura de sensores.
Actores	Usuario.
Precondición	Usuario autenticado, conexión con tarjeta arduino.
Flujo principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario al presionar el botón de “Obtener_Datos”, en la pestaña de monitoreo tiene la capacidad de realizar mediciones de su nivel de glucosa, pulso, posición corporal y geográfica. 2. Se verifican los niveles de glucosa. 3. Los datos obtenidos son almacenados de manera temporal en una base de datos local. 4. Fin del caso de uso.
Excepciones	<p>E1. Si en el paso 1 no existe conexión con la tarjeta arduino.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se le notifica al usuario que revise la conexión con la tarjeta. 2. Se regresa al paso 1 del flujo principal.

Caso de uso: Alarma

Caso de uso	Activar alarma.
--------------------	-----------------

Actores	Ninguno.
Precondición	Usuario autenticado, conexión con tarjeta arduino, valores obtenidos de los sensores fuera de rango.
Flujo principal	<p>En el paso 2 (Tomar lecturas de sensores), donde se verifican los niveles de glucosa, si se encuentran fuera de rango.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se le deberá notificar al usuario de manera inmediata. 2. Se activara un valor de alarma el cual también deberá ser almacenado en la base de datos local. 3. Fin del caso de uso. <p>Se regresa al paso 3 (Tomar lecturas de sensores), donde se almacena todos los datos obtenidos de los sensores en la base de datos local y los valores de alarma.</p>
Excepciones	<p>E1. Si los valores se encuentran dentro del rango.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La alarma no se activa. 2. Se regresa al paso 3, del flujo principal.

Caso de uso: Actualizar información

Caso de uso	Actualizar información.
Actores	Usuario, Aplicación Web.
Precondición	Usuario autenticado, conexión a internet.
Flujo principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Al presionar el botón de “Enviar”, el usuario tiene accesos a las lecturas almacenadas localmente. 2. El usuario selecciona las lecturas que desee enviar a la aplicación web.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Al ser enviadas dichas lecturas se insertan en la base de datos de la aplicación web y son borradas del almacenamiento local. 4. El usuario determina si sigue enviando lecturas, toma una nueva o bien sale de la aplicación. 5. Fin del caso de uso.
Excepciones	<p>E1: Si en el paso 2, se pierde la conexión a internet.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se le notifica al usuario que no se pueden enviar sus lecturas seleccionadas. 2. Se regresa al paso 4 del flujo principal. <p>E2: Si no existen datos en la base de datos local.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se notificara que no existen datos. 2. Se regresa al paso 4 del flujo principal.

4.2 Modelo Entidad Relación

Un elemento importante en la mayoría de los sistemas actuales, son los medios de almacenamiento y principalmente las bases de datos, en este sentido el sistema aquí propuesto se ajusta a un modelo ya establecido en la “Aplicación Web para el Monitoreo de la Diabetes” [31], la cual representa un elemento central de dicha aplicación web y cuyas modificaciones necesarias fueron mínimas, en concreto la adición de una tabla, en la cual se llevara el control de las lecturas tomadas por los pacientes, en dicha tabla se almacena los niveles de glucosa, pulso, posición corporal y geográfica así como la fecha de captura. De esta manera en la Figura 13 se muestra el modelo Entidad-Relación, el cual como se menciona en [31], permite dar una idea clara de las entidades, atributos y relaciones del sistema.

Los elementos principales a destacar en dicho modelo son las entidades, las relaciones y los atributos. Por su parte las entidades representan un tipo de objeto o cosa del mundo real las cuales juegan un papel en el desarrollo del sistema, mientras que las relaciones son una conexión o asociación

entre los tipos de objetos y los atributos representan una característica que define o identifica a una entidad. Así podemos identificar, a manera de ejemplo la entidad *usuarios*, con atributos *Nick*, *Password*, *Nivel* y *Descripcion* y cuyas relaciones se observa con las entidades *paciente*, *doctor* y *enfermera*.

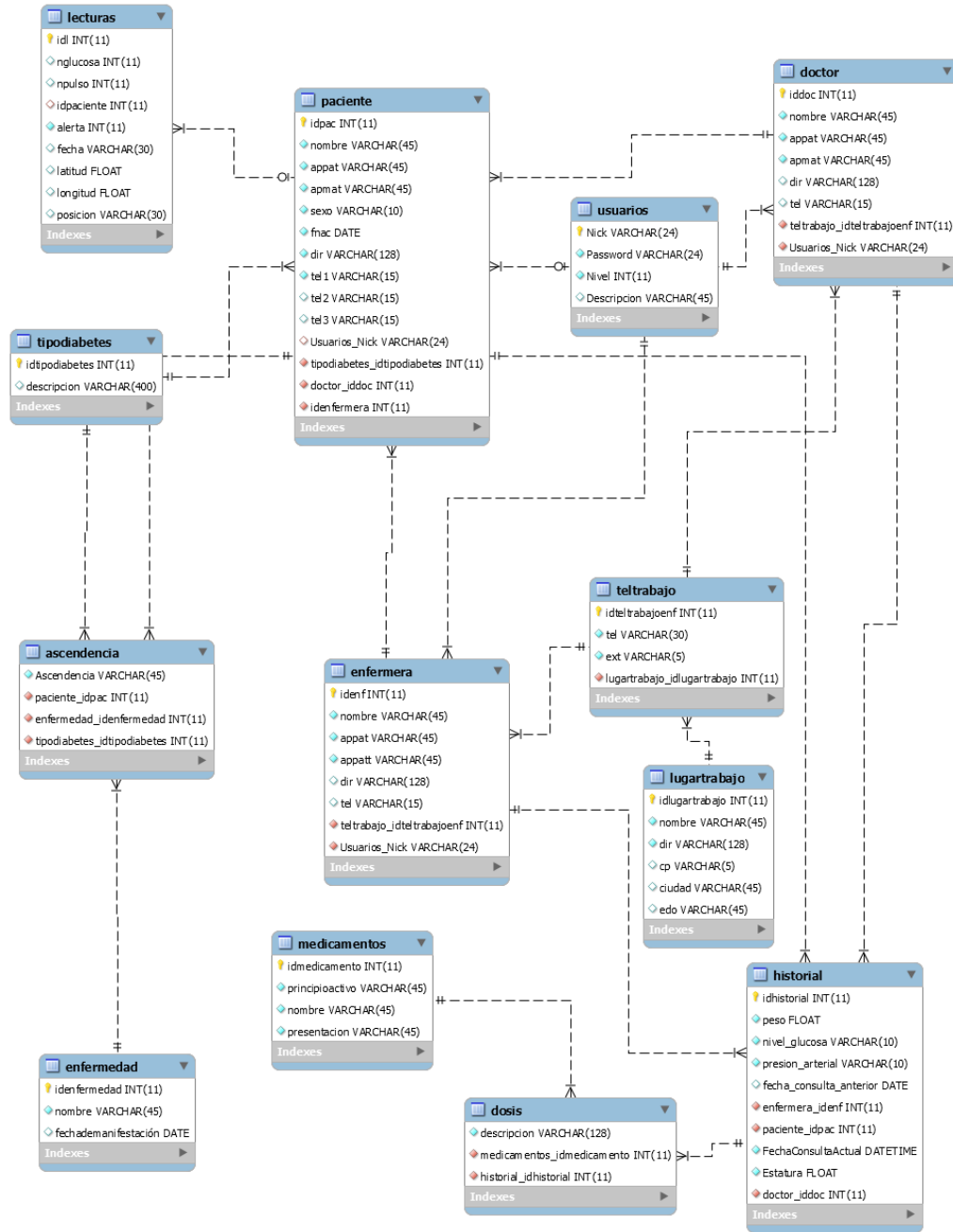


Figura 13: Modelo Entidad-Relación

4.3 Diagrama de Contexto

El diagrama de contexto, proporciona una idea general del comportamiento e interacción del sistema con su entorno, de tal manera que sea posible identificar personas, organizaciones o sistemas con los cuales el sistema se comunica, así como aquellos datos que el sistema recibe, almacena, procesa y produce al exterior [28]. Dicho diagrama se puede observar en la Figura 14 en un nivel 1 y en la Figura 15 en un nivel 2:

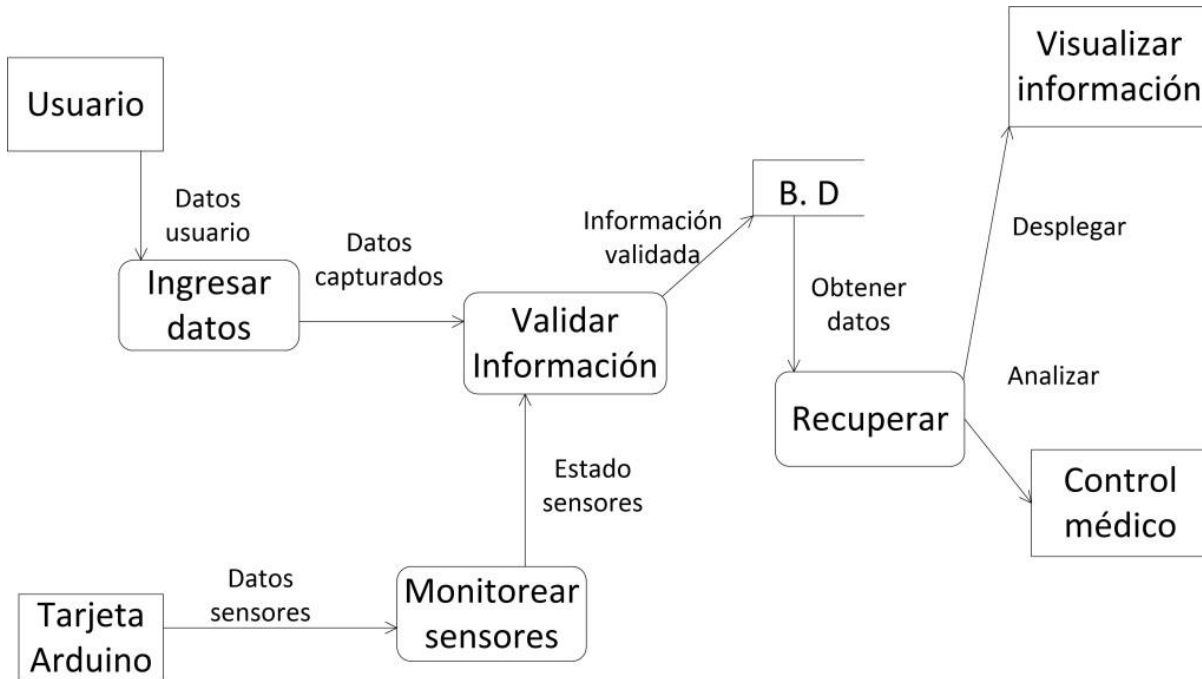


Figura 14: Diagrama de contexto de nivel 1

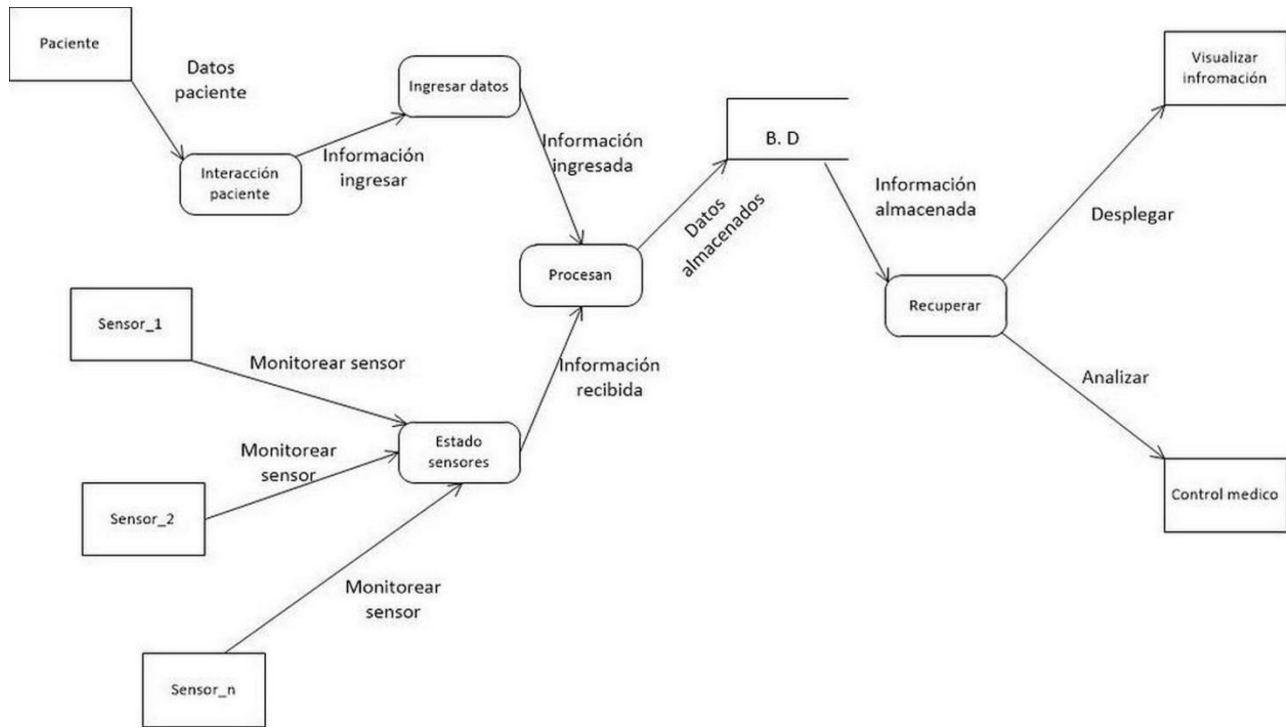


Figura 15: Diagrama de contexto de nivel 2

En la Figura 15, se observa de manera más detallada el comportamiento del sistema, en el cual los datos de entrada son proporcionados principalmente por los pacientes y la tarjeta de desarrollo arduino; los pacientes tendrán interacción directa con el sistema enviando peticiones de autenticación, para posteriormente poder visualizar el contenido correspondiente a su historial médico, por su parte las tarjetas de desarrollo de arduino tienen la tarea principal de recibir datos de los n sensores y posteriormente ser enviados a la aplicación. Los datos recibidos en la aplicación por parte del paciente deberán ser validados para posteriormente ser enviada tanto a la base de datos local como remota, a través de las cuales tanto los pacientes como los médicos podrán disponer de ellos. Por una parte los pacientes podrán revisar su historial médico, sus medicamentos, su personal médico responsable y tendrán la opción de realizar censado de su salud de manera individual, por su lado los doctores cuentan con la posibilidad de poder revisar de manera específica la información relacionada a un

paciente determinado, lo cual le permitirá tomar decisiones en tiempo real, resultando en un mejor tratamiento para el paciente en cuestión.

4.4 Diagrama de Transición de Estados

Si bien una parte importante de todos los sistemas es el comportamiento con relación a su contexto, también resulta de vital importancia observar la respuesta de estos a acciones a través del cambio de estados, para ello se cuenta con un diagrama de transición de estados, los cuales son una técnica para describir el comportamiento de un sistema a través de una serie de estados por los cuales un determinado objeto puede cambiar como resultado de una acción o evento [29]. En este sentido se presentan un diagrama de transición de estados en la Figura 16, de la parte central de la aplicación móvil, asumiendo que el usuario se ha autenticado con éxito, de esta manera en dicho diagrama se presta atención al monitoreo de los sensores, la captura de la información, procesamiento, guardado, visualización y en caso de ser necesario la activación de la alarma.

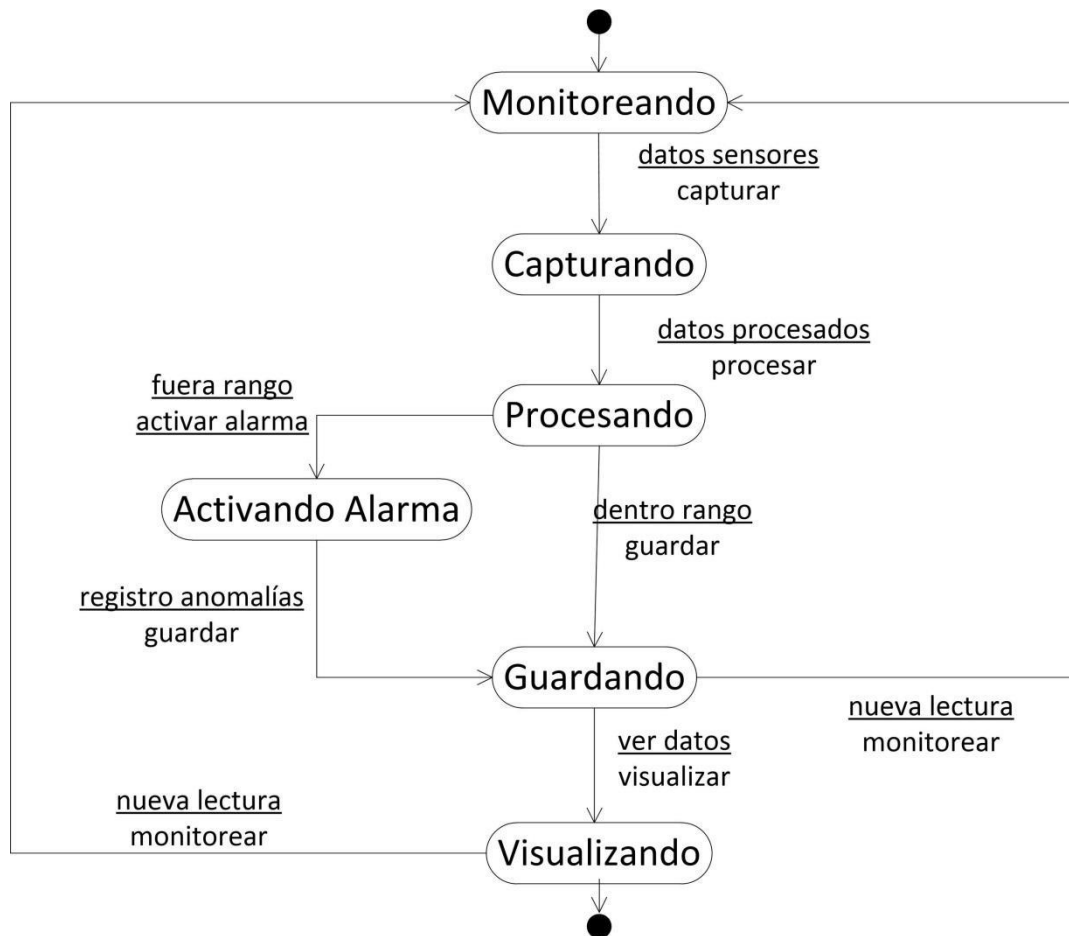


Figura 16: Diagrama de transición de estados

De esta manera el estado de *monitoreando* se encuentra a la espera de una señal por parte de los sensores o bien por parte de los usuarios, lo cual provocara un cambio al estado de *capturando*, en dicho estado el sistema recibirá la información proveniente de los sensores que en ese momento se encuentren listos para enviar información, para posteriormente mediante una acción de procesar cambie al estado de *procesando*, en el cual el sistema tendrá como obligación validar toda la información la cual tendrá como responsabilidad obtener los datos de las tramas recibidas, ya que se debe de tener en cuenta que la comunicación al ser serial se debe de realizar un tratamiento adecuado, además en dicho estado se deberá revisar de acuerdo a los rangos de operación de cada sensor que no se excedan los mismos, provocando uno de los dos cambios siguientes, por un lado si dichos valores

obtenido se encuentran dentro del rango establecido (valor deseado), mediante una acción de guardar se pasara a un estado de *guardando*, en el cual dichos datos serán almacenados directamente en la base de datos local para posteriormente ser enviados a la base de datos remota, en su lugar si dichos valores se encuentran fuera del rango (valor no deseado), se pasara a un estado de *activando alarma*, en la cual se le notificara al paciente que se encuentra en un estado no deseado de tal manera que se tomen las medidas pertinentes y posteriormente pasar a un estado de *guardando*, en dicho estado se debe tener en cuenta que se quedaran almacenados de manera local y posteriormente ser enviadas a la base de datos remota, donde se registrarán los eventos que provocaron la activación de la alarma para poder llevar un registro de estas y al mismo tiempo poder ser visualizadas por el médico de cabecera, posterior a eso mediante una acción de monitorear, se puede dar la orden al sistema de pasar nuevamente al estado de *monitoreando* y realizar nuevamente el procesos anterior o bien mediante una acción de visualizar pasar al estado de *visualizando*, en el cual se podrá revisar de manera inmediata los valores arrojados por los sensores, para posteriormente volver a monitorear o bien salir de la aplicación.

De esta manera es como se ve representado el flujo de ejecución de la aplicación, teniendo en cuenta que dicho sistema se encuentre en funcionamiento en condiciones normales, sin ningún problema de comunicación con la red o bien con los elementos de hardware externos utilizados, ya que de suceder esto la aplicación tendría funcionamiento pero sin ningún resultado.

4.5 Diagrama de LACATRE LA4

Algo que se debe de tener en cuenta es que dado la naturaleza de ser una aplicación orientada al cuidado de la salud, se requiere un sistema de tiempo real, el cual se define como un sistema en el cual no solo intervienen personas para su funcionamiento, sino que también se encuentra en una interacción constante con el ambiente que lo rodea, tomando información del mismo, procesándola y emitiendo resultados de manera inmediata afectando de esta manera el mismo ambiente [28], por lo que se debe de tener en cuenta que ya no basta que la aplicación funcione de manera correcta, sino que además ahora ya cuenta con restricciones de tiempo, que la obligan a trabajar lo suficientemente rápido. Por tal motivo se emplea el diseño de la LACATRE de la Figura_17, el cual permite expresar el

comportamiento dinámico y las relaciones de tiempo real que proveen un acercamiento estructural y metódico al diseño de la aplicación.

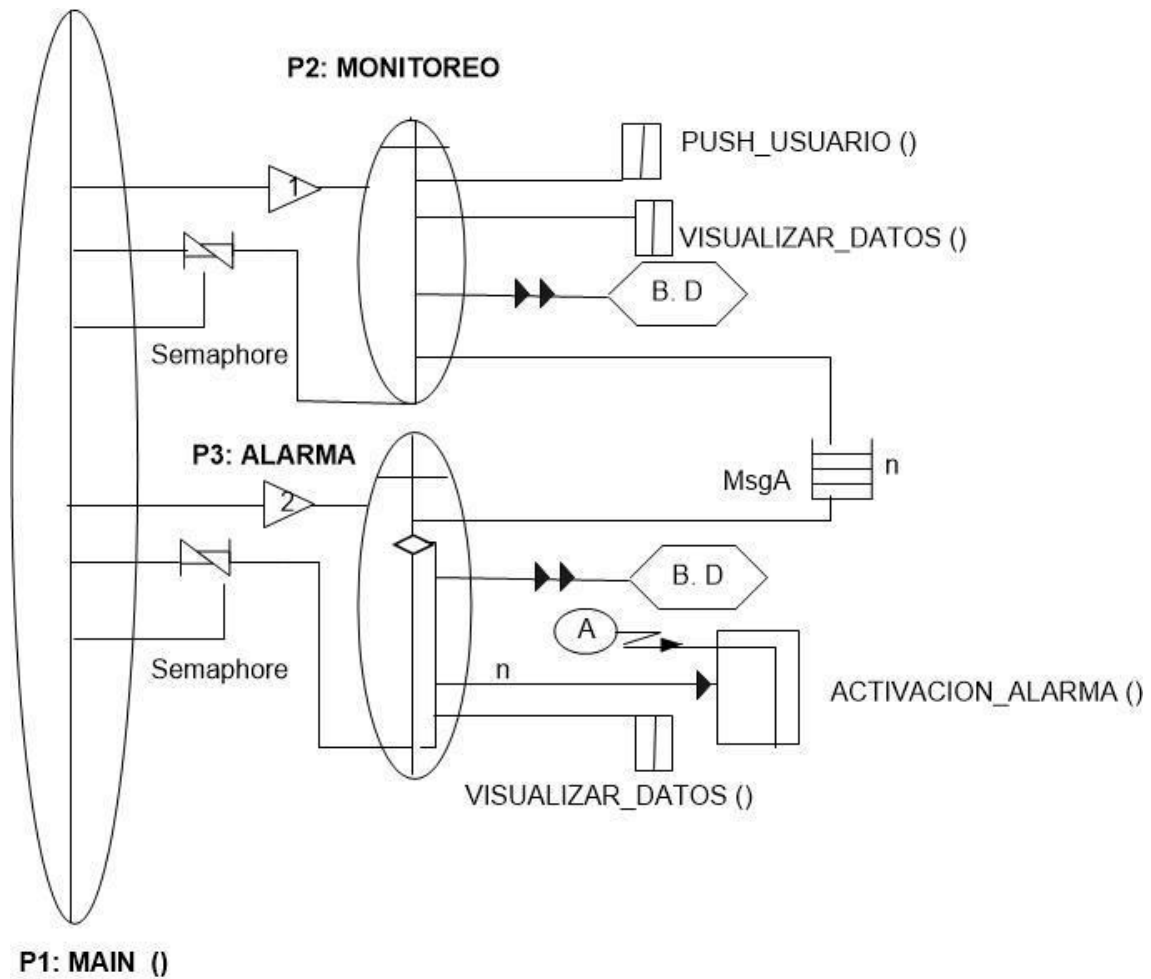


Figura 17: Diagrama de LACATRE

En este diseño se puede observar el comportamiento e interacción de la función principal con otros procesos, en este caso el de monitoreo y el de alarma.

P2: Monitoreo, con prioridad 1

P3: Alarma: con prioridad 2

De esta manera el proceso encargado del monitoreo (P2), como ya se observó en el diagrama de transición de estados, se encargara de recibir los datos proveniente de los sensores, donde se llevara a cabo el procesamiento de los mismos, teniendo como responsabilidad la notificación al usuario de que los mismos se han recibido, el enviarlos a la base de datos que los alojara, así como ser enviados para su visualización. Una vez que los datos han sido procesados se determinara si los mismos desencadenan un tercer proceso, el de alarma (P3), debido a que los mismos reflejen una actividad anormal registrada por los sensores encargados del monitoreo de los signos vitales del paciente, en dicho caso se procede a activar una alarma para su correcto tratamiento y atención, así como una opción de visualización y el posterior almacenamiento de los motivos de activación de la misma, con la finalidad de contar con un control que ayude a tomar medidas pertinentes en el caso de incidencias de las mismas.

4.6 Árbol de Fallas

En todo sistema siempre resulta de vital importancia resaltar no solo los eventos o sucesos que conlleven a un estado correcto, también resulta idóneo resaltar cuales eventos podrían conducir a dicho sistema a un estado inestable e incluso inoperable. Para ello se lleva a cabo un análisis mediante la implementación de un árbol de fallas, el cual permite realizar una evaluación cuantitativa o cualitativa del sistema. Dicho análisis se basa en detectar un fallo principal que podría llevar al sistema a un colapso, posterior a ello se realiza un desglose del mismo en casos más básicos en una estructura jerárquica, los cuales se relacionan mediante el uso de compuertas lógicas, para de esta manera llegar hasta un caso base, el cual como se menciona en [30], pueden estar asociados a componentes de fallas de hardware, errores humanos, errores de software, entre otros.

En la Figura 18, se puede observar el árbol de fallas de la propuesta solución aquí planteada, teniendo como error principal o TOP, el caso que dicho sistema sea inoperable:

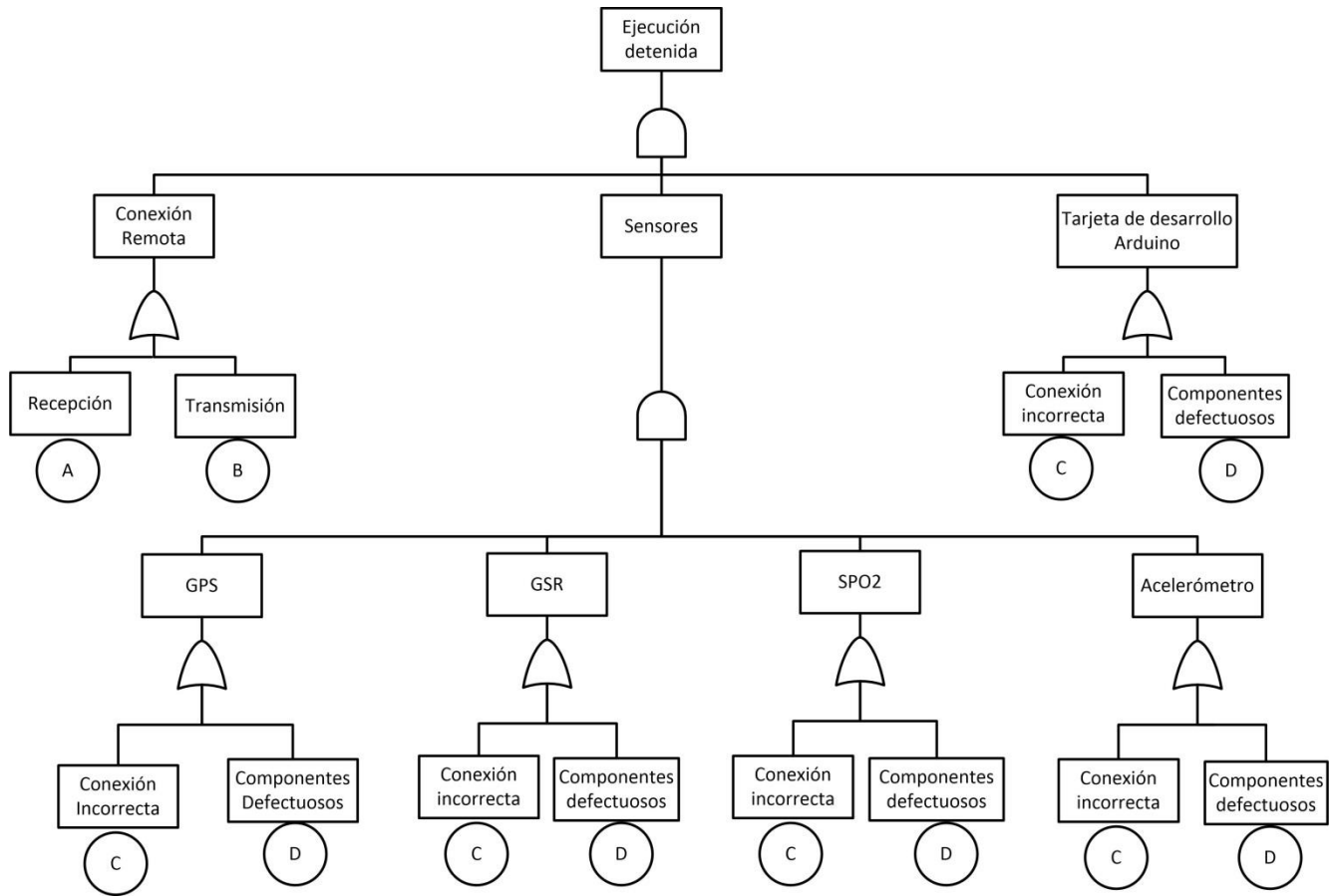


Figura 18: Árbol de Fallas

Como ya se mencionó, dicho árbol permite realizar dos tipos de evaluaciones, cuantitativas o cualitativas, sin embargo, en esta ocasión la evaluación que a continuación se presenta será cualitativa, la cual como se menciona en [30], busca obtener los minimal cut sets (MCSs), donde un cut set, está representado por una combinación de eventos básicos que puedan provocar la ocurrencia del evento TOP. Por lo tanto para poder obtener los MCSs, se realiza un proceso de reducción de la ecuación lógica resultante del árbol de fallas, en la cual se buscara reducir aquellas causas comunes mediante operaciones de algebra de Boole, lo cual dará como resultado aquellos eventos básicos que nos pueden llevar a un colapso del sistema y en base a eso tomar las decisiones o medidas pertinentes para evitar la ocurrencia de las mismas, de esta manera tenemos la siguiente ecuación lógica:

$$\begin{aligned}
(1) \text{ TOP} &= (A+B) \cdot ((C+D) \cdot (C+D) \cdot (C+D) \cdot (C+D)) \cdot (C+D) \\
&\Rightarrow (A+B) \cdot ((C+D) \cdot (C+D)) \cdot (C+D) && \text{Idempotente} \\
&\Rightarrow (A+B) \cdot (C+D) \cdot (C+D) && \text{Idempotente} \\
&\Rightarrow (A+B) \cdot (C+D) && \text{Idempotente}
\end{aligned}$$

Por lo tanto después del análisis realizado se puede determinar, que la ocurrencia del evento no deseado, depende de la ocurrencia de los eventos básicos A o B y C o D, es decir, se requiere que alguno de los eventos de la comunicación remota (transmisión o recepción) ocurran al tiempo que algún componente falle o bien que algún dispositivo se conecte de manera errónea, ya sea de la tarjeta de desarrollo o bien de todos los sensores, se debe de hacer énfasis en todos los señores debido a que si alguno de los sensores presenta una falla, esto no supondrá una falla en el evento TOP, aún y que ocurra al mismo tiempo con la transmisión o recepción de la comunicación remota, ya que cada uno de los sensores trabajan de manera independiente y la falla de uno no afecta a otro.

4.7 Sistema General

Finalmente en la Figura 19, se presenta un diagrama que ejemplifica de manera general el funcionamiento del sistema, donde el usuario se conecta de manera directa a su dispositivo móvil y sobre este se centra la funcionalidad principal, ya que dicho dispositivo es el encargado de establecer comunicación con la tarjeta arduino y esta con los diferentes sensores, de la misma manera el dispositivo móvil hace uso de las redes inalámbricas disponibles o bien mediante la red de datos de los mismos dispositivos para tener acceso a internet que es donde se encuentra la aplicación web a la cual el personal médico tiene acceso, sin embargo, dado que puede ser el caso de que no se cuente con acceso a internet el mismo dispositivo contiene una base de datos local, sobre la cual se realiza un respaldo única y exclusivamente de las lecturas de los sensores.

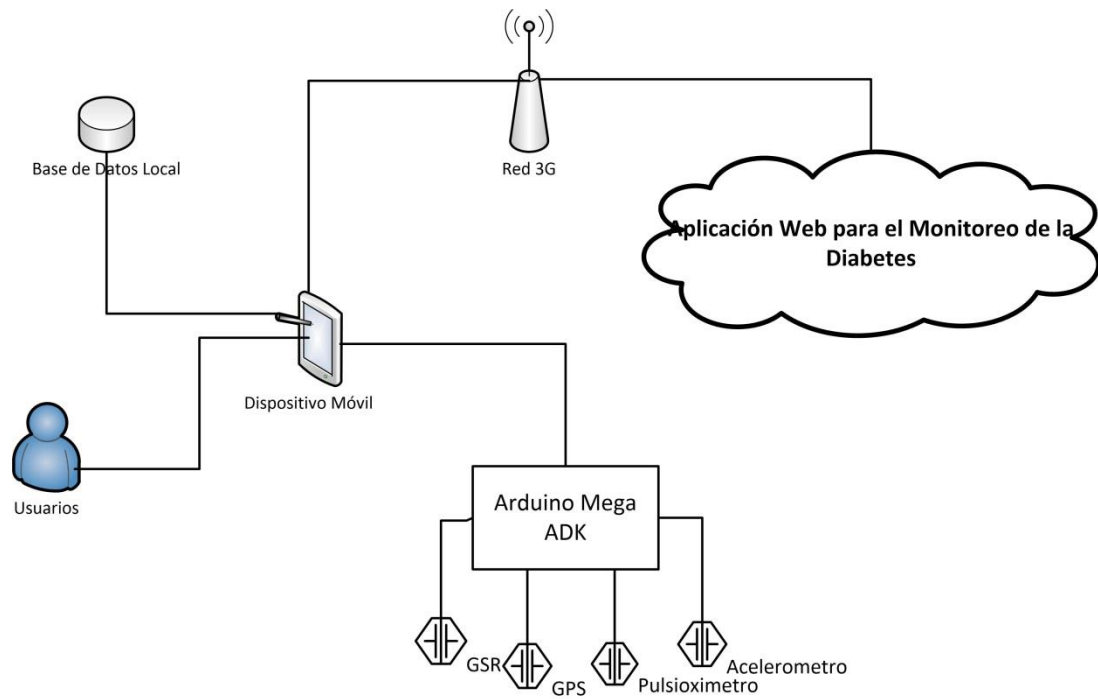


Figura 19: Sistema General

Capítulo 5. Resultados

Los resultados mostrados a continuación, han tenido lugar en dispositivos con las siguientes características, Tablet Acer Iconia, con sistema operativo Android 4.1 y un tamaño de pantalla de 600 x 1024 pixeles (7.0 pulgadas) y en un teléfono inteligente (smartphone) Sony Xperia L con sistema operativo Android 4.2.2 y tamaño de pantalla de 480 x 854 pixeles (4.3 pulgadas), esto con la finalidad de observar el comportamiento de la aplicación en diferentes dispositivos, dado que en el mercado se pueden encontrar una gran variedad de los mismos cuyas características y resoluciones pueden variar, provocando comportamientos no deseados en tiempo de ejecución. Las pruebas actuales corresponden al teléfono inteligente (smartphone),

Una vez que el dispositivo móvil se conecta a la tarjeta arduino, de inmediato la aplicación enviara una notificación para iniciar como aplicación predeterminada, como se puede observar en la Figura 20.



Figura 20: Notificación para iniciar como aplicación predeterminada

De esta manera una vez que el usuario presiona la opción de “Aceptar”, iniciara la pantalla de autenticación, como se puede observar en la Figura 21, donde el usuario deberá proporcionar sus credenciales (usuario y contraseña).



Figura 21: Captura de pantalla de inicio de sesión

Dichos datos deberán estar dados de alta en la base de datos remota, ya que el dispositivo realizara una conexión remota al servidor para validar los datos y de esta manera darle acceso al usuario, esto con la finalidad de no saturar los medios de almacenamiento interno del dispositivo con registros de sesión y como medio de protección de la información personal del usuario. De esta manera en caso de tener un acceso exitoso la aplicación cambiara su interfaz para presentarle al usuario una serie de opciones, entre las cuales se pueden encontrar información detallada de su última consulta, como se puede observar en la Figura 22:

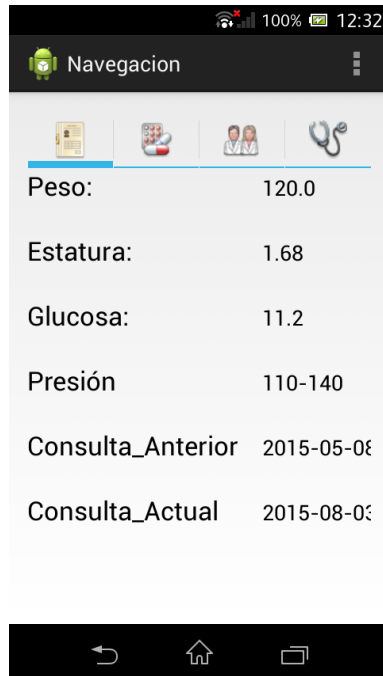


Figura 22: Captura de pantalla de información general

En dicha captura (Figura 22), se puede visualizar información detallada con relación a su última visita presencial con el médico de cabecera, como son niveles de glucosa, presión arterial, peso estatura, fecha de la consulta y la próxima fecha de consulta, de tal manera que el paciente pueda consultarla y de esta manera tener un control más eficiente de su enfermedad. Cabe resaltar que dichos datos no tiene nada que ver con los datos capturados mediante los sensores, la información aquí presentada es capturada de manera directa por el personal médico al momento de la cita presencial.

En la opción siguiente se tiene acceso al tipo de medicamento que se le ha estado suministrando actualmente, como se puede observar en la Figura 23, de tal manera que en caso de sufrir alguna pérdida o bien se haya agotado, tenga la posibilidad de adquirirlo de manera inmediata.

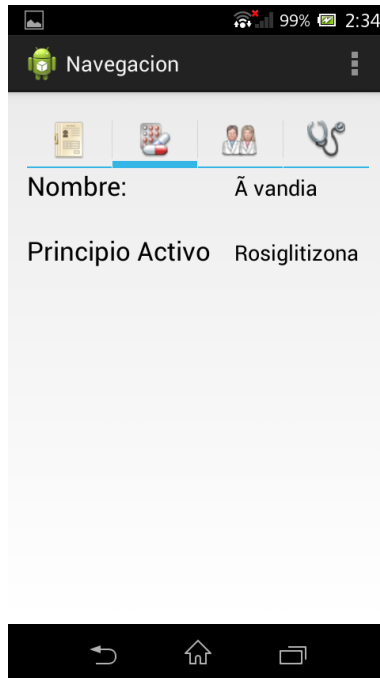


Figura 23: Captura de pantalla de medicamento suministrado actualmente

En la siguiente captura, Figura 24, se muestra de manera general información relacionada al médico y enfermera de cabecera, de tal forma que en caso de surgir alguna emergencia se pueda contactar de manera inmediata al personal a cargo.



Figura 24: Captura de pantalla de personal médico responsable

Dicha información consta del nombre tanto de medico como enfermera, así como su dirección y teléfono, se debe de tener en cuenta que la información es de carácter personal por lo que se deberá de tratar con sumo cuidado y responsabilidad. A continuación, se tiene la captura de la Figura 25, donde se cuenta con una interfaz encargada del monitoreo de los sensores especializados en el cuidado de la salud, en este caso, los ya mencionados que son GSR, GPS, SPO2 y acelerómetro, aclarando que dicho sistema queda con la posibilidad de poder incorporar más sensores, como electrocardiogramas o termómetros, de manera sencilla y rápida.

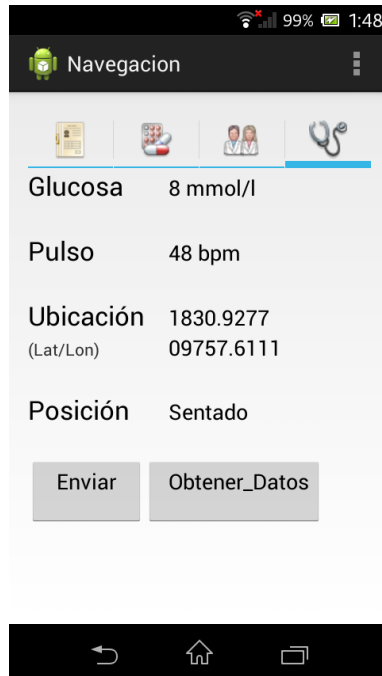


Figura 25: Captura de pantalla de control de sensores

Dicha interfaz es crucial para la aplicación ya que esta se encarga del monitoreo del estado de salud del paciente, en dicha interfaz se cuenta con la opción de medir los niveles de glucosa, pulso, la posición del paciente al momento de la captura e incluso su ubicación física en tiempo real, sin embargo las opciones no se limitan a eso únicamente, como ya se mencionó, al establecer la comunicación con la tarjeta de desarrollo arduino, es posible conectar una variedad de sensores permitiendo así expandir su funcionalidad tanto como el usuario lo desee. También se cuenta con dos botones uno de “Enviar” y otro de “Obtener_Datos”, este último se encarga de establecer comunicación con la tarjeta de desarrollo. Se debe de tener en cuenta que en esta parte es donde se lleva a cabo una parte importante de la aplicación y es la relacionada con la verificación de datos dentro o fuera del rango, lo cual desencadena los eventos ya mencionados y de los cuales el usuario únicamente visualizara una notificación en su dispositivo móvil con la alerta generada. Como se puede observar en la Figura 26.

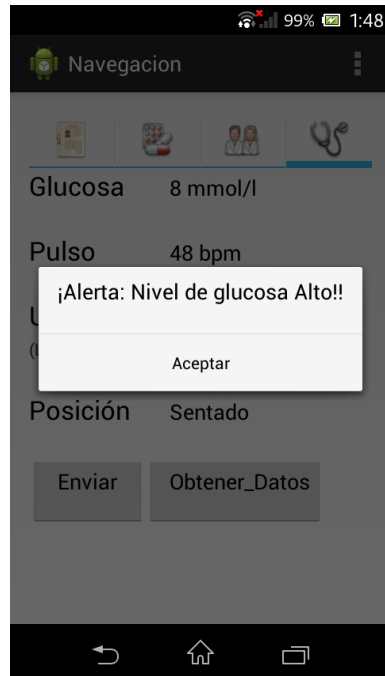


Figura 26: Captura de pantalla de alerta

Por su parte el de enviar se encarga de enviar las lecturas tomadas a la base de datos local, como se puede observar en la Figura 27, en la cual como ya se mencionó, se encuentran los valores referentes a la glucosa, pulso y fecha de captura, sin embargo al momento de ser enviados a la base de datos remota se envían además los datos capturados por el acelerómetro y GPS:

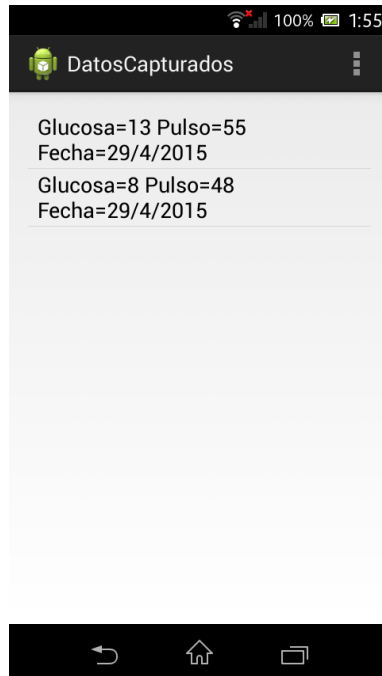


Figura 27: Datos almacenados en la base de datos local

De esta manera una vez que el usuario decide que datos enviar, bastara con seleccionarlos y la aplicación le solicitara una confirmación para que sean enviados y al mismo tiempo eliminados del almacenamiento local, con la finalidad de ahorra espacio en el medio de almacenamiento del dispositivo, tal cual como se puede observar en la Figura 28:

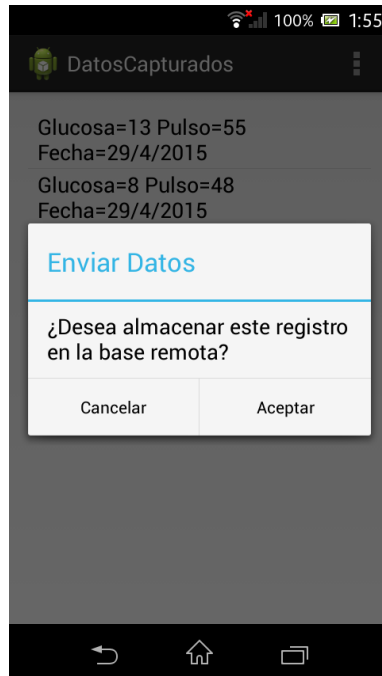


Figura 28: Confirmación de envío

Como resultado de dicha acción el registro será eliminado y dado de alta en la base de datos remota, liberando de esta manera espacio para nuevas lecturas y permitiendo al personal médico de cabecera llevar un seguimiento puntual a los pacientes.

Conclusiones y Trabajo a Futuro

A partir del trabajo de investigación realizado y los resultados obtenidos, se puede concluir que la combinación de las dos tecnologías vistas en este trabajo (Android y Arduino), representan una herramienta de apoyo importante para el cuidado de la salud, lo cual se ha logrado mediante la implementación de una comunicación con una gran variedad de sensores encargados del monitoreo de los signos vitales, como lo son sensores de pulso, de respuesta galvánica de la piel (GSR), acelerómetros e incluso sensores de posicionamiento global e inclusive contando con la característica de poder expandir su funcionalidad agregándole los sensores que sean necesarios. Todos estos interactuando con una aplicación móvil para teléfonos inteligentes mediante una comunicación serial a través de las tarjetas de desarrollo arduino, obteniendo una aplicación pervasiva.

Por otro lado, la aplicación se utiliza como medio de comunicación entre sensores y paciente, además incluye un mecanismo de comunicación con una base de datos remota, la cual se encontrará en el centro médico encargado del control y tratamiento del paciente, ofreciendo de esta manera una mayor comodidad al usuario.

Otro punto importante, es el uso de tecnologías libres tanto en hardware como software, las cuales ofrecen entre otras características la posibilidad de generar soluciones económicas y de fácil implementación, de tal manera que dicho sistema sea lo más accesible posible a una gran cantidad de usuarios.

En lo que respecta al trabajo futuro, se buscará expandir dicho sistema a una mayor cantidad de plataformas móviles, como IOS, Windows Phone, etc., de tal manera que dicha aplicación sea multiplataforma, abarcando también las tarjetas de desarrollo, como Raspberry Pi o Galileo, permitiendo de esta manera expandir y mejorar las características del sistema, así como también mejorar los protocolos de comunicación entre las tarjetas de desarrollo y los dispositivos móviles, como pueden ser el uso de protocolos de comunicación inalámbricos.

El trabajo aquí propuesto tiene como objetivo ser un apoyo para el personal médico especializado en el tratamiento y control de enfermedades no transmisibles (ENT), de tal manera que el paciente reciba un mejor monitoreo y control de su enfermedad.

Bibliografía.

- [1] México logra tener más de 101 millones de líneas móviles. Recuperado el 6 de agosto de 2013, de <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/mexico-logra-tener-mas-de-101-millones-de-lineas-moviles-1372822778>. Excélsior, (2013)
- [2] Aguila Jurado, A.E. (2014). *Una Aproximación de un Dispositivo No Invasivo de Monitoreo de la Diabetes en Tiempo Real*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- [3] Ventylees, Raj. S. (2012) Implementation of pervasive computing based high-secure smart home system. En: *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 11 (4), pp. 4663-4668.
- [4] Hernando, M.E. García A. Perdices, F.J. Torralba V. Gomez, E.J. Del Pozo F. (1999). Multi.Agent Architecture for the Provision of Intelligent Telemedicine Services in Diabetes Management. *European Comission Project M2DM and Spanish Research Council*.
- [5] Bellazi, R. Carson, E.R. Cobelli, C. Hernando, E. Gomez, E.J, Nabih-Kamel-Boulos, M. Rendschmidt, T. Roudsari, A.V. (1999). Merging Telemedicine with knowledge management: the M2DM Project. *Project M2DM*.
- [6] De Leiva. A. Hernando, M.E. (2009). Telemedical Artificial Pancreas. En: *Diabetes Care*, 2 (32), pp. 5211-5216.
- [7] AMIPCI. (2014). Dispositivos Móviles: Hábitos del Consumidor Mexicano. En: AMIPCI. Consultado el 3 de Noviembre de 2014. Disponible en https://amipci.org.mx/images/Ecommerce_Movil_en_Mexico_AMIPCI_EBW.pdf.
- [8] AMIPCI. (2015). Estudio sobre los hábitos de los usuarios de internet en México 2015. En: AMIPCI. Consultado el 15 de Junio de 2015. Disponible en https://amipci.org.mx/images/AMIPCI_HABITOS_DEL_INTERNAUTA_MEXICANO_2015.pdf.
- [9] Montiel Pérez, J.Y. Hernández Rubio, E. Bonilla López J.L. (2012). Computación móvil. En: *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, 3 (20), pp. 282-283.
- [10] Kopec Poliszuk, A.; Salazar Gómez, A.J. (2006). *Aplicaciones de telecomunicación en salud en la Subregión Andina*. Bogotá, Colombia. ORAS-CONHU
- [11] Swan, K. Van 't Hooft, M. Kratcoski A. (2005). Uses and Effects of Mobile Computing Devices in K-18 Classrooms. En: *International Society for Technology in Education*, 1 (35). Pp. 99-112.
- [12] Anumba, C.J.; Wang, X. (2012). *Mobile and Pervasive Computing in Construction*. United Kingdom. Wiley-Blackwell.
- [13] Favela J. (2012). Activity, Behavior and Context: The ABC of Pervasive Healthcare Research. En: J.A Botía (ed.), *International Conference on Intelligent Enviroments*.
- [14] Ilyas, M.; Mahgoub, I. (2005). *Mobile Computing Handbook*. United States of America. CRC Press.
- [15] Olsson, T.; Geatano, D.; Odhner, J., et al. (2008). *Open Softwear*. Malmo, Suecia.
- [16] Arduino. (2015). Serial. En Arduino. Consultado el 15 de junio de 2015. Disponible en <http://arduino.cc/es/Reference/Serial>.

- [17] Figner, B., & Murphy, R. O. (in press). Using skin conductance in judgment and decision making research. In M. Schulte-Mecklenbeck, A. Kuehberger, & R. Ranyard (Eds.), *A handbook of process tracing methods for decision research*. New York, NY: Psychology Press.
- [18] Huerta, E.; Mangiaterra, A.; Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento Satelital*. Argentina. UNR.
- [19] Sunehra, D. (2013). ESTIMATION OF PROMINENT GLOBAL POSITIONING SYSTEM MEASUREMENT ERRORS FOR GAGAN APPLICATIONS. En: *European Scientific Journal*, 15 (9).
- [20] Frederic, G, Snider, R.P.G. (2012). *GPS: Theory, Practice and Applications*.
- [21] Gobierno de U.S. (2015). Space Segment. En: GPS. Consultado el 16 de Junio de 2015. Disponible en <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>.
- [22] Gobierno de U.S. (2015). Control Segment. En: GPS. Consultado el 16 de Junio de 2015. Disponible en <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>.
- [23] SiRF Technology. (2005). *NMEA Reference Manual*.
- [24] Rincon Jara, R.I. Ambrosio, R. Mireles, J. (2010). Análisis y caracterización de un acelerómetro capacitivo fabricado con tecnología polymump's. En: *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 23 (3), pp. 26-31.
- [25] Sensor medidor de Aceleración. Acelerómetro. Recuperado el 30 de septiembre de 2014. Disponible en <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11638/fichero/Capitulo+4.pdf>.
- [26] Komatineni, S.; MacLean, D.; Hashimi, S.Y. (2011). *Pro Android 3*. New York. Apress.
- [27] IDC Analyze the Future. (2015). Smartphone OS Market Share, Q1 2015. En: *IDC Analyze the Future*. Consultado el 30 de Mayo de 2015. Disponible en <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>.
- [28] Yourdon, E. (1993). *Análisis Estructurado Moderno*. México. Prentice-Hall.
- [29] Fowler, M. (1999). *UML gota a gota*. México. Pearson.
- [30] Vesely, W.; Stamatelatos, M.; Dugan, J. et al. (2002). *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington, DC. NASA Office of Safety and Mission Assurance.
- [31] Hernandez Perez C. (2012). *Aplicación Móvil para el Monitoreo de la Diabetes*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.