

**DESARROLLO DE APLICATIVO WEB Y MÓVIL PARA EL MONITOREO DE LA
DIABETES MELLITUS TIPO 1**

**JHONATAN ABDEL HAOUCHAR CAICEDO
JHON SEBASTIÁN RODRÍGUEZ MARÍN**



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PEREIRA, COLOMBIA
2015**

**DESARROLLO DE APLICATIVO WEB Y MÓVIL PARA EL MONITOREO DE LA
DIABETES MELLITUS TIPO 1**

**JHONATAN ABDEL HAOUCHAR CAICEDO
JHON SEBASTIÁN RODRÍGUEZ MARÍN**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**DIRECTOR
Ingeniero RICARDO LINARES RUIZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PEREIRA, COLOMBIA
2015**

Nota de aceptación

Director
Ingeniero Electricista RICARDO LINARES RUIZ

Firma del jurado

Director del programa de
Ingeniería Electrónica

Este proyecto de grado está dedicado a todas aquellas personas como familiares, amistades y profesores, que hicieron su aporte a nuestra educación y formación como ingenieros.

AGRADECIMIENTOS

A mis 23 años de vida y 10 años de ser paciente diabético, es un placer culminar esta etapa universitaria, sabiendo que cumplí con los objetivos propuestos; haciendo uso de los conocimientos obtenidos durante la carrera hago mi aporte al entendimiento de la Diabetes Mellitus. Agradeciendo a todas las personas que siempre expresaron su apoyo y estuvieron ahí de forma incondicional, especialmente a mis padres Nohemy Marín Quitian y Martin Rodríguez Piedrahita por ser esas personas maravillosas que creyeron en mí, a las que siempre he querido hacer sentir orgullosos, a mi hermana Laura Vanessa Rodríguez Marín por tener la oportunidad de darle un buen ejemplo académico, a la Flaca por todo ese cariño y amor que me ha ayudado a crecer como persona. Finalmente a cada uno de los profesores y compañeros que estuvieron presentes durante estos años de formación de los cuales hoy podemos celebrar y recoger los frutos de dicho esfuerzo.

Jhon Sebastián Rodríguez Marín

He culminado un peldaño más en mi vida, la felicidad que siento por lograr convertirme en un profesional de alta calidad solo se compara con mis más profundos agradecimientos, a mi familia, amigos y a todas las personas de una forma u otra me han acompañado durante mi proceso universitario ayudándome a crecer como persona, a mis padres León Adel Haouchar Ramirez y Esneda Caicedo Cuero que han sido, son y siempre serán los pilares de mi vida en los cuales sé que siempre me podre apoyar de forma incondicional, a mi hermano y hermana Jesus David Haouchar y Zamira Haouchar que siempre serán ese pedacito que complementa mi ser, mis familiares que siempre creyeron en mí y han sido incondicionales, y por ultimo a mis profesores y amigos con los cuales viví los mejores momentos de mi formación encabezados por Sebastain Rodriguez y Andres Mejia, Julian Gil, Juan Moreno, Jaime Parra, Daniel Florez, Luis Miguel Arles Garcia, Tomas Echeverry y Don Gus. Muchas gracias por todo.

Jhonatan Abdel Haouchar Caicedo

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. PRELIMINARES	13
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
2.3. OBJETIVOS.....	18
2.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
2.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
3. DIABETES	19
3.1. HISTORIA DE LA DIABETES.....	19
3.2. DIABETES MELLITUS TIPO 1	19
3.3. COMPLICACIONES DE LA DIABETES	20
3.3.1. ENFERMEDAD CARDIOVASCULAR	20
3.3.2. ENFERMEDAD RENAL.....	20
3.3.3. ENFERMEDAD DE LOS OJOS	20
3.3.4. DAÑO EN EL SISTEMA NERVIOSO	21
3.4. OTRAS COMPLICACIONES.....	21
3.4.1. SALUD ORAL.....	21
3.4.2. APNEA DEL SUEÑO	21
3.5. INSULINA.....	21
4. PROTOTIPO INFUSOR DE INSULINA.....	23
4.1. MODULO BLUETOOTH (HC-05).....	24
4.2. ARDUINO UNO.	26
4.3. MOTOR PASO A PASO CON CAJA REDUCTORA	33
4.4. ENSAMBLAJE.....	37
5. APLICATIVO MOVIL PARA EL CONTROL DE PROTOTIPO INFUSOR DE INSULINA	47
5.1. APLICATIVO MOVIL.....	47
5.1.1. SECCIÓN BOLUS.....	53
5.1.2. SECCIÓN BASAL.....	54

5.1.3. SECCIÓN CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS.....	55
5.1.4. SECCIÓN ACERCA DE.....	56
6. APLICATIVO WEB PARA MONITOREO DE DIABETES MELLITUS TIPO 1.....	58
6.1. APLICATIVO WEB.....	58
6.1.1. INICIO.....	58
6.1.1.1. MODO DOCTOR.....	59
6.1.1.2. MODO PACIENTE.....	60
6.1.2. DIABETES.....	61
6.1.3. DE INTERÉS.....	62
6.1.4. CONTACTO.....	63
6.2. ARQUITECTURA CLIENTE/SERVIDOR.....	63
7. RESULTADOS.....	66
7.1. REGISTRO DE INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS.....	66
7.1.1. REGISTRO DE PACIENTE EN SERVIDOR POR MEDIO DE APLICATIVO MOVIL.....	67
7.1.2. REGISTRO DEL DOCTOR EN SERVIDOR POR MEDIO DE APLICATIVO WEB.....	67
7.1.3. REGISTRO DE INFORMACIÓN EN SERVIDOR POR MEDIO DE APLICATIVO MOVIL Y VISUALIZACIÓN EN APLICATIVO WEB.....	68
7.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ENTRE APLICATIVO MOVIL Y PROTOTIPO INFUSOR DE INSULINA.....	73
8. CONCLUSIONES.....	74
9. BIBLIOGRAFÍA.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dosis diaria total de insulina.....	48
Tabla 2. Insulina basal.....	48
Tabla 3. Relación Insulina/carbohidrato.....	49
Tabla 4. Factor de sensibilidad Paciente/Insulina.....	49
Tabla 5. Datos ingresados por el paciente y datos alojados en el aplicativo móvil.....	50
Tabla 6. Cantidad de insulina en bolus para corrección de glucemia al ingerir carbohidratos.....	50
Tabla 7. Cantidad de insulina en bolus para corrección de glucemia en la sangre.....	50
Tabla 8. Calculo de la cantidad de insulina en bolus a aplicar.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estudio de uso de sistemas operativos en la actualidad realizado por Global WEB Índice.....	16
Figura 2. Diagrama de bloques prototipo infusor de insulina	23
Figura 3. Modulo Bluetooth HC-05.....	24
Figura 4. Arduino® UNO	26
Figura 5. Elementos Arduino® UNO	27
Figura 6. Pines Análogos Arduino® UNO	28
Figura 7. Pines Digitales Arduino® UNO	28
Figura 8. Pines RX / TX Arduino® UNO	29
Figura 9. Pines de polarización Arduino® UNO	30
Figura 10. Micro-controlador Arduino® UNO	31
Figura 11. Conexión HC-05 y Arduino® UNO.....	32
Figura 12. Motor paso a paso 28BYJ-48	34
Figura 13. Conexiones Motor paso a paso	34
Figura 14. Jeringa de insulina.....	36
Figura 15. Plano base.....	38
Figura 16. Plano base baterías	39
Figura 17. Plano base motor.....	40
Figura 18. Plano buje.....	42
Figura 19. Plano tapa.....	43
Figura 20. Diseño esquemático	44
Figura 21. Diseño físico de la tarjeta.....	44
Figura 22. Plano ensamblaje 1	45
Figura 23. Plano ensamblaje 2	46
Figura 24. Aplicativo móvil / Inicio.....	51
Figura 25. Aplicativo móvil / Registro de datos	52
Figura 26. Aplicativo móvil / Menú principal.....	52
Figura 27. Aplicativo móvil / Sección bolus.....	53
Figura 28. Ventana emergente con solicitud de uso de Bluetooth.....	54
Figura 29. Aplicativo móvil / Sección basal.....	55
Figura 30. Aplicativo móvil / Configuración de parámetros	56
Figura 31. Aplicativo móvil / Créditos.....	57
Figura 32. Aplicativo WEB / Inicio	59
Figura 33. Aplicativo WEB / Inicio / Soy doctor	59
Figura 34. Aplicativo WEB / Inicio / Soy doctor / Registrarse.....	60
Figura 35. Aplicativo WEB / Inicio / Soy paciente	61

Figura 36. Aplicativo WEB / Diabetes	61
Figura 37. Aplicativo WEB / De interés	62
Figura 38. Aplicativo WEB / Contacto	63
Figura 39. Registro de paciente por medio de aplicativo móvil y visualizado en la base de datos.	67
Figura 40. Registro de doctores por medio de aplicativo WEB y visualizado en la base de datos.	67
Figura 41. Unidades de insulina en Bolus, registrados en base de datos desde aplicativo móvil.....	68
Figura 42. Unidades de insulina en Bolus, registrados en base de datos desde aplicativo móvil y visualizado desde aplicativo WEB	69
Figura 43. Unidades de insulina Basal, registrada en base de datos desde aplicativo móvil.....	70
Figura 44. Unidades de insulina Basal, registrada en base de datos desde aplicativo móvil y visualizado por medio de aplicativo WEB.	70
Figura 45. Cantidad de carbohidratos ingeridos, registrados en base datos desde aplicativo móvil.....	71
Ilustración 46. Cantidad de carbohidratos ingeridos, registrados en base datos desde aplicativo móvil y visualizado por medio de aplicativo WEB.....	71
Figura 47. Medición de glucometria, registrado en base de datos desde aplicativo móvil	72
Figura 48. Medición de glucometria, registrado en base de datos desde aplicativo móvil y visualizado por medio de aplicativo WEB	72
Figura 49. Prueba de suministro a través de Prototipo infusor de insulina	74

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Contenido de carbohidratos de alimentos. Asociación Colombiana de Diabetes.
- Anexo B. Código HTML Aplicativo WEB.
- Anexo C. Código JavaScript Aplicativo WEB.
- Anexo D. Código XML Aplicativo Móvil.
- Anexo E. Código JavaScript Aplicativo Móvil.
- Anexo F. Código en Processing para tarjeta de desarrollo Arduino® UNO.

1. INTRODUCCIÓN

Los infusores de insulina se han convertido en los últimos años en un tema de bastante importancia para las personas que padecen diabetes Mellitus tipo 1 y que desean mejorar su calidad de vida. A través de ciertos tipos de terapia las personas afectadas pueden tener mejor control sobre la diabetes siendo más eficiente los niveles de glucemia.

Debido a lo anterior, en este proyecto se decide desarrollar dos aplicativos y un prototipo infusor de insulina en sus respectivos software de programación: Eclipse®, SublimeText2® y Arduino® respectivamente, los cuales trabajan en conjunto para lograr el monitoreo y control de la diabetes Mellitus tipo 1; el prototipo cuya tarea es suministrar insulina, recibe órdenes directamente de la aplicación móvil, a su vez la información necesaria para este proceso queda almacenada en la base de datos del servidor WEB, para ser luego ser consultada, visualizada y analizada por un profesional del área médica desde la página WEB.

El código implementado en Eclipse® y el conjunto de herramientas de desarrollo *SDK* para Android® es utilizado para tener control sobre la tarjeta de desarrollo Arduino® desde el aplicativo móvil por medio de comunicación Bluetooth, y a su vez, registrar la información en la base datos del servidor WEB.

El código implementado en SublimeText2® es utilizado para desarrollar el aplicativo WEB que junto a herramientas de Javascript® permite la visualización de la información que se encuentra en la base de datos. Desde este aplicativo tanto el usuario como médico tratante pueden interactuar con la información enviada desde el aplicativo móvil, además tener acceso a información importante acerca de la diabetes.

El código implementado sobre la tarjeta de desarrollo Arduino® es utilizado para hacer funcionar de forma correcta el prototipo, logrando así cumplir con su función principal la cual es suministrar la cantidad de insulina necesaria según las características y condiciones impuestas por los requerimientos del paciente.

2. PRELIMINARES

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La diabetes es una enfermedad crónica que aparece cuando el cuerpo no puede producir suficiente insulina o no puede usar la insulina eficazmente. La insulina es una hormona producida en el páncreas que permite que la glucosa de los alimentos entre en las células del cuerpo, donde se convierte en la energía necesaria para cada uno de los movimientos y funciones corporales. Una persona con diabetes no absorbe adecuadamente la glucosa, por esto la glucosa sigue circulando por la sangre, lo cual daña con el tiempo los tejidos del cuerpo. Este daño puede conducir a complicaciones de salud que pueden llegar a ser mortales.

La Diabetes Mellitus es responsable del 6% de las muertes a nivel mundial y 83% de esas muertes ocurren en países de ingresos medios y bajos [1]. Para el 2010, 300 millones de personas padecían esta enfermedad y se estima un crecimiento de 200 millones en 20 años. Adicionalmente, es una de las primeras diez causas de discapacidad en el mundo. Se estima que aproximadamente 10 millones de personas con diabetes sufren de complicaciones incapacitantes y que amenazan su vida como las enfermedades cerebrovasculares, la ceguera o la disminución de la visión, la amputación de miembros inferiores y falla renal. [2]

Existen tres tipos de diabetes:

- Diabetes Mellitus tipo 1
- Diabetes Mellitus tipo 2
- Diabetes Gestacional

En la Diabetes Mellitus Tipo 1 los pacientes presentan baja producción de insulina o no producen insulina, por lo tanto se hace necesario el uso de insulinas externas al cuerpo humano. Dado el comportamiento de este tipo de diabetes se formulan tratamientos basados en inyecciones de insulina o bombas de insulina. Siendo este último tratamiento con infusores de insulina, de especial interés para el desarrollo de este proyecto.

Estos tratamientos constan de dos tipos de insulina para cubrir las necesidades del paciente denominadas “insulina de acción rápida” e “insulina de acción prolongada”.

La insulina de acción rápida debe ser inyectada previa al momento de ingerir alimentos ya sea desayuno almuerzo o comida, esto con el fin de cubrir la cantidad de glucosa que ingresa en el organismo evitando así hiperglucemias.

El organismo se compone de millones de células. Cada célula utiliza la glucosa como fuente de energía y por esto es importante mantener todo el tiempo cierta cantidad de glucosa en el organismo, aun cuando el paciente se encuentre durmiendo por lo que se necesita de insulina de base que ayude al control de glucosa durante el periodo de tiempo que la insulina de acción rápida ya no se encuentre activa, esta insulina es conocida como insulina de acción prolongada y debe ser inyectada una vez al día. [3]

A diferencia del tratamiento con inyecciones, el tratamiento con bombas de insulina utiliza insulina de acción rápida, la cual es inyectada en pequeñas cantidades durante todo el día con el fin de reemplazar lo hecho por la insulina de acción prolongada. En el momento en que ingresa glucosa al organismo proveniente de los alimentos diarios, el paciente ordena al infusor de insulina, de acuerdo a lo formulado por el médico tratante, la cantidad de insulina necesaria para cubrir dicha necesidad.

Existen diferentes modelos de bombas de insulina en el mercado, los cuales funcionan con dispositivos de control embebido, cuya función es dar la orden de suministrar insulina al paciente por medio de un enlace de radiofrecuencia propio del fabricante, volviéndolos sistemas con una comunicación cerrada y limitando la posibilidad de interactuar con otros dispositivos.

En la actualidad, los dispositivos móviles cuentan con un diverso número de interfaces de comunicación y con ello, la posibilidad de conectarse a otros aparatos electrónicos de manera fácil y segura. Aprovechando esta capacidad de conectividad, se propone el desarrollo de un aplicativo móvil para un sistema Android® que permita el control de un prototipo de infusor de insulina, y a su vez, permita el envío de información a un servidor WEB. Dicha información será útil para el seguimiento del tratamiento de la diabetes por parte del mismo paciente y el médico tratante.

2.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen diversos métodos para el tratamiento de la Diabetes Mellitus Tipo 1 entre ellos las inyecciones y los tratamientos con infusores de insulina, con la finalidad de regular la glucosa eficientemente en la sangre del paciente diabético al igual que lo haría un páncreas sano.

Los infusores de insulina proveen un mejor control de la glucosa que no es posible con las inyecciones. Este control mejorado se produce porque los infusores de insulina administran pequeñas cantidades de insulina cada hora, a diferencia de las inyecciones individuales, las cuales pueden generar incomodidad al paciente al tener que llevarlas consigo en todo momento y también evita el margen de error debido a la mala inserción de la aguja que puede producir lipodistrofia Insulinica en la piel. [4]

Los infusores de insulina están implantados en el paciente de forma invasiva, estos cuentan con reservas de insulina suficiente para un aproximado de 3 a 4 días, el medicamento es inyectado por medio de una cánula conectada al cuerpo; el proceso de infusión de insulina se controla desde un dispositivo embebido, diseñado especialmente para el control de la infusión del medicamento.

Considerando lo anterior, se propone el desarrollo de un aplicativo móvil que a través de un enlace Bluetooth se conecte con el prototipo de infusor de insulina, de las ordenes necesarias para el suministro de la insulina y se envíe registro a un servidor WEB por la red celular o el módulo Wi-Fi del dispositivo móvil. Generar un aplicativo móvil para un prototipo infusor de insulina es darle la posibilidad al dispositivo móvil de interactuar con el hardware que tiene a disposición; desde el aplicativo móvil se darán las ordenes que permita el correcto funcionamiento del prototipo infusor, controlando el almacenamiento y distribución de información, ser puente en la unificación de tecnologías y facilitar la automatización de actividades mediante la programación de eventos.

Como dispositivo móvil se utilizará un teléfono celular “inteligente” bajo la plataforma Android®, dado que es uno de los sistemas operativos más usados a nivel mundial en el área de aplicaciones móviles, como se muestra en el último estudio realizado por *Global WEB Index* donde se observa que iOS cuenta con el 20% de la cuota del mercado, Android® cuenta con el 68% y el 12% restante se distribuye entre los demás sistemas operativos existentes.

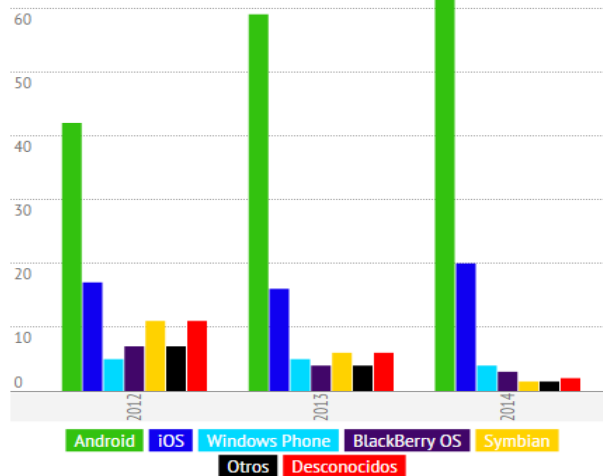


Figura 1. Estudio de uso de sistemas operativos en la actualidad realizado por Global WEB Índex

Una de las fuertes tendencias tecnológicas en los dispositivos móviles es el desarrollo de aplicaciones relacionadas con la salud, sumando a esto los accesorios desarrollados por diferentes marcas deportivas a nivel mundial, que funcionan entre sí para lograr el monitoreo de diferentes signos vitales, tanto para usuarios preocupados por estar en buenas condiciones físicas como para las personas que por alguna patología particular requieren conocer esta información, convirtiendo así los dispositivos móviles en herramientas indispensables para la vida cotidiana de las personas.

Un claro ejemplo de aplicaciones móviles referentes a la salud son: Endomondo, Nike+ Running, Runkeeper, miCoach las cuales registran la cantidad de kilómetros recorridos en una sesión de entrenamiento por medio del GPS de los dispositivos móviles. Otras aplicaciones móviles como GlutenFreelist o GlutenMed permiten disponer de toda la información actualizada de productos y fabricantes de alimentos sin gluten o lista de productos para personas con intolerancia a la lactosa.

La gran acogida que presentan las aplicaciones móviles destinadas a la salud y el aporte que estas pueden hacer a pacientes con enfermedades crónicas se plantean como una de las bases para el desarrollo de este proyecto.

En un paciente con Diabetes Mellitus tipo 1 el control que se debe llevar es casi tan importante como el mismo tratamiento, ya que así, se puede evidenciar

mejoras o desmejoras del proceso, se pueden realizar cambios en las dosis a suministrar y estudiar la evolución de la diabetes en el paciente, este control se puede crear al obtener constante información de dosis requeridas por el paciente, ya que al tener un listado de la cantidad consumida se pueden generar conclusiones acerca de que tan efectivo ha sido el tratamiento.

Lo ideal es que este tipo de conclusiones sean impartidas por la entidad médica o el médico tratante asignado al paciente, sin necesidad de citas previas o desplazamiento de alguna de las partes y así, evitar costos y pérdidas deliberadas de tiempo. Esto último, exige que la información registrada del monitoreo constante de las dosis estén almacenadas en lugares de fácil acceso para el paciente y para el médico tratante, por ende se envía toda la información suministrada por el aplicativo móvil a un servidor WEB, al que tendrá acceso tanto el paciente como el médico a través de una página WEB diseñada para este propósito.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de control y monitoreo para el tratamiento de la Diabetes Mellitus tipo 1, diseñando un prototipo de bomba de infusión de insulina con comunicación Bluetooth y usando un teléfono inteligente como interfaz hombre-máquina. El registro de la información se realizará desde el dispositivo móvil a un servidor WEB accesible por el paciente y el médico.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica acerca de tratamientos para la diabetes, bombas infusoras de insulina, desarrollo de aplicaciones móviles y páginas WEB.
- Construcción de un prototipo que simule el trabajo de la bomba de infusión de Insulina, para ser controlado vía Bluetooth desde el aplicativo móvil.
- Desarrollo de aplicativo móvil para el control de prototipo de la bomba de infusión de insulina.
- Desarrollo de la página WEB para el monitoreo de los registros provenientes de el aplicativo móvil.

3. DIABETES

3.1. HISTORIA DE LA DIABETES

La diabetes Mellitus era ya conocida antes de la era cristiana, en el papiro descubierto por el egiptólogo Georg Moritz Ebers, correspondiente al siglo XV A.C. se describen síntomas que corresponden a la diabetes; con el pasar del tiempo en diferentes épocas de la historia se describen síntomas pertenecientes a esta enfermedad pero solo hasta el año de 1788 en un artículo publicado en la revista *London Medical Journal* se identifica la presencia de glucosa en la orina y se comienzan estudios serios a partir de lo obtenido. En el año 1960 el Dr. Arnold Cadiz desarrolla la primera bomba de insulina, la cual se coloca en la espalda teniendo un tamaño aproximado de una mochila.

En 1976, la infusión subcutánea continua de insulina, más conocida como “Bomba de Insulina”, se consideró como una alternativa posible de administración de insulina para paciente con Diabetes Mellitus Tipo 1.

La década de 1990 trajo los mayores avances en el campo de la tecnología de dispositivos médicos, lo que permitió a su vez grandes cambios tales como tamaño, seguridad y precisión. Las bombas de Insulina se han venido desarrollando a la par con dispositivos de monitoreo de glucosa lo que ha permitido el desarrollo de nuevos dispositivos más cercanos al concepto ideal de páncreas artificial. [5]

3.2. DIABETES MELLITUS TIPO 1

La diabetes Mellitus tipo 1 es causada por una reacción autoinmune, en la que el sistema de defensa del cuerpo ataca las células beta productoras de insulina en el páncreas. Como resultado, el cuerpo ya no puede producir la insulina que necesita. La enfermedad puede afectar a personas de cualquier edad, pero generalmente se presenta en niños o adultos jóvenes. Las personas con este tipo de diabetes necesitan insulina todos los días para controlar los niveles de glucosa en sangre. Sin insulina, una persona con diabetes tipo 1 muere.

Las personas con diabetes Mellitus tipo 1 pueden llevar una vida normal y saludable a través de una combinación de terapia de insulina diaria, vigilancia estrecha, una dieta saludable y ejercicio físico regular. El número de personas que desarrollan este tipo de diabetes está aumentando. Las causas de esto aún no están claras, pero pueden deberse a cambios en factores de riesgo ambientales,

sucesos tempranos en el útero, la dieta en los primeros años de vida, o a infecciones virales. [6]

3.3. COMPLICACIONES DE LA DIABETES

Las personas con diabetes corren el riesgo de desarrollar una serie de problemas de salud que pueden provocar discapacidad o la muerte. Los constantes niveles altos de glucosa en sangre pueden conducir a enfermedades graves que afectan al corazón y a los vasos sanguíneos, ojos, riñones y nervios. Las personas con diabetes también tienen un mayor riesgo de desarrollar infecciones. En casi todos los países de altos ingresos, la diabetes es la principal causa de las enfermedades cardiovasculares, la ceguera, la insuficiencia renal y la amputación de miembros inferiores. [7]

3.3.1. ENFERMEDAD CARDIOVASCULAR

La enfermedad cardiovascular es la causa más común de muerte y discapacidad entre las personas con diabetes. Algunas de las enfermedades cardiovasculares que acompañan a la diabetes son la angina de pecho, ataques al corazón, la enfermedad arterial periférica y la insuficiencia cardíaca congestiva. En las personas con diabetes, la presión arterial alta, el colesterol alto, la alta glucosa en sangre y otros factores de riesgo de complicaciones cardiovasculares.

3.3.2. ENFERMEDAD RENAL

La enfermedad renal o nefropatía es mucho más común en personas con diabetes que en las personas sin diabetes; la diabetes es una de las principales causas de enfermedad renal crónica. Esta enfermedad es causada por el daño a los pequeños vasos sanguíneos, que puede provocar que los riñones sean menos eficientes, o que fallen por completo. El mantenimiento de niveles normales de glucosa en sangre y presión arterial puede reducir en gran medida el riesgo de nefropatía.

3.3.3. ENFERMEDAD DE LOS OJOS

Muchas personas con diabetes desarrollan algún tipo de enfermedad de los ojos o retinopatía, que puede dañar la visión o provocar ceguera. La persistencia de altos niveles de glucosa en sangre, junto con la presión arterial alta y el colesterol alto, son la principal causa de esta enfermedad. La red de vasos sanguíneos que irrigan la retina puede bloquearse y dañarse, lo que lleva a la pérdida permanente de la visión. La retinopatía se puede tratar a través de controles regulares de los ojos manteniendo unos niveles de glucosa normal.

3.3.4. DAÑO EN EL SISTEMA NERVIOSO

Cuando la glucosa en sangre y la presión arterial son demasiado elevadas, la diabetes puede provocar daño en el sistema nervioso de todo el cuerpo, esta enfermedad es conocida como neuropatía. Pueden producirse problemas con la digestión y la orina y la disfunción eréctil, además de otras funciones, pero las zonas más comúnmente afectadas son las extremidades, particularmente los pies. Los daños nervios de esta zona se llaman neuropatía periférica, y puede conducir al dolor, hormigueo y pérdida de sensibilidad. La pérdida de sensibilidad es particularmente importante, ya que puede permitir que las lesiones pasen desapercibidas, dando lugar a infecciones graves y úlceras, enfermedad del pie diabético y amputaciones mayores.

3.4. OTRAS COMPLICACIONES

3.4.1. SALUD ORAL

La diabetes puede ser una amenaza para la salud oral, hay un mayor riesgo de inflamación de las encías (gingivitis) en las personas con mal control de la glucosa. La gingivitis, a su vez, es una causa importante de pérdida de dientes y también puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

3.4.2. APNEA DEL SUEÑO

EL 40% de las personas con apnea del sueño tienen diabetes, aunque se desconoce la incidencia de nuevos casos de diabetes en personas con apnea del sueño. En las personas con diabetes esta complicación tiene efectos en la capacidad de controlar la glucosa en sangre.

3.5. INSULINA

La insulina es una hormona que se produce en el páncreas. La insulina permite que la glucosa entre en las células de cuerpo, donde se convierte en energía. Las personas con diabetes Mellitus tipo 1 no pueden sobrevivir sin la dosis diaria de insulina. En 1921, el científico Frederick Banting y el estudiante de medicina Charles Best aislaron una sustancia del páncreas de los perros a la que llamaron Isletin y que ahora se conoce como insulina. En una serie de experimentos, descubrieron que un perro al que se hubiera extirpado el páncreas podía mantenerse con vida con inyecciones de isletin. Al año siguiente, después de mucho trabajo de laboratorio para purificar la insulina extraída de un ternero fetal,

un niño de 14 años llamado Leonard Thompson se convirtió en la primera persona con diabetes en recibir una inyección de insulina. Y su condición mejoró significativamente. [8]

4. PROTOTIPO INFUSOR DE INSULINA

Cuando se habla de un prototipo infusor de insulina, se hace referencia al diseño de un sistema electro-mecánico que simule el funcionamiento de una bomba infusora de insulina real, el cual gracias a órdenes mandadas desde un controlador inyecta la cantidad de insulina requerida por el paciente, para esto las bombas infusoras de insulina están compuestas de una serie de mecanismos que al engranar entre si forman un sistema capaz de cumplir las órdenes recibidas.

Este prototipo consta de 3 partes fundamentales, la parte de comunicación, de control interno y la mecánica, las cuales en conjunto generan un funcionamiento adecuado a las necesidades de este proyecto; todo prototipo funcional requiere de un diagrama de bloques que plantee de forma general la estructura del mismo y a su vez dar una idea de sus conexiones internas para así poder definir aspectos específicos como la naturaleza del prototipo, elementos necesarios para la construcción y puesta a punto del mismo, posibles destrezas y debilidades del prototipo entre otras cosas.

Este diagrama de bloques está comprendido por las 3 partes fundamentales de este proyecto, control, comunicación y desempeño mecánico las cuales de forma singular tienen sus propias áreas del conocimiento, como lo es programación, protocolos de comunicación y funcionamiento mecánico, etc., este diagrama lo podemos observar a continuación:

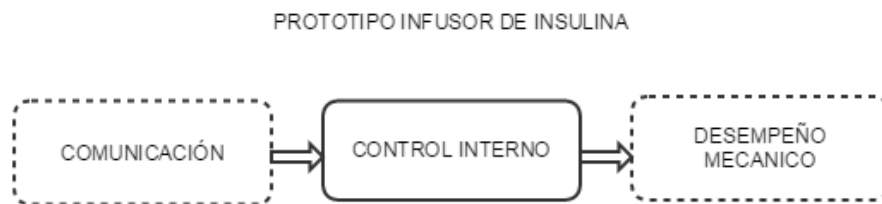


Figura 2. Diagrama de bloques prototipo infusor de insulina

La primera parte está comprendida por la comunicación entre el celular y el prototipo la cual está definida por protocolos de comunicación Bluetooth, para esta parte se utilizara el módulo HC-05 el cual cumple con las especificaciones

necesarias para cumplir esta tarea, a continuación información de utilidad acerca de este módulo.

4.1. MODULO BLUETOOTH (HC-05)

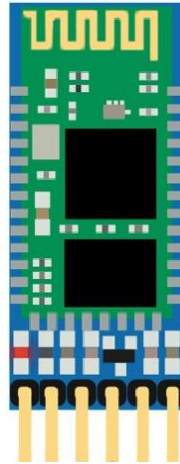


Figura 3. Modulo Bluetooth HC-05

De las características más significativas del módulo Bluetooth HC-05 es la excelente relación de precio y características, teniendo en cuenta que es un módulo Maestro-Esclavo, esto quiere decir que no solo recibe datos provenientes de una conexión con una PC o Tablet, también tiene la capacidad generar conectividad entre varios dispositivos Bluetooth; esto es fundamental si se requiere conexión entre celulares inteligentes y micro-controladores, siendo el HC-05 pieza clave al conectarse físicamente con el micro-controlador. [9]

El modo de comandos AT es una función que tiene el HC-05 el cual sirve para modificar condiciones iniciales del módulo, como lo es nombre del dispositivo, password, modo maestro/esclavo.

Características Hardware:

- Sensibilidad Típica : -80dBm
- Potencia de transmisión RF: +4dBm
- Compatible con Arduino®
- Funcionamiento de bajo consumo
- Interfaz UART con velocidad de modulación en baudios programable
- Antena PCB integrada

Características del Software:

- Tasa de modulación en baudios: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.
- Velocidad en baudios (Comandos AT): 38400, Bits de datos: 8, Bit de parada: 1, Paridad: No tiene paridad.
- Permiso para conectar el dispositivo emparejado de forma predeterminada
- PINCODE por defecto: 1234
- Auto-conexión del dispositivo con la última configuración por defecto.
- Reconexión automática en 30 min por pérdida de conexión al salirse del rango.

Después de analizar el HC-05 como elemento base en cuanto a la parte de comunicación del prototipo teniendo en cuenta su funcionalidad y características de hardware y software; el paso a seguir es la relación que tiene este dispositivo de comunicación con el resto del prototipo, es decir, que elemento se encargara de interpretar los comandos seriales recibidos por el módulo HC-05.

El control interno del prototipo, se entiende como la parte encargada de interpretar los comandos enviados desde el celular y así dar las órdenes adecuadas para el funcionamiento correcto de la parte mecánica del proyecto, para este control se requiere un dispositivo que pueda cumplir con ciertas funciones específicas, como lo es tener la capacidad de interpretar código ASCII, recibir datos de entrada en códigos de programación y transformarlos en diferentes tipos de salidas, ya sea proporcionando polarización, transmisión de datos, o dando órdenes para movimientos mecánicos mediante impulsos eléctricos, etc.

Para este control se utilizara la tarjeta Arduino® UNO, ya que es una tarjeta de desarrollo que permite realizar todas las funciones necesarias para el control de este prototipo en particular.

4.2. ARDUINO UNO.

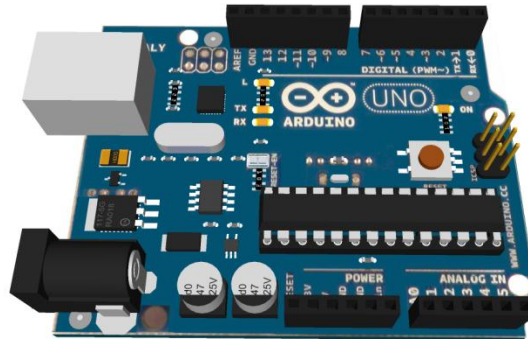


Figura 4. Arduino® UNO

El Arduino® es una plataforma de computación física de código abierto, diseñada para interactuar y controlar fenómenos del mundo físico, a pesar de estar basado en una tarjeta de desarrollo electrónica simple y un entorno de desarrollo con el cual se puede generar diversas actividades ya que cuenta con un entorno de desarrollo de código abierto para escribir FIRMWARE, estos códigos pueden ser elaborados por cualquier persona ya sea programador profesional o aficionado, los códigos para diversas actividades pueden también ser descargadas de forma gratuita.

Una de sus grandes ventajas es la facilidad que tiene para generar desarrollos interactivos, ya que posee pines de entrada y de salida a los cuales se les puede conectar dispositivos como interruptores, sensores, luces, paneles táctiles entre otros y para efectos de este proyecto Motores y dispositivos de comunicación inalámbricos.

Características a tener en cuenta:

- Micro-controlador: **Atmega328**
- Tensión de funcionamiento: **5V**
- Voltaje de entrada (Recomendado): **7-12V**
- Voltaje de entrada (Mínimo y Máximo): **6-20V**
- Pines Digitales I/O: **14, 6 proporcionan PWM**
- Pines de entrada Analógica: **6**

- Corriente I/O DC PIN: **40mA**
- Corriente DC PIN 3.3V: **50mA**
- Memoria Flash: **32KB(Atmega328)**
- SRAM: **2KB(Atmega328)**
- EEPROM **1KB(Atmega329)**
- Velocidad de Reloj: **16MHz**

El Arduino® UNO tiene una variedad de funciones y capacidades no solo en Software sino también en Hardware, la cual lo convierte en uno de los dispositivos más aclamados para el desarrollo de diferentes actividades; para este caso no se utilizarán todas las partes físicas que nos facilita la tarjeta de desarrollo, pero si se hará referencia a algunas de las que se usarán. [11]

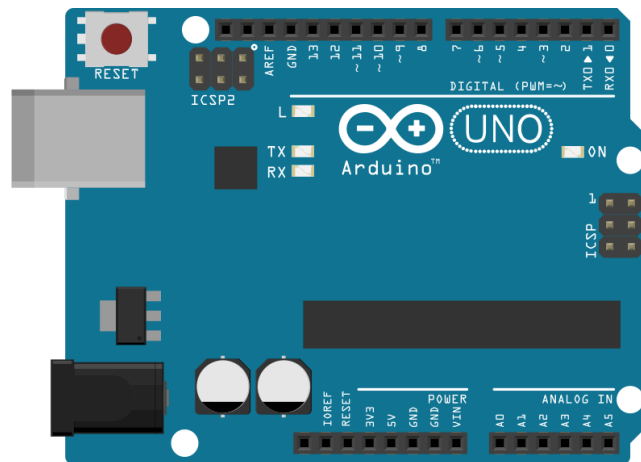


Figura 5. Elementos Arduino® UNO

La tarjeta de desarrollo Arduino® tiene un arreglo de pines con diferentes funciones, están pines cumplen funciones análogas las cuales son usados para variar características en las medidas, un elemento comúnmente usado para evidenciar estos comportamientos son los potenciómetros, debido a su capacidad de variar su resistividad según lo requerido por el usuario.[11]

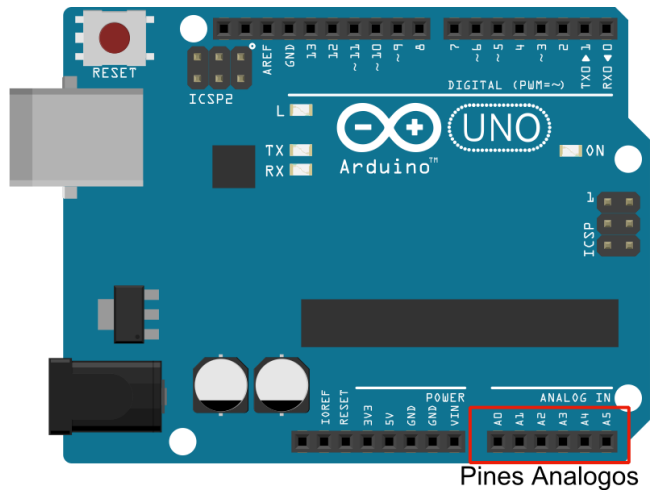


Figura 6. Pines Análogos Arduino® UNO

Los pines digitales están diseñados para manejar información por pulsos, es decir impulsos generados ya sea por órdenes provenientes desde el Software de la tarjeta de desarrollo o captadas del exterior, estos pines son normalmente usados para dar órdenes básicas como encendido y apagado de algún elemento como LEDS, motores, entre otros, así como también la polarización constante de los mismos, siempre y cuando cumplan con las características eléctricas proporcionadas por el Arduino® UNO, también tienen la capacidad de proporcionar señales PWM.[11]

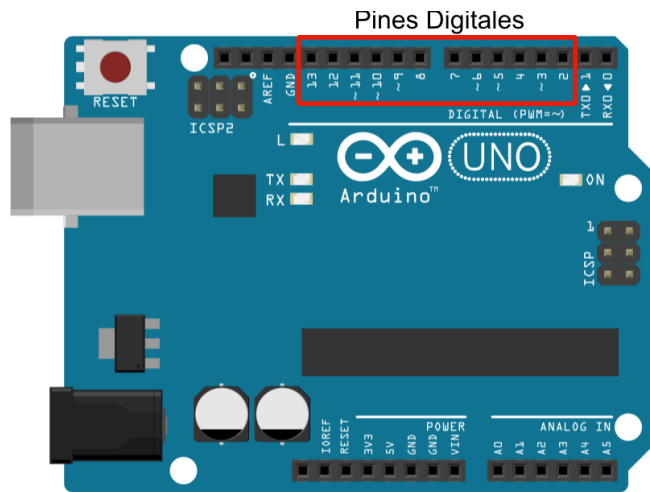


Figura 7. Pines Digitales Arduino® UNO

Los Pines de transmisión y recepción de datos son pines exclusivos para el manejo de información entre la tarjeta de desarrollo de Arduino® y elementos externos ya sean alámbricos o inalámbricos, la tarjeta de desarrollo de Arduino® UNO maneja dos pines especializados en esta transferencia de datos, uno visualizado como TX que se usa para la transmisión de datos provenientes del Arduino® y RX que se utiliza para la recepción de datos del mismo, maneja los siguientes rangos de ancho de banda 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.[11]

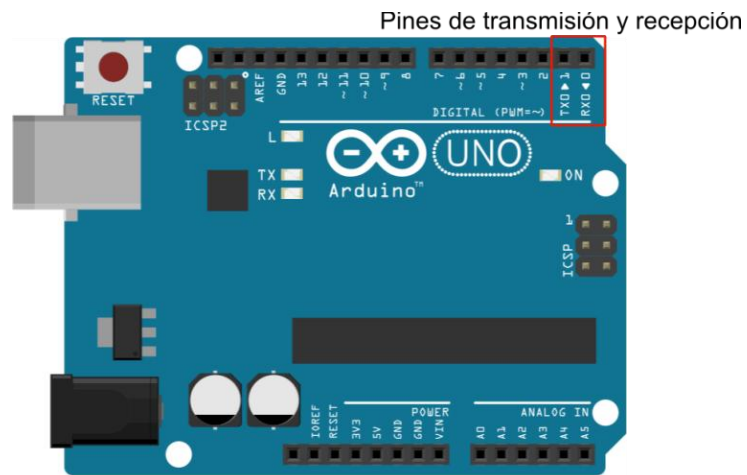


Figura 8. Pines RX / TX Arduino® UNO

Otro tipo de Pines que maneja la tarjeta de desarrollo de Arduino® UNO son los dedicados única y exclusivamente a la polarización, estos son Pines que están definidos por defecto como los encargados de proporcionar voltaje DC, o suministrar tierra al circuito elaborado, para este caso en particular se usará un PIN de salida de 5V a 40mA, y un PIN de tierra GND, que se usará para polarizar el módulo Bluetooth. [11]

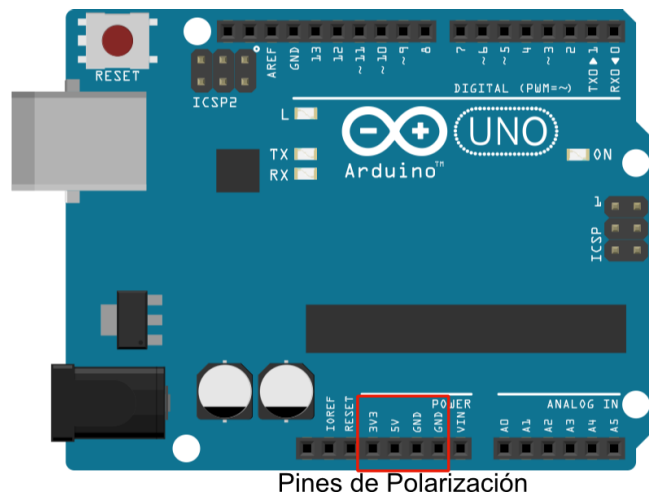


Figura 9. Pines de polarización Arduino® UNO

Uno de los elementos principales de esta tarjeta de desarrollo Arduino® UNO es el micro-controlador Atmega328 en el cual se pueden generar todos los cambios en el ámbito del Software, es el cerebro del Arduino® y tiene la capacidad de interconectar todas las salidas y entradas de la tarjeta de desarrollo así como también los elementos asociados a la misma, su entorno de desarrollo está basado en Processings, es un lenguaje de programación amigable para las personas aficionadas a la programación por su facilidad de interacción además de ser un software libre fácil de obtener, puede ser utilizado para crear imágenes, animaciones e interacciones con el medio, algunas de sus características son las siguientes [11]:

Micro-controlador Atmega328:

- 32KB de memoria flash para programación
- Interfaz, 2-wire,SPI,USART
- 23 puertos de entrada/salida programables
- 3 temporizadores
- 6 canales de 10bits de ADC
- Tamaño de datos RAM: 2KB
- Velocidad, 20MHz

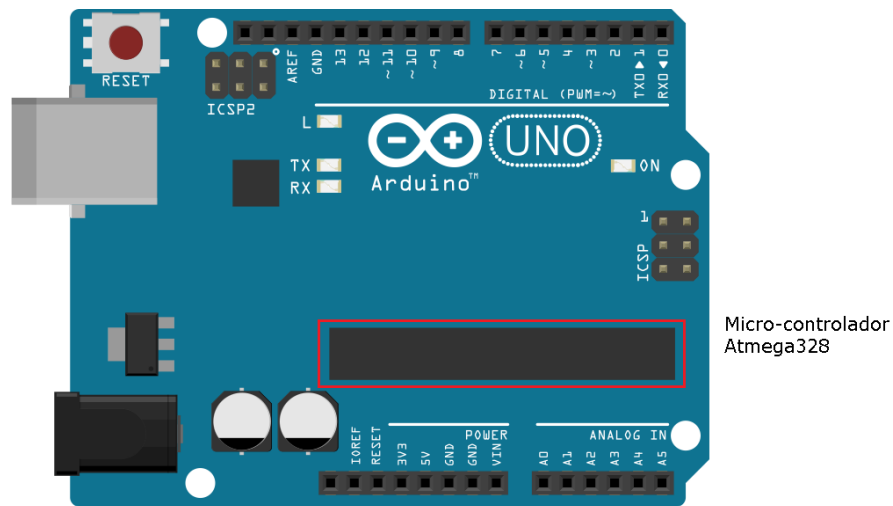


Figura 10. Micro-controlador Arduino® UNO

Estas son algunos de los elementos a emplear provenientes del Arduino® UNO, que se pueden utilizar para diversos experimentos, trabajos, investigaciones y demás; aunque estos son los que se utilizarán para el desarrollo del prototipo, es hora de analizar cómo se emplearán estas facilidades.

Como se ha especificado con anterioridad este prototipo consta de 3 fases fundamentales, la comunicación, el control y el desarrollo mecánico; hasta ahora hemos analizado en que consiste la parte de comunicación y el control haciendo alusión al módulo Bluetooth HC-05 y al Arduino® UNO respectivamente, pero no es solo tener cada elemento y saber su funcionamiento y características, también se debe tener claro cómo lograr una conexión entre ambas partes de tal forma que su funcionamiento en conjunto sea lo esperado, para esto es necesario tener claro sus características eléctricas a la hora de generar una conexión.

El HC-05 cuenta con 6 Pines y cada uno con una función determinada de los cuales 2 de ellos son prescindibles, como lo son el PIN STATE y el PIN KEY, los cuales tienen como función cambiar las configuraciones iniciales de nuestro modulo, pero como para efectos de este prototipo no es necesario varias estas condiciones de fábrica no serán empleados; por ende el enfoque está en los 4 Pines restantes que son VCC, GND, RX, TX, los cuales son polarización y transmisión de datos.

El módulo HC-05 tiene un rango de operación en transmisión y recepción de entre 1.8V – 3.6V y una polarización de 5V, por lo tanto se debe tener claro que Pines

en el Arduino® UNO pueden proporcionar ese tipo de características y que sean aptos para desempeñar las funciones necesarias para un enlace correcto entre los dos dispositivos, en lo visto anteriormente quedo claro que el Arduino® UNO tiene Pines de salida encargados de la polarización en caso de ser necesario, estos Pines manejan 5V de salida por lo tanto funcionan perfectamente para alimentar el modulo Bluetooth así como también GND, además de la polarización, está la transmisión y recepción de datos los cuales también se habían organizado en un tipo de Pines determinados en la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO y estos vienen configurados de fábrica para que cumplan con estas características para la transmisión y recepción de datos.

A continuación la conexión entre el modulo Bluetooth y Arduino® UNO.

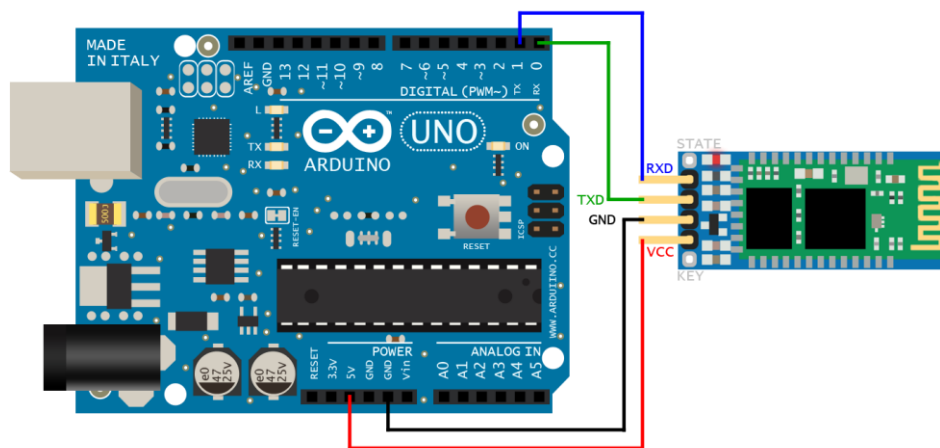


Figura 11. Conexión HC-05 y Arduino® UNO

Las conexiones en la Figura 11, son las concernientes a las funciones de los pines de la tarjeta de desarrollo con respecto a las características eléctricas del módulo Bluetooth; se polariza con los siguiente pines, VCC a 5V y GND, se conecta el pin TXD del HC-05 al pin0 de la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO correspondiente al RX, y el pin RXD del HC-05 al pin1 de la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO correspondiente al TX, de esta manera las conexiones físicas entre el Modulo HC-05 y el Arduino® UNO quedan finalizadas.

Al tener lista no solo la parte conceptual de la comunicación y el control del prototipo sino también las conexiones entre ellos, podemos avanzar a la tercera parte, el desarrollo mecánico del proyecto; este desarrollo consiste en saber cómo

interpretar las ordenes mandadas desde la fase de control y transformar esas órdenes eléctricas en movimiento mecánico, entre otros.

4.3. MOTOR PASO A PASO CON CAJA REDUCTORA

Este motor pasó a paso esta internamente controlado por bobinas electromagnéticas, debido a que el centro del motor está conformado por un arreglo de imanes montados unos encima de otros, al generar campos magnéticos con los bobinados logramos que los imanes se atraigan o se repelen logrando así el movimiento del eje central y por ende del motor.

Para este proyecto se usara un motor paso a paso 28BYJ-48 ya que cuenta con las características eléctricas y mecánicas óptimas para el enlace con la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO; por su corto tamaño se adapta fácilmente al diseño general del prototipo, proporciona un torque más que suficiente que le permite realizar sus labores a cabalidad, por su diseño interno el eje central del motor gira con intervalos muy pequeños y esto quiere decir que la cantidad de pasos que da el motor antes de lograr girar 360° es muy significativa lo que genera mucha más precisión. [10]

Características generales MOTOR 28BYJ-48:

- Voltaje de operación: 5VDC
- Número de la Fase 4
- Relación de variación de velocidad 1/64
- Angulo por pasos 5,625 ° / 64
- Frecuencia 100Hz
- Resistencia DC $50\Omega \pm 7\%$ (25 °C)
- Frecuencia de tracción de entrada > 600Hz
- Frecuencia de tracción de salida > 1000 Hz
- Auto-posicionamiento de par > 34.3mN.m
- Par de fricción 600-1200 gf.cm
- Torque en par 300 gf.cm



Figura 12. Motor paso a paso 28BYJ-48

Este motor viene con una caja reductora integrada la cual tiene como función principal generar más torque; la conexión física del motor esta visualizada por las salidas de colores, estos colores tienen su razón de ser, ya que para generar el movimiento del motor es necesario polarizar cada uno de sus imanes internos en un orden específico, este orden ya viene por defecto de fábrica por lo tanto lo que se debe hacer es probar cual es el orden adecuado.

Hay que tener en cuenta que son cinco cables de los cuales cuatro de ellos pertenecen a los embobinados y uno es común entre los dos embobinados.

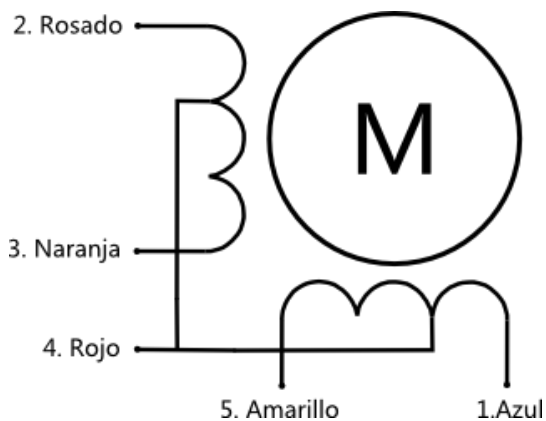


Figura 13. Conexiones Motor paso a paso

El cable número cuatro de color rojo es el común entre ambos embobinados y por ende es el encargado de la polarización del motor, mientras que los otros cuatro cables son los encargados de generar el campo magnético en los embobinados.

Esto es con respecto elemento encargado de la acción mecánica del prototipo, pero el motor solo no puede funcionar ya que es necesario de un sistema que le genere esos pulsos eléctricos en sus conexiones alámbricas de tal forma que al recibirlos en el orden correcto pueda generar el movimiento, para esto es necesario acudir a la fase de control del prototipo la cual tiene la capacidad de proporcionar no solo estos pulsos eléctricos de 5V como lo especifica las condiciones eléctricas del motor sino que también proveerlas en el orden correcto.

Para estas conexiones se utilizaran los pines digitales de la tarjeta de desarrollo de Arduino® UNO los cuales pueden generar estos pulsos eléctricos necesarios para la polarización de los embobinados del motor y con ayuda del circuito integrado ULN2003 que proporciona una interfaz de transmisión directa entre el micro-controlador y el motor paso a paso. Este provee de 4 entradas para la conexión al micro-controlador, se puede analizar como un driver el cual permite el correcto funcionamiento del motor al recibir las órdenes del Arduino® UNO.

Pero ¿Cuál es la función del motor paso a paso?, la función final de este prototipo es el de inyectar una cantidad de insulina requerida por el usuario, para esto se requiere una unidad almacenadora de insulina ya que una de las virtudes de las bombas infusoras de insulina, y este prototipo no puede ser la excepción, por eso es indispensable que este no solo cuente con este almacenamiento sino que también pueda hacer uso de él para suministrar insulina; es en este punto donde el motor paso a paso tiene su intervención.

Lo primero es determinar cuál será este contenedor de insulina y para ello se utilizara una jeringa de insulina de 100 unidades ya que cuenta no solo con la capacidad suficiente para el usuario, sino que también cuenta medidas certificadas por el fabricante donde expresa con claridad el contenido de la misma lo que asegura la cantidad suministrada después del uso.



Figura 14. Jeringa de insulina

Por condiciones de diseño está adaptada para que el embolo interno de la jeringa se desplace hacia dentro a medida que el mismo gira; esto se puede lograr de la siguiente manera, ya que el movimiento mecánico está basado en el giro del motor paso a paso, era necesario lograr que en la medida en el que el motor gire el embolo de la jeringa lo haga también y al mismo tiempo vaya avanzando, es decir, generar movimiento rectilíneo basándose en uno angular, para que la jeringa pueda avanzar mientras gira se necesita de dos cosas, lo primero es que el cuerpo del embolo tenga un enroscado, es decir, el cuerpo del embolo tenga un tallado igual al de un tornillo convencional y segundo que el tambor el que entra el embolo tenga una abertura en forma de tuerca, de esa manera a medida que el embolo va girando ira desplazándose por efecto de la rosca.

Después de tener claro la fase final del prototipo, es importante tener en cuenta que este movimiento mecánico es generado por el control interno del mismo, así como también la conexión inalámbrica entre el módulo HC-05 y la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO; estas conexiones son netamente físicas e inalámbricas las cuales simplemente son un medio de transporte para datos y pulsos eléctricos por lo tanto es indispensable saber cómo puede esta unidad de control, administrar los recursos que han quedado a su mando.

La tarjeta de desarrollo Arduino® UNO cuenta con un micro-controlador identificado como Atmega328 el cual se puede entender como el cerebro de la misma, en el se realiza toda la configuración de la tarjeta de desarrollo en el ámbito de software; para este proyecto en particular se realizó código en cual le permitió al Arduino® UNO entender los datos provenientes del módulo HC-05 e

interpretarlos de tal forma que por el mismo código se pudiese enviar las ordenes correctas que den como resultado el óptimo funcionamiento del motor y por ende de la parte mecánica del prototipo.

Este código abierto de software está basado en Processing, el cual es muy fácil de aprender ya que existen muchos tutoriales en internet y documentación al respecto, esa es una de las facilidades que tiene un sistema de programación de código abierto; para este caso en particular el software funciona de la siguiente manera:

1. Recibe información en código ASCII proveniente del aplicativo móvil por medio de comunicación Bluetooth.
2. Interpreta la información obtenida y genera datos numéricos.
3. Envía órdenes para generar impulsos y las salidas determinadas, en el tiempo determinado y una cantidad de veces necesarias para que el sistema mecánico se pueda desenvolver de manera correcta.

Es pertinente aclarar nuevamente que este dispositivo es un prototipo que simula el funcionamiento de una bomba de insulina real, esto significa, que el hecho de ser real es porque cuenta con certificaciones no solo de calidad sino también médicas las cuales sopesan muchas pruebas en personas, diseños avanzados con elementos diseñados y creados específicamente para cada bomba infusora de insulina; por ende este prototipo solo adoptara algunas de las funciones de una bomba de insulina real, como lo es el suministrar insulina en cantidades determinadas por el usuario, contar con un diagrama de funcionamiento interno similar a una real, ser controlado por el usuario desde un aparato remoto al prototipo, no ira conectado de manera real a un paciente ni le suministrara insulina y no contara con certificaciones médicas ni de calidad.

4.4. ENSAMBLAJE

El ensamblaje de este prototipo requiere que varios elementos que lo conforman estén alineados de tal forma que al activar el prototipo no tenga inconvenientes en cuanto a la ubicación para así poder desempeñarse a cabalidad; esta alineación no se debe hacer con respecto a la apreciación del ojo humano, por lo tanto, se debe hacer uso de un programa especializado en diseño para poder crear ciertos elementos que son de gran importancia para el ensamblaje de todos los elementos anteriormente nombrados los cuales se explicarán a continuación.

Se debe empezar por tener claridad que todos los elementos han sido diseñados en un programa especializado en este tipo de trabajos llamado SolidWorks®, el cual es un software de diseño asistido por computadora para el modelado mecánico en 3D, este programa nos permite modelar piezas, conjuntos, herramientas, etc., y extraer de ellas medidas exactas y planos técnicos para la elaboración física de las mismas.

Estos elementos que fueron diseñados en SolidWorks® son elementos que por condiciones de diseño el material elegido es Acrílico, por sus características de moldeo, facilidad de hallar en el mercado, por sus bajos precios con respecto a otros materiales y la facilidad de encontrar empresas especializadas en corte y elaboración.

Los elementos que hacen parte de este prototipo deben estar ubicados sobre una plataforma la cual será la base del mismo, esta plataforma esta echa en acrílico y debe tener las medidas necesarias para abarcar todas las piezas de este prototipo además de las perforaciones necesarias para fijar cada uno de estos a ella, para lograr esto se generó el siguiente diseño.

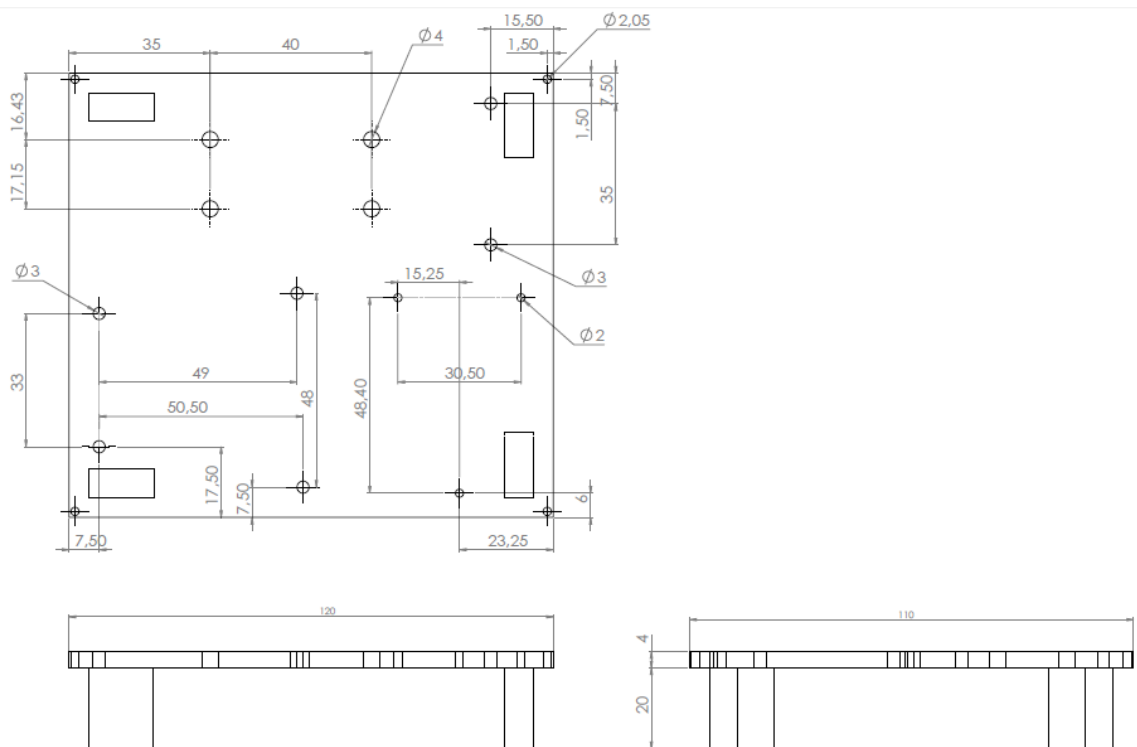


Figura 15. Plano base

En esta se puede encontrar medidas, de largo, ancho, altura, grosor y la ubicación de cada una de las perforaciones que tienen como objetivo fijar todos los elementos a la base, cada agujero tiene medidas respectivas a cada límite de la base y con respecto a ellos mismos para mayor precisión.

Seguido de la base se deben diseñar bases individuales para cada uno de los elementos del prototipo siempre y cuando sea necesario para el proceso de fijado en la base principal; por lo tanto se debe empezar con la fuente de alimentación, para ellos se diseño una especie de cajón de tal forma que las pilas cuadradas puedan encajar y quedar fijas en la base como se muestra a continuación.

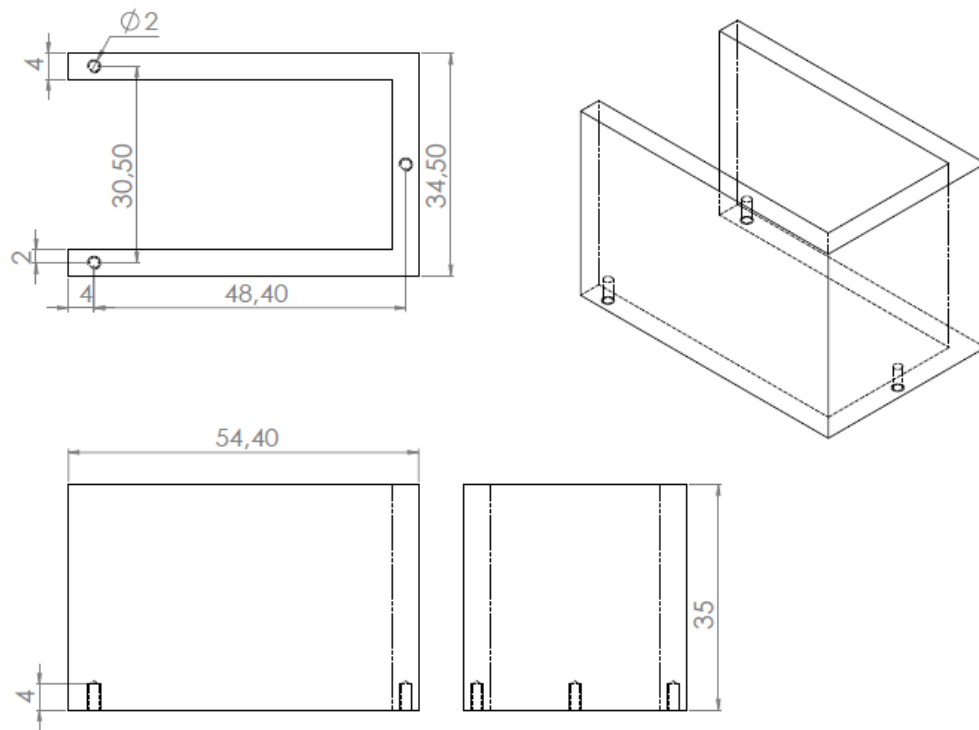


Figura 16. Plano base baterías

La figura 16 muestra en detalle las dimensiones y perforaciones de la base diseñada para las baterías.

El siguiente diseño corresponde a la base para fijar el motor DC, esta tiene forma de cuneta según las especificaciones de forma que tiene el motor ya que este

debe encajar perfectamente sobre ella y así mismo quedar totalmente fijo para evitar cualquier tipo de juego a la hora de estar en funcionamiento.

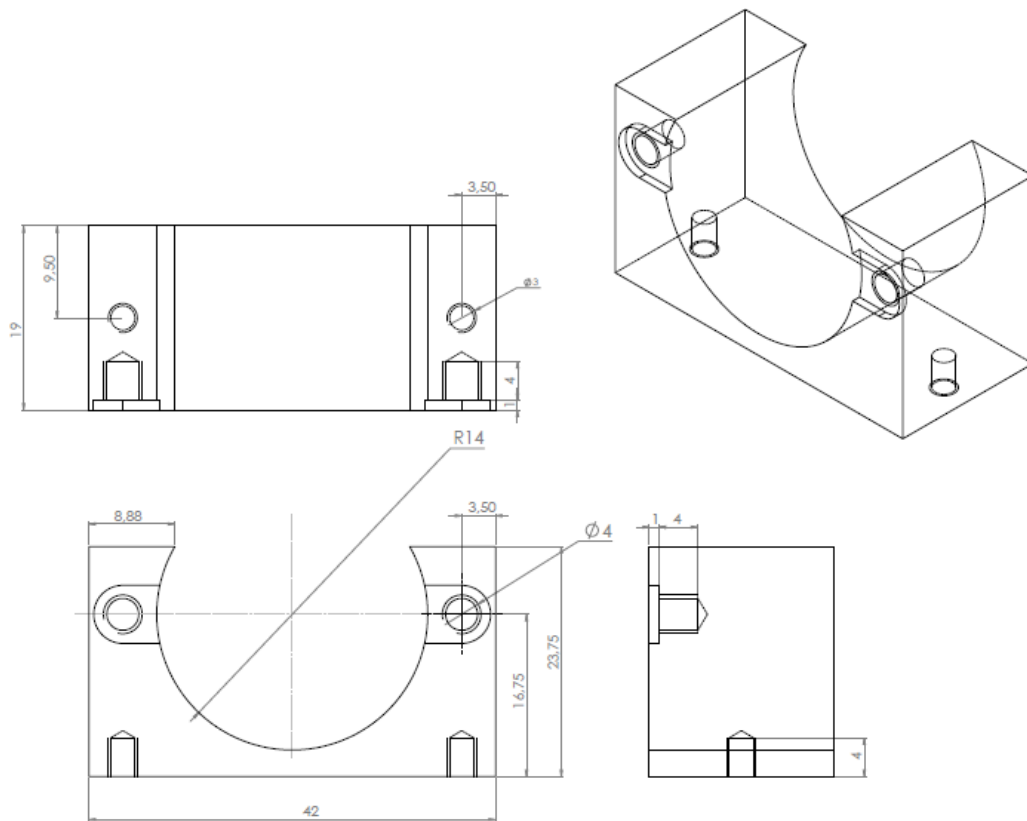


Figura 17. Plano base motor

En la figura podemos observar las medidas de cada lado del elemento así como también las perforaciones para adherirlo a la base principal y las perforaciones para fijar el motor al mismo, adicional se encuentra la visualización del elemento en 3 dimensiones.

El siguiente elemento se creó a partir de la necesidad de fijar la jeringa que contiene la insulina a suministrar a la base principal pero esto conlleva a una serie de impedimentos y condiciones debido al sistema pensado para la unión del motor DC a la jeringa ya que el fenómeno empleado consta de transformar movimiento circular proporcionado por el motor en uno lineal por el embolo de la jeringa.

Para lograr esto, al embolo de la jeringa debe tener un enroscado, esto tiene sentido siempre y cuando al tambor de la jeringa tenga una entrada con forma de rosca en la parte trasera del mismo, obligando a que cuando el embolo entre lo

haga enroscándose y esa sea la única forma en que este pueda desplazarse en el interior del tambor.

Este embolo va unido al motor DC por un acople el cual asegure que el giro del embolo sea directamente proporcional al giro del motor DC, pero debido a esto el embolo no se puede desplazar ya que el motor está fijado a la base principal y el embolo fijado a él, por lo tanto se debe idear una forma para que no sea el embolo el que se desplace sino el resto de la jeringa pero que al mismo tiempo siempre este fija ya que el mismo giro del embolo puede ocasionar que el resto de la jeringa gire con él y así sea imposible el desplazamiento del embolo dentro de la misma.

La forma en que esto pueda ser posible es que el resto de la jeringa se mueva de forma lineal con respecto a la posición del embolo para que así no afecte el normal desempeño de la inyección de la insulina que es el objetivo principal, esto en cuanto al desplazamiento, pero el giro de la jeringa seguiría siendo un impedimento; para solucionar estas dos problemáticas se hará uso de una característica física que tienen las jeringas convencionales que es el SOPORTE, el cual se utiliza para fijar la inyección entre los dedos de las manos para dar estabilidad a la hora de aplicar una inyección de forma convencional. Este soporte tiene forma de aspas las cuales serán de suma importancia para poder desarrollar la idea.

El procedimiento consiste en diseñar un buje el cual internamente tiene la forma del soporte dado que este contiene los límites máximos en cuanto al área de la jeringa si se observa desde la parte trasera de la jeringa, el objetivo es que este buje sirva como riel en el cual el tambor se pueda desplazar de forma lineal dentro del buje y al estar el tambor dentro del buje evita que la jeringa se mueva hacia los lados.

En cuanto al giro del tambor, este mismo buje lo soluciona ya que estas aspas que comprenden el soporte al estar deslizándose dentro del buje que tiene exactamente las medidas evita que las aspas giren sobre su propio eje, al final en la salida del buje la abertura comprendida tiene la forma del tambor para lograr sostener la jeringa al mismo nivel que el eje del motor DC.

Así al embolo girar sobre sí mismo sin desplazarse obliga a que sea el sistema en forma de tuerca que se implementó en el tambor el que se va a desplazar sobre el largor del embolo enroscado y por ende el tambor completo; todo esto es posible

ya que el buje solo permite que el tambor se desplace linealmente sobre una misma línea y también evita que el tambor gire producto del giro del embolo debido al movimiento del motor.

En la siguiente imagen se observa los planos del buje implementado para el soporte de la jeringa en el cual se divisan las medidas de cada uno de sus lados y compartimientos internos además de los orificios para fijarlo a la base principal del prototipo, también una visualización en 3D para comprender mejor la forma del mismo.

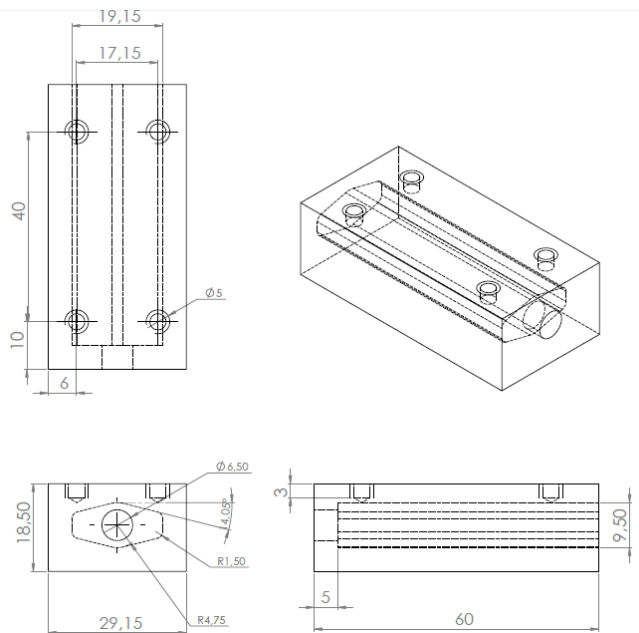


Figura 18. Plano buje

La tapa del prototipo se encarga de proteger los elementos de los que se compone el prototipo y dar un acabado final al aspecto dl mismo.

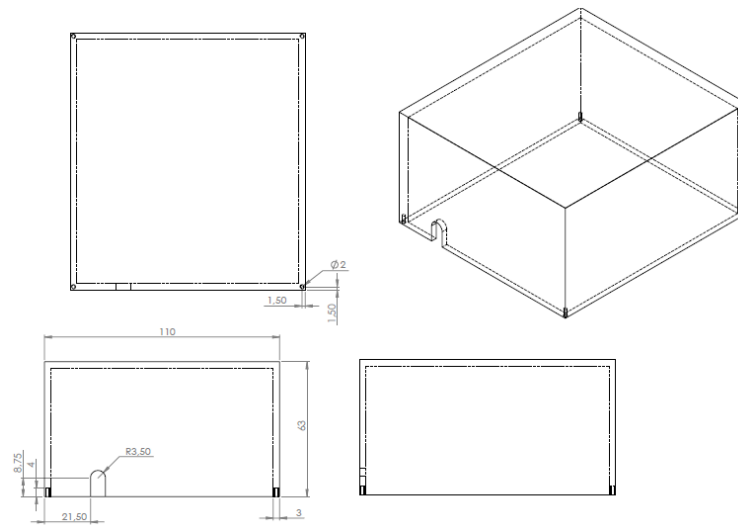


Figura 19. Plano tapa

En la figura 19 se observa las medidas de cada lado del elemento así como también las perforaciones para adherirlo a la base principal, adicional se encuentra la visualización del elemento en 3D.

En cuanto a la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO, no es necesario diseñar un elemento para adherirlo a la base principal ya que la tarjeta de desarrollo tiene las perforaciones de fábrica con las cuales pueda fijarse a cualquier superficie plana.

Además de los diseños hechos en SolidWorks®, también es necesario elaborar una PCB para generar las conexiones entre la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO, el módulo HC-05 y el motor DC; para esto se usa un entorno de desarrollo llamando Eagle el cual se especializa en diseño de tarjetas electrónicas e impresión de las mismas, para este prototipo se diseñó el siguiente esquemático y el diseño físico de la tarjeta.

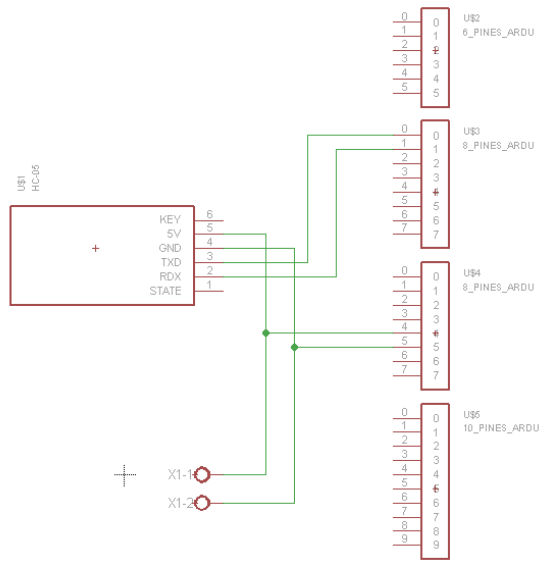


Figura 20. Diseño esquemático

Cada elemento requirió de crear las librerías propias para poder emplearlas en el diseño como tal, ya que ciertas características de medidas no se hallaban en las librerías que el programa tiene por default.

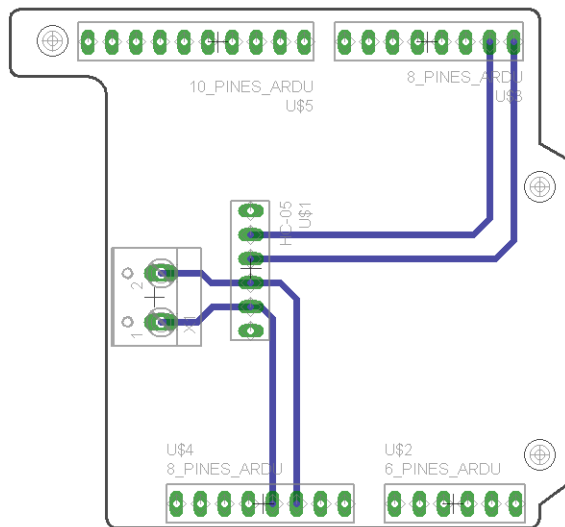


Figura 21. Diseño físico de la tarjeta

Este es el diseño que tiene la tarjeta electrónica que hace las veces de conexión entre los elementos del prototipo, el diseño es igual en tamaño y medidas a la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO para facilitar las conexiones, no solo en cuanto a la distribución de Pines, sino también en perforaciones.

Esta tarjeta está conectada de forma modular con la tarjeta de desarrollo Arduino® UNO para minimizar conexiones y espacio, esto permite que el resto de los elementos se puedan conectar de la misma forma generando niveles entre elementos que garantizan continuidad y una mejor apariencia en cuanto al diseño interno.

el diseño en SolidWorks® de la totalidad del prototipo para generar mayor claridad de la construcción del mismo.

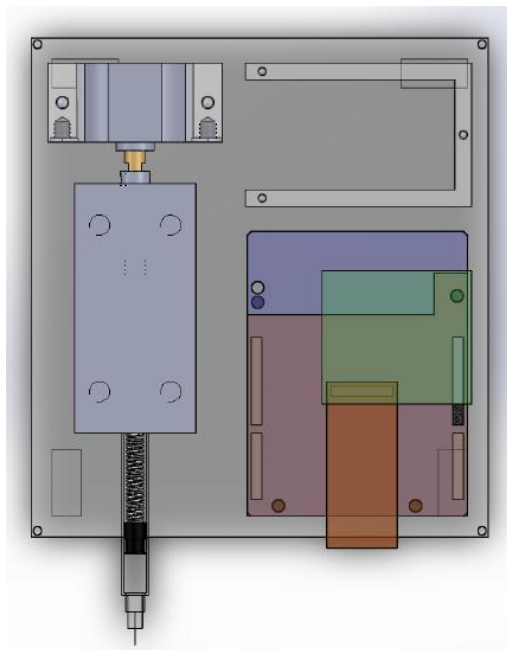


Figura 22. Plano ensamblaje 1

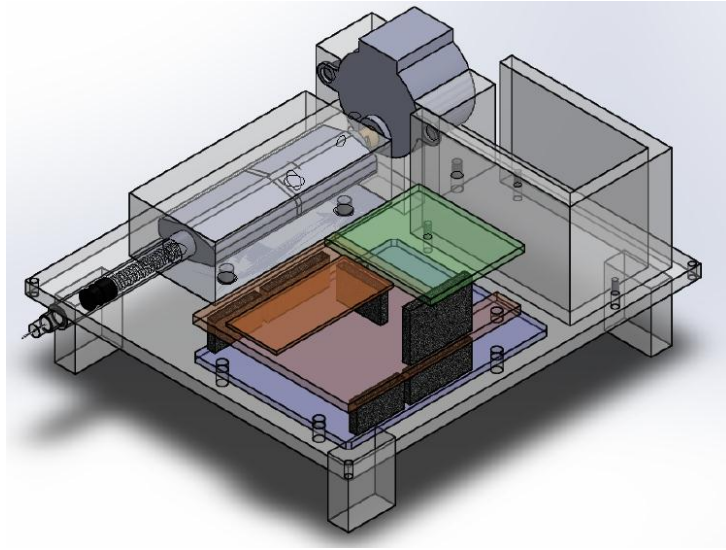


Figura 23. Plano ensamblaje 2

5. APLICATIVO MOVIL PARA EL CONTROL DE PROTOTIPO INFUSOR DE INSULINA

5.1. APLICATIVO MOVIL

Un aplicativo móvil es una aplicación informática diseñada para ser ejecutada en teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos móviles. Por lo general se encuentran disponibles a través de plataformas de distribución, operadas por las compañías propietarias de los sistemas operativos móviles como Android®, iOS, BlackBerry OS, Windows Phone, entre otros [12].

El aplicativo “My Personal Data Manager” *MyPDM* fue desarrollado sobre la plataforma Eclipse ® [13], con el entorno de desarrollos integrados *IDE* y el conjunto de herramientas de desarrollo *SDK* para Android® [14] con el fin de crear un aplicativo móvil que sea de fácil manejo e interacción con el usuario y que corra sobre dispositivos móviles con sistema operativo Android®.

Este aplicativo móvil ayuda con el monitoreo y control de la diabetes Mellitus tipo 1, al estar conectada por medio de comunicación Bluetooth con un prototipo infusor de insulina. Los tratamientos con infusores de insulina se basa en el cálculo de carbohidratos que el paciente ingiere en el transcurso del día; para la implementación de este tratamiento sobre un paciente se deben tener en cuenta aspectos como:

- Dosis diaria total de insulina del paciente
- Insulina Basal
- Relación Insulina Carbohidratos
- Factor de sensibilidad de insulina

Normalmente un paciente diagnosticado con Diabetes Mellitus tipo 1 comienza tratamiento con inyecciones de insulina, donde el médico tratante formula dosis de insulina con factores como el peso y la edad del paciente. Al cambiar a tratamientos con infusores de insulina se deben hacer modificaciones en las cantidades de infusión de insulina ya que este último tratamiento presenta mayor eficiencia en el control de la glucemia en la sangre; a diferencia de las inyecciones de insulina que son formuladas por el médico tratante y que deben ser inyectadas “*n*” veces al día por el paciente en su cuerpo, los infusores de insulina constantemente inyectan “*x*” cantidad de insulina en el cuerpo del paciente, por lo que las dosis total diaria de insulina se reduce.

Para el cambio de tratamiento de inyecciones de insulina a infusores, y calcular las dosis necesarias se tiene establecido protocolos para el cálculo de dosis de insulina exacta para cada paciente, para este caso se usó la guía “Protocolo de Terapia con bombas para Insulina, Medtronic Diabetes” escrita por Bruce W. Bode. [15]

	FORMULA	UNIDADES
DOSIS REDUCIDA	<i>Dosis de inyección * 75%</i>	[unidades/día]
DOSIS DE PESO	<i>Peso [Kg] * 50%</i>	[unidades/día]
DOSIS DIARIA TOTAL	$\frac{Dosis\ reducida + Dosis\ de\ peso}{2}$	[unidades/día]

Tabla 1. Dosis diaria total de insulina.

Basado en la dosis de insulina con inyecciones aplicadas por el paciente y su peso se calcula la dosis de insulina total diaria que el paciente utilizara con el infusor de insulina. La dosis total diaria de insulina que el paciente requiere, debe ser dividida entre la insulina basal y la insulina en bolus.

	FORMULA	UNIDADES
UNIDADES BASALES TOTALES DIARIAS	<i>Dosis diaria total * 50%</i>	[unidades/día]
INSULINA BASAL	$\frac{Unidades\ basales\ totales\ diarias}{24\ horas}$	[unidades/día]

Tabla 2. Insulina Basal

La insulina basal es inyectada en el cuerpo del paciente las 24 horas del día, por su parte la insulina en bolus es inyectada al momento de ingerir alimentos, y mantiene relación directamente proporcional con la cantidad de carbohidratos ingeridos por el paciente.

	FORMULA	UNIDADES
UNIDADES DE BOLUS TOTALES DIARIOS	$Dosis\ diaria\ total - Unidades\ basales\ totales\ diarias$	[unidades/día]
RELACIÓN INSULINA CARBOHIDRATO	$\frac{450}{Dosis\ diaria\ total}$	[gramos/unidad]

Tabla 3. Relación insulina/carbohidrato

La relación insulina/carbohidrato es calculada dividiendo la constante de valor 450 sobre la dosis diaria total de insulina en el paciente. Con este valor se tiene una estimación acerca de la cantidad de insulina necesaria para cubrir la ingesta de carbohidratos por parte del paciente en el transcurso del día.

El factor de sensibilidad paciente/insulina da una estimación acerca de las dosis de insulina necesaria para cubrir el aumento de glucemia en la sangre. Este factor de sensibilidad se calcula dividiendo la constante 2000 sobre la dosis diaria total de insulina en el paciente.

	FORMULA	UNIDADES
FACTOR DE SENSIBILIDAD DE PACIENTE / INSULINA	$\frac{2000}{Dosis\ diaria\ total}$	[mg/dL / unidad]

Tabla 4. Factor de sensibilidad paciente/insulina

El aplicativo móvil está desarrollado de modo que se calcule la insulina necesaria para corregir el aumento de glucemia en la sangre al momento de ingerir una comida por medio de un bolus de insulina.

Con base en los datos presentados en la tabla 3 y tabla 4, se calcula las cantidades de insulina necesaria para lo que se denomina bolus de corrección de ingesta de carbohidratos y bolus de corrección de glucemia en sangre.

El paciente debe ingresar los valores de glucemia en la sangre y carbohidratos ingeridos y estos son aplicados sobre las formulas guardadas en el aplicativo móvil para el cálculo del bolus de corrección de ingesta de carbohidratos y bolus de corrección de glucemia en la sangre.

DATOS INGRESADOS POR EL PACIENTE	DATOS GUARDADOS EN APLICATIVO MOVIL
Carbohidratos ingeridos	Relación Insulina/Carbohidrato
Glucometria	Factor de Sensibilidad

Tabla 5. Datos ingresados por el paciente y datos alojados en el aplicativo móvil.

Al ingresar los gramos de carbohidratos ingeridos por el paciente, el aplicativo móvil calculara la dosis de insulina necesaria para cubrir este requerimiento.

CALCULO DE BOLUS DE CORRECCIÓN DE INGESTA DE CARBOHIDRATOS
$\frac{\text{Gramos totales de carbohidratos}}{\text{Relación insulina carbohidrato}}$

Tabla 6. Cantidad de insulina en bolus para corrección de glucemia al ingerir carbohidratos.

Un buen control de la diabetes es tener la glucemia controlada la cual se encuentra dentro del rango 80 mg/dL a 120 mg/dL, por lo tanto, en caso de presentarse un nivel elevado de glucemia se debe ingresar este valor y el aplicativo móvil calcula la cantidad de insulina necesaria para corregir los niveles de glucemia.

Debido a que se pueden llegar a presentar hipoglucemia al momento de aplicar un bolus de corrección de glucemia, la fórmula de corrección de glucemia en el aplicativo móvil está diseñada para disminuir los niveles de glucemia hasta 100 mg/dL el cual es un valor ideal dentro del rango de buen control de glucemia.

CALCULO DE BOLUS DE CORRECCIÓN DE GLUCEMIA
$\frac{\text{Glucemia actual} - \text{glucemia deseada (100 mg/dL)}}{\text{Factor de sensibilidad de insulina}}$

Tabla 7. Cantidad de insulina en bolus para corrección de glucemia en la sangre.

Para finalizar el cálculo de la cantidad de insulina en bolus a aplicar en el paciente se debe sumar el resultado del cálculo de bolus de corrección de ingesta de carbohidratos y el cálculo de bolus de corrección de glucemia en la sangre.

CANTIDAD DE INSULINA EN BOLUS A APLICAR
<i>Calculo de la cantidad de bolus de comida + Calculo de bolus de corrección</i>

Tabla 8. Cálculo de la cantidad de insulina en bolus a aplicar.

Todas las formulas antes mencionadas se encuentran integradas dentro del aplicativo móvil, tanto para suministrar insulina basal al paciente como para calcular y suministrar la cantidad de insulina en bolus que el paciente necesita al ingerir carbohidratos o para corrección de la glucemia. El paciente tiene acceso a estas funciones desde un menú principal donde se configuran las dosis formuladas por el médico tratante. [16]

El aplicativo móvil presenta una pantalla inicial donde el paciente podrá ingresar por medio de su usuario previamente creado, o de ser necesario registrar sus datos personales para crear su nuevo usuario y poder acceder a los diferentes menús del aplicativo móvil.



Figura 24. Aplicativo móvil / Inicio

La información registrada en el aplicativo móvil como Nombre, Apellido, Fecha de Nacimiento, Tipo de Sangre y demás datos personales serán guardados en la base de datos y podrá ser visualizada desde el aplicativo WEB.

The image shows a mobile application registration screen titled "Registrarse". It features a dark header with a blue circular logo and the text "Registrarse". Below the header, there are several input fields for user information: "Usuario", "Contraseña", "Nombre", "Apellidos", "Fecha de Nacimiento", "Tipo de Sangre", "EPS", "Correo", "Teléfono", and "Edad". A "Guardar" button is located at the bottom right of the form.

Figura 25. Aplicativo móvil / Registro de datos

Al completar todos los campos el paciente está en capacidad de acceder al menú principal del aplicativo móvil. Teniendo acceso al menú principal se tiene control del prototipo infusor de insulina por medio de comunicación Bluetooth, y al mismo tiempo se registra en la base de datos, cada acción que el paciente realice desde este menú.

The image shows the main menu of the mobile application, titled "MyPDM". The menu consists of four items: "Bolus", "Basal", "Configuración de parametros", and "Registrar Glucometria".

Figura 26. Aplicativo móvil / Menú principal.

El menú principal del aplicativo móvil se encuentra distribuido de forma que el paciente pueda acceder de manera intuitiva a las funciones y diferenciar cada uno, por lo que el menú se distribuye en cinco secciones:

5.1.1. SECCIÓN BOLUS.

Sección del menú destinada para ordenar al dispositivo móvil la infusión de insulina en bolus por medio de la introducción de parámetros como glucometría y cantidad de carbohidratos ingeridos. Las bases para el cálculo de la dosis de insulina están configuradas en base a las formulas usadas en los tratamientos convencionales con infusores de insulina, de modo que la cantidad de insulina que necesite el paciente, ya sea por corrección de glucemia en sangre o ingesta de carbohidratos se podrá realizar fácilmente de esta esta pestaña del menú principal del aplicativo móvil.

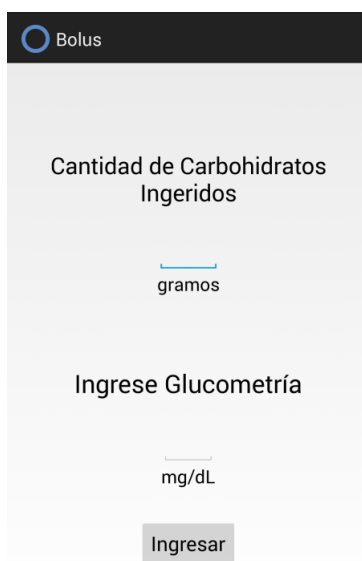


Figura 27. Aplicativo móvil / Sección bolus

Para el cálculo de dosis a suministrar en bolus se deben llenar todos los campos, además de tener configurado la relación insulina/carbohidrato del paciente y el factor de sensibilidad a la insulina, ya que sin estos datos la aplicación no calcula la dosis de insulina necesaria.

Al momento de enviar la orden desde el aplicativo móvil hacia la tarjeta de desarrollo Arduino®, se muestra una ventana emergente con la solicitud de uso de Bluetooth con el fin de garantizar la comunicación entre los dos dispositivos.

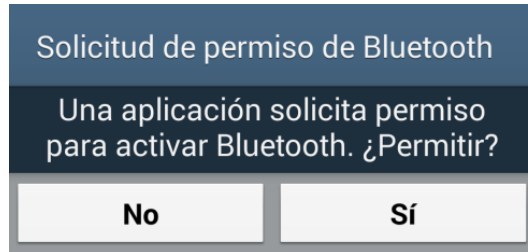


Figura 28. Ventana emergente con solicitud de uso de Bluetooth

El aplicativo móvil está desarrollado de modo que pueda hacer uso de periféricos del dispositivo móvil como Bluetooth y enviar información a través de servicio de datos móviles o redes inalámbricas.

5.1.2. SECCIÓN BASAL.

Sección del menú destinada para configurar la infusión de insulina basal durante el transcurso del día, está configurada de modo tal, que cierta cantidad de insulina sea suministrada al paciente cada hora durante las 24 horas del día.

El paciente podrá configurar la cantidad de insulina en bolus que el prototipo infusor de insulina suministra durante el día a través del aplicativo móvil.

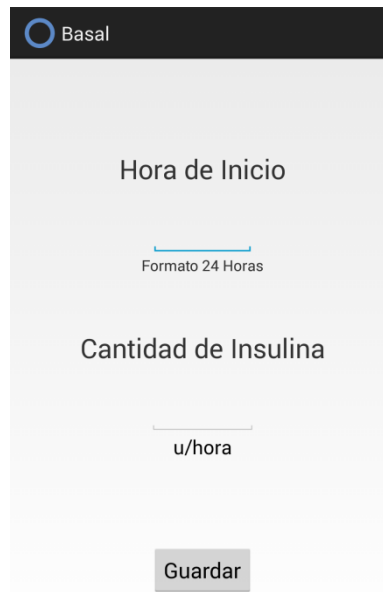


Figura 29. Aplicativo móvil / Sección basal

5.1.3. SECCIÓN CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS.

Sección del menú destinada para la configuración de los parámetros “Relación Insulina/Carbohidrato” y “Factor de sensibilidad a la insulina”, estos datos deben ser suministrados por el médico tratante y son ingresados al aplicativo móvil por medio de este menú; en cualquier momento estos datos pueden ser modificados debido a que no todos los organismos reaccionan igual y en cualquier momento el organismo del paciente puede evolucionar de manera que se vea afectada la sensibilidad a la insulina y por ende la insulina necesaria para cubrir una cantidad de carbohidratos ingeridos.

Este evento en el aplicativo móvil está directamente relacionado con el evento “Bolus”; estos datos son utilizados junto a los datos suministrados por el paciente para calcular la cantidad de insulina para un bolus de corrección de glucemia o ingesta de carbohidratos.

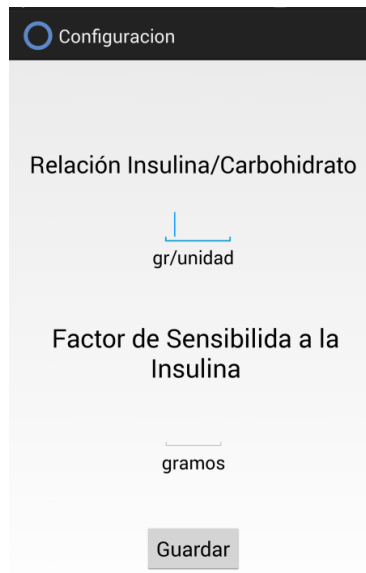


Figura 30. Aplicativo móvil / Configuración de parámetros

Los datos que aquí se suministran deben ser dados por el médico tratante, y son indispensables para el cálculo de la insulina en bolus.

5.1.4. SECCIÓN ACERCA DE.

Sección del menú destinada para los créditos de las personas implicadas en este proyecto, se muestran los nombres de los integrantes de este proyecto, nombre del director del trabajo de grado y colaboradores del mismo.

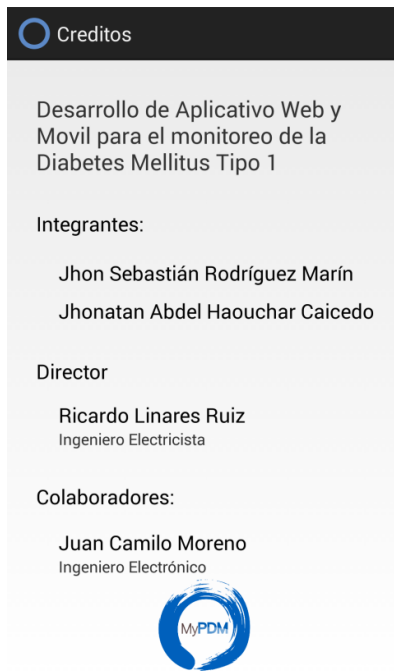


Figura 31. Aplicativo móvil / Créditos

De esta manera se encuentra distribuida el aplicativo móvil, haciendo uso de un menú principal se distribuyen las diferentes acciones que se necesitan para llevar un buen control sobre la diabetes Mellitus tipo 1, y al mismo tiempo guardar todos los datos registrados por el paciente para ser vistos por el médico tratante desde el aplicativo WEB.

6. APLICATIVO WEB PARA MONITOREO DE DIABETES MELLITUS TIPO 1

6.1. APLICATIVO WEB

En la ingeniería de software se denomina aplicativo WEB a aquellas herramientas que los usuarios pueden utilizar accediendo a un servidor WEB a través de Internet o de una intranet mediante un navegador. En otras palabras, es un software que se codifica en un lenguaje soportado por los navegadores WEB en la que se confía la ejecución al navegador, generando interacción entre cliente y servidor. [17]

Por lo tanto se desarrolla un aplicativo WEB de modo que doctores y pacientes tengan acceso al registro de actividades hechas desde el aplicativo móvil; el aplicativo móvil se encuentra conectado al mismo servidor donde se encuentra en el aplicativo WEB, por lo tanto la información suministrada por el aplicativo móvil puede ser vista desde el aplicativo WEB.

El aplicativo WEB está desarrollada principalmente para llevar el monitoreo de la Diabetes Mellitus tipo 1, por lo que se encuentra enfocada hacia el médico tratante de dicha enfermedad, de igual manera el paciente se encuentra en condiciones de interactuar con el aplicativo WEB y observar el desarrollo del tratamiento, además dispone de diferentes contenidos de interés como tips, información acerca de la diabetes y conexión con diferentes sitios WEB donde se encuentra contenido relacionado con la diabetes que ayuda a la comprensión y entendimiento del tratamiento.

El aplicativo WEB cuenta con un total de 5 pestañas las cuales se describen de la siguiente manera:

6.1.1. INICIO

La pestaña *Inicio* se muestran inicialmente dos opciones de ingreso a la funcionalidad del aplicativo ya sea como doctor o como paciente, la opción que se elija tendrá diferentes atributos al momento de interactuar con este.



Figura 32. Aplicativo WEB / Inicio

La pestaña *Inicio* cuenta con una sección de tips acerca de la diabetes donde se da información y aspectos acerca de la enfermedad.

6.1.1.1. MODO DOCTOR

El doctor estará en capacidad de estudiar los datos arrojados por el aplicativo móvil, y tomar decisiones sobre como se viene dando el tratamiento en el paciente.

Figura 33 Aplicativo WEB / Inicio / Soy doctor

El registro como Doctor se debe hacer por medio del aplicativo WEB, haciendo click sobre el botón *Registrarse* ya que el único registro que se puede hacer por medio del aplicativo móvil es *Registro del paciente*.

Registro de Datos

Nombre
Ingresar tu Nombre

Apellidos
Ingresar tus Apellidos

Usuario
Digita tu nuevo Usuario

Contraseña
Digita tu nueva Contraseña

Pacientes
Seleccionar Pacientes

Guardar

Figura 34. Aplicativo WEB / Inicio / Soy doctor / Registrarse

Al momento de registrarse como *Doctor* se debe completar todos los campos requeridos, el Doctor debe elegir sus pacientes por medio de la lista donde aparecen todos los usuarios registrados en el aplicativo móvil.

Por motivos de seguridad los datos que se muestran en la aplicativo WEB son informativos, esto quiere decir que en ningún momento se puede hacer cambios sobre los datos guardados en el aplicativo móvil.

6.1.1.2. MODO PACIENTE

En el aplicativo WEB el paciente podrá observar la evolución de su tratamiento, todo esto con la información suministrada por el aplicativo móvil.



Figura 35 Aplicativo WEB / Inicio / Soy paciente

El usuario y contraseña son los mismos utilizados para ingresar al aplicativo móvil.

6.1.2. DIABETES

La pestaña *Diabetes* cuenta con gran cantidad de información acerca de la diabetes donde se explica cómo interactúa el organismo y la insulina, que es la glucosa, definición de términos como insulina basal e insulina en bolus, entre otras definiciones.

Diabetes

- [El Organismo y la Insulina](#)
- [¿Qué es la Glucosa?](#)
- [Glucosa en el Organismo](#)
- [¿De dónde proviene la glucosa?](#)
- [¿Cómo llega la glucosa a las Células?](#)
- [Insulina](#)
- [Insulina Basal](#)
- [Insulina en Bolus](#)
- [Función del Glucagón](#)
- [Funcion de la Insulina](#)

Figura 36. Aplicativo WEB / Diabetes

6.1.3. DE INTERÉS

La página WEB está diseñada para que los pacientes tengan acceso a la mayor cantidad de información posible por lo que se pone a disposición 3 links externos a la página donde se podrá encontrar información y noticias acerca de la diabetes de primera mano, como son las siguientes páginas WEB.

De Interes

International Diabetes Federation

La Federación Internacional de Diabetes es una organización que cuenta con más de 230 asociaciones nacionales de diabetes en 170 países y territorios. Representa los intereses del creciente número de personas con diabetes y aquellos en riesgo.

La Federación ha estado al frente de la comunidad mundial de la diabetes desde 1950.

La misión de la FID es promover el cuidado de la diabetes, la prevención y la cura de todo el mundo.

[Ir a la Pagina Web](#)

The Big Blue Test

El Big Blue Test es un programa de Diabetes Hands Foundation que invita a las personas a experimentar el impacto que los pequeños cambios pueden traer a sus vidas. Participar del Big Blue Test es muy sencillo:

Si vives con diabetes, mide tu nivel de azúcar en sangre (¿no vives con diabetes? no te tienes que medir).

*Realiza alguna actividad física por 14-20 minutos.

*Repite la medición del nivel de glucosa en sangre.

*Comparte tu experiencia en [TheBigBlueTest.org](#)

[Ir a la Pagina Web](#)

Asociacion Colombiana de Diabetes

Desde el año 1996, gracias a una donación internacional, la ACD cuenta con una sede en el norte de la ciudad donde se puede adquirir lo último en medicamentos y en dispositivos y equipos de control necesarios para el manejo adecuado de la diabetes.

Además la persona con diabetes puede realizar allí exámenes de laboratorio especializados, algunos de resultado inmediato como la hemoglobina glicosilada.

Finalmente en esta sede se llevan a cabo actividades educativas individuales y grupales incluyendo ejercicios, baile, yoga, taekwondo para niños.

Figura 37. Aplicativo WEB / De interés

▪ INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION

La Federación Internacional de Diabetes es una organización que cuenta con más de 230 asociaciones nacionales de diabetes en 170 países y territorios. Representa los intereses del creciente número de personas con diabetes y aquellos en riesgo. En esta página WEB se podrá encontrar información acerca del cuidado y prevención de la diabetes a nivel mundial. [18]

▪ THE BIG BLUE TEST

El Big Blue Test es un programa de *Diabetes Hands Foundation* que invita a las personas a experimentar el impacto que los pequeños cambios pueden traer a sus vidas. A través de mediciones de glucometría en la sangre se registran estos datos en la página WEB y por medio de esto paginas patrocinadoras donan dinero para el estudio de la diabetes. [18]

▪ **ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE DIABETES**

Desde el año 1996, gracias a una donación internacional, la ACD cuenta con una sede en el norte de la ciudad donde se puede adquirir lo último en medicamentos y en dispositivos y equipos de control necesarios para el manejo adecuado de la diabetes. [20]

6.1.4. CONTACTO

La pestaña *contacto* contiene los links para comunicarse de forma escrita con los desarrolladores de este proyecto de grado por medio de la red social Facebook®.

Contacto

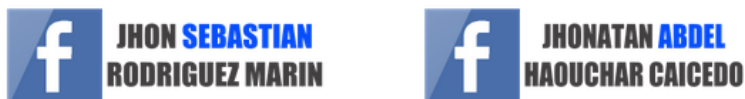


Figura 38. Aplicativo WEB / Contacto

En caso de presentarse alguna inquietud o inconveniente con la página se provee este medio de comunicación ya que se considera de fácil acceso y rápida respuesta.

6.2. ARQUITECTURA CLIENTE/SERVIDOR

Cliente/servidor es una arquitectura de red en la que cada ordenador o proceso en la red es cliente o servidor. Normalmente, los servidores son ordenadores potentes dedicados a gestionar unidades de disco, impresoras, tráfico de red, datos y aplicaciones; mientras que los clientes son máquinas menos potentes y usan los recursos que ofrecen los servidores.

Esta arquitectura implica la creación de aplicaciones distribuidas, lo que permite separar las funciones según su servicio y permitiendo situar cada función en la plataforma más adecuada para su ejecución, por lo que permite separar sus funciones en tres niveles [20].

- **Lógica de presentación.** Donde se presentan los datos y el usuario interactúa con estos por medio de un navegador WEB.
- **Lógica de aplicación.** Flujos de trabajo capaz de interpretar tecnología WEB dinámica como PHP, Java, Python o Ruby constituidos en esta capa.
- **Lógica de datos.** La gestión de datos debe ser independiente, acá se guarda la base de datos.

El aplicativo WEB cuenta con la arquitectura cliente/servidor antes descrita, la cual fue diseñada para el cómodo uso de doctores y pacientes. Tanto el código fuente de el aplicativo WEB como los datos enviados por el aplicativo móvil se encuentra alojados en el servidor WEB Hostinger Argentina, cuenta con un espacio disponible de 2 GB de espacio y 100 Gbps de velocidad para el tráfico de datos.

Los datos enviados por el aplicativo móvil son guardados en el servidor, la suma de todos los datos enviados conforman la base de datos necesaria para el monitoreo de la Diabetes mellitus tipo 1.

En el envío de información hacia la base de datos, el aplicativo móvil se encuentra en capacidad de enviar información del tratamiento como: bolus inyectados, basal diaria configurada, carbohidratos ingeridos y glucometrias registradas por el paciente, y ser guardada en directorios separados del servidor *Hostinger Argentina*.

La información guardada en el servidor es indispensable para llevar un monitoreo óptimo sobre dicha enfermedad, cada dato enviado por el aplicativo móvil será guardada y clasificada respectivamente como glucometria, bolus, carbohidrato o insulina basal.

Esta información es visualizada por medio del aplicativo WEB el cual fue desarrollado en lenguaje HTML. Como el lenguaje HTML basa su filosofía de desarrollo en la referenciación. Para añadir un elemento externo a la página, este no se incrusta directamente en el código de la página, sino que se hace una referencia a la ubicación de dicho elemento mediante texto. De este modo, la página WEB contiene sólo texto mientras que se interpreta el código en el navegador. Al ser un estándar, HTML busca ser un lenguaje que permita que cualquier página WEB escrita en una determinada versión, pueda ser interpretada de la misma forma por cualquier navegador WEB actualizado.

Haciendo uso de esta filosofía se incorpora diversos lenguajes de programación como CSS y JavaScript para lograr la funcionalidad y navegabilidad a través de esta.

Además se utilizan complementos como Bootstrap® para ofrecer una funcionalidad definida y auto contenida, el cual es un complemento WEB que es construido usando patrones de diseño, y su característica principal es su alta cohesión y bajo acoplamiento. Para acceder a esa funcionalidad, se construyen piezas, objetos, llamados objetos calientes, que vinculan las necesidades del sistema con la funcionalidad que este presta. Esta funcionalidad, está constituida por objetos llamados fríos, que sufren poco o ningún cambio en la vida del framework, permitiendo la portabilidad entre distintos sistemas.

La forma en la que se comunica los aplicativos WEB y móvil con la base datos es por medio de consultas WEB, si los datos ingresados concuerdan con la información guardada, el usuario tiene acceso a la base datos y podrá ingresar y consultar información. Este proceso se realiza por medio de JSON el cual es un formato ligero para el intercambio de datos.

7. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se describe la metodología usada para el desarrollo de las pruebas para los diferentes dispositivos del proyecto de grado; igualmente se muestran los resultados de las pruebas realizadas en el aplicativo WEB, aplicativo móvil y prototipo infusor de insulina.

Las pruebas que se describen a continuación, tienen como objetivo validar el funcionamiento en cuanto a comunicación y control sobre cada uno de los dispositivos implicados en este desarrollo.

7.1. REGISTRO DE INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS

El registro de información en la base de datos que se encuentra alojada en el servidor WEB se realiza por dos medios diferentes que son: aplicativo WEB y aplicativo móvil. Dichos aplicativos manejan diferente tipo de usuario al momento de registrar información en la base de datos. Por medio del aplicativo WEB se realiza exclusivamente el registro de doctores, por lo que el aplicativo móvil debe realizar el registro de pacientes, pero la información enviada desde los usuarios del aplicativo móvil debe ser visualizado por medio del aplicativo WEB.

La hora y fecha con que se registra la información en la base de datos es de gran importancia, puesto que el tiempo de registro debe concordar entre el aplicativo móvil, WEB y servidor. De este modo, tanto el aplicativo móvil, aplicativo WEB y servidor se rigen por el estándar de tiempo “tiempo medio de Greenwich” *GMT* que se refiere al tiempo solar medio; garantizando así la concordancia en el registro de información entre los aplicativos.

De acuerdo a lo anterior, se realizó una serie de pruebas de registro de doctores y pacientes, así como los datos registrados desde un usuario del aplicativo móvil con el fin de comprobar su correcto registro en la base datos.

7.1.1. REGISTRO DE PACIENTE EN SERVIDOR POR MEDIO DE APLICATIVO MOVIL

Se cuenta con 10 usuarios diferentes, los cuales hacen las veces de pacientes para validar el correcto registro de datos por medio del aplicativo móvil, estos datos deben concordar con los datos que se guarden en la base de datos que está alojada en el servidor.

ID USUARIO	PASS	NOMBRE	APELLIDO	EDAD	FECHA_NACIMIENTO	TIPO_SANGRE	EPS	CORREO	TELEFONO
paciente9	paciente9	prueba9	prueba9	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente8	paciente8	prueba8	prueba8	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente7	paciente7	prueba7	prueba7	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente6	paciente6	prueba6	prueba6	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente5	paciente5	prueba5	prueba5	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente4	paciente4	prueba4	prueba4	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente3	paciente3	prueba3	prueba3	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente2	paciente2	prueba2	prueba2	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente10	paciente10	prueba10	prueba10	11	1111-11-11	RH +	EPS	correo@correo.com	1234567
paciente1	paciente1	prueba1	prueba1	11	1990-11-12	RH +	EPS	jhonse911@hotmail.com	1234567

Figura 39. Registro de paciente por medio de aplicativo móvil y visualizado en la base de datos.

7.1.2. REGISTRO DEL DOCTOR EN SERVIDOR POR MEDIO DE APLICATIVO WEB

Se cuenta con 10 usuarios diferentes, los cuales hacen las veces de doctores para validar el correcto registro de datos por medio del aplicativo WEB, estos datos deben concordar con los datos que se guarden en la base de datos que está alojada en el servidor.

ID USUARIO	PASS	NOMBRE	APELLIDO
dr1	dr1	doctor1	doctor1
dr2	dr2	doctor2	doctor2
dr3	dr3	doctor3	doctor3
dr4	dr4	doctor4	doctor4
dr5	dr5	doctor5	doctor5
dr6	dr6	doctor6	doctor6
dr7	dr7	doctor7	doctor7
dr8	dr8	doctor8	doctor8
dr9	dr9	doctor9	doctor9
dr10	dr10	doctor10	doctor10

Figura 40. Registro de doctores por medio de aplicativo WEB y visualizado en la base de datos.

7.1.3. REGISTRO DE INFORMACIÓN EN SERVIDOR POR MEDIO DE APLICATIVO MOVIL Y VISUALIZACIÓN EN APLICATIVO WEB

Se cuenta con un usuario registrado por medio del aplicativo móvil, desde el cual se envían 3 datos diferentes de bolus, basal, glucometria y carbohidratos ingeridos para que sean registrados en la base de datos y posteriormente ser visualizados en la sección “*Mis Estadísticas*” del aplicativo WEB. Estos datos deben quedar registrados y concordar con la cantidad, hora y fecha del aplicativo móvil.

- **Registro de Bolus en base de datos**

Para esta prueba se registran 3 cantidades diferentes de insulina desde la sección Bolus: 5, 2 y 3 unidades de insulina; una seguida de la otra, con diferencia de 1 minuto entre cada uno de los registros.

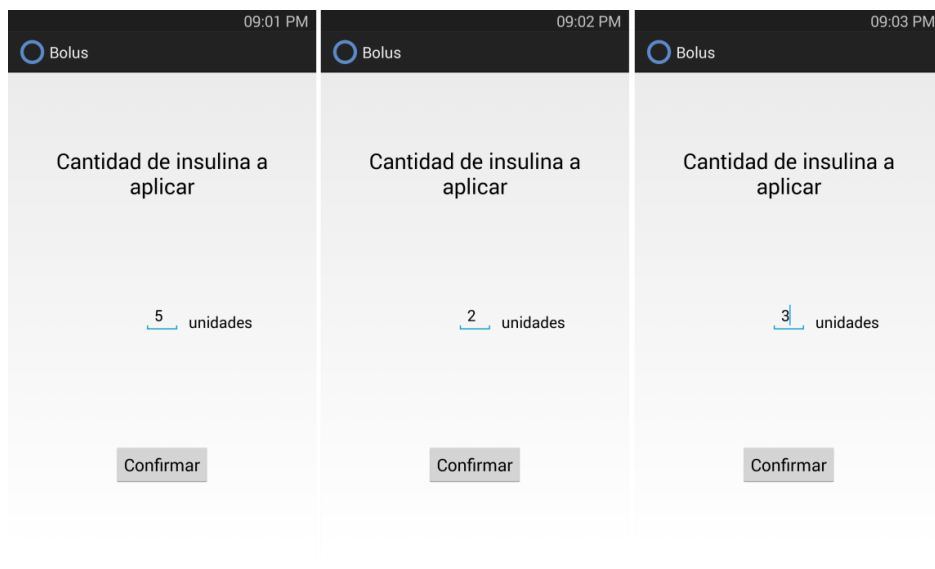


Figura 41. Unidades de insulina en Bolus, registrados en base de datos desde aplicativo móvil

Puesto que los dispositivos implicados se rigen por el estándar de tiempo GMT la cantidad, hora y fecha de cada uno de los registros debe concordar.

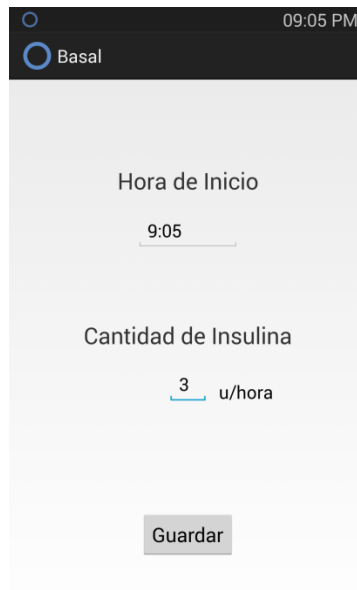


Figura 42. Unidades de insulina en Bolus, registrados en base de datos desde aplicativo móvil y visualizado desde aplicativo WEB

- **Registro de insulina basal en base de datos**

Para esta prueba se registra la infusión de una dosis de 3 unidades de insulina por hora, la cual debe ser inyectada durante el transcurso de las 24 horas del día. Para efectos de prueba la aplicación móvil está configurada de modo que la orden se de 3 unidades de insulina por minuto. Se toman tres muestras seguidas con el fin de corroborar su correcto funcionamiento.

Además, el aplicativo móvil está configurado de modo que se muestre una notificación en la pantalla del dispositivo móvil cada vez que se registre la infusión de una dosis de insulina basal.

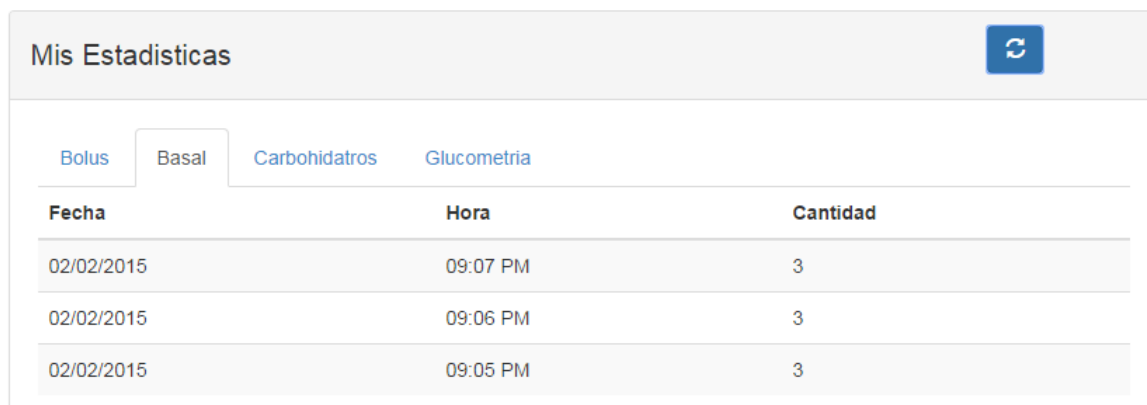
Mis Estadísticas ↻

Bolus
Basal
Carbohidatos
Glucometria

Fecha	Hora	Cantidad
02/02/2015	09:03 PM	3
02/02/2015	09:02 PM	2
02/02/2015	09:01 PM	5

Figura 43. Unidades de insulina Basal, registrada en base de datos desde aplicativo móvil

Puesto que los dispositivos implicados se rigen por el estándar de tiempo *GMT* la cantidad, hora y fecha de cada uno de los registros debe concordar.



Fecha	Hora	Cantidad
02/02/2015	09:07 PM	3
02/02/2015	09:06 PM	3
02/02/2015	09:05 PM	3

Figura 44. Unidades de insulina Basal, registrada en base de datos desde aplicativo móvil y visualizado por medio de aplicativo WEB.

El registro de información en la base de datos se muestra de manera que los últimos registros se encuentren en la parte superior de la sección “*Mis Estadísticas*”, esto con el fin de tener un historial ordenado y poder tomar decisiones con respecto a las últimas órdenes registradas por el paciente.

- **Registro de cantidad de carbohidratos ingeridos**

Para esta prueba se registran 3 cantidades diferentes de carbohidratos ingeridos: 65, 40 y 72 gramos de carbohidrato; una seguida de la otra, con diferencia de 1 minuto entre cada uno de los registros.

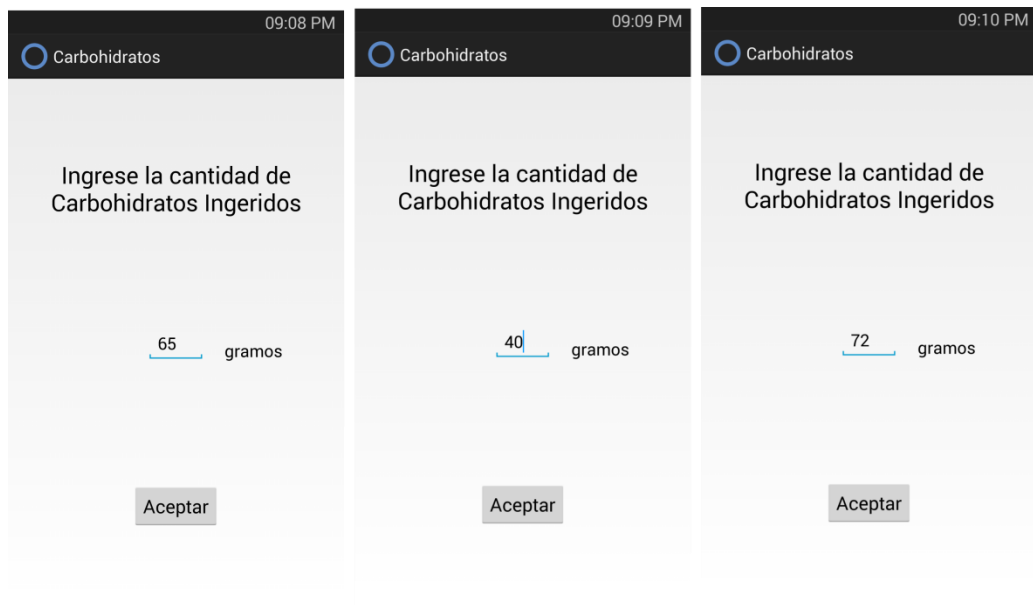


Figura 45. Cantidad de carbohidratos ingeridos, registrados en base datos desde aplicativo móvil

Puesto que los dispositivos implicados se rigen por el estándar de tiempo GMT la cantidad, hora y fecha de cada uno de los registros debe concordar.

Mis Estadísticas ↻

Bolus
Basal
Carbohidatos
Glucometria

Fecha	Hora	Carbohidratos Consumidos
02/02/2015	09:10 PM	72
02/02/2015	09:09 PM	40
02/02/2015	09:08 PM	65

Ilustración 46. Cantidad de carbohidratos ingeridos, registrados en base datos desde aplicativo móvil y visualizado por medio de aplicativo WEB

- **Registro de nivel de glucemia en sangre**

Para esta prueba se registran 3 cantidades diferentes de nivel de glucemia: 99, 70 y 212 miligramos por decilitro de sangre; una seguida de la otra, con diferencia de 1 minuto entre cada uno de los registros.

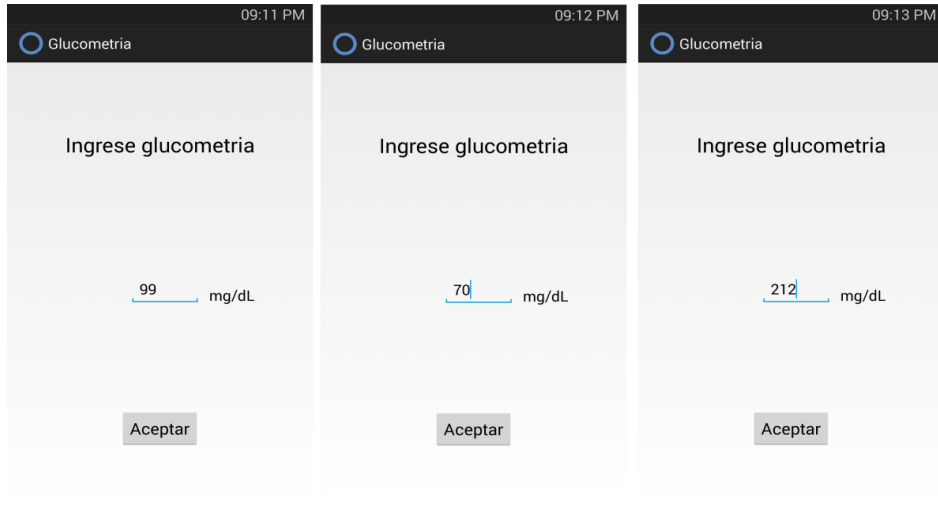


Figura 47. Medición de glucometria, registrado en base de datos desde aplicativo móvil

Puesto que los dispositivos implicados se rigen por el estándar de tiempo *GMT* la cantidad, hora y fecha de cada uno de los registros debe concordar.

Mis Estadísticas ↻

Bolus Basal Carbohidatos **Glucometria**

Fecha	Hora	Cantidad
02/02/2015	09:13 PM	212
02/02/2015	09:12 PM	70
02/02/2015	09:11 PM	99

Figura 48. Medición de glucometria, registrado en base de datos desde aplicativo móvil y visualizado por medio de aplicativo WEB

7.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ENTRE APLICATIVO MOVIL Y PROTOTIPO INFUSOR DE INSULINA

Para sopesar la correcta interpretación entre aplicativo móvil y prototipo infusor de insulina se realizan pruebas de envío de información entre estos dos dispositivos, para la calibración del instrumento final se tomó como referencia la relación giros de motor por unidades empleadas, es decir, partiendo de las medidas establecidas que tiene la jeringa de insulina la cual ya viene fabricada y aprobada con las normas de calidad y precisión pertinentes para un elemento médico, se analizó la cantidad de giros completos más grados adicionales correspondientes a 10 unidades de insulina, y teniendo este valor se efectúa la fórmula correspondiente para cada medida necesaria.

Se realizan pruebas entre el motor y la jeringa de insulina obteniendo como resultado una relación de 10 Unidades de Insulina aplicada por 6 giros completos del embolo de la jeringa el cual se encuentra conectado al eje del motor por lo tanto la fórmula que relaciona el motor y la jeringa de insulina es:

$$X = \frac{1 \text{ Unidad de insulina} \times 6 \text{ Giros}}{10 \text{ Unidades de insulina}}$$

$$X = 0.6 \text{ Giros}$$

Se llegó al resultado de que por cada unidad de insulina aplicada el motor debe girar 0.6 (216°).

Teniendo estos datos se realizan 20 pruebas de envío de información entre dispositivo móvil y prototipo infusor de insulina, con el fin de corroborar que la calibración del instrumento es la correcta para lograr su objetivo.

Dando como resultado que 17 de las 20 pruebas coinciden con la información enviada desde el aplicativo móvil.

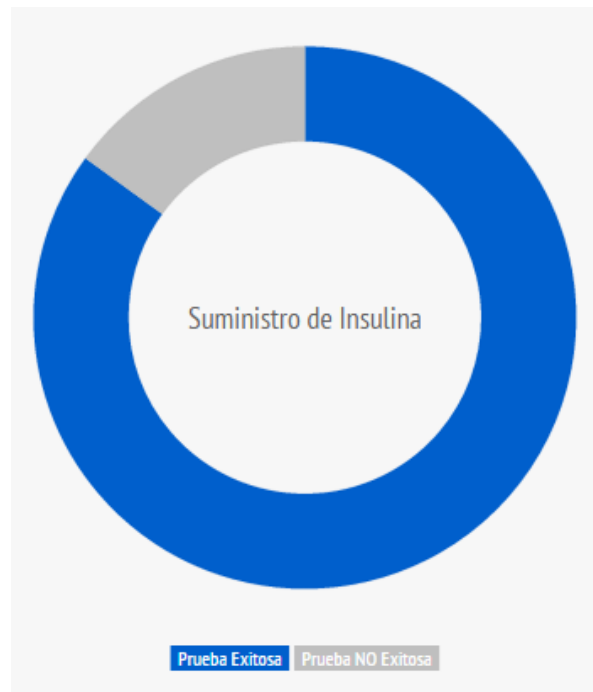


Figura 49. Prueba de suministro a través de Prototipo infusor de insulina

Las 3 pruebas restantes dan como resultado un error el cual no se considera aceptable ya que excede las cantidades de insulina que se ordenan desde la aplicación móvil.

CONCLUSIONES

Se desarrolla un sistema de monitoreo para el suministro de insulina por medio de un prototipo infusor, que a través de un aplicativo móvil permite enviar información a la base datos alojada en el servidor WEB y por medio de comunicación Bluetooth controlar dicho prototipo.

Visualizar por medio del aplicativo WEB la información guardada en la base datos, permitiendo una fácil interpretación de la información tales como: insulina en bolus, insulina basal, carbohidratos ingeridos y glucometría; los cuales son parámetros claves para monitorear la evolución del tratamiento en el paciente.

Guardar y clasificar la información registrada desde el aplicativo móvil favorece el monitoreo de la Diabetes Mellitus tipo 1, ya que a partir de estos datos el médico tratante puede tomar decisiones de acuerdo a la evolución del tratamiento sin ser necesaria citas previamente solicitadas, evitando gastos económicos y de tiempo valioso.

Las fórmulas matemáticas que utiliza la aplicación móvil para el cálculo de insulina en bolus, facilitan la tarea de saber la cantidad de insulina necesaria para corregir el nivel de glucemia al momento de consumir alimentos sin que el paciente realice cálculos a mano.

Haciendo uso de servicios de mensajería electrónica como correo o mensajes instantáneos se plantea a futuro el uso de los mismos para la comunicación entre el médico tratante y el paciente por medio de la implementación en el aplicativo web y aplicativo móvil.

Se implementa el uso de alarmas para notificar al paciente las ocasiones en las que se suministra insulina basal, de esta manera el paciente estará enterado del desarrollo del tratamiento.

Programar la aplicación móvil para suministrar insulina basal en periodos de una hora durante el transcurso del día favorece al control de la enfermedad, puesto que garantiza insulina necesaria para la glucemia que queda restante de las comidas principales del día.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. WHO. Global Health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks Geneva: WHO Press; 2009.
- [2]. International Diabetes Federation. A call to action on Diabetes Brussels; 2010.
- [3]. MEDTRONIC. Información básica sobre el tratamiento con bomba de insulina, Medtronic MiniMed, Pág. 31-32, 2013.
- [4]. Lipodistrofia. Disponible en internet:
< http://www.aidsinfonet.org/fact_sheets/view/553?lang=spa>
- [5]. Historia de las bombas de Insulina. Disponible en internet:
< www.spmedical.cl/descargas/historia_bombas.pdf >
- [6]. Atlas de la Diabetes de la Federación Internacional de Diabetes 6ta Edición.
- [7]. Complicaciones de la Diabetes. Disponible en internet:
< <http://www.idf.org/diabetesatlas/5e/es/que-es-la-diabetes> >
- [8]. MEDTRONIC. Información básica sobre el tratamiento con bomba de insulina, Medtronic MiniMed, Pág. 18-19, 2013.
- [9]. HC Serial Bluetooth Products. Disponible en internet:
http://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/hc_hc-05-user-instructions-Bluetooth.pdf
- [10]. INSTRUCTABLES. Disponible en internet:
<<http://www.instructables.com/id/BYJ48-Stepper-Motor/?lang=es>>
- [11]. ARDUINO®. Disponible en internet:
<<http://Arduino.cc/en/Reference/Board?from=Guide.Board>>
- [12]. Definición aplicativo móvil. Disponible en internet:
< http://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n_m%C3%B3vil >
- [13]. Software Eclipse. Disponible en internet:
< http://es.wikipedia.org/wiki/Eclipse_%28software%29 >

[14]. Conjunto de herramientas para desarrollo en Android® SDK. Disponible en internet:

< http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_de_programas_para_Android® >

[15]. Protocolo de Terapia con bombas para Insulina, Medtronic Diabetes, Pág. 4-13.

[16]. Protocolo de Terapia con bombas de Insulina. Bruce W. Bode Medtronic Diabetes

[17]. Definición aplicativo WEB. Disponible en internet:

< http://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n_WEB >

[18]. Federación Internacional de Diabetes. Disponible en Internet:

< <http://www.idf.org/who-we-are> >

[19]. The Big Blue Test. Disponible en Internet:

<http://bigbluetest.org/es/what-is-big-blue-test/>

[20]. Programación en Internet, Sergio Luján Mora, Pág. 2 – 6.